UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS

VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL NO REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE ETAs – ESTUDO DE CASO ETA DE GRAVATÁ - CAMPINA GRANDE - PB

Ofélia de Lira Carneiro Silva

Tese de Doutorado

Campina Grande - Paraíba
2007

VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL NO REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE ETAs – ESTUDO DE CASO ETA DE GRAVATÁ - CAMPINA GRANDE - PB

Ofélia de Lira Carneiro Silva

Tese submetida ao Programa de Pós Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Doutor em Recursos Naturais.

Área de Concentração: Recursos Hídricos
Linha de pesquisa: Gestão em Recursos Hídricos

Orientador
Heber Pimentel Gomes

Campina Grande - Paraíba
2007

DIGITALIZAÇÃO:
UFCG
SUPRA OMNES LUX LUCET
SISTEMOTECA UFCG

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S586v
2007 Silva, Ofélia de Lira Carneiro.
Viabilidade técnica econômica, econômica e ambiental no *reaproveitamento de água de lavagem de ETAs – estudo de caso:* ETA Gravatá – Campina Grande/PB / Ofélia de Lira Carneiro Silva. – Campina Grande, 2007.
196f. : il.

Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.
Referências.
Orientador : Heber Pimentel Gomes.

1. Estação de Tratamento de Água. 2. Resíduos de ETAs. 3. Reaproveitamento de Água. 4. Perda de Água. 5. Viabilidade Técnica, econômica e ambiental. 6. Análise Multicriterial. I. Título.

CDU – 628.1(043)

OFÉLIA DE LIRA CARNEIRO SILVA

VIABILIDADE TÉCNICA, ECONÔMICA E AMBIENTAL NO REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE ETAs – ESTUDO DE CASO ETA DE GRAVATÁ - CAMPINA GRANDE - PB

Aprovado em: 14/12/07

COMISSÃO EXAMINADORA

Heber Pimentel Gomes
Orientador

Prof. Dr.Sidney Seckler Ferreira Filho
Examinador externo

Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior
Examinador externo

Prof. Dr. Gesinaldo Ataíde Cândido
Examinador interno

Prof. Drª Annemarie König
Examinador interno

Oferecimento

Dedico este trabalho:

A Manuel meu esposo e meus filhos Thássia, Thácito e Thamer, pela imensa compreensão, privados muitas vezes da minha atenção do meu carinho, para que este trabalho fosse concluído.

Agradecimentos

A Deus causa primeira de todas as coisas, o sustentáculo de tudo.

Ao meu esposo, Manuel, companheiro de todos os momentos, pelo o amor e compreensão, e que juntos caminhamos na luta para ensinar aos nossos filhos os valores que temos e que nos fazem homens de bem.

Aos meus filhos Thácito, Thamer, e Thássia que assim espero, haverão de concordar que o melhor e maior tesouro que se pode acumular na vida é o saber.

Ao professor Heber Pimentel Gomes, pela orientação, pelo voto de confiança em depositado, experiência transmitida, criticas e sugestões para realização deste trabalho.

Aos meus pais Raimundo e Josefa pelo incentivo e apoio. A eles devo as minhas conquistas e, acima de tudo, a própria vida.

A minha cunhada, Roberta, por dedicação aos meus filhos e esposo na minha ausência no meu lar.

A todos os colegas do curso de Doutorado em Recursos Naturais que estiveram juntos nessa caminhada.

Aos professores Rui de Oliveira. Annemarie König e Cláudia Coutinho Nóbrega pela contribuição leitura e sugestões para enriquecimento desse trabalho.

Á Universidade Federal de Roraima por permitir a minha capacitação.

Ao Engenheiro e Mestre Nilton Bonifácio, da CAGEPA - UNBO, pelo apoio técnico, pelo fornecimento de dados e preciosas informações obtidas sobre o sistema investigado.

Aos funcionários do Laboratório de Controle e Qualidade da CAGEPA pelas analises realizadas.

Aos funcionários da ETA de GRAVATÁ pelas informações prestadas e experiências transmitidas.

A Dalcira, funcionária da CAGEPA, pela dedicação e auxilio na aquisição de dados importantes para esse trabalho.

A CAPES pelo suporte financeiro, através do programa PICDT, concedido para realização desse trabalho.

Enfim, todos aqueles que de alguma forma contribuíram direta e/ou indiretamente, para a realização desta pesquisa, dedico o presente trabalho e manifesto os meus sinceros agradecimentos.

" ....Água que o sol evapora, pro céu vai embora, virar nuvem de algodão
Gotas de água da chuva, alegre arco-íris sobre a plantação
Gotas de água da chuva, tão tristes, são lágrimas na inundação
Águas que movem moinhos são as mesmas águas que encharcam o chão
E sempre voltam humildes pro fundo da terra, pro fundo da terra
Terra, planeta água"

Guilherme Arantes.

RESUMO

As perdas de água ocorrem em todo sistema de abastecimento, desde a captação até a sua distribuição. Na Estação de Tratamento de Água (ETA), as perdas, em sua maior quantidade, estão relacionadas aos volumes operacionais gastos no processo de tratamento e lançados no meio ambiente sem reaproveitamento. A tecnologia de reaproveitamento de água de lavagem em ETAs é uma alternativa que pode se tornar uma solução para os problemas de escassez hídrica e redução de impactos ambientais. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi estudar a viabilidade técnica, econômica e ambiental do reaproveitamento das águas de lavagens em ETAs, tendo como estudo de caso a Estação de Tratamento de Água (ETA) de Gravatá que abastece a cidade de Campina Grande – Paraíba. As alternativas de sistema de reaproveitamento propostas na pesquisa foram: Instalação de um sedimentador mais leito de secagem; instalação de um sedimentador mais um par de lagoas de lodo; e instalação de um conjunto de três lagoas de lodo. Na metodologia desenvolvida. inicialmente, foi realizada a caracterização da água de lavagem para avaliar as condições de retorno dessa água á ETA. A estimativa do volume gasto no processo de lavagem foi feita com bases no volume de descarga e volume gasto na limpeza das unidades de tratamento. Para o estudo da viabilidade técnica considerou-se os aspectos relativos às condições operacionais e funcionalidade do projeto-piloto do sistema de reaproveitamento. O estudo da viabilidade econômica baseou-se na quantificação econômica de todos os benefícios e custos envolvidos no sistema do reaproveitamento de água de lavagem da ETA. Na verificação da viabilidade ambiental foi feita a identificação dos impactos ambientais gerados pelo lançamento dos resíduos de ETA no meio ambiente. As alternativas propostas na pesquisa foram avaliadas, multicriterialmente, a fim de obter a alternativa mais aceitável econômica, técnica e ambientalmente. Com esse estudo verificou-se que o volume de água a ser recuperado mensalmente na ETA foi à ordem de 2,08 % representando 20,0 l/s, o suficiente para abastecer uma população 8.519,0 habitantes com um *per capita* de 200 l/hab/dia. O reaproveitamento desse volume pode trazer benefícios para a empresa responsável pelo processo de tratamento e abastecimento de água, pois além de lhe proporcionar uma melhoria financeira, uma parcela de água aduzida não será descartada e lançada nos corpos receptores, assim como outra parcela deixará de ser captada, tendo como conseqüências preservação do meio ambiente também conservação na disponibilidade hídrica do manancial.

ABSTRACT

The water lost occurs in all supply system, since the cotching until the distribuition. In water treatment plant (WTP), the lost, in the most part related the operations water amount used in the process of treatmente and throuwn away in the environment without reuse.The water reuse technology is based in a new concept which says the water, after being used, shouldn't be discarded, and through a proper treatment it would have a use. The recycling of wash water is an alternative the WTPs is an alternative which has been used with the aim to reduce the lost of water that occurs in the process of the water treatment. This choice can become a solution to water scarcity problems and of environmental impacts. With this purpose, this paper is focused on studying the technique, economic and environmental viability in the reuse of washing water at the WTPs, especially the Gravatá Water Treatment Plant (WTP) which provides for Campina Grande City – Paraíba. The presented alternatives were: Installing either a new sedimentary with a drying place, a sedimentary with a couple of iodine lagoons or three iodine lagoons. In the initial developed methodology, the washing water was analyzed, in order to evaluate the returning conditions to the WTP. We estimate the amount wasted in the washing process by adding the amount wasted with the evacuation to the one wasted cleaning the treatment units. In order to reach an appropriate alternative we compared them through a study about the technique, economic and environmental viability. For study technique viability considered the aspects relative operational conditions and efficiency of pilot project of system of recycling. The study of the economical quantification of all benefits and costs involved in the system of recycling washing water in WTP. In investigation of viability environmental was the identification of impacts introduction residuals the processes used in treating water of WTP in environmental. The amount of water to be recovered monthly at the WTP was at about 2.08%, which represents 20.0 liters/second, it's enough to provide an 8,519 people population with a *per capita* of 200 liters/inhabitant/day. The reuse of water amount can bring benefits to the enterprise in charge of the water treatment and providing, it will improve finance, and part of the water won't be thrown into the receiving bodies, well as the other part won't be caught, which protect the environment and maintain the water availability of the fountainhead.

LISTA DE FIGURAS

2.1 Fluxograma do processo produtivo de água potável em ETA 11
2.2 Fluxo de ações essenciais para a gestão de uma ETA 16
2.3 Visão holística do sistema de tratamento de água 18
2.4 Pontos de geração de resíduos em uma ETA convencional 28
2.5 Volumes de água e lodo produzido numa ETA convencional e algumas opções de tratamento e disposição final dos resíduos 38
2.6 Esquema ilustrando a distribuição de água no lodo 46
2.7 Disposição de lodos de ETAs nos EUA 54
2.8 Mortalidade crônica de comunidade bentônica de invertebrados pela adição de lodo com sulfato de alumínio 58
3.1 Mapa do estado da Paraíba com indicação de localização do Açude Epitácio Pessoa 84
3.2 Açude Epitácio Pessoa, Boqueirão/PB 84
3.3 Mapa da Paraíba com localização do município de Campina Grande 87
3.4 Sistema simplificado de abastecimento de Campina Grande/PB 88
3.5 Fluxograma das unidades da ETA de Gravatá –Boqueirão/PB 90
3.6 Canal de descarga da chegada da água bruta na ETA de Gravatá Boqueirão/PB 90
3.7 Floculadores mecânicos de eixo vertical do tipo paletas ETA de Gravatá Boqueirão/PB 91
3.8 Decantadores convencionais (novos) da ETA de Gravatá Boqueirão/PB 91
3.9 Filtro com processo de filtração descendente da ETA de Gravatá Boqueirão/PB 92
3.10 Seqüência da operação de descarga e lavagem de filtros da ETA de Gravatá 94
3.11 Seqüência da operação de descarga e lavagem de decantador da ETA de Gravatá 95
3.12 Cone de Imhoff com ensaio de sedimentação da água de lavagem de descarga do decantador da ETA de Gravatá Boqueirão/PB 97
3.13 Esquema ilustrativo do sistema de reaproveitamento das águas de lavagens com sedimentador e leito de secagem (alternativa 1) 98
3.14 Esquema ilustrativo do sistema de reaproveitamento das águas de lavagens com sedimentador e duas lagoas de lodo (alternativa 2) 99
3.15 Esquema ilustrativo do sistema de reaproveitamento das águas de lavagens com três lagoas de lodo (alternativa 3) 99
3.16 Esquema ilustrativo do sistema sem reaproveitamento de água na ETA com descarga no meio ambiente (alternativa 4) 100
3.17 Rede de Interação de avaliação dos impactos ambientais gerados pela implantação e operação do STAL em ETAs 105
4.1 Disponibilidade hídrica do açude Epitácio Pessoa no período de 1994 a 2004 112
4.2 Concentrações de alcalinidade total, cloreto e dureza da água bruta no açude Epitácio Pessoa Boqueirão/PB de 1998 a 2004 117
4.3 Concentrações de oxigênio consumido, cálcio e magnésio da água bruta do açude Epitácio Pessoa Boqueirão/PB de 1998 a 2004 117
4.4 Concentrações de SDT e turbidez da água bruta na entrada da ETA de Gravatá no período de 1998 a 2004 118
4.5 Valores de turbidez e cor da água bruta, na entrada da ETA, para período de 2004 a 2006 119
4.6 Valores de cor e turbidez durante o processo de tratamento na ETA de Gravatá/PB no período de janeiro a junho de 2006 120
4.7 Locação das estruturas já existentes e disposição das unidades do projeto-piloto na ETA de Gravatá/PB 125

4.8 Média mensal de volume de água gasto em lavagem de filtros da ETA de Gravatá/ PB, para os anos 2004 e 2005 131
4.9 Volumes gasto em descargas e limpezas dos decantadores da ETA de Gravatá/PB para os anos de 2004 a 2006 133
4.10 Esquema ilustrativo das etapas de remoção e estimativa de volume de água na ETA de Gravatá 137
4.11 Volume de água gasto na lavagem de filtros durante os anos de 2004 a 2006 139
4.12 Planta baixa do sedimentador 145
4.13 Esquema da planta baixa e do corte lateral do sistema de tratamento por leito de secagem 146
4.14 Esquema do corte frontal do leito de secagem 146
4.15 Esquema da planta baixa e corte transversal da lagoa de lodo 147
4.16 Fluxo de caixa dos custos e benefícios da alternativa 1 158
4.17 Fluxo de caixa dos custos e benefícios da alternativa 2 159
4.18 Fluxo de caixa dos custos e benefícios da alternativa 3 160
4.19 Resultados das seis simulações do modelo multicriterial para as alternativas estudadas 170

LISTA DE QUADROS

2.1 Caracterização geral das perdas no sistema de abastecimento urbano de água 19
2.2 Ações de controle de perdas em ETA 23
3.1 Características físicas das unidades da ETA de Gravatá – Boqueirão (PB) 89
3.2 Alternativas propostas para o projeto-piloto do sistema de reaproveitamento de água de lavagem na ETA de Gravatá – PB 98
3.3 Fatores que influenciaram na pré-seleção de melhor alternativa 102
3.4 Critérios para avaliação dos impactos ambientais utilizados no preenchimento da matriz de correlação 106
3.5 Critérios de avaliação e categoria adotados na pesquisa 109
4.1 Volume gasto nas descargas e lavagens com as variações sazonais 135
4.2 Estimativa do volume de água de lavagens a ser recuperado na ETA de Gravatá no ano de 2005 138
4.3 Estimativa da produção mensal de lodo gerado na ETA de Gravatá/PB 142
4.4 Possíveis soluções para cada alternativa de reaproveitamento de água de lavagem 149
4.5 Aspectos técnico para análise de viabilidade técnica no reaproveitamento de água de lavagem em ETAs 150
4.6 Custo de implantação de cada unidade referente ao projeto-piloto de cada alternativa 152
4.7 Custo operacional anual em (R$) para cada alternativa 153
4.8 Quantidade mensal de lodo desaguado a ser removido da ETA de Gravatá 154
4.9 Preço unitário para serviços de manutenção para cada alternativa 155
4.10 Custo anual (R$) de manutenção por operação referente a cada alternativa 155
4.11 Custos diretos totais envolvidos no reaproveitamento de água de lavagem para cada alternativa 155
4.12 Benefícios diretos mensais e anuais no reaproveitamento de água de lavagem 156
4.13 Resumos dos indicadores econômicos aplicados a cada alternativa 161
4.14 Matriz de Correlação utilizada para avaliação dos impactos com lançamento de efluentes de ETAs no meio ambiente 163
4.15 Resultado da avaliação da viabilidade ambiental do projeto-piloto do reaproveitamento água de lavagem 165
4.16 Fatores para avaliação ambiental na operação do processo produtivo de água 166
4.17 Porcentagem da eficiência do sistema de tratamento de cada alternativa 167
4.18 Resultados dos cálculos dos elementos de projeto-piloto para análise multicriterial 167
4.19 Cálculo do peso geral para o objetivo técnico para cada alternativa 168
4.20 Cálculo do peso geral para o objetivo Econômico para cada alternativa 168
4.21 Cálculo do peso geral para o objetivo ambiental para cada alternativa 168
4.22 Pesos gerais dos objetivos, para cada alternativa 168
4.23 Resultados das simulações na ordem preferencial dos objetivos 169

LISTA DE TABELAS

2.1 Principais constituintes de afluentes e efluentes de ETAs convencionais..... 29
2.2 Características dos resíduos de estações de tratamento de água..... 30
2.3 Produção de resíduo de acordo com o tipo de manancial..... 33
2.4 Vantagens e desvantagens da secagem dos resíduos de ETAs..... 47
4.1 Valores dos principais parâmetros da água bruta em períodos de 2004 e 2006 115
4.2 Relação entre a qualidade de água bruta e a dosagem de produtos químicos para 2004 (período chuvoso)..... 122
4.3 Relação entre a qualidade de água bruta e a dosagem de produtos químicos para 2005/2006 (período seco ou chuva com pouca intensidade)..... 122
4.4 Resultados das variáveis físico-químicas e bacteriológicas da água descartada da lavagem de filtros da ETA de Gravatá – setembro de 2006..... 124
4.5 Caracterização da água bruta, da água de lavagem de filtros, dos sobrenadantes e do sedimentado obtido nos ensaios de sedimentação no cone de Imhoff. 126
4.6 Caracterização da água decantada, da água de descarga dos decantadores e dos sobrenadantes obtidos nos ensaios de sedimentação no Cone de Imhof, (2006)..... 128
4.7 Volume de água de lavagem de filtros para os anos de 2004 e 2005..... 131
4.8 Volume de descarga e de lavagem dos floculadores da ETA de Gravatá..... 132
4.9 Volume de descarga e de lavagem dos decantadores da ETA de Gravatá ano 2004 a 2006..... 132
4.10 Dados operacionais mensais referentes ao volume consumido na ETA de Gravatá... 140
4.11 Cálculo dos indicadores econômicos para o empreendimento da alternativa 1..... 158
4.12 Cálculo dos indicadores econômicos para o empreendimento da alternativa 2..... 159
4.13 Cálculo dos indicadores econômicos para o empreendimento da Alternativa 3..... 160

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

ABES- Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba

ADD – Água de Descarga de Decantadores

ALF - Água de Lavagem de Filtros

APHA - American Public Health Association

AWWA - American Water Works Association

CAGEPA – Companhia de Água e Esgoto da Paraíba

CAPES- Coordenação de Aperfeiçoamento de Ensino Superior

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra Secas

EEAB – Estação Elevatória de Água Bruta

EEAT – Estação Elevatória de Água Tratada

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LD – *Lodo de Decantador*

LETA - Lodo de Estação de Tratamento de Água

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NBR – *Norma Brasileira*

PMCG- Prefeitura Municipal de Campina Grande

PNCDA- Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água

SABESP- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SEMARH – Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais do Estado da Paraíba

SEDU/PR - Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República

STAL – Sistema de Tratamento de Água de Lavagem

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre o Saneamento

SGA - Sistema de Gestão Ambiental

THMs - Trihalometanos

USEPA - United States Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

Resumo vii
Abstrato ix
Lista de figuras x
Lista de quadros xii
Lista de tabelas xiii
Abreviaturas xiv

Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Introdução 1
1.2 Justificativa do estudo 6
1.3 O problema da pesquisa 7
1.4 Objetivos 9
1.4.1 Objetivo Geral 9
1.4.2 Objetivos Específicos 9

Capítulo 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estação de Tratamento de Água ETA 10
2.2 Caracterização do processo de produção de água potável 11
2.2.1 Aplicação de produtos químicos no processo de tratamento de água 13
2.3 Gestão nos sistemas de tratamento de água 15
2.4 Considerações sobre perdas em sistema de abastecimento de água 18
2.4.1 Perdas no processo de tratamento de água – ETA 20
2.4.2 Causa e magnitude das perdas na ETA 21
2.4.3 Controle de perdas no processo tratamento de água 21
2.5 Sistema de medição do volume de água na ETA 24
2.5.1 Medidores de vazão em ETAs 26
2.6 Geração de resíduos no processo de tratamento de água 27
2.6.1 Origem dos resíduos de ETA de ciclo completo 27
2.6.2 Característica qualitativa dos resíduos de ETAs 29
2.6.3 Característica quantitativa dos resíduos de ETAs 31
2.7 Influência do processo operacional com as características dos resíduos e as perdas de água na ETA 33
2.7.1 Operação de descarga e limpeza dos decantadores 33
2.7.2 Operação de lavagem dos filtros 35
2.7.3 Influência do tipo de produtos químicos com geração de resíduos 37
2.8 Reaproveitamento de água ou reuso 39
2.9 Reaproveitamento da água de lavagem em ETAs 40
2.9.1 Reaproveitamento da água de lavagem dos filtros 41
2.9.2 Reaproveitamento da água de lavagem dos decantadores e floculadores 44
2.10 Métodos de remoção e tratamento de água no lodo de ETA para reuso 45
2.10.1 Métodos mecânicos para de remoção de água no lodo 48
2.10.2 Métodos naturais para de remoção de água do lodo 49
2.11 Aproveitamento e disposição final dos resíduos sólidos de ETAs 52
2.12 Estudos desenvolvidos e experiências de ETAs brasileiras com reaproveitamento dos seus resíduos 55
2.13 Impactos ambientais decorrentes das atividades de ETAs 57
2.14 Preservação e conservação dos recursos hídricos 59
2.15 Aspectos legais pertinentes às ações de ETAs 60

2.16 Aspectos político-institucionais 63
2.16.1 Outorga pelo uso da água 63
2.16.2 Cobrança do uso da água e principio "poluidor-pagador" 64
2.17 Aspectos metodológicos de viabilidade técnica, econômica e ambiental no reaproveitamento da água de lavagem 66
2.17.1 Metodologia de determinação da viabilidade técnica 67
2.17.2 Metodologias de determinação da viabilidade econômica 70
2.17.3 Metodologia para determinação da viabilidade ambiental 76
2.18 Fundamentos teóricos da metodologia de análise multicriterial 78
2.18.1 Aplicação de motodos multicriterio ao setor de saneamento 79
2.18.2 Método de análise multicriterial concebido 80

Capítulo 3 – MATERIAIS E MÉTODOS
3.1 Identificação e caracterização do objeto em estudo 83
3.1.1 Manancial 83
3.1.2 Período de escassez hídrica no manancial 85
3.1.3 Captação 86
3.1.4 Caracterização do município de Campina Grande/PB 87
3.1.5 Descrição da Estação de Tratamento de Água de Gravatá – Boqueirão/PB 87
3.1.5.1 Características físicas das unidades de tratamento da ETA 88
3.1.6 Processo de tratamento na ETA de Gravatá 90
3.1.7 Operação de lavagem dos filtros da ETA de Gravatá 93
3.1.8 Operação de descarga e lavagem dos decantadores da ETA de Gravatá 93
3.2 Disponibilidade hídrica do manancial de abastecimento da ETA 95
3.3 Procedimentos metodológico 96
3.3.1 Análises dos efluentes descataveis 96
3.3.2 Ensaio de clarificação da água de lavagem 96
3.4 Formulação das alternativas propostas para o reaproveitamento de água de lavagem 97
3.5 Procedimentos para projeto e construção do sistema de tratamento de água de lavagem (para as alternativas 1, 2 e 3) 100
3.5.1 Levantamento topográfico e cadastral da área da ETA 100
3.5.2 Procedimento e métodos para estimativa de produção dos resíduos de filtros e decantadores 100
3.5.3 Dimensionamento das unidades do projeto piloto do sistema de tratamento de água de lavagem 101
3.6 Levantamento de custos e benefícios das alternativas propostas (1, 2 e 3) 102
3.7 Análise comparativa das alternativas 102
3.8 Verificação de viabilidade técnica, econômica e ambiental das alternativas selecionadas 102
3.9 Aplicação do método multicriterial 108
3.9.1 Definição dos objetivos, critérios, categorias e especificações a serem considerados na análise multicriterial 108

Capítulo 4 - RESULTADOS E DISCUSSAO
4.1 Introdução 111
4.2 Disponibilidade hídrica do manancial 112
4.2.1 Levantamento de dados históricos de volume de armazenamento do manancial 112
4.3 Relação entre o volume armazenado no manancial e a qualidade da água bruta 114

4.4	Monitoramento da qualidade da água na ETA de Gravatá/PB	119
4.4.1	Relação da qualidade da água bruta com o reaproveitamento da água de lavagem	120
4.5	Caracterização qualitativa dos efluentes descartáveis na ETA	123
4.5.1	Resultados das análises físico-químicas das águas de lavagem dos filtros	123
4.5.2	Características das águas de lavagem dos filtros clarificadas por sedimentação	125
4.5.3	Resultados das análises físico-químicos das águas de descargas e lavagens dos decantadores	127
4.6	Projeto e implantação do sistema de tratamento de água de lavagem de ETA	129
4.6.1	Disponibilidade de área na ETA para implantação do sistema	129
4.6.2	Estimativa de volume de água de lavagem para o dimensionamento das unidades do Projeto Piloto do sistema de reaproveitamento	130
4.7	Avaliação das perdas de água no processo de tratamento	138
4.8	Quantificação do volume de lodo gerado no processo de tratamento de água	141
4.9	Dimensionamento das unidades do projeto-piloto	143
4.9.1	Dimensionamento do projeto-piloto do sedimentador	143
4.9.2	Dimensionamento do projeto-piloto do leito de secagem	145
4.9.3	Dimensionamento do projeto-piloto das lagoas de lodo	147
4.10	Resultado da análise comparativa entre alternativas	148
4.11	Viabilidade econômica, técnica e ambiental do projeto-piloto do STAL	149
4.11.1	Análise de viabilidade técnica	149
4.11.1.1	Verificação da viabilidade técnica das alternativas	151
4.11.2	Análise da viabilidade econômica	152
4.11.2.1	Estimativa de custos do projeto-piloto das alternativas propostas	152
4.11.2.2	Estimativas dos benefícios com o reaproveitamento de água de lavagem	155
4.11.2.3	Verificação da viabilidade econômica das alternativas	157
4.11.3	Avaliação ambiental dos possíveis impactos gerados pela ETA	162
4.11.3.1	Verificação de viabilidade ambiental com reaproveitamento da água de lavagem	165
4.11.4	Avaliação ambiental a partir de avaliação de riscos ambientais	166
4.12	Aplicação do modelo de análise multicriterial desenvolvido	167
4.12.1	Resultados da análise multicriterial	167
4.12.2	Seleção das alternativas por simulação do modelo multicriterial	169

Capítulo 5 – CONCLUÇÕES E RECOMENDAÇÕES 172

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA 177

ANEXOS 186

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

A situação de escassez dos recursos hídricos, agora tratados sob a ótica da não renovação, tem sido motivo para crescentes preocupações dos governos. Nesse sentido, aumenta a consciência sobre a importância de proteção e gerenciamento da água, o que tem levado os gestores a buscar o desenvolvimento de alternativas para solucionar os problemas das perdas de água em sistemas de abastecimento, fazendo com que o aumento da demanda pelo uso da água e a conseqüente implantação de novos sistemas venham a estar associados a um programa de combate incisivo ao desperdício.

A água destinada ao consumo humano deve atender ao padrão de potabilidade estabelecido em normas. Para atingir esse padrão, são envolvidos, no sistema de abastecimento, custos de investimentos e custos de exploração. O custo dos serviços de abastecimentos de água é função do custo da compra da água a montante (água bruta), do custo do capital relativo às infra-estruturas de abastecimento de água, do custo de operação, manutenção e conservação do sistema, bem como dos custos da gestão e administração dos serviços. Sob esta ótica, as empresas que gerenciam o abastecimento público de água devem estar conscientes das perdas que ocorrem ao longo dos processos unitários e devem implantar um estado de controle rígido, com vistas a minimizar estas perdas. Assim, é necessário que os responsáveis pelo tratamento de água estejam cientes do funcionamento do sistema como um todo, para que a relação custo/benefício seja a menor possível.

As perdas nos sistemas de abastecimento geram prejuízos de ordem ambiental, pela exploração irrestrita e irresponsável de mananciais cada vez mais escassos, e de ordem social, pela negação à população do acesso à água de qualidade e em quantidade suficiente para atendimento de suas necessidades. Associados a esta problemática, estão os prejuízos financeiros da companhia, que reprimem o crescimento, onerando os cofres públicos, com subsídios para cobrir déficits orçamentários, e impedindo investimentos na ampliação, manutenção e no controle operacional de seus sistemas (TSUTIYA, 2004).

Segundo Viegas et al. (2005), as perdas de água em um sistema de abastecimento revelam uma triste realidade, comprovando a inexistência de compromisso

profissional e competência gerencial de muitos dirigentes públicos. Nesse contexto, a redução das perdas de água passa a ser uma preocupação constante das empresas de saneamento. Essa preocupação não está somente relacionada ao aspecto perda de um bem de valor econômico, mas a possíveis alterações do comportamento hidráulico da rede para situações que não são previstas em projetos, incluindo-se o impacto de transientes hidráulicos, alterações de qualidade da água e aumento de custos de operação.

Coelho (2001) apresenta o foco ambiental e social das perdas, definindo o uso eficiente da água como qualquer ação destinada à redução e prevenção de perdas de água em benefício da sociedade, salientando que a preservação dos recursos hídricos é ambiental e socialmente importante para o desenvolvimento sustentável.

O setor de saneamento registra perdas preocupantes que variam de 20 a 75% (SNIS, 2005), devido a perdas comerciais e técnicas, falta de especialização dos profissionais das empresas de saneamento e do grau de obsolescência dos equipamentos. De acordo com os dados do SNIS (Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento) divulgados pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) em 2005, o Brasil perde 44,81% da água distribuída em relação à água captada. A região Nordeste do Brasil, por exemplo, produziu em torno de 2.000 milhões de m^3 de água no ano de 2002, deixando de faturar 45% desse volume. A região Norte, por sua vez, no mesmo período deixou de faturar 54% do volume de água produzida. O não faturamento da água, mesmo abundante e de exploração barata, implica no desperdício de recursos humanos, financeiros e ambientais importantes. Aliás, resulta no desperdício de um bem finito, dotado de valor econômico (Brasil, 2004). Em experiência internacional, pesquisas revelam que os índices de perdas em sistema de abastecimento de água variam com valores entre 7 a 20% nos países como Canadá, Japão, Inglaterra, Chile, EUA e de 36% em Peru e Argentina, que estão abaixo da média do Brasil.

O Brasil produz, anualmente, 12,6 bilhões de metros cúbicos de água para sistemas de abastecimento. Segundo dados do Ministério das Cidades, o país só fatura, no entanto, 7,6 bilhões de metros cúbicos (BIO, 2006), ou seja, 4,9 bilhões de metros cúbicos de água são desperdiçados entre as estações de tratamento e a torneira do consumidor final por diversos problemas, sendo que os principais são as perdas operacionais, sejam de faturamento ou físicas. As perdas de água em Estações de Tratamento de Água (ETAs) podem estar associadas basicamente aos volumes operacionais gastos no processo de tratamento e lançados no corpo receptor, sem reaproveitamento, volumes operacionais

excedentes àquele estritamente necessário à boa operação da ETA e volumes devidos a vazamentos (MACKA et al., 2004).

Especialistas estimam que o processo de tratamento de água numa ETA seja responsável por, aproximadamente, 5% de perdas de água, dado, aliás, dificilmente medido pela empresa responsável pelo serviço de abastecimento (PARSEKIAN, 1998). Daí a importância do reaproveitamento da água de lavagem dos filtros, após sua clarificação, pois este contribui para o atendimento da crescente demanda de água e para a diminuição do volume de despejo, que será tratado e/ou enviado para a disposição final. Segundo Ferreira Filho e Além Sobrinho (1998), o controle de perdas nos sistemas público de abastecimento de água deve iniciar na fábrica do produto – ETA, porém esse controle não é uma atividade isolada, pois envolve tanto a diminuição do volume de água gasto na operação do processo quanto no tratamento dos resíduos sólidos e líquidos gerados no tratamento.

A Estação de Tratamento de Água – ETA é composta por unidades fundamentais para garantir que a qualidade da água de abastecimento seja compatível com o seu uso. Para transformar água bruta em água tratada, conforme a legislação vigente, são utilizados processos e operações que se interligam de maneira semelhante à técnica produtiva industrial. A grande maioria dessas indústrias funciona de maneira considerada hoje tradicional ou convencional e isso requer um estudo de formas mais adequadas para o seu funcionamento. O projeto e as condições operacionais podem levar a desperdícios e perdas de água no processo, perdas de produtos químicos, perdas de energia elétrica, além provocar impactos ambientais.

No Brasil, segundo Parsekian (1998), existem, aproximadamente, 7.500 ETAs e a maioria utiliza o processo convencional ou de ciclo completo de tratamento, combinação dos processos coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção. O processo utilizado nessas estações assemelha-se a qualquer processo industrial; a matéria prima (água bruta) recebe produtos químicos (coagulantes, cal, cloro etc.) e através de operações e processos se transforma em água potável. Como todo processo industrial de transformação de matéria prima, pode produzir resíduos em diversas etapas, o processo produtível de água potável também gera resíduos que dependem de vários fatores, relacionados à matéria-prima (qualidade da água bruta), aos produtos químicos adicionados, aos métodos de limpezas de lavagem dos decantadores e dos filtros, às condições de operação etc.

Os resíduos gerados com as descargas dos decantadores representam uma parcela relativamente pequena do volume de água tratada, com quantidade elevada de sólidos. Nos tanques de preparação e armazenamento de produtos químicos, os resíduos são produzidos por ocasião das lavagens em volumes não significativos. Já os resíduos provenientes das lavagens dos filtros representam a maior quantidade de rejeito produzido numa ETA convencional que correspondem de 1 a 5 % do volume de água tratado diariamente. Em termos de perdas, segundo Cornwell (1987), a lavagem de filtros pode representar uma perda de 2% a 5% do volume de água produzido numa ETA.

A produção de resíduos representa um sério problema para as instituições que gerenciam os sistemas de tratamento de água, considerando que, no Brasil, existem restrições para seu lançamento na natureza, conforme leis federais (Resolução CONAMA nº 357 Brasil, março de 2005; Norma NBR 10.004, ABNT, 2004; Lei nº 9.433 Brasil, 1997; Lei nº 9.605, 1998 além de diversas leis estaduais). Apesar das leis ambientais irem contra o lançamento dos resíduos de ETAs no meio ambiente, ela continua sendo utilizada por ser a solução mais econômica e, também, devido à falta de uma fiscalização maior pelos órgãos ambientais.

Uma das formas de reduzir a quantidade de resíduos gerados no processo de tratamento e minimizar o problema das perdas é o reaproveitamento das águas de lavagens dos filtros e decantadores. O reaproveitamento da água de lavagem em ETAs pode trazer muitas vantagens para o sistema, pois representa uma parcela considerável de água aduzida que não será descartada. A utilização benéfica do reaproveitamento pode ser considerada uma oportunidade para aumentar a receita das empresas de saneamento, mas, principalmente, reduzir custos e impactos ambientais. A viabilidade econômica do reaproveitamento desse resíduo tem tornado uma solução muito difundida (CORNWELL e LEE, 1994; FERREIRA FILHO e ALÉM SOBRINHO, 1998). Entretanto, um dos grandes desafios é a busca de alternativas econômicas e tecnicamente viáveis, bem como ambientalmente vantajosas de reaproveitamento da água de lavagem e destinação final dos resíduos de ETA.

Para Ferreira Filho & Laje Filho (1999), existe hoje um sentimento crescente ligado às leis ambientais, que tende a exigir maiores cuidados com a disposição do lodo de tratamento e dos demais resíduos do processo de potabilização da água. Os custos decorrentes destes cuidados, dependentes que são das quantidades descartadas, tornam cada vez mais viável e justificável o aprimoramento dos processos e a minimização dos descartes.

A recuperação da água de lavagem é realizada por meio de métodos de tratamento da água de lavagem e desaguamento do lodo, de forma a garantir com segurança o seu reuso. A utilização dessa técnica pode trazer muitos benefícios para o sistema tais como: a recuperação de um recurso, água, e a redução dos resíduos sólidos a serem tratados e dispostos no meio ambiente (AWWA, 1999; EPA, 2001; CORDEIRO, 2001).

Uma análise econômica, confrontando o custo despendido com a água perdida e o investimento na recuperação desta, revela a viabilidade econômica, do ponto de vista da relação custo/benefício, de se implantar medidas alternativas de controle, visando à diminuição de perdas. A redução das perdas permite diminuir os custos de produção, mediante redução do consumo de energia, de produtos químicos e outros, bem como a utilização das instalações existentes para aumentar a oferta, sem expansão do sistema produtor.

Diante do aumento constante dos problemas de escassez hídrica e custos elevadíssimos para produção de água potável, que contribuem em uma série de problemas de abastecimento de água, é necessário um planejamento, o uso de alternativas de gerenciamento nos recursos hídricos, e que os mesmos sejam utilizados de forma racional.

O Brasil é um país privilegiado por apresentar 14% de toda a água doce do planeta, porém existem problemas de escassez, pelo fato da distribuição dessa água ser de forma irregular. Quando associado ao mau uso, essa distribuição irregular agrava mais ainda os problemas de abastecimento em seus centros urbanos. Fatos como esses são mais freqüentes na região nordeste do país, que em maior parte do ano apresenta períodos de estiagem. Devendo citar aqui, a crise que ocorreu no sistema de abastecimento de água na cidade de Campina Grande -PB entre 1998-2000, período críticos de estiagem em que o manancial que abastece a cidade, açude Epitácio Pessoa, chegou a atingir 15% de sua capacidade. Este fato levou a companhia responsável pelo abastecimento da cidade, CAGEPA, a adotar medidas de racionamento e aplicar alternativa de reaproveitamento de água de lavagem dos filtros.

Nesse sentido, este trabalho volta-se para a ETA de Gravatá, localizada no município de Boqueirão, distante 20,4 km de Campina Grande - PB, responsável pelo tratamento da água do açude Epitácio Pessoa, que abastece a cidade de Campina Grande – Paraíba e municípios vizinhos, visando à redução de perdas na ETA de Gravatá, tendo como alternativa o reaproveitamento das águas de lavagem de processo. A partir do projeto-piloto de alternativas propostas realizou-se estudo de viabilidade técnica,

UFCG/BIBLIOTECA

econômica e ambiental com intuito de avaliar o retorno do investimento, a funcionalidade e eficiência da tecnologia aplicada assim como a conservação dos recursos hídricos e preservação do meio ambiente.

1.2. Justificativa do estudo

A reciclagem ou reuso de água não é um conceito novo na história do planeta. A natureza, por meio do ciclo hidrológico, vem reciclando e reutilizando a água há milhões de anos. O reaproveitamento de água passou a ser utilizado, com mais freqüência, na década de 80 do século XX, quando as águas de abastecimento foram se tornando cada vez mais caras, onerando o produto final no processo de produção. Como o preço do produto, ao lado de sua qualidade, é fator determinante para o sucesso de uma empresa, passou-se, então, a procurar a solução para o problema, reaproveitando o máximo de seus efluentes, visando à redução dos custos de produção.

Os sistemas de abastecimento de água têm sido analisados de maneira restrita, o que impede que se análise o problema do tratamento de água de forma integrada. Desta forma, muitos problemas decorrentes das operações e processos não são levados em consideração e equacionados corretamente. A demanda por maior responsabilidade social e ecológica, a pressão dos órgãos ambientais e os custos de produção têm levado as empresas a adotar estratégias ambientais preventivas, desenvolver novas tecnologias e melhorar as existentes para que possam gerar um diferencial competitivo, por exemplo: o destino final dos resíduos gerados em estações de tratamento de águas é um problema de ordem ambiental. Esses resíduos têm sido dispostos em cursos d'água mais próximos das ETAs, contrariando a legislação vigente. Pela NBR 10.004, os lodos são classificados como "resíduos sólidos", portanto, devem ser tratados e dispostos conforme exigência dos órgãos reguladores. O equacionamento dessa questão deve ser realizado conhecendo-se as características desse resíduo, o provável impacto que o mesmo pode causar ao meio ambiente, os mecanismos de redução de volume e os métodos prováveis de disposição.

Nessa direção, uma das grandes dificuldades na escolha de alternativas de engenharia que contemplem o tratamento de despejos gerados em ETAs é a escassez de dados e de bibliografia nacional a respeito do assunto, basicamente porque, no Brasil, poucas ETAs têm apresentado soluções que objetivem a minimização da quantidade de despejos gerados, o seu tratamento com reaproveitamento e sua disposição final.

Sabe-se, também, que o processo de redução e controle de perdas exige medidas de intervenções imediatas, destinadas a obter resultados positivos factíveis em curto prazo, e que deve prever um conjunto suplementar de ações voltadas à eliminação ou atenuação das causas de ocorrência de perdas.

Qualquer conjunto de ações a executar em sistema de saneamento, visando melhorar sua eficiência em termos de redução das perdas de água e conseqüentemente energia, necessita de estudos técnico, econômico e ambiental para verificar sua viabilidade. A viabilidade técnica e ambiental das ações físicas e operacionais, com vistas a melhorar a eficiência dos sistemas no setor de saneamento são necessárias, mas não suficientes. É imprescindível que haja um estudo de viabilidade econômica, já que os custos envolvidos nos projetos de engenharia são bastante elevados. Os recursos naturais e financeiros à disposição de novos projetos são cada vez mais escassos, o que torna imperativa a necessidade de análise das melhores alternativas de projetos, que minimizem os custos de implantação e operação, sem comprometimento dos aspectos técnicos, sociais e ambientais (GOMES, 2005).

Considerando este contexto, a presente pesquisa enfocará uma visão industrial na estação de tratamento de água de abastecimento, levando em consideração, especificamente, os problemas de perdas de água e dos resíduos gerados na ETA, assim como avaliando a possibilidade de reaproveitamento das águas de lavagem do processo de tratamento da ETA de Gravatá-PB. Portanto, a pesquisa em questão tem como proposta adotar alternativas para o reaproveitamento das águas de lavagem na ETA visando a redução de perdas. Para isso, as alternativas adotadas serão submetidas a uma análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental, cujo resultado, dará suporte ao gestor para tomada de decisão com sustentabilidade, para melhorar a visão gerencial da concessionária de água, em relação ao volume de água perdido diariamente na ETA, otimizando sua saúde financeira, bem como benefícios ambientais e sociais.

1.3 O problema da pesquisa

Apesar dos avanços tecnológicos em defesa do meio ambiente, pouco se evoluiu em escala real, no que diz respeito a estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental eficiente, direcionado ao reaproveitamento da água de lavagem para a redução de perdas existente nas ETAs. Os poucos dados existentes no Brasil ainda estão dispersos o que dificultam as ações nesse campo. Além disso, não existe, por parte da grande maioria dos

técnicos envolvidos no setor, conscientização efetiva sobre a importância do assunto. Em razão disso, torna-se oportuno questionar: Como o estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental pode contribuir para a redução de perdas em ETAs a partir do reaproveitamento das suas águas de lavagens? Para isso, é de fundamental importância o desenvolvimento e aprimoramento de estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental de projetos voltados para solucionar essa questão. Há necessidade de se proporem alternativas que permitam aos órgãos gestores dos sistemas de abastecimento, efetuar uma análise mais acurada das diversas instalações do processo de tratamento, para melhor alocar as verbas de ampliação e os recursos humanos disponíveis.

Como resposta a essa pergunta, por meio da utilização de um sistema de tratamento e reaproveitamento das águas de lavagens da ETA, é possível reduzir o volume de água captado e minimizar os impactos provocados pelo lançamento dos efluentes da ETA no meio ambiente.

Independentemente do resultado obtido, nesse estudo de viabilidade, serão considerados os fatores seguintes:

- disponibilidade hídrica;
- tecnologia disponível de reaproveitamento de água de lavagem de ETAs;
- aspecto ambiental do corpo receptor;
- custos de reaproveitamento das águas de lavagem; e
- benefícios adicionais da água no reaproveitamento.

Considerando a ETA objeto desta pesquisa, quanto ao item do reaproveitamento dos resíduos, e observando os fatores referenciados acima, como contribuição científica, faz-se oportuno sinalizar em caráter de hipótese de tese a instalação de um sistema de tratamento e recuperação de água de lavagem na ETA de Gravatá, a qual se encontra em uma região de clima semi-árido, com disponibilidade hídrica limitada para abastecimento da cidade de Campina Grande - PB. Uma vez implantado, poderá dá maior segurança na qualidade da água que retornará no processo de tratamento. E que essa contribuição científica proporcionará benefícios tanto para prestadores de serviço quanto para toda sociedade.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Verificar a viabilidade técnica, econômica e ambiental de alternativas técnicas para o reaproveitamento das águas de lavagens provenientes das ETAs a partir da redução do volume de resíduos gerados e do volume de água perdido na ETA.

1.4.2 Objetivos específicos

- Conhecer as condições atuais de operação da Estação de Tratamento de Água que abastece a cidade de Campina Grande - Paraíba (ETA de Gravatá) e desenvolver uma metodologia que possa propor mudanças das rotinas atualmente empregadas no processo de tratamento, visando à redução dos volumes de água perdido;

- Caracterizar a água de lavagem dos filtros e decantadores, considerando sua qualidade, no que tange ao reaproveitamento desta, e também a viabilidade de tratamento da água de lavagem, com o objetivo de reduzir o volume de resíduos produzidos e do volume de água perdido;

- Alertar para as possíveis medidas que podem e devem ser tomadas no sentido de minimizar os impactos ambientais causados pela disposição no meio ambiente dos resíduos gerados no processo de tratamento de água, a partir do estudo das diversas tecnologias disponíveis;

- Propor alternativa de implantação e instalação de um sistema de tratamento e recuperação das águas de lavagem;

- Estimar os custos e benefícios com intuito de avaliar a viabilidade econômica no reaproveitamento de água de lavagem da ETA, e revelar a viabilidade econômica, através de métodos de avaliação econômica;

- Verificar a viabilidade técnica por meio da funcionalidade e eficiência da tecnologia aplicada no reaproveitamento da água de lavagem e;

- Verificação da viabilidade ambiental no reaproveitamento de água de lavagem, através de avaliação dos impactos ambientais gerados pelos efluentes da ETA.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Estação de Tratamento de Água - ETA

A Estação de Tratamento de Água (ETA) é composta por unidades fundamentais para garantir que a qualidade da água atendam as exigências de padrões de potabilidade vigentes com o seu uso. Para transformar água bruta em água tratada, conforme a legislação vigente, são utilizados processos e operações que se interligam de maneira semelhante à técnica produtiva industrial. A grande maioria das ETAs funciona de maneira considerada hoje tradicional ou convencional (coagulação, floculação, decantação, filtração) e isso requer um estudo de formas mais adequadas para o seu funcionamento.

Assim como todo processo industrial de transformação de matéria prima pode produzir resíduos em diversas etapas, a produção de água potável também gera resíduos cuja quantidade e qualidade dependem de vários fatores, como aqueles relacionados à matéria-prima (qualidade da água bruta), aos produtos químicos adicionados, aos métodos de descargas e limpeza dos decantadores e dos filtros, às condições de operação etc. No caso das ETAs, os resíduos, chamados de lodos, podem ser tóxicos ao homem e ao meio ambiente, principalmente pela presença de hidróxidos metálicos e devem receber cuidados quanto a sua disposição.

Segundo Parkesian (1998) e Cordeiro (2001), no Brasil existem próximo de 7.500 estações de tratamento de água de ciclo completo ou convencional com as mais diversas capacidades de tratamento, constituindo-se talvez na maior indústria em relação ao número de pessoas envolvidas direta ou indiretamente em seu sistema produtivo.

As estações tradicionais ou de ciclo completo são definidas pelos processos de coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, apresentado um bom grau de eficiência na remoção de cor, turbidez e possíveis contaminantes. Entretanto, esse sistema, em quase sua totalidade, ainda lança seus resíduos, sem nenhum tratamento, nos corpos receptores mais próximos da ETA. A Figura 2.1 ilustra o fluxograma do modelo geral de entrada e saída do processo produtivo de água potável em uma ETA convencional.

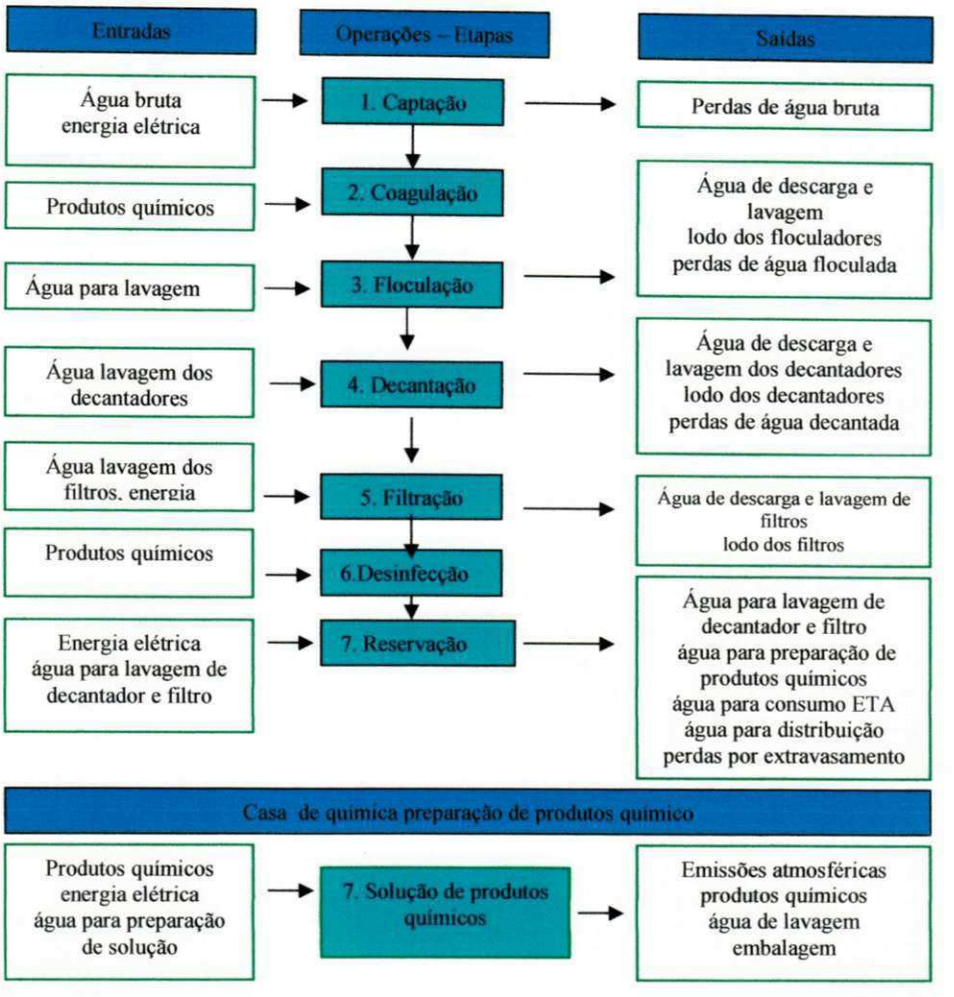


Figura 2.1 - Fluxograma do processo produtivo de água potável em ETA

2.2 - Caracterização do processo de produção de água potável

De acordo com Azevedo Netto et al. (1987), o processo de tratamento de água para abastecimento público tem as seguintes finalidades básicas: higiênicas – eliminação ou redução de bactérias, substâncias venenosas, mineralização excessivas, teor excessivo de matéria orgânica, algas, protozoários e outros microrganismos; estéticas – redução de cor, turbidez, dureza, odor e sabor e, econômicas – remoção ou redução de dureza, corrosividade, cor, turbidez, odor, ferro manganês e sabor.

Através das operações e processos de uma estação de tratamento convencional ou de ciclo completo, a água bruta é captada em mananciais superficiais e encaminhada, através de adutoras, até a estação de tratamento de água, onde a ela são adicionados produtos químicos com o objetivo de alterar sua qualidade para adequação ao consumo

humano quanto aos aspectos sanitários, estéticos e econômicos. A tecnologia e o grau de tratamento requeridos, para tratar uma determinada água, variam em função da qualidade da água bruta, da finalidade do uso, seja para fins de consumo humano ou para as aplicações nos diversos setores produtivos que demandem água de boa qualidade.

Segundo Di Bernardo (1993), as Estações de Tratamento de Águas (ETAs) que utilizam o tratamento convencional fazem usos dos seguintes processos unitários:

• **Processo de Coagulação** – Os processos de coagulação química são comumente aplicados em ETAs para promover a agregação de substâncias dissolvidas e de partículas maiores que podem ser removidas por sedimentação e/ou filtração. A coagulação química tem papel importante na clarificação da água, pois dela depende a eficiência das operações subseqüentes.

A coagulação depende fundamentalmente das características da água e das impurezas presentes, conhecidas por meio de parâmetros como pH, alcalinidade, cor, turbidez, temperatura, potencial zeta, condutividade elétrica, tamanho e distribuição de tamanhos de partículas em estado coloidal e em suspensão, etc. O processo de coagulação é muito rápido, variando desde décimo a cerca de 100 segundos, dependendo do pH, temperatura e quantidade de impurezas presente.

• **Processo de floculação** – A água coagulada é submetida à agitação lenta durante um período de tempo até que os flocos alcancem tamanho e massa especifica suficientes para que sejam removidos por sedimentação nos decantadores ou por flotação nos flotadores. A floculação pode ser utilizada em unidades mecanizadas ou hidráulicas.

• **Processo de sedimentação** – Após a formação dos flocos, é necessária a sua remoção por meio de operação realizada nos decantadores, unidades onde ocorre o processo de separação das fases sólido-líquido. Os sólidos se sedimentam, em decorrência da ação da gravidade, e são retidos no fundo do decantador por um período de tempo que pode variar de dias até meses, dependendo do sistema de descarga adotado. A ocorrência da sedimentação das partículas suspensas propicia clarificação do meio líquido, ou seja, separação das fases líquida e sólida.

• **Processo de filtração** - Consiste em fazer a água atravessar uma camada de material poroso, após a passagem da água em um leito de areia, remove-se boa parte da

matéria em suspensão e coloidal, alguns componentes químicos são alterados e até número de microrganismos é reduzido.

Num filtro lento de areia, a maior parte da ação filtrante ocorre numa camada delgada de areia e de material depositado próximo ou na superfície do filtro. Em um filtro rápido de areia, a mesma ação filtrante ocorre em todo o leito de areia, sendo que a maior parcela da ação filtrante ocorre na parte superior do filtro. O filtro rápido é formado de uma camada de areia, e pode ainda possuir uma outra camada de um meio poroso mais grosso e menos denso, como o antracito, que é colocado sobre a areia, o que permite taxas de filtrações ainda maiores (Azevedo Netto, et al., 1987).

Tanto no filtro lento como no rápido, mas especialmente no filtro lento de areia, existe uma camada gelatinosa, denominada *schmutzdecke*, na qual as atividades envolvidas no processo de filtração, a filtração mecânica, a sedimentação e adsorção, os efeitos elétricos e as alterações biológicas ocorrem de maneira mais significante.

• **Processo de desinfecção** – A desinfecção no processo de tratamento tem por objetivo a destruição dos microrganismos patogênicos ou não presentes na água, incluindo bactérias, protozoários e vírus, além de algas. A desinfecção não destrói todas as formas vivas e tampouco elimina todos os organismos patogênicos. Embora existam várias técnicas de desinfecção (ozônio, ultravioleta, eletrolítico), o cloro (em suas diversas formas) é o desinfetante mais usado nas estações de tratamento de água, uma vez que o cloro apresenta vantagem no custo e na sua aplicação. Nas últimas décadas e atualmente, tem crescido o interesse pelo uso de desinfetantes alternativos, em decorrência dos riscos da formação de subprodutos provenientes da cloração da água, como os trialometanos, ácidos haloacéticos, halopicrinas, haloacetonitrilas, halocetonas, aldeídos, etc., compostos halogenados que podem causar riscos à saúde pública e verificados quando o cloro livre está presente e a água contém os chamados precursores, normalmente matéria orgânica natural.

2.2.1 - Aplicação de produtos químicos no processo de tratamento de água

A seleção de produtos químicos, numa estação de tratamento, em conjunto com a otimização em laboratório dos parâmetros físicos de mistura rápida, floculação e decantação podem proporcionar a melhoria da qualidade da água tratada e /ou o aumento de vazão. Para isso é importante o conhecimento da qualidade da água bruta nos últimos

anos, das características das unidades existentes na estação, da vazão atual ou da vazão com a qual se pretende trabalhar.

A coagulação e a floculação são sensíveis a diversas variáveis, a exemplo da natureza das substâncias produtoras da turbidez, do tipo e dosagem do coagulante, do pH da água, e outros. Dentre as variáveis que podem ser controladas na operação de uma estação de tratamento, o ajuste de pH parece ser mais importante. Geralmente, o tipo de coagulante e auxiliar de coagulação a serem usados são definidos pelo esquema de processo da estação, por fatores econômicos e pelas características da água. As dosagens dos coagulantes e auxiliares devem ser reguladas para atender às variações diárias que há na qualidade da água bruta, principalmente daquelas oriundas dos rios.

Com o valor da vazão atual e da pretendida e, em função do tipo de processo de tratamento de água, é possível programar ensaios de laboratório em aparelhos tipo "Jar test" com o propósito de se pesquisarem os gradientes de velocidade, tempos de agitação e velocidade de sedimentação mais conveniente. A interpretação dos resultados dos testes envolve testes visuais e químicos da água clarificada. Em geral, o funcionamento de uma ETA fornece melhores resultados que um teste de floculação para as mesmas dosagens químicas. Para confirmar as dosagens ótimas, a água deve ser analisada nos diversos estágios do processo, incluindo o produto final. Uma técnica de controle comum é a análise da água filtrada com relação à turbidez; outra é a observação do período de tempo entre o início e o fim de cada carreira de filtração.

O sulfato de alumínio, $Al_2(SO_4)_3.14H_2O$, é o mais utilizado entre os coagulantes. O sulfato de alumínio é um sólido cristalizado, de cor branca-acinzentada, contendo, aproximadamente, 17% de Al_2O_3 solúvel em água, e é disponível em pedras ou em pó, bem como em soluções concentradas. O sulfato de alumínio em pedra é, geralmente, pesado em aparelhos gravimétricos, enviado para um tanque de solução do qual é conduzido ao ponto de aplicação por meio de uma bomba. O sulfato de alumínio líquido, em cor de âmbar, contém cerca de 8% de Al_2O_3 disponível. A hidrólise do íon de sulfato de alumínio em solução é complexa e não é completamente definida. Em água pura, com pH baixo, a maior parte do alumínio aparece em forma de Al^{+++}, enquanto que, nas soluções alcalinas, os complexos aparecem como $Al(OH)^{-4}$ e $Al(OH)^{-5}$. Nas equações hipotéticas de coagulação, o floco de alumínio é representado por $Al(OH)_3$. Esta é a forma predominante encontrada numa solução diluída com pH perto da neutralidade, na ausência de íons complexos, com exceção do hidróxido.

Na água o $Al_2(SO_4)_3\ 14H_2O$ reage com a alcalinidade natural formando $Al(OH)_3$ segundo a Equação 2.1:

$$Al_2(SO_4)_3\ 14H_2O + 3Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 3CaSO_4 + 2Al(OH)_3 \downarrow + 6CO_2 \qquad \text{(eq. 2.1)}$$

Após o tratamento químico (coagulação, decantação e filtração), as águas ficam agressivas, pH com valores baixos tendem as águas a ser corrosivas a certos metais e paredes, enquanto águas com valor elevado de pH tendem a formar incrustações. Para correção do pH a água recebe uma certa quantidade de cal, suficiente para que seja eliminado o gás carbônico, reduzindo a agressividade das águas. A cal utilizada nas estações de tratamento de água pode ser adquirida em estado virgem ou hidratada.

Se cal ou carbonato de sódio são adicionados à água com os coagulantes, as reações teóricas são as mostradas pelas Equações 2.2 e 2.3:

$$Al_2(SO_4)_3\ 14H_2O + 3Ca(OH)_2 \rightarrow 3CaSO_4 + 2Al(OH)_3 + 18H_2O \qquad \text{(eq. 2.2)}$$

$$Al_2(SO_4)_3\ 14H_2O + 3Na_2CO_3 + 3H_2O \rightarrow 3Na_2SO_4 + 2Al(OH)_3 + 3CO_2 + 15H_2O \qquad \text{(eq. 2.3)}$$

Quando a cal ou o carbonato de sódio reagem com o sulfato de alumínio, a alcalinidade natural da água não se modifica. Os íons de sulfato, adicionados juntamente com o sulfato de alumínio, permanecem na água tratada. No caso de alcalinidade natural e carbonato de sódio, dióxido de carbono é produzido. As dosagens de sulfato de alumínio usadas no tratamento de água estão na faixa de 5 a 50 mg/l, sendo as concentrações maiores as necessárias para clarificar águas superficiais turvas. Segundo Di Bernardo (2005), a coagulação com sulfato de alumínio é, geralmente, efetiva na faixa de pH entre 5,5 e 8,0.

2.3 - Gestão nos sistemas de tratamento de água

A escolha da tecnologia para tratamento de água depende de um cuidadoso processo de verificação das condições operacionais das estações, da qualidade da água, produtos químicos aplicados, características dos rejeitos e condições regionais e locais. As atividades envolvidas na transformação de água bruta em água potável devem estar

associadas a um monitoramento sistemático permanente que pode ser por meio da implantação de um sistema de gestão integral na produção de água potável.

O gerenciamento nos sistemas de tratamento de água é essencial para adotar medidas que possibilitem o uso eficiente da água, pois o mau uso desse recurso reflete em perdas econômicas para as empresas e prejuízos ao meio ambiente. Para tanto, os responsáveis por essa gestão devem estar devidamente preparados para equacionar os problemas que exigem ampla visão do funcionamento dos sistemas operados. A gestão do uso da água deve ser de setor por setor, cabendo a cada concessionária a implantação de sistemas de gerenciamento que garantam qualidade e quantidade de água aos consumidores, bem como a preservação ambiental dos recursos.

A gestão operacional nas empresas de saneamento é fundamental. No caso de uma estação de tratamento de ciclo completo, a gestão sistêmica se faz necessária nas atividades técnicas operacionais, administrativas, tecnológicas, ambientais e econômicas. Ribeiro e Cordeiro (2005) sugerem um modelo de ações essenciais na gestão para administrar a estrutura de uma ETA, que pode servir como base para a sistematização do conhecimento nas áreas administrativa, técnica, operacional, ambiental e econômica, conforme demonstrado na Figura 2.2.

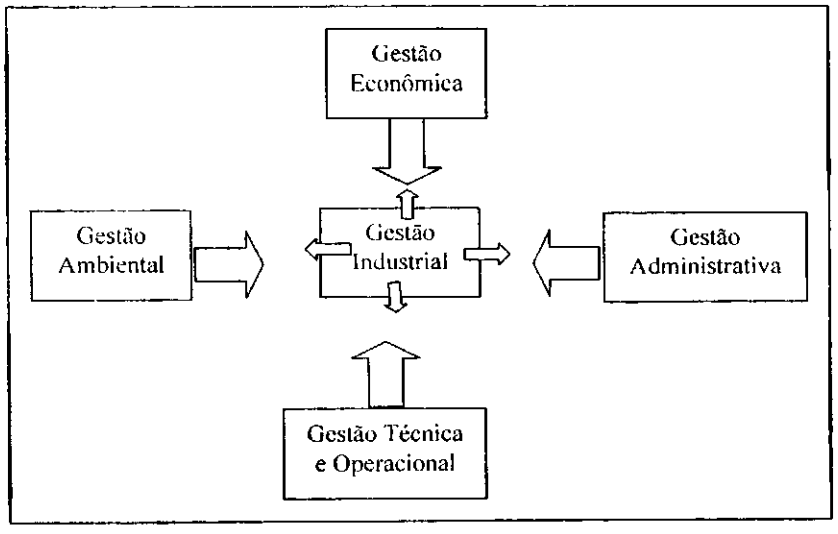


Figura 2.2 – Fluxo de ações essenciais para a gestão de uma ETA
Fonte: Ribeiro e Cordeiro, 2005.

No Brasil, até então, nos sistemas de tratamento de água, a maior importância era atribuída a estudos que enfocavam principalmente a qualidade do produto final da ETA, não existindo, portanto, estudos específicos que levassem ao conhecimento da

geração, características qualitativas e quantitativas, controle e redução de perdas de água, aspectos relativos a prováveis impactos ambientais e métodos de tratamento e disposição final dos resíduos de ETA.

A grande maioria das estações de tratamento de água (ETAs) brasileiras continuam lançando no meio ambiente normalmente os resíduos provenientes da lavagem dos filtros e descarga dos decantadores sem qualquer tratamento. Apesar de as leis ambientais irem contra esta prática, ela continua sendo utilizada, devido ao fato de ser a solução mais econômica e, também, devido à falta de uma fiscalização maior pelos órgãos ambientais. Por esses motivos, a adequação para disposição dos resíduos provenientes de tratamento de água deve ser repensada. Assim, os gestores de saneamento devem observar seus procedimentos de forma mais abrangente, de modo a minimizar os prejuízos causados à natureza. Os novos projetos, bem como suas adequações, devem incluir soluções que apresentem (recaiam na melhor proteção e conservação dos recursos naturais) sistemas de tratamento e reaproveitamento dos resíduos gerados em suas instalações sem poluir o meio ambiente.

De acordo com Achon e Cordeiro (2005) o gerenciamento de um sistema de tratamento envolve uma série de especificações inerentes ao processo que devem ser analisadas a fim de implantar um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) eficaz. Para isso, é necessário considerar indicadores que servem como instrumentos que permitam mensurar as modificações nas características de um sistema e também avaliar a sustentabilidade dos sistemas. Os autores reforçam que o gerenciamento de sistemas de tratamento de água melhora não só a qualidade do produto final, mas do serviço como um todo, incluindo, a confiabilidade do serviço, satisfação dos clientes, redução de custos, facilitando a identificação de problemas e etc.

Parsekian (1998), analisou propostas de formas de gerenciamento de ETAs em cidades de médio porte do estado de São Paulo, o resultado do monitoramento de 11 ETAs, mostrou que: a) das 11 ETAs somente uma recupera partes (64%) das águas de lavagem de filtros; b) em 10, os resíduos gerados nos decantadores e filtros são descartados nos cursos d' água mais próximos as ETAs, infringindo a legislação de controle de emissão de poluentes; c) no controle de perdas, 64% das ETAs estudadas não controlam e 36% controlam. Os resultado obtidos nessa pesquisa demonstram que há necessidade da implantação de sistemas gerenciais mais efetivos nas ETAs, uma vez que os serviços de abastecimento de água devem iniciar trabalhos voltados para melhoria da qualidade do serviço e do produto.

A Figura 2.3 apresenta uma visão gerencial restrita ao produto final, sem uma maior preocupação dos aspectos mencionados acima.

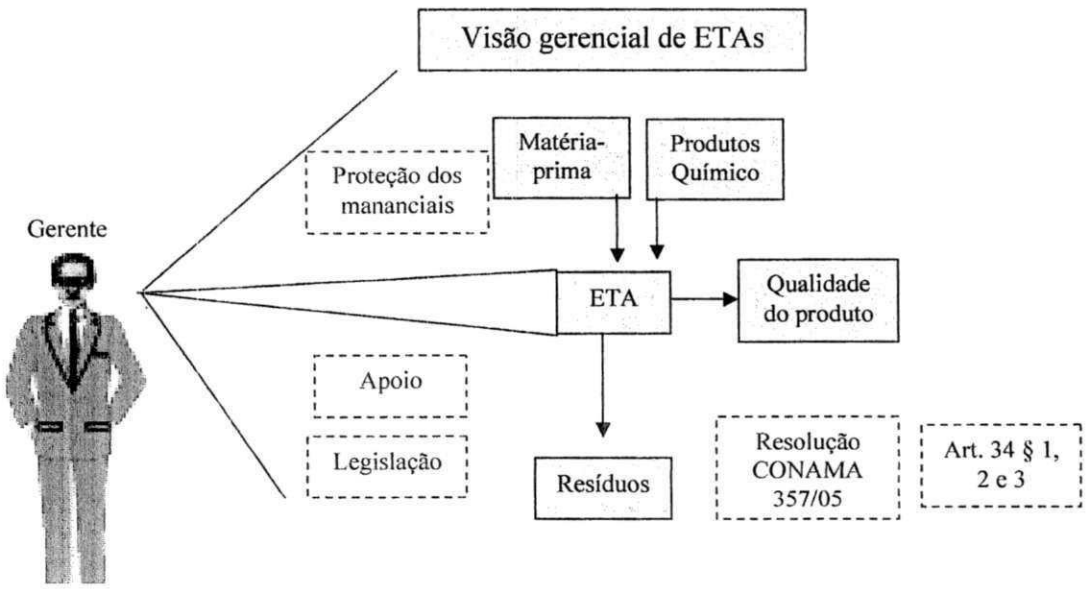


Figura 2.3 - Visão holística do sistema de tratamento de água
Fonte: Parsekian (1998) (modificado para CONAMA 357/2005)

Para ter sucesso, o gerenciamento na produção de água deve considerar os aspectos custo, tempo, qualidade. Uma tarefa chave do gerente é controlar de modo que os custos planejados não sejam excedidos. Assim, a prestadora dos serviços de saneamento deve gerenciar todo o seu processo produtivo, onde os insumos, tais como; recursos hídricos, produtos químicos, energia elétrica, sejam utilizados de forma racional sem perdas e desperdícios. Pode-se dizer ainda que a empresa de saneamento bem administrada é um serviço que gera capital, pois ela produz um produto consumido por toda população sem restrição de classe social. A taxa ou tarifa cobrada pelo serviço inclui gasto com produção de água tratada e investimentos para melhoria do sistema de captação, adução, tratamento, armazenamento e distribuição de água.

2.4 - Considerações sobre perdas de água em sistemas de abastecimento de água

Segundo Trow e Farley (2003), as perdas de água ocorrem em todos os sistemas de abastecimento, apenas o volume é que varia. Isso depende das características da tubulação da rede, de fatores locais, da prática operacional da companhia de água e do

nível de tecnologia aplicada. O volume perdido varia amplamente de país para país e, dentro do país, de região para região.

De acordo com Gomes (2004), a perda por faturamento em sistema de distribuição de água é a diferença entre o volume de água produzido nas estações de tratamento (ETA) e o total dos volumes medidos nos hidrômetros, ou seja, o índice de perdas é a porcentagem do volume produzido que não é faturado pela concessionária do serviço.

Silva et al. (2003) definem que, do ponto de vista operacional, as perdas nos sistemas públicos de abastecimento são consideradas aquelas relacionadas aos volumes de água não contabilizados. Esses englobam tanto as perdas reais (físicas), que representam a parcela não consumida, como as perdas aparentes (não-físicas), que correspondem à água consumida e não registrada.

De acordo com Marcka et al. (2004), as perdas reais são resultantes de vazamentos, visíveis ou não, no sistema, que podem ocorrer na captação, na adução de água bruta, no tratamento, na adução de água tratada, na distribuição, equipamentos e estruturas, por extravasamento de reservatórios, ramais prediais até o cavalete, além de procedimentos operacionais com lavagens de filtros, descargas e limpezas de decantadores, quando estes provocam consumos superiores ao necessário para operação. O Quadro 2.1 mostra as características principais das perdas de água e seus efeitos segundo (Tardelli Filho 2004 *apud* Gomes 2005).

Quadro 2.1 – Caracterização geral das perdas no sistema de abastecimento urbano de água.

Item	Características principais	
	Perdas reais	**Perdas aparentes**
Tipo de ocorrência mais comum	Vazamentos	Erro de medição
Custos associados ao volume de água perdido	Custos de produção de água tratada	Valor cobrado no varejo ao consumidor
Efeito no meio ambiente	Desperdício de recursos naturais, maiores impactos ambientais devido à necessidade de ampliação da exploração dos mananciais.	Não é relevante
Efeito na saúde pública	Riscos de contaminação.	Não é relevante
Ponto de vista empresarial	Perda de produto "industrializado"	Perda elevada de receita
Ponto de vista econômico	Imagem negativa da empresa, associada ao desperdício e ineficiência.	Não é uma preocupação imediata
Efeitos finais no consumidor	Repasse de custos à tarifa. Desincentivo ao uso racional de água.	Repasse de custos à tarifa, incitamento ao roubo e a fraudes.

Fonte: Tardelli Filho (2004) *apud* Gomes (2005)

2.4.1 - Perdas no processo de tratamento de água - ETA

As perdas de água em ETA podem estar associadas basicamente com: a) volumes operacionais gastos no processo de tratamento e lançados no corpo receptor, sem reaproveitamento; b) volumes operacionais excedentes àquele estritamente necessário à boa operação da ETA e; e c) volumes devidos a vazamentos (MACKA et al., 2004).

De acordo com Coelho (1996) as quantidades de água perdidas diariamente nos processos e operações de tratamento são aquelas correspondentes à limpeza de decantadores e floculadores, que se encontram na faixa de 1,0 a 3,0%; as perdas referentes à lavagem dos filtros, por sua vez representam 1,5 a 4,5% de volume de água perdido diariamente. Esses valores são normais, podendo ser excedidos em casos especiais (água de má qualidade, operação inábil, etc.). Observa-se que parte das vazões retidas na ETA é inerente ao processo de tratamento, não sendo possível eliminá-las totalmente, mas sim reduzi-las até o ponto em que se eliminem os desperdícios.

Na operação de lavagem dos decantadores o volume de água gasto corresponde ao volume de água de descarga de lodo e ao volume de água gasto em sua limpeza. Em termos volumétricos a vazão descarregada é bem menor quando comparada com a vazão de água de lavagem. No entanto, em termos de carga de sólidos, esta é a maior. Por outro lado, tem ainda, os volumes de água gastos na lavagem de tanques de produtos químicos, preparos de soluções, entre outros. Em termos quantitativos, o seu volume é praticamente desprezível quando comparado com os volumes de água gastos na lavagem dos filtros e com o volume de água de lavagem dos decantadores (FERREIRA FILHO & LAJE FILHO, 1999).

Segundo dados da SABESP (1987), a perda na região metropolitana de São Paulo, nas descargas de decantadores e lavagens de filtros, era de aproximadamente 4% do volume de água tratada, suficiente para abastecer uma população da ordem de 400 mil habitantes.

As perdas de volumes devido a vazamentos (visíveis e invisíveis) podem se dar por falhas na estrutura (trincas, fissuras, rachaduras, etc.), ruptura de tubulações e adutoras, na impermeabilização, por falta de estanqueidade das estruturas e por extravasamentos em canais ou tanques subdimensionados ou mal operados (FERREIRA FILHO & LAJE FILHO, 1999). As demais perdas de água em ETA praticamente são desprezíveis e suas causas correspondem aos vazamentos em registros, gaxetas de bombas e válvulas e em eventuais rompimentos de tubulações.

UFCG/BIBLIOTECA

2.4.2 - Causa e magnitude das perdas na ETA

As causas e a magnitude das perdas reais nas ETAs ocorrem de forma concentrada. A principal característica é que, mesmo que sejam percentualmente pequenas, em termos de vazão, são significativas. Conforme AWWA (1987) as principais causas das perdas de água em ETAs são as seguintes:

a) mão de obra desqualificada ou mal capacitada;
b) rachaduras e/ou impermeabilidade dos decantadores;
c) extravasamento de reservatórios e demais unidades da ETA;
d) equipamentos inadequados;
e) ineficiência operacional;
f) ineficientes meios de comunicação;
g) deficiência de projeto.

Segundo Coelho (1996), na estação de tratamento, as principais causas das perdas podem ser provenientes de projeto, de construção e de operação. Estações de tratamento operadas com deficiência podem ter perdas de até 10% de volume tratado, principalmente por deficiência do leito filtrante ou lavagem excessiva dos mesmos.

De acordo com Macka et al. (2004), a magnitude das perdas na adução de água bruta é variável, em função do estado das instalações e das práticas operacionais e de manutenção preventiva, sendo normalmente pouco expressivas no contexto geral. Essas perdas dependem da qualidade do projeto, das estruturas e equipamentos (válvulas adufas e etc.), de seu estado de conservação, além da operação e manutenção da ETA considerada.

2.4.3 - Controle de perdas no processo tratamento de água

O controle de perdas tem como objetivos: a) redução nos custos de produção, energia elétrica, materiais de tratamento; b) redução nos custos de investimento na ampliação dos sistemas de produção, que esgotam muitas vezes simplesmente para atender a perdas; e c) otimização de recursos disponíveis dos sistemas de captação de produção e distribuição de água.

Os programas de controle de perdas estão sempre associados a mudanças estruturais e comportamentais das empresas, envolvendo programas de qualidade,

planejamento estratégico ou modernização, que visam à integração e participação da empresa em torno do estabelecimento de sua missão, dos objetivos, das metas e das ações para atingi-las.

O controle de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água deve iniciar na ETA, e que envolva tanto a diminuição do volume de água gasto na operação do processo quanto no tratamento dos resíduos sólidos e líquidos gerados no tratamento. De acordo com Ferreira Filho & Laje Filho (1999), o controle de perdas em ETAs compreende um processo de tratamento e reaproveitamento dos volumes utilizados na lavagem dos filtros e na descarga de lodos dos decantadores. Os autores afirmam que o reaproveitamento das águas de lavagem dos filtros de descargas dos decantadores, não apenas pode solucionar o problema ambiental, como, também, permite uma redução significativa do volume de água consumida no processo.

As perdas no sistema produtor merecem especial atenção no que diz respeito à manutenção de caráter preventivo Macka et al. (2004) ressaltam que a manutenção preventiva, seja ela elétrica ou hidráulica, como o conserto da tubulação obstruída por incrustações ou reparos de vazamentos, muitas vezes não é feita ou é adiada para se evitar o desgaste político junto à população, uma vez que, paradas no sistema produtor provocam interrupções no sistema de fornecimento por muitas horas. Os autores afirmam que tal procedimento acaba comprometendo o comportamento do sistema, aumentando muitas vezes as perdas de carga e o consumo de energia, bem como as perdas e os riscos de interrupções mais demoradas por falhas e rompimentos.

Almeida et al., (2001) desenvolveram estudo sobre controle de índice de perdas do SAAE, do município de Barra Mansa - RJ, com implantação de programa de controle e redução de perdas, desde a ETA até a distribuição. Nesse programa foram utilizados ferramentas simples tais como: conscientização de todos os funcionários; controle do nível máximo com instalação de bóias para evitar transbordamento dos reservatórios de passagem; instalação de macromedidores para o controle do volume produzido na ETA; calibração de equipamentos de leitura para o balanço dos volumes captados e produzidos; monitoramento do funcionamento de bombas da distribuição e desligamento de bombas no período noturno, reduzindo o consumo de energia elétrica. Os principais resultados positivos deste estudo foram: a) em uma das estações de tratamento de água conseguiu-se reduzir o consumo de energia elétrica na faixa de 20% e com tendência a diminuir cada vez mais; b) redução do volume de tratamento de água nas ETAs na faixa de 21%; c) mais facilidade de monitoramento atual do sistema, devido aos equipamentos existentes nas

ETAs; d) redução do índice de perdas de 52 % para 36 %; e) após o controle e reparos de vazamentos, a porcentagem das perdas por vazamentos na ETA ficou entorno de 0,19%.

O Quadro 2.2 apresenta de forma resumida algumas ações que podem ser feitas para o controle e redução de perdas em ETA.

Quadro 2.2 - Ações de controle de perdas em ETA

Ocorrência de Perdas	Programa de controle de perdas
Volumes operacionais em processo de tratamento sem reaproveitamento	Processo de reaproveitamento das águas de lavagem dos filtros e da descarga do lodo dos decantadores.
Volumes operacionais excedentes àquele estritamente necessário à boa operação da ETA	Revisão do processo de tratamento por meio de adequação de suas instalações e /ou dos métodos operacionais.
Por vazamentos	Programa de prevenção e manutenção, instalação adequada de macromedidores, calibração de medidores de vazão.

Fonte: Macka et al., (2004)

Para prevenir e evitar o desperdício em ETA, Conejo, et al. (1999) recomendam os seguintes cuidados na fase de projetos:

- dimensionar adequadamente todas as unidades funcionais da ETA de modo a transportar as vazões de projeto sem extravazamentos, pois o superdimensionamento também representa um desperdício de recursos na implantação da obra (conforme item 5 da NBR 12216);
- dedicar especial atenção ao projeto estrutural e de fundações, especificando, detalhadamente, os processos construtivos, os materiais com suas dosagens e resistência e, principalmente, a impermeabilização;
- prever sistemas de medição (registro e totalização) das águas brutas, tratadas, de lavagem dos filtros e de utilidades (preparo e diluição de produtos químicos, lavagem de decantadores);
- prever sistemas de drenagem, sobretudo em ETA de médio e grande porte, sob as unidades de tratamento e reservatórios, para detecção de eventuais vazamentos das estruturas de concreto. Em casos de nível de lençol freático elevado, este deverá ser rebaixado a cotas inferiores às do sistema detector;

- projetar sistema de tratamento e recuperação de água de lavagem dos filtros e de descarga de lodo dos decantadores;
- definir precisamente os procedimentos operacionais de maneira a evitar que, por exemplo, a dosagem incorreta de coagulantes implique em maior quantidade de carreiras de filtração, aumentando o consumo de água de lavagem dos filtros.

A automação de sistemas é uma ferramenta poderosa que auxilia o administrador a gerenciar as perdas na produção e evitar gastos desnecessários. Ele além de atender aos seus clientes e utilizar os recursos naturais de maneira eficiente e com mais qualidade, estará preservando o meio ambiente. No caso do tratamento e distribuição de água, tornou-se imprescindível um controle refinado, pois, sendo ela um bem cada vez mais escasso para a humanidade, precisa ser utilizada de forma racional.

Segundo Trojan et al. (2005), os principais atrativos para se justificar o investimento em automação residem na melhoria da qualidade do tratamento de água, através do monitoramento e do controle em tempo real, e redução de custos operacionais, através do gerenciamento de energia elétrica consumida e controle de perdas físicas no sistema. Os autores ressaltam ainda que, a automação em saneamento soluciona também uma série de dificuldades operacionais, como manter operadores nas unidades de tratamento, ligando e desligando bombas. Por comandos realizados principalmente por telemetria, várias unidades podem ser assistidas a partir de um centro de controle operacional, com funções de operação, otimização e planejamento com menor custo e maior segurança.

É imprescindível adotar medidas preventivas de controle de perdas que permitam maior controle sobre índices de perdas e sobre a manutenção do sistema, bem como manter tais perdas permanentemente em nível adequado, considerando a viabilidade técnica-econômica das ações de combate a perdas em relação ao processo operacional de todo o sistema. Silva et al., (2003) citam que entre as ferramentas básicas utilizadas como medidas preventivas e o controle de perdas estão a macromedição e micromedição. Somente através de uma de medição é possível conhecer, diagnosticar, alterar e avaliar as diversas situações operacionais em um sistema de abastecimento de água.

2.5 - Sistema de medição do volume de água na ETA

Os sistemas de medição englobam os sistemas de macromedição e de micromedição. Silva et al. (2003) definem por micromedição como sendo a medição do

consumo realizada no ponto de abastecimento de um determinado usuário, independente de sua categoria ou faixa de consumo. Os autores definem, macromedição como o conjunto de medições de vazões, pressão e nível de reservatório, realizadas nos sistemas público de abastecimento de água, desde a captação de água bruta até as extremidades de jusante da rede de distribuição.

A macromedição e a micromedição são auxiliares nas tradicionais estimativas de perdas. Exatidão nestes processos envolve compromisso da companhia de saneamento com calibração e manutenção periódica. Erros na macromedição e na micromedição afetam diretamente a quantificação e identificação das perdas, tendendo o índice de perdas, à diminuição no primeiro caso e aumento no segundo.

Para Alves et al. (2004), os sistemas de medição se constituem numa ferramenta indispensável à operação eficaz de sistemas públicos de abastecimento de água, pois o conhecimento das diversas variáveis envolvidas, proporcionado pela medição, permite explorar as melhores formas de operação do sistema de abastecimento em todas as suas partes: captação, adução de água bruta, tratamento, adução de água tratada, reservação e distribuição. No caso da captação, a macromedição visa medir vazões e calcular volumes, de forma a demonstrar que os limites estabelecidos na outorga estão sendo respeitados. Além disso, o uso será ou não sujeito à cobrança, o que se torna um instrumento importante para o gerenciamento dos recursos hídricos.

Segundo Ferreira Filho & Laje Filho (1999), a avaliação da eficiência de uma ETA depende estritamente de uma boa medição de volumes de água aduzida VA (Volume Aduzido) e de água tratada produzida VP (Volume Produzido). Portanto, os sistemas de medição de volume se constituem num instrumento indispensável à operação de sistemas públicos de distribuição de água.

Berenhause (2002) afirma que a macromedição é a mais importante e primeira ferramenta para o controle operacional dos sistemas de abastecimento e recomenda que a macromedição deve ser planejada, estabelecendo-se todas as etapas de implementação. Segundo Alves et al. (2004) a macromedição tem um importante papel no consumo de energia, que é dar base técnica para que tal consumo seja eficiente. Devido à grande parte da adução, da distribuição e do próprio tratamento depender de equipamentos e de instalações elétricas, a operação do sistema de abastecimento se reflete diretamente nas despesas com energia elétrica.

Uma outra aplicação particular que requer a utilização da macromedição ocorre na dosagem de produtos químicos, como cloro ou flúor, por exemplo. Nestes casos,

normalmente, são requeridas medições precisas, visando obter graus de concentração pré-estabelecidos. Alves et al. (2004) afirmam que, em ETAs convencionais, a quantidade de substâncias químicas usadas nos processos de tratamento é determinada em função dos valores de vazão de água bruta que chega à ETA. Portanto, as vazões se constituem em informações de controle do processo. Quanto maior for o grau de exatidão da medição da vazão, tanto maior será exatidão na dosagem dos produtos químicos empregados.

2.5.1 - Medidores de vazão em ETAs

Os medidores para canal aberto são mais usados nas entradas das ETAs, na medição de água de reuso (lavagem de filtros e limpezas de decantadores) e, eventualmente, na captação. Os medidores mais conhecidos são as calhas e vertedouros e, mais recentemente, os medidores eletrônicos.

O principio de funcionamento das calhas e vertedouros se baseia na diferença do nível de água que se estabelece quando da interposição de um estrangulamento de seção ou colocação de obstáculo de fundo no escoamento da lâmina livre. Ao chegar à ETA, a água bruta tem acesso a um vertedor onde, por meio da altura da lâmina d'água, é possível medir a vazão.

Dentre os diversos tipos de vertedouros e calhas, os mais comuns são os vertedouros retangulares, os vertedouros em "V", os vertedouros trapezoidais e a calha Parshal. Para cada um deles, podem ser definidas constantes a partir da calibração. As calhas Parshall são muito utilizadas na medição de água bruta, por permitirem um escoamento mais livre sem os riscos de acúmulos de corpos estranhos que alterem as medições. Os vertedouros, em particular o vertedouro "V", são mais utilizados para vazões menores, pois permitem uma leitura de nível melhor, em virtude da variação ser mais significativa.

Como alternativa aos medidores tradicionais de nível em canais, tem surgido no mercado medidores eletrônicos, que, através da indução elétrica do escoamento (eletromagnéticos de efeito Faraday) ou da propagação de ondas sonoras no escoamento (ultra-sônicos de efeito Doppler ou tempo de trânsito), medem a velocidade média em um trecho de tubulação de dimensões conhecidas. Agregando-se um medidor de nível, pode-se determinar a seção molhada do escoamento e, com a velocidade média medida, determinar a vazão. Esses tipos de medidores têm sido muito usados em locais onde há limitação de

espaço para se construir vertedouros e em locais de difícil acesso, como coletores de águas servidas ou de reuso (ALVES et al., 2004)

2.6 - Geração de resíduos no processo de tratamento de água

Os resíduos gerados no processo de tratamento de água, tanto do ponto de vista quantitativo quanto qualitativo, representam um problema sério para as instituições que gerenciam tais sistemas. Para a solução adequada de tratamento e disposição final dos resíduos de ETA é necessário o conhecimento quanto a sua origem, características qualitativas e quantitativas e operações envolvidas na descarga e limpeza de decantadores, na lavagem de filtros e nos processos de redução de volume. A quantidade e a qualidade dos resíduos produzidos em uma ETA dependem de vários fatores, destacando-se: qualidade da água bruta; tecnologia de tratamento; características da coagulação (tipo e dosagem de coagulante e de alcalinizante ou de acidificante); uso, característica e dosagem do auxiliar de coagulação (floculação ou filtração), do oxidante e do adsorvente (carvão ativado em pó); método de limpeza dos decantadores (ou flotadores); método de lavagem dos filtros; habilidade dos operadores; automação de processos e operações na estação; e reuso da água recuperada no sistema de tratamento.

2.6.1 - Origem dos resíduos de ETA de ciclo completo

Os principais resíduos gerados nas ETAs do tipo convencional são o lodo dos decantadores, a água de lavagem dos filtros e o rejeito de limpeza dos tanques de produtos químicos. Esses resíduos têm características e freqüência de descargas diferentes que influenciam no processo de tratamento a ser empregado (CORDEIRO, 1999).

De uma forma geral, os resíduos gerados em uma ETA podem ser divididos em quatro grandes categorias (AWWA, 1987):

- resíduos gerados durante processos de tratamento de água, visando à remoção de cor e turbidez. Em geral, os resíduos sólidos produzidos englobam os lodos gerados nos decantadores e as águas de lavagem dos filtros;

- resíduos sólidos gerados durante processos de abrandamento;

- resíduos gerados em processos de tratamento avançado visando à redução de compostos orgânicos presentes na água bruta, tais como, carvão ativado granular saturado, proveniente de processos de arraste com ar;

- resíduos líquidos gerados durante processos, visando à redução de compostos inorgânicos presentes na água bruta, tais como, processos de membrana (osmose reversa, ultrafiltração, nanofiltração).

Em ETAs convencionais, os resíduos são formados de diversos constituintes ao serem captados, adicionados e processados nas várias operações do tratamento. A Figura 2.4 representa um esquema de uma ETA convencional, onde podem ser observados, os pontos de origem de resíduos.

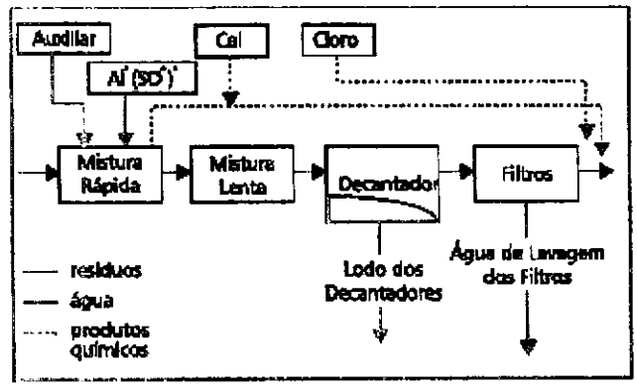


Figura 2.4 - Pontos de geração de resíduos em uma ETA convencional
Fonte: Cordeiro (1999)

De acordo com Richter (2001), o lodo de ETA pode ser considerado como resíduo constituído de água e sólidos, suspensos originalmente contidos nesta, acrescidos de produtos resultantes dos reagentes aplicados no seu processo de tratamento. Cordeiro (2001), por sua vez, afirma que estes lodos são resultantes da sedimentação das partículas presentes na água bruta, as quais sofrem ações químicas e físicas de formação de flocos, que se tornam propícios para a operação de sedimentação ou floculação.

Na Tabela 2.1 estão detalhados os principais constituintes de afluentes e efluentes de ETAs convencionais.

Tabela 2.1 - Principais constituintes de afluentes e efluentes de ETAs convencionais

Afluentes	**Principais constituintes**
Água Bruta	Água, partículas em suspensão e solução (argilo-minerais substâncias húmicas, matéria orgânica, algas, possíveis contaminantes (defensivos agrícolas, fe), etc.)
Coagulante primário sulfato de alumínio	$Al_2(SO_4)_3 + 18\ H_2O$, possíveis contaminantes (metais)
Cal	$Ca(OH)_2$ impurezas
Auxiliares de floculação ou de filtração	Polímeros naturais ou sintéticos, monômeros ou não sintetizados no processo de produção, sílica, alumínio, etc.
Efluentes	**Principais constituintes**
Água Tratada	Água + parcela de subprodutos de reação de produtos químicos e material presente na água bruta, parcela de material em solução e suspensão.
Lodo sedimentado dos decantadores	Matéria orgânica suspensa na água, carbonato de cálcio, hidróxido de magnésio, hidróxido complexos de alumínio ou ferro, plâncton, matéria orgânica + água + metais.
Água de lavagem dos filtros	Partículas finas, hidróxido complexos de alumínio e ferro, plâncton, matéria orgânica, água e subprodutos gerados no processo de coagulação, impurezas contidas nos produtos químicos aplicados, etc.
Água de lavagem dos tanques de mistura	Água, cal, sulfato de alumínio, polieletrólitos + impurezas contidas nos produtos preparados.

Fonte: Cordeiro (1993)

2.6.2 Característica qualitativa dos resíduos de ETAs

Cada linha geradora de resíduos em ETA apresenta características distintas em termos de vazão e concentração de sólidos, razões pelas quais diferentes concepções de tratamento devem ser consideradas. Os resíduos gerados nos decantadores das ETAs possuem materiais inertes como argila e areia, materiais orgânicos em solução ou suspensão, microrganismos variados e constituintes, resultantes dos compostos químicos aplicados no processo: sais de alumínio ou ferro, polieletrólitos e cal, entre outros. Estes constituintes produzem uma suspensão química ou lodo com alto conteúdo de umidade. A coloração deste lodo varia, dependendo da natureza das impurezas removidas da água tratada (AWWA, 1978).

Segundo Di Bernardo et al. (1999), os resíduos das ETAs se caracterizam por possuírem grande umidade, maior que 95%, estando geralmente sob a forma fluida. Esses rejeitos normalmente possuem concentrações de sólidos maiores que 2,5%, podendo provocar alterações consideráveis nessas águas.

De acordo com Cordeiro (1999), a caracterização de alguns aspectos do lodo de ETA, tais como composição química, distribuição e tamanho das partículas, filtrabilidade e resistência específica, é fundamental, pois, por meio destes parâmetros, poderão ser definidos os métodos para remoção de água e formas de disposição final.

Segundo Richter (2001), o teor de sólidos totais presentes em um lodo de ETA varia entre 1.000 a 40.000 mg/L (0,1 a 4%), sendo 75 a 90% de sólidos suspensos e 20 a 35% de compostos voláteis, apresentando, portanto, uma pequena porção biodegradável que pode ser prontamente oxidável.

A Tabela 2.2 apresenta as características qualitativas de águas de lavagens de filtros e decantadores com as diferenças significativas entre os resíduos dos decantadores e a água de lavagem dos filtros, principalmente quanto à concentração de sólidos, adicionalmente a este parâmetro os resíduos podem ser caracterizados determinando: DQO, sólidos totais e suspensos, pH, e concentração de metais. Além de parâmetros não convencionais, tais como: filtrabilidade, sedimentabilidade, tamanho e distribuição de partículas.

Tabela 2.2 – Características dos resíduos de estações de tratamento de água

Parâmetros		Cordeiro (1999) DC[a]	PROSAB (1999) DC[a]	Di Bernardo et al. (1999) DAT[b]	Di Bernardo (2005) ALF[c]	Di Bernardo (2005) ALF[d]
Turbidez (uT)		-	-	-	58	130
Cor aparente (uC)		-	-	-	310	200
DQO (mg/L)		5600	**4800**	**640**	35	40,8
pH		6,4	7,2	**7,9**	6,9	7,1
ST (mg/L)		30275	58630	-	**88**	367
SV (mg/L)		7951	-	(SSTV)4025	23	
SST (mg/L)		27891	26520	22005	59	250
S. Sed. (ml/L)		710	-		3,4	74
	Al	3965	11100	-	0,3	-
M	Zn	2,13	4,25	**1,7**	0,64	2,00
E	Pb	2,32	**1,6**	**0,88**	ND	-
T	Cd	0,14	**0,02**	**0,05**	ND	-
A	Ni	2,70	**1,80**	**1,06**	ND	-
I	Fe	3382	**5000**	**940**	6,9	700
S	Mn	1,86	**60**	**10**	0,1	2,19
(mg/L)	Cu	1,47	**2,05**	**1,05**	0,06	0,35
	CR	3,82	**1,58**	**0,42**	ND	-

fonte: (Cordeiro, 1999, Di Bernardo, 2005, Bernardo et al., 1999)

a- Lodo de decantador convencional que utiliza sulfato de alumínio

b- Lodo de decantador de alta taxa adaptado de ETA que utiliza sulfato de alumínio (descarga mensal).

c- Água de lavagem de filtros de ETA que utiliza Sulfato de Alumínio (Filtração com taxa constante).

d- Água de lavagem de filtros de ETA que utiliza cloreto férico.

Barroso e Cordeiro (2001) descrevem que alguns metais, como cobre, zinco, níquel, chumbo, cádmio, cromo e manganês e, em especial, o alumínio, presentes no lodo de ETA, possuem ação tóxica, podendo apresentar efeitos positivos ou negativos nas técnicas de tratamento, disposição final e, até mesmo, na reutilização destes resíduos. Nos documentos de AWWA (1992), é complementado que os resíduos sólidos gerados nas ETAs são compostos de diversos agentes químicos, em torno de 20 a 90%, os quais afetam, significativamente, a qualidade do lodo final gerado.

2.6.3 - Características quantitativas dos resíduos de ETA

Castro et al. (1997) estabelecem que a vazão média de resíduos gerados na ETA encontra-se entre 1 a 3% da vazão tratada, sendo 10% da descarga dos decantadores e 90% da lavagem dos filtros. De acordo com Richter (2001), a quantidade de lodo descartado do decantador representa cerca de 0,2 a 5% da água tratada. Luciano (1998) por seu lado afirma que o lodo representa, em volume, entre 0,3 a 1% da água tratada. Segundo Di Bernardo et al. (1999), usualmente a quantidade de lodo do decantador apresenta-se na faixa de 0,1 a 1,5% e, para Silva e Isaac (2002), a quantidade de lodo originária dos decantadores representa cerca de 60 a 95% da quantidade total de resíduos produzidos na ETA, sendo o restante oriundo do processo de filtração.

O volume de lodo produzido pela coagulação é geralmente em torno de 1% ou menos do volume de água bruta tratada. O conteúdo de sólidos dos lodos varia entre 0,1 a 3,5%, dependendo das características dos materiais retirados da água bruta e método de remoção do lodo (AWWA, 1978).

Segundo Cordeiro (1993), a quantificação dos resíduos, gerados nas estações de tratamento, faz-se necessária para avaliar seus possíveis impactos ambientais e dar destino aos mesmos. O autor comenta ainda que a quantificação dos resíduos gerados nos decantadores é parâmetro fundamental na definição do potencial poluente do lançamento desses resíduos nos cursos d'água.

A quantificação total de sólidos gerados na ETA pode ser estimada por meio do uso de equações empíricas, análise de balanço de massa e, determinação em campo que é feita por meio de métodos de medição física da camada de lodo existente ao longo do decantador. O balanço de massa é considerado a técnica mais valiosa na avaliação quantitativa dos resíduos gerados em ETAs (CORNWELL 1987). Dentre as equações, fórmulas empíricas propostas na literatura para a estimativa da produção de sólidos em ETA, um parâmetro importante para quantificação do volume de lodo, é o valor da turbidez em função da vazão da água bruta, conforme mostra AWWA (1978) é na Equação (2.4):

$$P = 3{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot T^{0{,}66} \qquad W = 86400 \cdot P \cdot Q \qquad \text{(eq. 2.4)}$$

Onde:

P = produção de sólidos (kg de matéria seca/ m³de água bruta tratada)

W = quantidade de sólidos secos (kg/dia)

Q = vazão de água bruta tratada (m^3/s)

T = turbidez da água bruta (uT)

Segundo Cornwell (1987), a concentração de sólidos que entra no decantador pode ser relacionada à turbidez da água bruta, sendo multiplicada por valor que pode variar de 1,5 a 2,2. Dessa forma, a concentração de partículas que entra no decantador é determinada pela Equação 2.5:

$$Ce = 1,5 \times T \qquad \text{(eq. 2.5)}$$

Onde:

Ce = concentração de partículas que entra no decantador (mg/L);

T = turbidez da água bruta (uT).

Em relação à dosagem de coagulante, considerando-se que seja aplicado o sulfato de alumínio, estequiometricamente, cerca de 44% da dosagem utilizada fica sob a forma de sólido. Assim, Cornwell (1987) mostra a Equação (2.6) que melhor representa o balanço de produção de sólidos em decantadores, dada por:

$$W = 0,0864.Q.(0,44.D + 1,5\ T + A) \qquad \text{(eq. 2.6)}$$

Onde:

W =quantidade de lodo (kg/d);

Q = vazão de adução de água (L/s);

D = dosagem de sulfato de alumínio (mg/L);

T = turbidez da água bruta (uT);

A = dosagem de "auxiliares" ou outros produtos adicionados (mg/L).

Saron (2001) utilizou diversas fórmulas empíricas no estudo para estimar a produção de sólidos gerados e acumulados nos decantadores e água de lavagem dos filtros da ETA Guaraú/SP, dentre dessas fórmulas tem-se a que é aplicada pela CETESB na quantificação de sólidos, que é representada pela Equação 2.7.

$$W = 86400 \,.\, Q \,.P \quad \text{onde} \quad P = (0,023 \,.\, 2AS + 1,5\ T) \qquad \text{(eq. 2.7)}$$

Onde:

P = produção de sólidos (kg de matéria seca / m³ de água bruta tratada)

W = quantidade de lodo (kg/dia);

Q = vazão de adução (L/s);

T = turbidez da água bruta (uT);

AS = dosagem de sulfato de alumínio (mg/L);

A produção total de resíduos pode ainda ser estimada, levando-se em consideração a vazão diária da água a ser tratada associada às características da água bruta no manancial que abastece a ETA. Segundo Barroso (2002), a produção de lodo nas ETAs que utilizam sulfato de alumínio como coagulante é cerca de 22 g de sólidos/m³ água tratada. A Tabela 2.3 mostra a faixa de produção de resíduos em função do tipo de manancial (REALI 1999):

Tabela 2.3 - Produção de resíduo de acordo com o tipo de manancial.

Tipo de manancial	Faixa de produção de resíduos (g de sólidos secos por m³ de água tratada)
Água de reservatório com boa qualidade	12-18
Água de reservatório com média qualidade	18-30
Água de rios com qualidade média	24-36
Água de reservatório com qualidade ruim	30-42
Água de rios com qualidade ruim	42-54

Fonte: Reali (1999)

2.7 - Influência do processo operacional com as características dos resíduos e as perdas de água na ETA

A operação dos processos de uma ETA convencional tem influência direta nas características dos resíduos gerados quanto as suas quantidades e qualidades, assim como as perdas de água no processo de tratamento são influenciadas pela condição operacional e diretamente relacionadas com a geração de resíduos, que têm origem nas operações de descarga e limpeza de decantadores e lavagem de filtros.

2.7.1 - Operação de descarga e limpeza dos decantadores

Os decantadores sejam convencionais ou laminares, são unidades de escoamento contínuo que permitem a separação da fase sólida da fase líquida por meio da sedimentação dos flocos, que, submetidos à força gravitacional, direcionam-se e acumulam-se no fundo das unidades. Esses lodos podem ficar depositados no fundo dos decantadores durante vários dias. A remoção de lodo acumulado implica em operações de

esvaziamento completo da unidade, seguidas da limpeza manual e jatos de água ou através de raspadores de fundo tais operações provocam grandes perdas de água, produtos químicos, paralisações parciais da produção de água e grande esforço da equipe operacional.

Em decantadores convencionais, o processo de remoção de lodo pode ser mecanizado ou hidráulico, caso este possua tubulações e demais acessórios que permitam a descarga de lodo em intervalos regulares de tempo, sem que seja necessária a sua interrupção. Infelizmente, a grande maioria das ETAs no Brasil, não possuem sistemas de remoção de lodo por via mecanizada ou hidráulica e, em geral, a sua remoção é efetuada em batelada. Assim sendo, após um período de operação do decantador, este é colocado fora de operação, sendo efetuada a sua descarga. A operação de descarga e limpeza dos decantadores pode variar em período de tempo, geralmente são limpos de 1 a 4 meses, dependendo do sistema de descarga adotado. Em pesquisas realizadas por Cordeiro, (1999) e Parsekian (1998), o período entre limpezas manuais sucessivas de um mesmo decantador variou respectivamente de 80 a 180 dias e de 20 a 60 dias. A limpeza manual dos decantadores é realizada após a constatação de que os tanques se encontram com quantidade excessiva de resíduos, que podem não mais estar sendo removidos de maneira satisfatória, provocando sobrecarga nos filtros. Nesse caso, as comportas de entrada de água floculada são fechadas e as adufas de fundo são abertas, possibilitando a remoção dos lodos depositados no fundo dos decantadores.

Conforme Cornwell, (1987) os decantadores que não possuem mecanismos de limpeza automática podem acumular o lodo durante longos períodos, podendo causar a ocorrência da ressolubilização de metais e condições anaeróbias que afetam a qualidade da água decantada, podendo conferir sabor e odor desagradáveis. Assim, a acumulação do lodo por um longo período de tempo pode resultar numa maior concentração de sólidos, porém não é recomendável.

O procedimento de descarga dos lodos de decantadores convencionais tem influência direta na quantidade e qualidade dos resíduos, principalmente quando são esvaziados por completo incluindo a parte clarificada. Essa descarga, evidentemente, resulta em perda de um volume de água significativo. Neste caso, não apenas água, mas também todos os sólidos acumulados em seu interior, durante o período de operação, são perdidos. Uma condição que pode reduzir a quantidade e melhorar a característica quanto a teor de sólidos é a recuperação da água clarificada com seu bombeamento direto para os filtros.

Para os sistemas de remoção contínua, as adufas de fundo são abertas e o lodo é removido uma ou mais vezes por dia. Essas formas distintas de remoção do LETA (Lodo de Estação de Tratamento de Água) fazem com que os mesmos possuam características distintas, principalmente quanto à concentração de sólidos. No caso da remoção contínua, a concentração de sólidos é freqüentemente menor. A remoção desses resíduos, após a abertura das comportas, é realizada, na maioria das vezes, através de galerias de concreto e lançadas em cursos d'água próximos às estações de tratamento. Segundo Reali 1999 a remoção mecânica intermitente ou contínua permite maior eficiência e controle do sistema de tratamento evitando a coerência de condições anaeróbias.

Pesquisa realizada no Brasil por Cordeiro (1999) em 15 capitais revelou que, de 22 ETAs completas, somente 4 utilizam remoção contínua de lodo de seus decantadores. Também revelou que, no interior do Estado de São Paulo, de 51 ETAs convencionais, somente 6 utilizam descargas de fundo. Esses resultados mostram a tendência hoje constatada da utilização de sistemas tradicionais com características de funcionamento muito aproximadas, de limpeza manual e descargas de fundo.

2.7.2 - Operação de lavagem dos filtros

Após um tempo de funcionamento dos filtros, há necessidade da lavagem do meio filtrante, que pode ser de diversas maneiras, em Di Bernardo (2005) destaca-se os principais métodos de lavagem dos filtros: lavagem somente com água, no sentido ascensional; Lavagem somente com água, no sentido ascensional; lavagem somente com água, no sentido ascensional; lavagem auxiliar superficial com tubulação fixa ou com tomiquetes hidráulicos e lavagem simultânea (ou não) com água no sentido ascensional; lavagem auxiliar subsuperficial com tubulação fixa ou com tomiquetes hidráulicos e lavagem simultânea (ou não) com água no sentido ascensional; insuflação de ar, seguida da lavagem com água no sentido ascensional; insuflação de ar e introdução simultânea de água no sentido ascensional.

A operação de lavagem de filtros envolve questões relativas à quantidade de água utilizada, perdas operacionais, recuperação de água e possíveis impactos na descarga direta dos mesmos em cursos d'água. Uma visão integrada dessa operação pode gerar aspectos positivos, tais como: economia de água na lavagem e o seu reaproveitamento que podem diminuir as perdas e minimizar os efeitos negativos no meio ambiente (PARSEKIAN, 1998).

A lavagem dos filtros tem grande influência no volume de resíduo gerado, que depende do sistema de lavagem, do método de filtração e do coagulante primário utilizado. De acordo com estudos realizados por Di Bernardo (2005), a lavagem dos filtros apenas com água, no sentido ascensional, concorre para a geração de um volume maior de água, quando comparado ao sistema que possui lavagem auxiliar com ar, seguida de lavagem com água ascensional. Nos casos de lavagem de filtros de sistema que utilizam filtração direta comparado com aqueles de filtração de água decantada, o rejeito líquido gerado se diferencia tanto em quantidade como em qualidade. A filtração direta retém as partículas primarias, enquanto a filtração de água decantada retém fragmentos de flocos.

Di Bernardo (2005) ressalta que, a lavagem inadequada dos filtros apresenta diversos problemas, como: a) aparecimento de bolas de lodo no interior do meio filtratante; b) menor volume de água produzido por carreira de filtração; c) água filtrada de pior qualidade; e d) aumento da perda de carga no meio filtrante. Os problemas oriundos da lavagem inadequada de meios filtrantes, no que se refere à qualidade do efluente produzido por uma unidade de filtração após a sua lavagem, bem como aqueles crônicos, que porventura podem resultar da ineficácia do processo de lavagem utilizado, têm sido bem documentados na literatura. Além disso, a ineficácia de um sistema de lavagem não apenas compromete o processo de tratamento de água, como também pode exigir um maior volume de água de lavagem, o que, sem dúvida, traz prejuízos consideráveis no que diz respeito a perdas de água.

Para o funcionamento adequado dos filtros e menor gasto de água, são exigidos os controles de nível de água e o de vazão. O controle de nível de água pode ser feito por uma válvula instalada na canalização de saída de água filtrada e acionada por um dispositivo de flutuador ou de detector de nível, instalado na superfície do filtro. Nos filtros com reguladores de vazão, essa operação pode ser conjugada com os aparelhos instalados. O controle da vazão pode ser realizado na entrada de água decantada para os filtros e na saída de água filtrada (AZEVEDO NETTO et al., 1987).

Di Bernardo et al. (2003), citam como importante controle operacional no processo de filtração são os critérios de lavagem de filtros. Os filtros devem ser lavados quando a perda de carga no filtro atinge um valor limite estabelecido em função de características construtivas e/ou operacionais do sistema, e quando se constata a deterioração crescente da água filtrada (transpasse), podendo comprometer sua qualidade sanitária. É possível, em alguns casos, de as duas situações ocorrerem simultaneamente. O controle da lavagem, na primeira situação, pode ser feito pela avaliação da perda de carga

por meio de piezômetros instalados nas unidades filtrantes. Quando os filtros trabalham com taxa constante, a diferença de perda de carga entre as unidades permite identificar claramente aquela a ser lavada. Porém, quando os filtros trabalham com taxa declinante, em um determinado instante a perda de carga no meio filtrante é igual entre as unidades em funcionamento, em função da constante redistribuição de vazão entre elas. Nesse sentido, a lavagem dos filtros em muitos sistemas tem sido realizada em sistema de rodízio entre as unidades operantes, ou seja, lavam-se as unidades numa seqüência lógica, de forma que cada uma tenha trabalhado aproximadamente o mesmo número de horas. Os autores supracitados relatam que, quando se constata a deterioração crescente da água filtrada, no caso da segunda situação, a necessidade de lavagem pode ser facilmente detectada nos filtros de escoamento ascendente, independentemente de operar com taxa constante ou declinante, pois em ambos os casos a água filtrada verte livremente nas calhas coletoras de cada unidade. Esse aspecto é importante e contribui bastante para que o controle de qualidade da água filtrada seja feito de forma individualizada e não pela avaliação da qualidade média da água produzida por todos os filtros.

2.7.3 - Influência do tipo de produtos químicos com geração de resíduos

O tipo de coagulante empregado tem influência direta na quantidade de resíduos líquidos gerados durante as lavagens dos filtros. Segundo Di Bernardo et al. (1999), quando utiliza cloreto férrico em comparação com o sulfato de alumínio, as dosagens do produto resultam menores e a duração da carreira de filtração pode ser mais longa, dependendo das características da água bruta, pois a água decantada pode apresentar-se com menor quantidade de sólidos e, com isso, diminuir o número de lavagens e gerar menor volume de resíduos em um mesmo período de tempo.

REALI (1999) cita que a aplicação de produtos químicos no tratamento de água contribui para a produção de sólidos e metais em uma ETA. As impurezas contidas nestes produtos, principalmente nos coagulantes, podem afetar tanto a qualidade final da água tratada, como também afetar significativamente as características dos resíduos gerados. Os resultados de Barroso e Cordeiro (2002), ao determinar a produção de sólidos em ETAs, demonstraram que a adição de produtos químicos contribui para a produção de 37% do total de sólidos gerados.

A Figura 2.5 representa um diagrama conceitual, no qual é ilustrado as perdas de água relacionadas ao seu processo operacional e os volumes de lodos (LD) e água de

lavagem de filtros (ALF), além da faixa usual de concentração desses efluentes com algumas opções de tratamento.

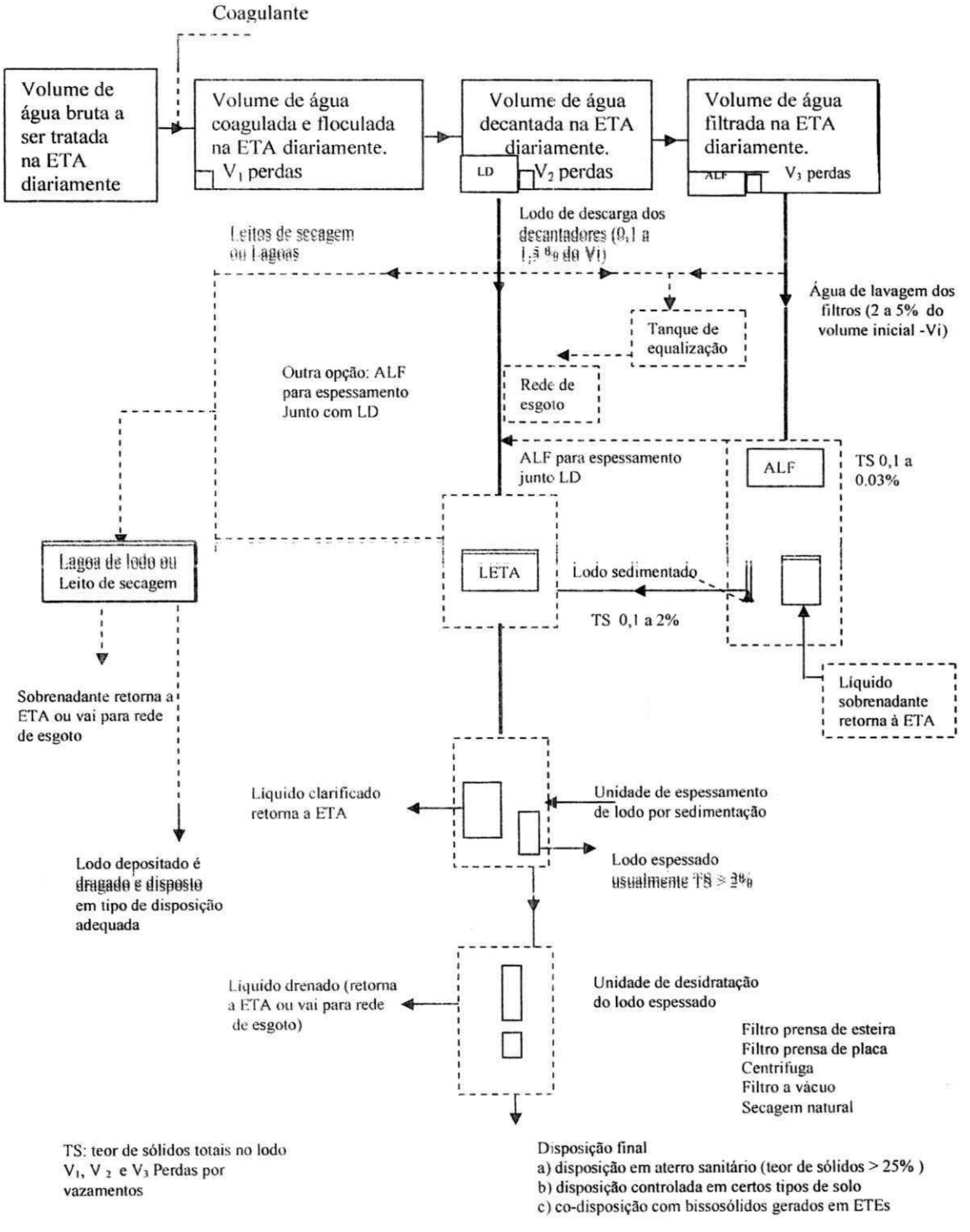


Figura 2.5 Volumes de água e lodo produzido numa ETA convencional e algumas opções de tratamento e disposição final dos resíduos.
Fonte: adaptado parcialmente de Realli (1999)

A Figura 2.5 ilustra um exemplo encontrado na prática referentes as operações e processo existentes numa ETA de ciclo completo, onde mostra o volume de água produzido de uma ETA que utiliza sais de alumínio ou ferro como coagulante, assim etapas onde ocorrem as perdas de água e algumas opções de métodos de tratamento e disposição dos resíduos gerados na ETA. São indicados alguns valores referentes aos volumes de lodo e água de lavagem de filtros produzidos, além da faixa usual de concentração desses efluentes em algumas etapas do tratamento ilustrado.

2.8 - Reaproveitamento de água ou reuso

O reuso da água é o processo pelo qual a água, tratada ou não, é reutilizada para o mesmo ou outro fim. Considerando se há ou não o descarte nos corpos hídricos antes do próximo uso, ou seja, o reuso pode ser direto ou indireto, decorrentes das ações planejadas ou não. De acordo com Organização Mundial de Saúde (BREGA FILHO & MANCUSO, 2002) pode ser classificado em:

- **Reuso indireto não planejado da água**: ocorre quando a água, utilizada em alguma atividade humana, é descarregada no meio ambiente e novamente utilizada a jusante, em sua forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Caminhando até o ponto de captação para o novo usuário, a mesma está sujeita às ações naturais do ciclo hidrológico.

- **Reuso indireto planejado da água**: ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizadas a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico. O reuso indireto planejado da água pressupõe que exista também um controle sobre as eventuais novas descargas de efluentes no caminho, garantindo assim que o efluente tratado estará sujeito apenas a misturas com outros efluentes que também atendam aos requisitos de qualidade do reuso objetivado.

- **Reuso direto planejado das águas**: aquele que ocorre quando os efluentes, após tratados, são encaminhados diretamente de seu ponto de descarga até o local do reuso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso com maior ocorrência, destinando-se a uso em indústria ou irrigação.

- **Reciclagem interna**: é o reuso interno das águas, antes de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou outro local de disposição. Essas águas tendem, assim, como fonte suplementar de abastecimento do uso original. Este tipo de reuso, em instalações industriais tem como objetivo a economia de água e o controle de poluição.

- **Aproveitamento de águas de chuva**: é uma forma de proteger os recursos hídricos, a retenção dessa água é uma ótima alternativa para combater os efeitos da estiagem, por ter um nível tecnológico apropriado de pequena escala, os custos são acessíveis, a capacidade de produzir resultados imediatos e o fato de ser baseado em técnicas de armazenamento de águas populares. A água de chuva sofre o processo de diluição natural ao longo de seu percurso hídrico, mas, nem sempre suficiente para realmente depurá-la.

Nesse contexto, o que se refere ao reaproveitamento da água de lavagem nas ETAs pode ser considerado como reciclagem de água ou reuso direto planejado, e para obter significativos ganhos ambientais, sociais e econômicos, é preciso investir em pesquisa e desenvolvimento tecnológico, na implantação de sistemas de tratamento que possibilitam que as estações de tratamento de água possam buscar alternativas de disposição adequada e possível reuso da água de lavagem.

A prática do reuso da água é ainda incipiente no Brasil, principalmente devido à cultura de abundância presente no cenário nacional. Entretanto, o governo federal iniciou o processo de gestão para estabelecer bases políticas, legais e institucionais para o reuso. Não se admite hoje em dia, que uma política de gestão integrada de recursos hídricos não contemple o reuso de água. Nesse sentido, esforços já estão sendo envidados, através da Secretaria de Recursos Hídricos, para que haja o envolvimento do Ministério de Agricultura, de outros setores do Ministério do Meio Ambiente e do Ministério da Saúde.

2.9 - Reaproveitamento da água de lavagem em ETAs

O reaproveitamento das águas utilizadas nas lavagens das unidades de tratamento, dada a sua quantidade, pode se constituir numa alternativa importante sob o ponto de vista ambiental e econômico, diante da escassez de mananciais e comprometimento da qualidade da água bruta por poluição. Para tanto, há várias maneiras de gerenciar o reaproveitamento dos resíduos líquidos das ETAs, sendo extremamente importante encontrar alternativas compatíveis com as condições locais. As alternativas

devem ser estudadas com intuito de minimizar o impacto ambiental provocado pela operação de filtração e decantação, visando à recirculação da água para fins apropriados.

2.9.1 - Reaproveitamento da água de lavagem dos filtros

O reaproveitamento da água de lavagem dos filtros é uma alternativa que depende profundamente das características da água bruta, dos sistemas de filtração e de lavagem, do tipo de pré-tratamento, ao qual a água afluente aos filtros é submetida, e das características exigidas para a água recuperada.

Os benefícios resultantes do reaproveitamento das águas de lavagens nas ETAs, visando à redução de perdas, são enormes. Experiências têm demonstrado que a recuperação, de modo adequado, é viável economicamente. Tendo em vista que o teor de sólidos da água de lavagem é muito baixo, 0,05 a 0,5%, o reaproveitamento da água de lavagem não é feito só para eliminar o problema dos impactos ambientais causado pela sua descarga no corpo receptor, mas também para reaproveitar economicamente grande volume de água, principalmente em regiões onde há escassez de água ou o recalque de água bruta é feito a um custo de energia elevado. Sabe-se ainda que, uma parcela considerável de água aduzida que não será descartada e, na mesma, estão incorporados produtos químicos empregados no processo, de forma a existir também recuperação de uma fração destes, assim como, uma diminuição de custos com energia elétrica. Para isso, o custo de implantação do sistema de tratamento da água a ser reciclada deve ser o menor possível, de forma que possa ser competitivo com o custo da água, recuperando-se o investimento em curto prazo.

Alguns cuidados devem ser tomados, quando as águas de lavagem de filtros são bombeadas para as unidades iniciais do tratamento. Este retorno pode, freqüentemente, causar uma sobrecarga hidráulica na instalação, tornando-se, então, necessário uma unidade de equalização, de modo que o volume retornado represente no máximo 10% da vazão da água bruta que chega à estação, o que não permite nenhum prejuízo no processo de coagulação-floculação, dosagem de coagulante (KAWAMURA, 2000; SOUZA FILHO, 1998). O retorno das águas de lavagem ao início do tratamento tem melhorado o desempenho das unidades de floculação e decantação, principalmente em instalações que tratam água bruta com baixa turbidez, pois os lodos recirculados servem como núcleos para o crescimento dos flocos (YUZHU, 1996 *apud* FERNANDEZ e FERREIRA FILHO, 2003).

UFCG/BIBLIOTECA

Entretanto, segundo HARTUNG (1969), *apud* FERNANDEZ e FERREIRA FILHO, (2003), o retorno da água de retrolavagem de filtros, freqüentemente, sobrecarrega a instalação de maneira desproporcional em relação aos parâmetros normais do tratamento, a menos que a água seja tratada, antes de ser recirculada. Na operação de retrolavagem, os flocos coagulados contidos na água de lavagem podem ser quebrados pela turbulência do fluído. É difícil resedimentá-los num decantador ou reacoagulá-los com a mesma dosagem de coagulante utilizado para a água bruta, podendo provocar, com isso, uma perda de qualidade da água. Desse modo, deve ser considerada uma sedimentação prévia da água de lavagem, antes de ser retornada.

Ferreira Filho & Laje Filho (1999) afirmam que para se obter sucesso num sistema de reaproveitamento da água de lavagem é preciso a conscientização da equipe de operação da ETA quanto ao reuso. Em muitos casos, devido à concepção do sistema de tratamento, os filtros são, muitas vezes, lavados seqüencialmente, sem o devido controle operacional, o que é especialmente comum em ETA de grande porte, que apresenta um grande número de unidades filtrantes. Os autores complementam que muitas vezes o que representa uma otimização do processo de filtração é, na verdade, um complicador do processo de recuperação de água de lavagem, pois, caso o sistema de recuperação não apresente condições de receber todo o volume de água de lavagem produzido na unidade de tempo, a sua recuperação será apenas parcial. Dessa forma, fica evidente o fato de que quanto melhores forem as condições de pré-tratamento da água bruta, mais eficiente será o processo de filtração e mais longas serão as carreiras de filtração e, sendo estas mais longas, mais facilmente o sistema de recuperação de água de lavagem poderá ser otimizado, visando a sua recuperação integral.

Uma limitação no reaproveitamento da água de lavagem, citada por Souza et al., (1996) e CornwelL e Lee (1994), ocorre quando a água bruta apresenta uma qualidade microbiológica não satisfatória ou presença de ferro e manganês, pelo fato do processo de filtração ser uma operação de pré-concentração de sólidos e microrganismos. Quando ocorre o reciclo integral da água de lavagem, esta pode prejudicar o processo de tratamento da fase líquida. Para os autores, a recirculação do sobrenadante pode comprometer o funcionamento da ETA ou prejudicar a qualidade da água final, pela presença dos sólidos suspensos totais ou microrganismos indesejáveis, como cistos de *Giardia* e *Cryptosporidium*, de metais, como manganês e ferro, de carbono orgânico total, de precursores dos trihalometanos e substâncias que conferem sabor e odor. Então, para cada

tipo de água, devem-se estudar os possíveis métodos a serem empregados, levando-se em consideração a eficácia do sistema em relação à remoção de sólidos suspensos totais.

De acordo com a USEPA, 2001 (United States - Envirommental Protection Agency), a prática da reciclagem da água de lavagem dos filtros reintroduz contaminantes no interior do processo de tratamento. Esta prática, se não for feita adequadamente, pode prejudicar a eficiência do processo de tratamento, pelo fato de a água de lavagem dos filtros ser resultante do processo de filtração, que retém partículas, incluindo coagulantes, metais e patógenos, tais como *Cryptosporidium*, causadores de infecção endêmica criptosporidiose.

Craun et al., (1998) *apud* Heller et al., (2006), com bases em estudos, relatam que, às causas e a epidemiologia de 35 surtos, envolvendo *Cryptosporidium* nos EUA, Canadá e Reino Unido, estão associados a sistemas de águas superficiais filtradas ou não filtradas e um número significativo a sistemas de águas subterrâneas. Em sua maioria, as fontes de contaminação foram identificadas e as deficiências no tratamento e operação foram documentadas, incluindo coagulação ineficiente, operação e monitoramento inadequados do processo de filtração e transpasse na filtração. Para Richardson et al., (1991 *apud* Heller et al., 2006), uma importante causa de contaminação em um surto foi a reciclagem direta de águas de retrolavagem dos filtros, sem tratamento prévio. Nesse sentido, Di Bernardo et al. (1999) afirmam que a clarificação da água de lavagem de filtros possibilita a recirculação do sobrenadante na câmara de chegada de água bruta da ETA, que é imprescindível o monitoramento microbiológico do sobrenadante, pois este pode contribuir para um aumento significativo no número de microrganismos na água a ser tratada. Dependendo da qualidade microbiológica da água bruta, a pré-desinfecção do sobrenadante pode ser necessária, antes de ser misturado à água bruta.

Scalize et al. (2005), utilizando polímero para clarificação da água de lavagem de filtros da estação de tratamento de São Carlos/SP, concluíram que os sobrenadantes apresentaram características que permitiram a recirculação para o início do tratamento de água, pois os valores de turbidez, SST e coliformes fecais obtidos nos sobrenadantes mostram-se inferiores aos da água bruta. Por outro lado, a quantidade de formas parasitárias presentes no sedimento foi superior à encontrada nos sobrenadantes, devendo-se tomar os devidos cuidados em sua manipulação, disposição ou reutilização. Os pesquisadores concluíram que a recirculação, juntamente à água decantada, antecedendo à filtração, poderá ser realizada, desde que seja feito um monitoramento constante na qualidade final da água filtrada com objetivo de verificar possíveis transpasses, visto que a

qualidade da água decantada da ETA é melhor que a água a ser recirculada. No que se refere ao grupo de coliformes nos sobrenadantes, Scalize et al. (2005) concluíram que há necessidade de cuidados quanto ao reuso, especialmente quanto à presença de *Escherichia coli*, indicativa de contaminação fecal. Considerando apenas a presença de coliformes, a recirculação do sobrenadante não requer desinfecção prévia, pois o número de coliformes totais e *Escherichia coli*, presentes em 100 ml de amostra de sobrenadante, resultou inferior ao encontrado na água bruta aduzida a ETA. Os pesquisadores recomendam que devem ser estudados outros tipos de polímeros, apesar de ter sido obtido com o polímero aniônico, sobrenadantes e materiais sedimentados com melhores características, pois cada despejo apresenta características próprias e realizar estudos em outras ETAs, visando à recuperação deste tipo de resíduos, já que representa uma significativa parcela de água que pode ser reutilizada.

2.9.2 - Reaproveitamento da água de lavagem dos decantadores e floculadores

Os tipos de decantadores e suas características operacionais interferem no método de tratamento e de disposição dos resíduos líquidos. Assim o reaproveitamento da água de lavagem está em função do tipo de decantador e sua descarga e operação de limpeza.

As características dos despejos gerados em decantadores com sistema de descarga de sólidos semi-contínua e em batelada são bastante distintas. Decantadores convencionais com remoção semi-contínua de sólidos apresentam grande superioridade com relação a sistemas sem remoção mecanizada de despejo, por permitirem a sua operação ininterrupta sem trazer prejuízo ao processo de tratamento de água, evitando assim sobrecarga hidráulica nos demais decantadores.

Ferreira Filho (1997), pesquisando o processo operacional de despejos dos decantadores da ETA de Cubatão/ SP, verificou que, durante a descarga dessas unidades, a primeira metade do volume descarregado é composto, basicamente, por água de baixa concentração de sólidos. O autor ressalta que uma das alternativas possíveis de serem consideradas no tocante à redução do volume do tanque de despejo é a possibilidade de uma parte do volume do decantador ser enviada para o tanque de recuperação de água de lavagem. Fernandez & Ferreira Filho (2003), recomendam em seu estudo realizado na ETA Alto da Boa Vista, São Paulo -SP, a recuperação de 50% das águas clarificadas dos

decantadores com o lançamento direto para os filtros, pois essa prática reduz a diluição do lodo e conseqüente aumento da diluição e concentração de sólidos.

Além do reaproveitamento da água de descarga e da água de lavagem dos decantadores, tem-se outra parcela de água que também pode ser reaproveitada, que corresponde à parcela de água proveniente do desaguamento de água de lodo. Pode ser considerável a quantidade de água livre presente no lodo, dependendo da forma de limpeza dos tanques de sedimentação (CORDEIRO, 2001).

2.10 - Métodos de remoção e tratamento de água no lodo de ETA para reuso

O potencial de reuso das águas de lavagem dos filtros e do lodo gerado nos decantadores está diretamente relacionado aos métodos empregados para o tratamento desses resíduos. Isto é, os resíduos gerados nas ETAs devem ser adequadamente tratados atendendo aos aspectos técnicos e ambientais, sendo necessário o conhecimento de sua composição, dos processos ou operações para redução de volume e das alternativas de disposição final do lodo. Em cada ETA, o método de tratamento dos resíduos e a forma empregada para disposição do lodo devem se basear em estudo de alternativas viáveis do ponto de vista técnico e econômico, além de se considerar a sustentabilidade da solução adotada. Devem também ser avaliadas as necessidades, dosagens e tipos de condicionadores químicos para cada processo em função da resistência que as partículas apresentam na remoção da água. A alternativa encontrada para uma determinada ETA não pode ser aplicada indiscriminadamente em outras, pois as características dos resíduos variam consideravelmente.

Para Di Bernardo et al. (1999), as tecnologias utilizadas para o tratamento dos resíduos resumem-se basicamente na separação das fases líquida e sólida, aumentando a concentração dos sólidos no material sedimentado por clarificação/adensamento e desidratação, de maneira que o reuso do sobrenadante e a disposição final do material sedimentado sejam possíveis. O grau de tratamento necessário depende diretamente do método de disposição do lodo a ser utilizado e da qualidade desejada para a parcela líquida recirculada.

Segundo Di Bernardo (2005), a água presente no lodo de ETAs, antes do adensamento e desaguamento, pode ser definida por diversas frações de água, as quais descritas a seguir e ilustradas na Figura 2.6:

- Água livre – parcela de água que se move livremente por gravidade. Essa água pode ser removida com relativa facilidade por meio de sistemas mecânicos ou, naturalmente, por drenabilidade.

- Água vicinal – constituída por múltiplas camadas de moléculas de água, que estão fisicamente ligada, as quais se encontram firmemente presas à superfície da partícula por meio de pontes de hidrogênio.

- Água intersticial ou capilar – a água capilar está fortemente ligada à partícula sólida por intermédio de pontes de hidrogênio. A diferença entre esta parcela e a do floco é que esta está livre para se mover, enquanto a capilar se move com a partícula.

- Água de hidratação – parcela ligada quimicamente à partícula sólida coloidal. A remoção dessa água só será possível com aplicação de altas temperaturas.

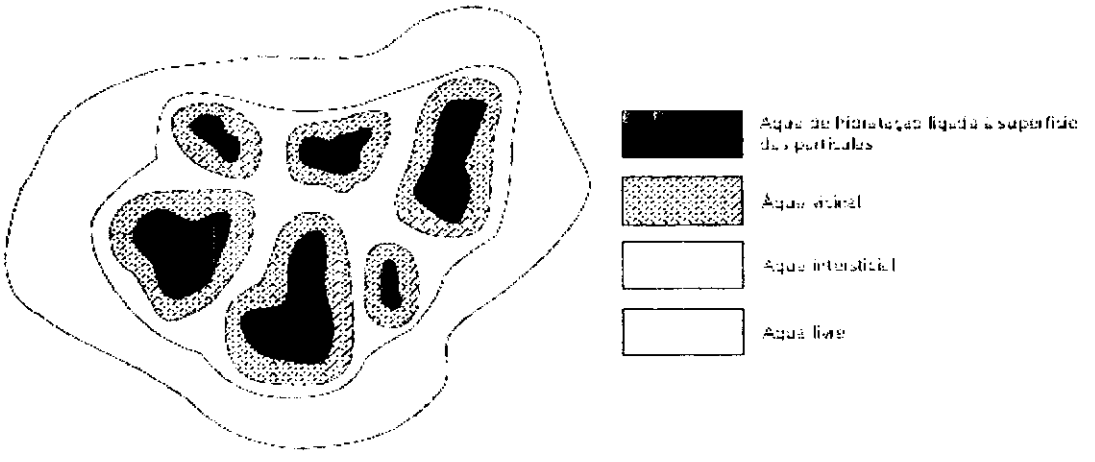


Figura 2.6 - Esquema ilustrando a distribuição de água no lodo.
Fonte: Di Bernardo (2005)

Segundo Reali (1999), as quantidades relativas dessas diferentes frações de água determinam as características de retenção de água dos lodos e, conseqüentemente, o desempenho dos sistemas de remoção de água utilizados. Um parâmetro utilizado para avaliação da maior ou menor facilidade de remoção de água de lodos é a resistência específica à filtração. Quanto maior o valor desse parâmetro, mais difícil a remoção, por filtração, da água do lodo. Geralmente, os lodos de decantadores de ETAs apresentam valores de resistência específica entre $5{,}0 \times 10^{12}$ a 70×10^{12} m/kg, enquanto lodos gerados durante a lavagem de filtros apresentam valores desses parâmetros na faixa de 0,1 a 15×10^{12} mg/kg.

O processo de desaguamento do lodo é uma operação física utilizada para reduzir o teor de umidade do lodo, acarretando com isso, na redução do volume do lodo e do custo de transporte para destinação final (GRANDIN et al., 1993). O desaguamento do lodo de ETA pode ser mecânico ou natural. Segundo Kawamura (2000), os métodos de desaguamento para permitir um manuseio adequado e tratamento dos resíduos para disposição final devem ainda considerar os controles ambientais exigidos pelas normas e regulamentos.

Os métodos utilizados para redução do volume dos resíduos mais conhecidos são os métodos naturais tais como: leito de secagem e lagoas de lodo e os sistemas mecânicos de desaguamento que são: filtros-prensa, prensa desaguadora, centrífuga e filtros a vácuo. Os métodos de incineração e congelamento são métodos pouco usuais na redução de volume de resíduos em ETAs. As vantagens e desvantagens de cada método de secagem de lodo são apresentadas de forma resumida na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Vantagens e desvantagens da secagem dos resíduos de ETAs

Vantagens	**Desvantagens**
Métodos de secagem natural	
• possibilita diminuir os custos de transporte do resíduo até o destino final; • incrementa as potencialidades do emprego do resíduo como cobertura para aterros e matéria-prima em algumas empresas da construção; • baixo consumo de energia; •em condições climáticas favoráveis, a secagem dos resíduos resulta eficiente; • não há necessidade de pessoal altamente qualificado para operação e manutenção.	• exige grandes áreas de implantação, quando comparada com métodos naturais de secagem. • o lodo precisa ser desaguado antes de ser encaminhado ao secador; • o projeto requer conhecimento das condições climáticas da região; • há necessidade de máquinas para remover o resíduo periodicamente; • a técnica ainda não foi totalmente desenvolvida (falta de parâmetros de projeto e de operação).
Método de secagem mecanizada	
• as duas primeiras vantagem de secagem natural são aplicáveis; • a técnica independe das características climáticas da região para seu funcionamento; • requer menores áreas de implantação, quando comparada com métodos naturais de secagem.	• requer energia elétrica e pessoal qualificado para operar e manter o sistema; • pode gerar gases tóxicos no processo, os quais devem ser controlados; • o lodo precisa ser desaguado antes de ser tratado no secador; • apresenta grande investimento inicial e custos elevados de operação e manutenção; • no Brasil não se tem conhecimento de experiências, em escala real, para secagem de lodos de ETAs.
Incineração	
• são aplicáveis todas as técnicas de secagem mecanizada.	• são aplicáveis as quatro primeiras desvantagens do método de secagem mecanizada; • resíduos aluminosos podem gerar incrustações indesejáveis nos incineradores.

Fonte: Di Bernardo (2005)

Segundo Cordeiro (2001), o tempo de drenagem da água livre é um dos principais fatores a serem atingidos na operação de remoção da água, pois, assim, as etapas posteriores são facilitadas. A água livre deve ser removida no menor tempo possível, a fim de que seja viável a recuperação e o reuso. A estrutura dos sólidos presentes nos lodos de ETAs é muito complexa, pois o tamanho das partículas é fator decisivo na operação de separação.

2.10.1 - Métodos mecânicos para remoção de água no lodo

Os sistemas mecânicos de desaguamento de lodos de ETA podem ser usados em situações em que a construção de sistemas naturais não é viável por fatores como: falta de espaço físico, altas precipitações e/ou necessidades de altas concentrações de sólidos (KAWAMURA, 2000).

A operação realizada pelas centrífugas consiste na separação das fases sólido-líquido, cujo princípio básico é semelhante à sedimentação de partículas submetidas à ação da gravidade. No entanto, a intensidade das forças atuantes nos equipamentos de centrifugação geralmente supera a força da gravidade em centenas até milhares de vezes.

Os sistemas de desaguamento por filtração forçada empregam pressões diferentes da atmosférica para promover a separação sólido-líquido. Podem ser utilizados filtros prensa de placas, filtro prensa de correia ou filtro a vácuo. A remoção de água através de filtro prensa de placas é um processo semi-contínuo alimentado por batelada. O lodo, na maioria das vezes pré-condicionado, é encaminhado para as câmaras, onde as mantas ou telas filtrantes estão acondicionadas, até seu preenchimento. Por meio de aplicação de pressões diferenciais, força-se o lodo sobre o meio filtrante, fazendo com que a água seja removida. Os sólidos no interior das câmaras formam a torta de lodo desaguado. Grandin et al. (1993), utilizando filtro prensa de placas, estudou o desaguamento do lodo de decantador da ETA Guaraú, São Paulo/SP, de ciclo completo e que utiliza o coagulante sulfato de alumínio. Obteve como resultado uma torta de 25 mm de espessura com teor de sólidos de 22,8%. A pressão aplicada ao sistema foi de 5 bar e o lodo foi condicionado com 5,0 g/kg de polímero aniônico.

Cordeiro (1999) considera que apesar de toda experiência, a aplicação de sistemas mecânicos de desaguamento de lodos de ETA ainda não é efetiva e demanda certos cuidados. A utilização de forma mais ampla depende de projetos mais específicos, pois a característica própria dos lodos de ETAs apresenta difícil manejo. A remoção da

água livre depende do tamanho das partículas e resistência específica dos mesmos que influenciam na filtrabilidade.

A seguir, serão descritos os dois processos de secagem não mecânica mais utilizados na desidratação dos lodos de ETAs.

2.10.2 - Métodos naturais para remoção de água do lodo

Leitos de secagem

Cordeiro (2001) apresenta, como um dos métodos utilizados já há alguns anos para a remoção natural da água livre dos lodos gerados em ETAs e ETEs, o leito de secagem. A aplicação deste método pode minimizar os impactos ambientais, reduzindo os volumes de despejos e possibilitando o reuso da água livre.

A tecnologia dos leitos de secagem tem sido utilizada para remoção de água de rejeitos de diversos tipos de tratamento de águas residuárias e de abastecimento, desde o início do século XX (1900), praticamente sem mudanças consideráveis em sua estrutura física. Cerca de 2/3 dos sistemas de tratamento de lodos de estações de tratamento de esgotos sanitários removem água desses resíduos em leitos de secagem (CORDEIRO, 2001).

Em Cordeiro (1999) o autor afirma que os leitos de secagem são muito utilizados na Europa e nos Estados Unidos. Fatores como características físico-químicas do material a ser desaguado, espessura da camada aplicada, teor de sólidos, condicionamento do lodo, condições climáticas do meio, características e condições do meio de drenagem, entre outros, afetam o desempenho dos leitos de secagem.

Nos Estados Unidos, segundo Murray & Dillon (1994) *apud* Cordeiro (2001), a utilização de leitos de secagem na remoção de água de lodos de decantadores de estações de tratamento de águas (ETAs) é de cerca de 10% em 500 sistemas estudados. Nesses sistemas sempre foram utilizados os chamados sistemas convencionais.

Nos processos tradicionais de leitos de secagem, em que o meio filtrante é constituído por areia de granulometria específica, apoiada sobre camada suporte de brita, o tempo de remoção de água constitui-se na somatória do tempo de drenagem e de evaporação da água. Dessa forma, as condições de drenagem têm tanta influência quanto às condições climáticas, que proporcionarão a remoção da água remanescente por meio da evaporação.

Cordeiro (2001) realizou uma série de estudos com o leito de secagem tradicional em escala-piloto com diversos arranjos, buscando uma melhor condição de desaguamento e de operação. A evolução apresentou um leito com meio drenante constituído de apenas uma camada de brita recoberta com manta geotextil. Com os resultados de tempo de drenagem bastante reduzidos passou a ser denominado de leito de drenagem. O desenvolvimento de estudos dessa tecnologia em escala real é bastante importante para a avaliação de parâmetros de projeto, características construtivas e condição operacional. A viabilidade desse sistema proporciona grandes ganhos ambientais com redução de lançamentos de rejeitos na natureza e possibilidade de reuso da água.

Segundo Di Bernardo (2005) o desaguamento do lodo de ETA depende de diversos fatores, destacando-se: temperatura e umidade do ar, viscosidade do lodo adensado e ação de ventos. Em geral, para lodo adensado com teor de SST de 1,5 a 3,0%, obtém-se lodo desaguado com teor de SST de 15 a 20%.

Achon & Cordeiro (2003) estudaram o desaguamento de lodo na ETA de Rio Claro/SP, por meio de um leito de secagem modificado, introduzindo um geotêxtil sobre a camada de brita. Os autores concluíram que o tempo necessário para secagem do lodo resultou, em média, igual a sete dias, independente do volume de lodo descartado no leito, com redução do volume da ordem de 75% a 85%, possibilitando utilizar camada de lodo com espessura entre 20 a 50 cm.

Fontana & Cordeiro (2004) apresentaram alguns resultados da implantação do tratamento de lodo por meio de um leito de secagem, contendo uma manta não tecida de poliéster geotêxtil na ETA de Cardoso/SP, que utiliza sulfato de alumínio como coagulante. O leito possui dois módulos de 30 m^2 de área em planta e altura de 0,5 m. Os autores concluíram que o líquido drenado apresentou valores de turbidez, pH, sólidos e DQO adequados, podendo ser recirculado para o início da ETA. Foram verificadas reduções de SST superiores a 99,9% e DQO maiores que 98%.

Depois de seca, a torta de lodo é removida de forma mecânica ou manual. Neste caso, há a necessidade de emprego de mão-de-obra durante a maior parte do período, também se deve utilizar pranchas para que não ocorra contato e circulação direta de pneus, dos carrinhos de mão, sobre o leito de drenagem de modo, que este venha a ser danificado. No caso de remoção mecanizada da torta, em países desenvolvidos, são utilizados caminhões equipados com sistema de vácuo, conforme apresentado por CORDEIRO (1999).

Lagoas de lodo

As lagoas de lodo podem ser naturais ou construídas através de diques ou escavações. Esse método poderá ser viável para locais que possuam áreas próximas às ETAs, com condições topográficas e geofísicas adequadas. O projeto de lagoas de lodo deve incluir: sistema de tubulações de entrada de lodo e saída do decantado, sistema de bombeamento (se necessário), sistema de coleta do drenado e equipamentos de remoção mecânica do lodo. O sobrenadante decantado poderá retornar ao sistema de tratamento.

O processo de desidratação do lodo envolve a evaporação na superfície do lodo, dependendo da profundidade da lagoa, a camada inferior de lodo pode nunca secar completamente (AWWA, 1978). O principal problema encontrado em muitas lagoas é o fato do lodo não ser suficientemente desidratado até uma concentração de sólidos que permita sua remoção para disposição final.

Cordeiro (1999) recomenda que a profundidade de lagoa de lodo varie de 0,7 m a 1,4 m. O sobrenadante pode ser removido de forma intermitente ou contínua, podendo retornar ao sistema de tratamento. O tempo de desidratação do lodo pode variar bastante, principalmente quando são variáveis as condições climáticas.

Reynolds (1982) *apud* Reali (1999) descreve que os sistemas de lagoas de lodo possuem, geralmente, duas ou mais unidades operando em paralelo. Essas unidades devem possuir, em seu entorno, proteção para evitar o acesso de águas fluviais das áreas vizinhas. O lodo é encaminhado continuamente para uma das lagoas e após o seu enchimento completo é retirada a lagoa de operação possibilitando-se a desitratação do lodo acumulado.

Segundo Di Bernardo (2005), o fundo e taludes da lagoa devem ser revestidos (pintura asfáltica, argamassa, camada de argila, manta de plástico, etc.) para evitar infiltração e, consequentemente contaminação do subsolo. E recomenda, quando se trata de lagoa para desaguamento, o uso de várias unidades em paralelo, com largura e profundidade relativamente pequenas e comprimento longo.

Vários são os fatores que devem ser avaliados nos critérios de projeto de lagoa de lodo, podendo ser citados: clima, permeabilidade do subsolo, características do lodo, profundidade da lagoa, área superficial, etc. Quanto ao clima, devem ser conhecidas: precipitação (índices pluviométricos, distribuição anual e sazonal); temperaturas extremas; taxas de evaporação (média anual e flutuações anuais e sazonais), intensidade de ventos,

etc. As principais características do lodo que devem ser analisadas são: tamanho e distribuição das partículas, resistência específica, filtrabilidade e compressibilidade.

Di Bernardo (2005) relata que lagoa de lodo pode ser uma alternativa atraente, particularmente em regiões onde a taxa de evaporação é superior à de precipitação, para que não resulte efluente líquido até que o lodo seja retirado. Apesar de que esse método vem sendo aplicado em ETAs das regiões Sudeste e Sul do Brasil, onde o índice pluviométrico é relativamente elevado em algumas épocas do ano.

Situação em que a taxa de evaporação é muito baixa e é freqüente a incidência de precipitação pluviométrica, pode-se adotar a instalação de dispositivos flutuantes na lagoa para retirada do sobrenadante, até que a altura de lodo atinja um valor máximo, que prejudica a clarificação. Estudo realizado por Achon & Cordeiro (2005) retrata que esse procedimento é adotado com bom desempenho no sistema de disposição de resíduos da ETA de Rio Claro/SP.

Meneses et al. (2005) realizaram a caracterização do efluente líquido descartável, da ETA de Gramame, João Pessoa/PB, cujo sistema está integrado a uma lagoa de lodo para receber o efluente, visando o seu reuso. Concluíram que os parâmetros analisados apresentaram características que atenderam aos padrões da Resolução Nº 357/2005 do CONAMA, classe 2. Além disso, os autores constaram que, durante o período estudado, a ETA realizou com sucesso o reaproveitamento da água de lavagem dos filtros e sobrenadantes da lagoa de lodo. Os autores recomendam, para esse tipo de reuso, um controle na adição do sulfato de alumínio. O reaproveitamento dos volumes de água de lavagem dos filtros e da limpeza dos decantadores de uma ETA para o próprio abastecimento deve passar por um processo de modernização das ETAs, em especial, das do tipo convencional, por fazerem uso de produtos químicos.

2.11 - Aproveitamento e disposição final dos resíduos sólidos de ETAs

Em várias partes do mundo, o tratamento, aproveitamento e a disposição de lodos de ETAs vêm sendo tratados como oportunidade de aumento de receita e, principalmente, redução de custos e de impactos ambientais em empresas e sistemas autônomos de saneamento básico. Uma das formas de economia, neste processo, é o aproveitamento do lodo gerado para utilização em outras atividades, tais como: fabricação de cimento, fabricação de tijolos, cultivo de grama comercial, compostagem, solo

comercial, plantação de cítricos, melhoria da sedimentabilidade em águas com baixa turbidez, construção civil (estudo com argamassa e concreto).

Para o administrador do serviço de água, o destino final para o lodo de ETA é uma das tarefas mais difíceis no tratamento de água, envolvendo custos das tarefas de transporte e restrições do meio ambiente. Por outro lado, de acordo com Januário e Ferreira Filho (2007) uma das maiores dificuldades para grande partes das ETAs brasileiras é ausência de dados que permitam o cálculo da produção de lodo de forma segura, bem como o fato de que a sua geração está diretamente associada a variedade temporal da qualidade da água bruta. Portanto, cabem aos administradores dessas empresas, estabelecer programas de obtenção de dados que permitam a determinação da produção de lodos no processo de tratamento, oferecendo subsídios para a definição e seleção de alternativas para sua destinação final.

Conforme Cordeiro (1993) há várias opções possíveis de disposição a serem adotadas, dependendo da análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental para cada caso; podendo ainda constituir-se em oportunidade de aumento de receita e principalmente, redução de custos e impactos ambientais. Segundo Richter (2001), entre as alternativas mais utilizadas de disposição final, são destacadas: lançamentos em curso d'água, no mar, na rede de esgoto sanitário; disposição em lagoa, em solo e em aterro sanitário.

A alternativa de disposição dos lodos de ETAs, em aterros sanitários, é sempre recomendada por ser comprovadamente viável tecnicmente e possuir regulamentação pelas legislações ambientais vigentes. No Brasil, a NBR 10.004 tem sido utilizada para licenciar e operar aterros sanitários, estendendo-se seus conceitos para enquadramento dos lodos de ETA e ETEs e suas respectivas disposições nesses aterros. As dificuldades encontradas para implantação de aterros são a necessidade de grandes áreas adjacentes aos centros geradores de resíduos e a escassez de áreas adequadas que não causem impactos ao meio ambiente e ás comunidades circunvizinhas (JANUARIO & FERREIRA FILHO, 2007).

O método comumente utilizado na Europa e nos EUA, a disposição do lodo de ETA é o lançamento deste em Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Di Bernardo et al. (1999) consideram esta alternativa atrativa, pois elimina a implantação de sistemas de tratamento de resíduos na própria ETA. Reali (1999) acredita que o lançamento direto na rede de esgoto, sem nenhum tratamento prévio, pode ser considerado uma das alternativas mais baratas de disposição final. Contudo, segundo Richter (2001), esta alternativa apenas transfere o problema do tratamento e disposição do lodo de ETA para a ETE.

Em levantamento feito nos Estados Unidos, sobre a forma como os resíduos do tratamento de água estavam sendo dispostos, Cornwell et al. (2000) apresentam, (Figura 2.7), várias formas de disposição final de lodos de ETAs adotadas nos EUA.

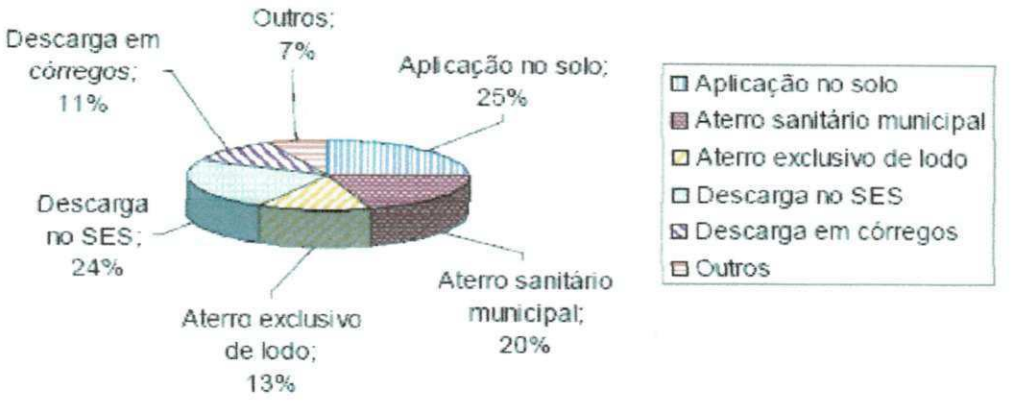


Figura 2.7 Disposição de lodos de ETAs nos EUA
Fonte: Cornwell et al. (2000).

No Brasil, há técnicas, já pesquisadas, que não possuem experiência em escala real, é o caso do desaguamento do resíduo por filtração a vácuo. No aproveitamento do resíduo, isto também acontece com técnicas, como fabricação de cimento a partir do lodo (SABOGAL-PAZ & DI BERNADO, 2005). A alternativa de aproveitamento e disposição final do lodo, considerada por Cordeiro (2000), é a incorporação do lodo em matriz de concreto, pois, além de não prejudicar o meio ambiente, ainda pode trazer benefícios para a construção civil.

Brink et al. (2005) estudando o impacto do lodo de ETA em sistemas de desidratação mecânica de lodos de ETEs, observaram que, tecnicamente, é viável o condicionamento e desidratação de lodos de ETAs em conjunto com lodos de ETEs, sendo a disposição do lodo de ETAs na rede coletora de esgotos sanitários uma alternativa viável, que deve ser considerada como uma opção para solucionar o problema do tratamento e disposição dos resíduos gerados no processo de tratamento de água. Mas, ressaltam que essa alternativa é viável se a rede coletora comportar o acréscimo de vazão e se o lodo da ETA não comprometer o sistema de tratamento da ETE.

Freitas et al. (2005) realizaram um estudo de viabilidade técnica e econômica da regeneração de coagulantes, a partir de lodos de ETAs, e a posterior aplicação dos coagulantes regenerados no tratamento de esgotos. Com respeito à avaliação econômica, foi observada redução significativa de sólidos em suspensão nos lodos das ETAs,

reduzindo os custos decorrentes da diminuição de lodo a ser tratado e disposto. Verificou-se ainda que o custo de produção do regenerado é muito próximo ao custo do coagulante comercial. Esta alternativa foi considerada potencialmente viável do ponto de vista técnico e econômico para o tratamento e reaproveitamento de lodo de ETAs.

Hoppen et al. (2005) desenvolveram estudo de incorporação do lodo da ETA de Passaúna Curitiba/PR em matrizes de concreto como forma de disposição final do lodo. Os pesquisadores mostraram que adição com dosagem de 3% no lodo na matriz de concreto foi viável tecnicamente, além de ser ambientalmente correta, uma vez que reduziu a quantidade deste material a ser disposta na natureza.

2.12 - Estudos desenvolvidos e experiência de ETAs brasileiras com reaproveitamento dos seus resíduos

Na região metropolitana de São Paulo, cujo fornecedor de água é a SABESP, tem-se as ETAs do Guaraú e Alto da Boa Vista que realizam com sucesso o reaproveitamento dos resíduos, pois 100% de suas águas de lavagem são reaproveitadas. Os benefícios auferidos no reaproveitamento das águas de lavagem dos filtros realizado nas ETAs são significativos, representando cerca de 880 l/s para a SABESP (FERREIRA FILHO & FILHO LAJE, 1997).

Segundo Saron (2001), atualmente cerca de 2.950 m³ por dia de água de lavagem de filtros são recuperados na ETA de Guaraú/SP, operada pela SABESP, com os tanques de equalização operando sem a fase de decantação e não apresentando efeitos adversos para o processo da ETA. A ETA Monte Aprazível/SP, também operada pela SABESP, funciona com os tanques de equalização para as águas de lavagem de filtros com recuperação, sem a fase de decantação, e não tem apresentado problemas operacionais no processo de tratamento da fase líquida (FONTANA, 2004).

A ETA do Rio Descoberto/Brasília (CAESB) realiza o reaproveitamento integral da água de lavagem dos filtros, após o processo de clarificação, e gerando um volume recuperado de 170 l/s para a CAESB (FERREIRA FILHO & FILHO LAJE 1999).

Na ETA Santa Bárbara, foi desenvolvido um estudo com implantação do reaproveitamento de água de lavagem de filtros, cuja finalidade era minimizar as perdas no sistema de abastecimento de água da cidade de Pelotas/RS. Foi dimensionado um sistema, no qual o efluente de lavagem dos filtros retorna ao ciclo inicial do processo. A prática do reaproveitamento possibilitou um aumento da vazão de água na chegada da ETA, com

redução de horas de operação, aumento da população atendida e, principalmente, melhoria ambiental no corpo receptor (LIMA & COSTA, 2005).

Estudo sobre a viabilidade e implantação da recuperação do volume de água perdido na lavagem dos filtros e descarga de lodo de fundo dos decantadores e também sobre a disposição final da torta desidratada da ETA Capim Fino, Piracicaba/SP teve como objetivo minimizar a poluição do corpo receptor provocado pelas descargas da ETA e também diminuir as perdas verificadas no sistema produtor, o reaproveitamento das águas descartadas pela mesma (www.ceset.unicamp.br).

Fontana & Cordeiro (2005) estudaram em escala real o leito de drenagem para os lodos de decantadores e o sedimentador para águas de lavagem de filtros na ETA Cardoso/SP. A integração dessas tecnologias levou a resultados importantes tanto no aspecto operacional como no ambiental da ETA. A redução do volume dos resíduos se aproxima de 98%, facilitando a disposição controlada em aterro, e as águas livres e clarificadas são recirculadas para o início do tratamento.

A ETA de Gravatá, Boqueirão/PB, cujo manancial de abastecimento sofreu um período critico de disponibilidade hídrica, realiza o reaproveitamento da água de lavagem dos filtros, no entanto, esse reaproveitamento é apenas parcial, pois só ocorre quando o manancial se encontra em período seco. Carneiro Silva e Gomes (2007), analisando a viabilidade técnica, econômica e ambiental no reaproveitamento das águas de lavagens desta ETA, mostraram que a tecnologia de reaproveitamento de água de lavagem em ETAs é uma alternativa que pode se tornar uma solução para os problemas em regiões que apresenta escassez hídrica.

Machado et al. (2005) pesquisaram a utilização dos resíduos de ETA como insumo agrícola, realizando uma caracterização do resíduo produzido na ETA Bolonha – Região Metropolitana de Belém/PA, previamente desaguado em leitos de secagem. Os autores, ao analisarem a viabilidade do seu aproveitamento para fins agrícolas mostram que o resíduo pode ser utilizado, pois apresenta valores de nitrogênio, fósforo, potássio e matéria orgânica superiores aos encontrados em solos da região, sendo que a concentração de alumínio, que poderia ser o fator limitante, ficou abaixo dos valores verificados nos solos dos municípios de Belém e Castanhal/PA.

Segundo Megda et al. (2005), a utilização de lodos de ETAs na fabricação de cimento Portland é realizada com sucesso por empresas de saneamento nos EUA. Os materiais comumente utilizados na fabricação do cimento Portland são calcário, xisto e argila. O calcário corresponde à cerca de 70 a 80% do material bruto utilizado, porém com

baixas concentrações de sílica, ferro e alumínio. Para solucionar esta deficiência, são adicionados argila, xisto, minério de ferro e bauxita.

Morita et al. (2002) investigaram a viabilidade de incorporação do lodo centrifugado de ETA em blocos cerâmicos, utilizados na construção civil, buscando alternativas para solução de problemas do lançamento do lodo gerado na ETA de Cubatão SP. Os resultados obtidos mostraram-se eficazes, gerando vários benefícios para a concessionária de saneamento e indústria cerâmica, bem como evitando o lançamento do lodo em corpos d'água, assim como a redução do custo de disposição de resíduos em aterro sanitário.

2.13 - Impactos ambientais decorrentes das atividades de ETAs

O impacto ambiental é definido, de acordo com a Resolução CONAMA N° 001/1986, como sendo "Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem estar da população; as atividades sociais e econômicas; à biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais". Tommasi (1994) ressalta que o impacto ambiental pode atuar favorável ou desfavoravelmente ao ecossistema ou à sociedade humana, e que as alterações provocadas podem ser qualificadas e, muitas vezes, quantificadas.

Os lançamentos de resíduos de ETAs no ambiente aquático causam problemas ambientais, tais como aumento na quantidade de sólidos em suspensão, assoreamento indesejável, mudança de cor, aumento da concentração de alumínio e, ainda que incipiente, uma demanda bioquímica de oxigênio, e desrespeitam a Resolução N° 357 do CONAMA, de 17 de março de 2005, e ainda a Lei de Crimes Ambientais (Lei 9605 de 12/02/98). Levando em consideração a legislação brasileira vigente, pode-se observar que as concentrações desse despejo provocam degradação da qualidade ambiental, afetando condições estéticas e lançando materiais em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Alguns trabalhos realizados no Brasil evidenciam o potencial poluente dos resíduos gerados nos decantadores de ETAs convencionais. Cordeiro (1993), Achon et al. (2005) e Barbosa (2000) mostraram que a disposição desses resíduos em corpos d'água pode provocar alterações prejudiciais ao meio ambiente. Achon et al. (2005), ao relatarem

o problema do lançamento do lodo da ETA de São Carlos/SP no rio Monjolinho, demonstraram que valores médios de concentração de metais nas amostras dos resíduos de decantadores e os valores médios encontrados para água de lavagem dos filtros ultrapassam os valores estabelecidos pela legislação brasileira.

O sulfato de alumínio, utilizado como coagulante primário, e os possíveis compostos formados no processo dependerão do pH do meio, da presença de impurezas, da presença de ligantes e hidróxidos na água bruta, segundo Driscoll et al. (1987) *apud* Cornwell (1987). Os caminhos de transferência do alumínio no tratamento de água são um fato extremamente complexo e poucos têm sido os trabalhos desenvolvidos para melhor conhecer esses pontos. O transporte de formas de alumínio pode se dar através da água filtrada e distribuída à população ou para as partículas retidas nos decantadores (lodos) e na água de lavagem dos filtros.

Lamb & Balley (apud CORNWELL, 1987), utilizando lodos de ETAs resultantes do sulfato de alumínio, determinaram os efeitos agudos e crônicos desse material sobre organismos bentônicos, tais como *T. dissimilis*, representantes da família chironomídeos, os quais são importantes para alimentação de peixes. Os autores verificaram que a taxa de mortalidade cresce com o aumento das dosagens de lodo (Figura 2.8).

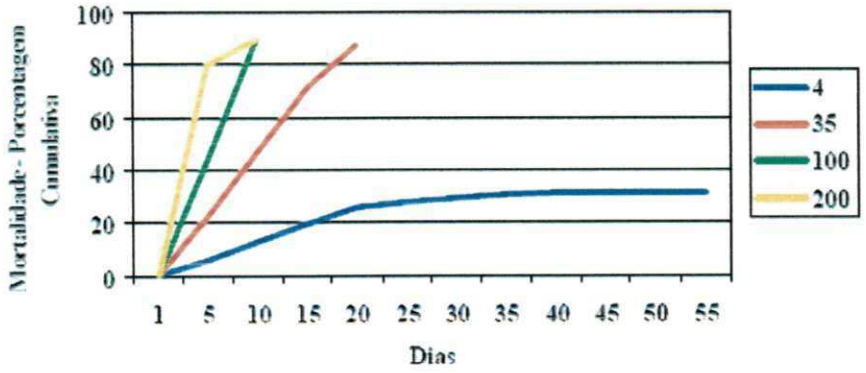


Figura 2.8 Mortalidade crônica de comunidade bentônica de invertebrados pela adição de lodo com sulfato de alumínio.
Fonte: (Cornwell, 1987)

O impacto ambiental provocado pelo lançamento *in natura* do lodo proveniente de ETAs está associado à grande concentração de metais (Al e Fe), que, quando dispostos em rios com baixa velocidade, podem afetar principalmente a camada bentônica dos rios. Dentre os impactos mais relevantes são: depleção na concentração de OD; alteração da biota aquática; mortalidade da comunidade bentônica de invertebrados; mortalidade de

peixes; redução do volume útil do rio e deficiências renais e doenças cardiovasculares no ser humano.

Scholfild e Trojnar (*apud* CORNWELL, 1987), realizando experiência com trutas, chegaram à conclusão de que o alumínio, em dosagem que varia de 0,2 a 0,5 mg/l, causava a morte dessa espécie de peixes, mas não se conseguiu distinguir as espécies de alumínio presentes. Já Driscoll et al. (1987), *apud* Cornwell (1987), estudando a toxicidade do alumínio para pequenos peixes, concluíram que formas inorgânicas de alumínio parecem ser as espécies de maior significado na toxicidade. Freeman & Everhart (1971), *apud* por AWWA (1992), também realizando experiência com trutas em aquários, com dosagens de alumínio de 0,05, 0,52 e 5,2 mg/l e variando valores de pH, notaram que as condições físicas dos peixes sofreram bruscas mudanças, como: apatia e desânimo generalizado, sintoma de inabilidade para se manter em equilíbrio, coloração escurecida e baixa na percepção.

Miller et al. (1984), em pesquisa com 186 estações de tratamento de água dos EUA, mostraram que as concentrações de alumínio nas águas de abastecimento podem aumentar com a utilização de sulfato de alumínio como coagulante e, revelam que existem 40% a 50% de chance de haver concentrações mais elevadas de alumínio na saída em relação à entrada da ETA. Os autores afirmam também que elevadas concentrações de alumínio podem reduzir a efetividade da desinfecção de água e aumentar a turbidez da água tratada.

São esses problemas que trazem reflexos de alterações nas concentrações dos organismos aquáticos, gerando crises tanto por questões de quantidade quanto de qualidade da água. São desafios que a gestão dos recursos hídricos enfrenta no setor de operação dos sistemas de abastecimento de água, o que implica a busca de alternativas de soluções que minimizem os impactos e viabilizem a disposição adequada dos resíduos de ETAs.

Portanto, cabe a cada concessionária a implantação de sistemas de monitoramento e gerenciamento que garantam qualidade e quantidade de água aos consumidores, bem como a preservação e conservação ambiental dos recursos.

2.14 - Preservação e conservação dos recursos hídricos

Para a manutenção sustentável do recurso água, é necessário o desenvolvimento de instrumentos gerenciais de proteção, planejamento e utilização, adequando o planejamento urbano de acordo com a vocação natural do sistema hídrico. Tratamento

especial e diferenciado deve ser dado às bacias consideradas como mananciais de abastecimento, pois a qualidade da água bruta depende das formas pelas quais os demais compartimentos do sistema são manejados. O gerenciamento dos recursos hídricos é primordial, os gestores do saneamento devem observar seus procedimentos de forma mais abrangentes visando garantir a manutenção da qualidade dos mananciais de abastecimento. Se não houver preservação da qualidade do manancial com decorrer do tempo, a Estação de Tratamento de Água não estará funcionando conforme projetada, podendo produzir água com qualidade insatisfatória. Para tanto, é necessária a implantação de políticas efetivas que identifiquem, documentem e reduzem os riscos de degradação.

A conservação e preservação dos recursos hídricos podem se dá através de qualquer ação, tais como: redução da quantidade de água extraída das fontes de suprimento; redução do consumo de água; redução das perdas de água; aumento da eficiência do uso da água; e a reciclagem e reuso da água evitando a poluição da água com o lançamento dos efluentes.

A recuperação de água de lavagem, mediante o tratamento de lodo, é benéfica ao meio ambiente e, indiretamente, à conservação da água, mesmo que não haja reciclagem para o abastecimento público. O lançamento de efluentes tratados representa, do ponto de vista dos recursos hídricos, uma ação conservacionista, no que diz respeito as disponibilidade de água bruta no sistema hídrico.

2.15 Aspectos legais pertinentes às ações de ETAs

Uma das grandes responsabilidades das concessionárias de água refere-se à qualidade da água fornecida. Para tornar a água de distribuição potável, a concessionária deve utilizar a tecnologia de tratamento mais indicada para eliminar todos os poluentes e agentes ameaçadores à saúde, atendendo aos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente local. A água para abastecimento público, no Brasil, deve atender aos padrões de potabilidade definidos pela Portaria Nº 518 de 25.03.2004, do Ministério de Saúde MS, que se constitui num instrumento legal, cujo cumprimento é obrigatório por parte dos responsáveis pelo abastecimento público.

Ao se projetar uma estação de tratamento de água, deve-se levar em conta fatores como as características do manancial e a legislação de preservação dos recursos hídricos. Sabe-se que, se não houver preservação da qualidade do manancial, com decorrer

do tempo, a ETA não estará funcionando conforme projetada, podendo produzir água de qualidade insatisfatória.

Nesse sentido, a norma brasileira NBR 12216 da ABNT (ABNT, 1992) é empregada para a elaboração de projetos de ETA para abastecimento público. Esta norma estabelece o campo de aplicação, elementos e atividades necessárias para o desenvolvimento do projeto. Define ainda a área necessária para implantação de projeto, o processo de tratamento, disposição e dimensionamentos das unidades de processos e dos sistemas de conexão das mesmas entre si e faz observações sobre a casa de química, os consumos de produtos químicos (obedece às normas da ABNT) e a preparação e dosagem de sulfato de alumínio.

A respeito do lançamento de efluentes de ETAs brasileiras, Cordeiro (1993) realizou levantamento junto às agências de saneamento estaduais e municipais do Brasil. Os resultados alcançados mostraram que 79% das agências consultadas julgavam o descarte de seus resíduos uma violação às leis de controle de poluição, enquanto 21% delas acreditavam que não; 93% das agências estaduais não possuíam legislação ou regulamentos que exigissem o tratamento dos LETAs, antes de sua disposição em corpos d água e, 86% das agências não tinham encontrado problemas de poluição causados por seus resíduos ou não receberam reclamações à respeito. Esses dados asseveram a pouca experiência brasileira, acerca dos resíduos gerados em ETAs de ciclo completo, e mostram que o impacto provocado pelo descarte desses rejeitos em cursos d' água é relativamente desconhecido. De acordo com Reali (1999), estima-se que cerca de 2.000 toneladas de sólidos são lançados, diariamente, em coleções de água brasileiras, sem nenhum tratamento.

De acordo com Megda et al. (2005), a problemática dos LETAs está longe de ser resolvida. Isto se deve à enorme carência de pesquisas científicas e tecnológicas sobre o tema e ao fato de que os poucos dados existentes no Brasil encontram-se totalmente dispersos. Além disso, não há, por parte da grande maioria dos técnicos envolvidos no setor, conscientização acerca do assunto. Porquanto os sistemas autônomos de saneamento básico no Brasil, cada dia mais, cobram por ações que garantam a preservação de mananciais, não obstante, continua-se lançando seus resíduos, no corpo d' água mais próximo, o que consiste numa extraordinária incoerência.

Diante da necessidade de proteção do meio ambiente, regulamentos e legislações contribuem para a restrição e controle de poluição, estabelecendo padrões para lançamento e conduta dos agentes responsáveis pelos sistemas de produção.

A Lei 6938/81 (BRASIL, 1981), que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, define como poluidor a pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado, responsável, direta ou indiretamente, por atividade causadora de degradação ambiental. As Leis 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997) "Política Nacional de Recursos Hídricos", e 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (BRASIL,1998) "Crimes Ambientais", dispõem sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente e incriminam, civil e penalmente, quem provocar, pela emissão de efluentes ou carreamento de materiais, o perecimento de espécimes da fauna aquática existentes em rios, lagos, açudes, lagoas, baías ou águas jurisdicionais brasileiras. Responsabilizam o gerente que, sabendo da conduta criminosa de outrem, deixar de impedir a sua prática, quando podia agir para evitá-la. Explicam ainda que a responsabilidade das pessoas jurídicas não exclui a das pessoas físicas, autoras, co-autoras ou partícipes do mesmo fato.

A introdução das séries de normas ISO 9000 e ISO 14000 tem propiciado discussões com foco na melhoria dos serviços prestados à população. Nesse aspecto, o gerenciamento adequado dos sistemas de tratamento de águas de abastecimento será fundamental para que estes não prejudiquem o meio ambiente. Para tanto, os responsáveis por essa gestão devem estar devidamente preparados para equacionar os problemas que exigem ampla visão do funcionamento dos sistemas operados.

No Brasil, a regulamentação sobre a proteção do meio ambiente é de responsabilidade do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, que deve estabelecer o compromisso de garantir o equilíbrio entre os impactos gerados pela industrialização e a capacidade de suporte da natureza.

Os lodos produzidos pelas estações de tratamento de água devem estar de acordo com padrões e normas que regulamentam a disposição de resíduos em corpos d'água. O lançamento de lodo de ETA em águas superficiais pode está infringindo a Lei 6938, de 31 de agosto de 1981, em seu artigo 3, inciso II e III (alíneas c,d, e), e os agentes de saneamento enquadrados no artigo 3, inciso IV. A operação de limpeza dos decantadores fere ao artigo 34 da Resolução 357 de 17 de março de 2005 do CONAMA (Resolução 20/86 artigo 22). No Brasil, como a preocupação ainda não passou pela correta disposição dos resíduos de ETAs, a maioria não dispõe de condições para implantação de dispositivos para limpeza contínua.

A resolução nº 357, do CONAMA (BRASIL, 2005), estabelece procedimentos para estudos de impactos ambientais para projetos que possam alterar as características

físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, como é o caso dos lançamentos de resíduos das estações de tratamento de água. Esta resolução determina as condições que devem ser cumpridas para o lançamento de efluentes de qualquer fonte poluidora, direta ou indiretamente nos corpos d'água. Tais condições impedem o lançamento, sem prévio tratamento, do lodo produzido nas ETAs, devido à grande concentração de sólidos sedimentáveis presentes neste resíduo.

A norma técnica NBR 10.004 (ABNT, 2004) é responsável por classificar os resíduos sólidos em diferentes níveis de periculosidade, considerando possíveis riscos ambientais e à saúde pública. Segundo esta norma, os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água são definidos como resíduos sólidos, portanto, devem ser tratados e dispostos dentro dos critérios nela definidos.

O conhecimento dos aspectos legais que regem a disposição dos resíduos de ETAs, assim como a visão integrada do problema tornam-se fundamentais para definição de estratégias gerenciais que objetivem a minimização de resíduos gerados e a escolha da tecnologia mais adequada ao tratamento, aproveitamento e disposição destes, sem detrimento da qualidade da água produzida e dos corpos receptores.

Dessa forma, os responsáveis pelas ETAs e os órgãos de controle ambientais devem ser profissionais e responsáveis, de modo a garantir, tanto a saúde da população como a distribuição de água de qualidade, e a preservação do meio ambiente, evitando o lançamento destes resíduos, que prejudicam a biota aquática e degradam ainda mais a qualidade da água e sedimento dos corpos receptores.

2.16 – Aspectos político-institucionais

2.16.1 Outorga pelo uso da água

O setor de saneamento se afigura como um dos principais usuários dos recursos hídricos, que, de acordo com a Lei 9.433/97, estão sujeitos à outorga pelo Poder Público (SOARES et al., 2003). No Brasil, segundo os artigos 20 e 26 da Constituição Federal (BRASIL, 1988), as águas são consideradas bens públicos sob o domínio da União, dos Estados ou Distrito Federal e devem ser outorgadas conforme a sua dominialidade e seus usos. A outorga é um instrumento de gerenciamento de recursos hídricos que dá, ao órgão gestor, condições de gerenciar a quantidade e qualidade desses recursos e, ao usuário, a garantia do direito de uso da água. O poder outorgante (União e Estados) deve avaliar cada

UFCG/BIBLIOTECA

pedido de outorga, verificando se as quantidades existentes são suficientes, considerando os aspectos qualitativos e quantitativos. Dessa forma, a outorga ordena e regulariza os diversos usos da água em uma bacia hidrográfica. Neste contexto, os usos sujeitos à outorga são: (1) derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo d'água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo (2) lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final e outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água (3) extração de água de aqüífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo (4) aproveitamento dos potenciais hidrelétricos (5) outros usos que alterem o regime, quantidade e a qualidade da água existente em um corpo de água (art. 21° da Lei 9.433/97, BRASIL, 1997).

O instrumento da outorga de direitos do uso dos recursos hídricos, previsto na Lei nº 9.433/97, além de assegurar o controle quantitativo e qualitativo da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água, é também um instrumento importante para o reuso devido ao fato de que, a partir da implantação do reuso direto no processo produtivo, fica o usuário automaticamente dispensado de qualquer autorização por parte do poder público para usar novamente a água, uma vez que sua reutilização não se enquadra neste tipo de concessão. Em alguns Estados brasileiros, como São Paulo, Ceará, Bahia, Rio Grande do Norte, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Rio Grande do Sul, a outorga de direito de uso da água já está sendo concedida de maneira sistemática. Os procedimentos utilizados pelos Estados são bastante semelhantes e se baseiam principalmente em critérios técnicos e informações hidrológicas.

2.16.2 - Cobrança do uso da água e princípio "poluidor-pagador"

Em função de condições de escassez em quantidade e/ou qualidade, a água deixou de ser um bem livre e passou a ter valor econômico. Esse fato contribuiu com a adoção de um novo paradigma de gestão desse recurso ambiental, que compreende a utilização de instrumentos regulatórios e econômicos, como a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

A experiência em outros países mostra que a cobrança pelo uso de recursos hídricos, mais do que instrumento para gerar receita, é indutora de mudanças pela

economia da água, pela redução de perdas, da poluição e pela gestão com justiça ambiental. Isso porque cobra-se de quem usa ou polui.

O fundamento legal para a cobrança pelo uso da água no Brasil remonta ao Código Civil de 1916, quando estabeleceu que a utilização dos bens públicos de uso comum pode ser gratuita ou retribuída, conforme as leis da União, dos Estados e dos Municípios, aos quais pertencerem tais bens. No mesmo sentido, o Código de Águas, Decreto – Lei nº 24.642 (BRASIL 1934), estabeleceu que o uso comum das águas pode ser gratuito ou retribuído, de acordo com as leis e os regulamentos da circunscrição administrativa a que pertencerem. Posteriormente, a Lei nº 6.938/81 (BRASIL, 1981), que trata da Política Nacional de Meio Ambiente, incluiu a possibilidade de imposição, ao poluidor da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados ao meio ambiente e, ao usuário, através da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.

Finalmente, a Lei nº 9.433/97 definiu a cobrança como um dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, e a Lei nº 9.984/2000 (BRASIL, 2000), que instituiu a Agência Nacional de Águas – ANA, atribuiu, a esta agência, a competência para implementar, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio da União. O instrumento da cobrança pelo uso de recursos hídricos constitui-se num incentivador ao reuso da água. O usuário que reutiliza suas águas reduz as vazões de captação e lançamento e, conseqüentemente, tem sua cobrança reduzida. Assim, quanto maior for o reuso, menor será a utilização de água e menor a cobrança.

Além da cobrança pelo uso dos recursos hídricos, também está prevista a cobrança pela introdução de efluentes nos cursos d'água, tendo em vista sua diluição, transporte e assimilação. Dependendo do valor da cobrança pela poluição, determinam-se estímulos para que o usuário trate parcialmente seus efluentes (CÁNEPA et al., 1999). Por outro lado, segundo Lanna (2000) *apud* Soares et al., (2003), a arrecadação também permite o financiamento de investimentos em intervenções que venham a mitigar o impacto dos lançamentos, o que remete, portanto, à possibilidade do uso desse instrumento, visando ao alcance das metas de qualidade de água, estabelecidas no enquadramento.

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) dispõe do instrumento de cobrança pelo uso da água que, uma vez implantado, deverá conduzir a mudanças de comportamento de operadores de sistemas de abastecimento de

água, no tocante ao controle de perdas nos sistemas, e de usuários industriais e domésticos. Estas mudanças de comportamento dependem, por um lado, dos valores estabelecidos pela cobrança por volumes captados e, por outro lado, da elasticidade da demanda dos diferentes usuários. A implantação da regulação do setor de saneamento deverá contribuir para que se obtenham ganhos de efetividade em programas como o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA. Deve-se, ainda, ressaltar que benefícios marginais de adoção de certas alternativas tecnológicas de redução da demanda poderão ser auferidos em termos de redução de lançamentos (NASCIMENTO & HELLER, 2005).

O instrumento da cobrança da água, o princípio usuário pagador, torna-se incentivo ao reuso de água, através de uma captação cada vez menor e um maior reaproveitamento dos efluentes. Sendo uma forma de racionalizar o reaproveitamento dos recursos hídricos, ensejando a diminuição de sua demanda. A outorga, somada a cobrança do uso da água, devem ser compreendidos como instrumentos de incentivos à busca por ações de conservação de água. Para tal, é fundamental a busca pela eficiência dos processos industriais, para viabilização do uso dos recursos hídricos.

Dessa forma, no cenário resultante da implementação da Lei 9.433/97, o setor de saneamento deverá ser onerado tanto pelo pagamento da captação utilizada para o abastecimento de água, como no pagamento do lançamento dos esgotos sanitários gerados. Deve-se ressaltar que a cobrança não é fonte de arrecadação para os prestadores do setor e que, no caso das empresas de saneamento, os recursos específicos devem ser provenientes da tarifa pelos serviços prestados, que se constitui na principal fonte de funcionamento.

2.17 Aspectos metodológicos de viabilidade técnica, econômica e ambiental no reaproveitamento de água de lavagem

Silva et al. (2000) definem **projeto de viabilidade** como sendo aquele que procura verificar a viabilidade de um investimento no âmbito da empresa. Quando surge a oportunidade de investir, inicia-se a coleta e processamento de informações que, devidamente analisadas, permitirão testar a viabilidade do investimento. Assim, uma empresa deve elaborar vários projetos de viabilidade, desde a idéia inicial até à decisão de investir. A avaliação de projetos é um processo de investigação e julgamento destinado a dar suporte ao tomador de decisão.

Nessa direção no presente trabalho, será realizada a verificação da viabilidade quanto aos aspectos técnico, econômico e ambiental do projeto-piloto no reaproveitamento

de água de lavagem da ETA de Gravatá/PB. Para tanto será necessário aplicação de metodologias para determinar a viabilidade de cada um desses aspectos.

2.17.1 Metodologia de determinação da viabilidade técnica

Do ponto de vista técnico e operacional, a adoção de qualquer estratégia que vise à implantação de práticas de reaproveitamento de água de lavagem deve considerar todas as alterações que poderão decorrer das mesmas, ressaltando-se que a limitação para a sua aplicação estará diretamente associada aos custos envolvidos. A viabilidade técnica do projeto de reaproveitamento de água de lavagem deve apresentar maior simplicidade e facilidade de implantação, de operação e manutenção, caso se comporte com maior eficiência e melhor condição de reaproveitamento, com menor tempo de remoção de água livre, quantidade de maior volume recuperado e, ao mesmo tempo, favoreça o processo de secagem do lodo mais rápida.

A verificação da viabilidade técnica do processo de tratamento da água de lavagem da ETA, associado ao reaproveitamento, será estabelecida, neste trabalho, sob os aspectos relativos às condições operacionais e funcionalidade do projeto-piloto do sistema de reaproveitamento de água de lavagem, que possa garantir uma melhor eficiência do sistema.

Dentre os aspectos selecionados, os principais fatores considerados na verificação de viabilidade técnica do sistema de tratamento e reaproveitamento dos resíduos de ETAs são apresentados a seguir.

Qualidade do efluente

Em projetos de tratamento de resíduos, antes de se iniciar a concepção e o dimensionamento do tratamento, deve-se definir com clareza qual o objetivo do tratamento dos efluentes e que nível de tratamento é desejado. Tal definição é de grande importância, visto que a opção a ser adotada será fruto de todas as considerações e estudos efetuados nessa fase, dependendo a viabilidade técnica da alternativa eleita, em grande parte, desta análise inicial.

A recirculação da água de lavagem de ETAs deve ter critérios quanto à qualidade do efluente, podendo em muitos casos inviabilizar essa técnica. As características dos rejeitos devem ser analisadas para assegurar que o processo de recirculação da água de lavagem não comprometa a qualidade da água tratada. O

conhecimento da qualidade do efluente evidencia possíveis formas de tratamento desse efluente. Por razões técnicas, os resíduos líquidos, podem ou não ser submetidos a um prévio tratamento. O efluente tratado dará maior segurança na qualidade da água que retornará no processo de tratamento.

Disponibilidade de área

No projeto de tratamento de resíduos de ETAs, na escolha adequada do método para tratamento da água de lavagem, deve-se levar em conta a disponibilidade de área. O tratamento do resíduo por adensamento com métodos naturais de secagem requer alta disponibilidade de área de implantação, se comparado com os métodos mecânicos que requerem menores áreas de implantação. Este seria um obstáculo em locais com limitações de área, como é o caso de ETAs localizadas dentro das cidades.

Por outro lado, em locais onde há a disponibilidade de áreas próximas às ETAs, o sistema adotado será de mais fácil solução, uma vez que as questões de transporte e de retorno da água drenada para a ETA não terão custo elevado.

Na disposição dos resíduos, este fator é importante no caso da escolha de aterros exclusivos dentro da ETA, considerando a necessidade de área para implantação por um período de operação por ano.

Condições climáticas

Existe projeto de tratamento de resíduos que requer conhecimento das condições climáticas da região, enquanto outras técnicas independem das características climáticas da região para seu funcionamento. Os métodos naturais exigem maiores preocupações, pois dependem das condições climáticas. Locais com alto grau de insolação, baixa precipitação e umidade apresentam excelente eficiência na evaporação, reduzindo o tempo de secagem. Para locais com precipitações constantes e elevada umidade relativa do ar, as taxas de evaporação serão muito menores, resultando em tempo de secagem muito longo. A velocidade do vento e sua direção, aliada às condições construtivas do sistema de secagem e às construções em torno, serão também decisivas no tempo de secagem (CORDEIRO, 1999).

Nível de tecnologia aplicado ao processo operacional

A seleção do método de tratamento a ser aplicado para água de lavagem de ETAs está associada ao nível de tecnologia existente na ETA. Vários são os fatores que influenciam na escolha, tais como: características qualitativas e quantitativas dos resíduos, recursos financeiros, funcionamento hidráulico, manutenção e operação das unidades de tratamento, disponibilidade de recursos humanos capacitados para operação e manutenção.

No tratamento do resíduo, quando são utilizadas unidades mecanizadas para o adensamento e/ou desaguamento do lodo, é indispensável mão-de-obra qualificada, considerando a complexidade dos processos envolvidos nessa técnica, o que requer conhecimentos na operação e manutenção do equipamento, no caso de tecnologias de aproveitamento, como recuperação do resíduo.

No caso da aplicação dos métodos de secagem natural, não há necessidade de pessoal altamente qualificado para operação e manutenção.

Disponibilidade hídrica

Na verificação da viabilidade técnica, devem ser consideradas as variações do volume armazenado, decorrentes do período chuvoso e seco. No caso em que o manancial de abastecimento se encontra com sua capacidade de volume elevada (período chuvoso), o reaproveitamento pode não ser viável, ou seja, quanto maior a disponibilidade hídrica menor é a necessidade do reaproveitamento. Para tanto, deve ser lavado em consideração o custo de bombeamento que não deve superar o custo do reaproveitamento.

No caso de ETA que apresenta pouca disponibilidade hídrica e com o manancial de captação distante, o aproveitamento de água de lavagem pode trazer muitas vantagens para o sistema, pois é uma parcela considerável de água aduzida que não será descartada e lançada nos corpos receptores, assim como outra parcela deixará de ser captada, tendo como conseqüências a preservação do meio ambiente afetado pelos efluentes das ETAs, como também a conservação na disponibilidade hídrica do manancial, contribuindo na redução de escassez hídrica.

2.17.2 - Metodologias de determinação da viabilidade econômica

A viabilidade econômica geral é entendida em um sentido macroeconômico, que consiste na verificação da existência ou não de uma diferença positiva entre os custos e os ganhos econômicos com o processo de implantação de um determinado projeto.

As metodologias para a estimativa da viabilidade econômica no processo de reaproveitamento de água de lavagem podem ser utilizadas por modelos econômicos que levam em consideração os custos e os benefícios envolvidos em termos monetários, numa base de tempo comum, assim como a taxa e o período de retorno do investimento. Estes modelos podem ser expressos de três maneiras distintas: pela *relação Benefício/Custo*, pela *Taxa Interna de Retorno, Valor Presente Líquido* e pelo *Tempo de Retorno do Capital*. Todas estas medidas são válidas e têm vantagens e desvantagens. Segundo Gomes (2005), é conveniente avaliar a viabilidade econômica de um determinado projeto, através da análise simultânea dos métodos.

1. Relação Benefício e Custo (B/C)

A viabilidade econômica pode ser avaliada pela razão entre todos os benefícios e custos envolvidos (relação B/C) em um determinado processo, contabilizados numa mesma referência de tempo. Há várias formas de se representar à relação Benefício/Custo (B/C), dependendo apenas de como se mede cada uma dessas variáveis. Um conceito freqüentemente utilizado é a razão entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos, representada pela Equação 2.8:

$$B/C = \frac{\sum_{k=0}^{n} B_k (1+j)^{-k}}{\sum_{k=0}^{n} C_k (1+j)^{-k}} \qquad \text{(eq. 2.8)}$$

Onde:
B – benefício
C – custo
K – tempo

O critério para aprovação do projeto é ter um índice B/C maior que 1, o que implica em VPL>0. Um valor B/C<1 desclassifica qualquer alternativa. Entre várias alternativas, a melhor é aquela que apresenta maior valor B/C. Se B/C = 1, há uma igualdade dos benefícios B com os custos C, significando que os custos investidos rendem exatamente, e tão somente, uma taxa de juros característica, que poderia ser, por exemplo,

a taxa de desconto. Então, dizer que B/C = 1, significa que houve uma rentabilidade igual à taxa de juros considerada.

Segundo Gomes (2005), o valor da relação B/C proporciona uma análise melhor do nível de rentabilidade do investimento, já que fornece uma idéia direta do quanto os benefícios são ou não maiores do que os custos envolvidos no projeto.

2 . Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) de um projeto é a taxa de juros (j*) que torna nulo o valor presente líquido. É nesta taxa que a soma dos benefícios se torna igual à soma dos custos, pois o valor líquido é a soma algébrica, no instante zero, dos benefícios e dos custos, representada pela Equação 2.9.

$$\sum_{k=0}^{n} F_k (1 + j^*)^{-k} = 0 \qquad \text{(eq. 2.9)}$$

Onde:
j* = taxa de juros
k = a vida útil do projeto;
F = a soma algébrica dos benefícios e custos no instante "0".

Segundo Gomes (2005), a Taxa Interna de Retorno é o indicador mais apreciado pelos analistas econômicos para verificar a viabilidade de um determinado investimento. Conhecendo a TIR, o analista pode ter uma idéia, de forma direta, da rentabilidade do projeto, comparando-a com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) do mercado.

3 . Tempo de Retorno do Capital (TRC)

O Tempo de Retorno do Capital (TRC) de um projeto é determinado pelo TRC não descontado e o TRC descontado.

O Tempo de Retorno Não Descontado - TR é o período de tempo (meses ou anos) necessário para o retorno do investimento inicial, sem se levar em conta as taxas de juros e de aumento da energia e água esperadas durante a análise do projeto. O valor de TRC indica quanto tempo é necessário para que os benefícios se igualem ao custo de investimento. É determinado, simplesmente, pela divisão do custo de implantação (I) do empreendimento pelo benefício líquido periódico esperado - BL (mensal ou anual) conforme Equação 2.10.

$$TR = I/BL \qquad \text{(eq. 2.10)}$$

O Tempo de Retorno Descontado é o número de períodos que zera o Valor Presente Líquido, ou anual, do projeto, levando-se em conta a taxa de juros e de aumento da energia e de água. A forma prática de se determinar o Tempo de Retorno Descontado de um determinado projeto consiste em calcular valores de VPL para valores crescentes do número de períodos "n" (através de uma planilha eletrônica) e verificar qual o valor de "n" que zera o Valor Presente Líquido do projeto. A análise do Tempo de Retorno do Capital está diretamente relacionada, também, com a duração da vida útil do projeto.

4. Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido é, geralmente, aplicado quando se deseja comparar várias alternativas de projeto mutuamente excludentes. Todos os benefícios e custos envolvidos no projeto, ao longo de seu alcance, são transformados em valores presentes (instante zero).

Na análise econômica através do Valor Presente Líquido (VPL), considera-se que as despesas com investimento são fixas e atuais, e, a partir de então, as despesas variáveis com os custos anuais (operação da estação de bombeamento) são convertidas para valores presentes, através das equações aritmético-financeiras que levam em conta a taxa de juros, o aumento da energia elétrica e a duração da vida útil esperada. Dentro do critério de maximização dos benefícios, a alternativa que oferecer o maior VPL (benefícios menos os custos envolvidos) será a mais atrativa. Quando as alternativas de projetam possuem os mesmos benefícios, aquela que proporcionar o menor VPL dos custos envolvidos será a mais atrativa.

Para um fluxo de caixa com parcelas crescentes, a uma taxa de crescimento "e" o VPL é determinado pela Equação (2.11).

$$VPL = B \times FVP(i,e,n) - I - C \times FVP(i,e,n) \qquad \text{(eq. 2.11)}$$

Onde:

B = valor do benefício (anual ou mensal) que incide no final do primeiro ano (ou mês) do fluxo de caixa.

C = valor do custo (anual ou mensal) que incide no final do primeiro ano (ou mês) do fluxo de caixa.

FVP = fator de valor presente.

Considerando B'j os benefícios líquidos (benefícios menos custos) ao longo de "n" períodos de tempo, o *VPL* pode ser dado, também, pela Equação 2.12:

$$VPL = \sum_{j=1}^{n} \frac{B'_j}{(1+i)^j} \qquad \text{(eq. 2.12)}$$

VPL > 0 → financeiramente atrativo (selecionar a alternativa de maior VPL)

VPL < 0 → financeiramente não atrativo

VPL = 0 → indiferente

Fluxo de caixa

Um fluxo de caixa é uma maneira simplificada de se representar, graficamente, receitas e as despesas de um projeto ao longo do tempo. As receitas (benefícios do projeto) são representadas por setas (vetores) orientadas para cima e as despesas (investimentos e custos de operação e manutenção do projeto) são representadas por vetores orientados para baixo. Convencionalmente, o investimento (inicial) incide no instante zero, enquanto que as receitas e os gastos ocorrem nos finais dos períodos considerados.

Identificação de custos e benefícios do projeto

Tipos de custos

Os custos envolvidos no projeto-piloto, no sistema de tratamento e reaproveitamento de água de lavagem de ETA, foram os custos de investimentos e os custos de exploração. Os custos de investimento compreendem os gastos fixos, diretos e indiretos, necessários à implantação do projeto. Gomes (2005) afirma que os custos fixos de investimento incidem, normalmente, no início do projeto, durante sua implantação e ao longo do alcance, quando o projeto tiver que ser implantado por etapas. Nos custos de investimentos, são incluídos os impostos e os gastos com transporte de materiais e equipamentos. Os custos diretos dizem respeito à aquisição dos equipamentos das instalações e as obras civis necessárias a implantação do projeto. Os custos indiretos compreendem os gastos com projetos de engenharia, fiscalização de obra, serviço de consultoria, reserva de contingência, para cobrir despesas não previstas, e os juros pagos durante a implantação do projeto.

Os custos de exploração são os correspondentes à operação e à manutenção do sistema, incluindo os administrativos. Diferentemente dos custos de investimentos, que são fixos e incidem, normalmente, no inicio do projeto, os custos de exploração são variáveis e ocorrem em parcelas mensais, ou anuais, dependendo da escala de tempo utilizada na análise.

O custo relativo ao tratamento da água é muito variável em função da tecnologia de tratamento utilizada, dos gastos com energia elétrica, qualidade da água bruta, etc. O tratamento da água adotado é determinado com base nas inspeções sanitárias e nos resultados de exames e análises. São vários parâmetros que influenciam os custos de tratamento de água, tais como: a qualidade da água no manancial; a distância dos mananciais a ETA e aos centros consumidores; o seu uso; a topografia; a influência do clima; insumos e mão-de-obra e outros. O que determinará qual o processo de tratamento, que pode ser um tratamento mais simples até o de nível mais elevado, além dos custos de captação (bombeamento) e os de transporte.

O custo de energia envolvido no tratamento da água é um ponto importante. Para que o gerente possa fazer um balanço dos custos envolvidos no sistema, é necessária a obtenção de todas as informações, com precisão do consumo de energia elétrica para tratar a água. Atualmente, a repercussão do custo de energia elétrica nos sistemas de saneamento no Brasil tem acentuado significativamente, já ocupando este a segunda posição na planilha de custos operacionais da maioria dos prestadores de serviços. Os gastos da energia de bombeamento, na grande maioria das vezes, ultrapassam, ao longo da vida útil dos projetos, os custos de investimento das instalações (GOMES, 2005). Segundo Tsutiya (2004), mais de 90% dos gastos com energia elétrica devem-se às elevatórias dos sistemas de abastecimento público de água.

De acordo com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica para o Saneamento (PROCEL SANEAR, 2005 *apud* GOMES, 2005), mais de dois por cento do consumo total de energia elétrica do Brasil, o equivalente a 7 bilhões de kwh/ano, são consumidos por prestadores de serviços de água e esgotamento sanitários. Este consumo refere-se aos diversos usos nos processos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, com destaque para os equipamentos motor-bomba, que são responsáveis por 90% do consumo nestas instalações.

O custo anual do consumo de energia elétrica da estação de bombeamento dos sistemas de distribuição de água é estimado pelas Equações (2.13 e 2.14).

$$C_{energia} = P \times Tc \times n_b \qquad \text{(eq. 2.13)}$$

Onde:

Ce - custo anual total da energia elétrica, em R$/ano;

Tc - preço da tarifa relativa ao consumo de energia elétrica, em R$/kwh; e

n_b - número de horas de bombeamento anual, em horas/ano;

P - potência requerida do motor elétrico, em kw.

$$P = 9{,}81 \frac{H \times Q}{\eta} \qquad \text{(eq. 2.14)}$$

Onde:

Q - vazão, em m^3/s;

H - altura manométrica, em m; e

η - rendimento esperado do conjunto motor-bomba, valor decimal.

Tipos de Benefícios

Os benefícios de um projeto abrangem todos os aumentos ou ganhos *identificáveis em ativos ou valores, sejam em mercadoria, em serviços, sejam em* satisfação subjetiva, direta ou indireta, expressos em valores econômicos ou não. Os benefícios são usados para determinar o tamanho e o propósito de diferentes projetos, *comparar méritos econômicos, fazer alocação de custos dos projetos e, em algumas* situações, determinar a quantia de ressarcimento.

Nos projetos de melhoria da eficiência dos sistemas de saneamento, os *benefícios diretos são decorrentes das ações de combate a perdas de energia e a de água.* Nas ações de combate às perdas de água, os benefícios diretos são proporcionados pela redução do volume de água produzido, em um determinado período de tempo, com seus *respectivos custos. Sendo a maioria dos sistemas de abastecimento bombeados, a redução* de perdas de água se traduz em reduzir o consumo de energia. Portanto, as medidas de combate às perdas reais, em sistemas de abastecimento, produzem benefícios diretos *relativos à economia na produção da água tratada e na energia necessária ao bombeamento.* Existe uma sinergia entre a economia conjunta de água e a de energia por conta das ações de combate às perdas reais de água (GOMES 2005). Uma diminuição na vazão bombeada *pelo sistema, decorrente da redução nas perdas reais no sistema de abastecimento,* proporciona uma diminuição direta no custo da energia requerida pela estação de bombeamento.

Quanto aos benefícios sociais, com o reaproveitamento das águas de lavagem da ETA haverá a redução de perdas, assim como a diminuição dos gastos com energia elétrica da estação de bombeamento que produzirá, na mesma proporção, uma diminuição do custo da água de abastecimento. Esta economia poderá levar a uma diminuição na tarifa de água cobrada ao consumidor. Poderá contribuir, também, para a expansão da capacidade da rede de abastecimento, aumentando a cobertura do sistema de distribuição de água.

A redução das perdas de água em ETA também traz benefícios intangíveis, acarretando uma melhora na eficiência do sistema, como melhoria da imagem da empresa. A empresa terá mais credibilidade perante as entidades de desenvolvimento (bancos e órgãos públicos), o que facilitará a obtenção de novos financiamentos com juros mais baixos, ou mesmo subsidiados.

2.17.3 - Metodologia para determinação da viabilidade ambiental

As ações geradoras de impactos ambientais devem ser precedidas de um estudo para avaliação de impacto ambiental, com o objetivo de conhecer as principais conseqüências ambientais de forma a subsidiar o processo decisório relativo à implementação da ação e a definição de medidas mitigadoras dos impactos negativos. Para se efetuar essas avaliações ambientais, muitos métodos foram concebidos, a partir da década de 70. Esses métodos vêm evoluindo, gradativamente, com a busca de uma melhor compreensão das relações de causa e efeito das ações dos projetos e seus impactos e com a consideração da dinâmica dos sistemas ambientais.

A viabilidade ambiental do processo de reaproveitamento de água de lavagem em ETAs pode ser definida pela existência dos impactos positivos que superem os impactos negativos, a partir das fases de implantação e operação do sistema. A metodologia para verificação da viabilidade ambiental do processo de reaproveitamento de água de lavagem pode ser realizada através do estudo de impactos ambientais de resíduos gerados em ETAs.

O estudo de impacto ambiental abrange: diagnóstico do manancial de abastecimento, identificação de impactos ambientais, geração de resíduos em ETAs (na forma quantitativa e qualitativa), alternativas de tratamento e disposição destes resíduos, aspectos legais e, finalmente, a proposição de ações mitigadoras.

A metodologia que será estabelecida neste trabalho, sob dois tipos de avaliação ambiental dos impactos: na sua forma qualitativa, através de rede de interação que teve

com base Achon et al. (2005) e na sua quantitativa por meio de matriz de correlação, a qual avalia os impactos negativos decorrentes dos efluentes lançados no meio ambiente, conforme metodologia utilizada por Brostel et al. (2005) e matriz de avaliação de risco ambiental com base Santos da Silva et al. (2006) a qual considera os fatores de riscos.

Rede de Interação

Uma rede de interação pode avaliar os aspectos qualitativos dos impactos ambientais e permite identificar os possíveis impactos diretos e indiretos relacionados à fase de projeto, implantação e operação do sistema de tratamento e reaproveitamento.

A rede de interação pode ser elaborada a partir do levantamento dos impactos ambientais oriundos do lançamento *in natura* do lodo de ETAs em corpos receptores d'água.

Achon et al. (2005) aplicaram a metodologia de rede de interação para avaliar os impactos ambientais, abordando os aspectos qualitativos, provocados pelo lançamento *in natura* de lodos provenientes de estações de tratamento de água. A partir da avaliação ambiental os autores observaram que esses resíduos afetam a qualidade ambiental, aumentam a toxicidade prejudicial à camada bentônica e peixes e interferem econômica e socialmente na vida das populações que se beneficiam do recurso hídrico.

Matriz de Correlação

As matrizes de correlação consistem na confrontação das possíveis ações do projeto e os fatores ambientais, em um formato matricial, onde os cruzamentos determinam o impacto que cada ação provoca sobre o fator ambiental analisado. Nas matrizes de correlação, cada impacto é avaliado pela sua magnitude e importância, sendo que entende-se a medida da extensão do impacto, enquanto que a importância indica a relevância do impacto. De acordo com Brostel et al. (2005), as matrizes de correlação são os métodos de uso mais comum em avaliação de impactos ambientais, mas não devem ser utilizados isoladamente. Como desvantagem, destacam-se: a não avaliação dos impactos indiretos, a subjetividade, não seletivo não identifica os impactos críticos, além de permitirem a duplicidade, uma vez que não estabelecem o principio de exclusão.

A partir do conhecimento do processo de tratamento de água e determinação das características quantitativa e qualitativa dos resíduos gerados, é possível identificar os impactos ambientais causados pelo lançamento e disposição final do lodo. A partir da

UFCG/BIBLIOTECA

quantificação dos impactos negativos decorrentes dos lançamentos *in natura* dos efluentes de ETAs, a matriz de correlação pode determinar o grau de impacto que uma determinada ETA que lança seus fluentes no corpo receptor provoca para o meio ambiente.

Matriz de avaliação de risco ambiental

A avaliação de risco ambiental pode ser determinada também através de matriz de avaliação, a qual leva em consideração os fatores de intervenção ambiental em função de cada operação e dos seus fatores de riscos ambientais.

A metodologia da avaliação de risco ambiental consiste em agrupar cada um dos rejeitos listados de acordo com a operação de processamento onde são gerados. Cada intervenção identificada deve ser analisada em função de sua toxicidade, a fim de identificar se está acima ou abaixo dos limites estabelecidos pela legislação local (SANTOS DA SILVA et al, 2006). E, a partir dos impactos ambientais reais ou potenciais, podem-se identificar quais são as operações de processamento críticas.

2.18 – Fundamentos teóricos da metodologia de análise multicriterial

Segundo Jardim, (1999) a análise multicriterial permite a eficiente inclusão de aspectos de difícil mensuração, através de escalas e medidas adequadas para cada uma das novas variáveis que passam a ser admitidas no processo decisório. A solução obtida na análise multicriterial será aquela que melhor satisfaça aos objetivos em conjunto, que não representa necessariamente o ótimo para todos os objetivos, diferentemente da análise com um único objetivo, em que existe apenas uma solução ótima como resultado obtido da maximização ou minimização da função objetivo. Os métodos multicritério avaliam as alternativas utilizando um conjunto de critérios; cada um deles sendo uma função matemática que mede o desempenho das alternativas com relação a um determinado aspecto.

Segundo Carneiro et al. (2001), o uso de uma metodologia dessa natureza permite que o analista e os agentes decisores tenham pleno conhecimento dos objetivos a serem alcançados em uma intervenção tecnológica, além de facilitar o entendimento do próprio processo de seleção. Desse modo, o analista adquire uma clara percepção da influência de cada critério de avaliação no processo de escolha tecnológica.

2.18.1 - Aplicação de métodos multicriterio ao setor de saneamento

Diante da diversidade de fatores envolvidos na análise tecnológica de alternativas para projetos em saneamento, várias técnicas têm sido utilizadas, envolvendo uma enorme gama de enfoques, filosofias e premissas diferentes.

Wolf (1987) citado por Carneiro et al., (2001) aplicou um método simples de análise de decisão com múltiplos objetivos para a seleção de alternativas de tratamento de águas residuárias. Com isso, incorporou-se uma nova ferramenta de auxílio à avaliação e seleção de processos de tratamento. Seguindo essa linha de estudo, alguns autores elaboram trabalhos de relevante interesse: (TECLE *et al.*, 1988 apud CARNEIRO et al., 2001, HARADA e CORDEIRO (1999)). Dentre os principais métodos multiobjetivo, já testados e indicados para a aplicação nesse tipo de problema, podem-se citar os métodos da série ELECTRE, o *Compromise Programming*, a série PROMETHEE, o Método da Função Utilidade Multidimensional e o Método da Teoria dos Jogos Cooperativos (SOUZA, 1997).

Carneiro et al. (2001) apresentam um modelo de seleção de processos de tratamento de águas residuárias municipais, o qual pode ser extrapolado para outros problemas em engenharia sanitária e ambiental. Esse modelo busca avaliar alternativas dentro de um contexto multidisciplinar, mediante a utilização de ferramentas matemáticas e computacionais, representadas pelos métodos multiobjetivo e multicritério de auxílio à decisão. Tais métodos permitem a avaliação de diversas alternativas segundo critérios gerais de avaliação.

Braga e Ribeiro (2006) avaliaram alternativas de gerenciamento da demanda urbana de água para a cidade de Campina Grande (PB), através de análise multicritério. As pesquisadoras entrevistaram membros do poder público, usuários da água e sociedade civil, e os critérios analisados foram viabilidade econômica, viabilidade técnica/operacional, viabilidade legal/política, redução de consumo, aceitabilidade e avaliação global. As alternativas mais desejáveis foram: programa de educação ambiental escolar; controle de vazamento-rede de abastecimento e reuso industrial.

Já Albuquerque (2004) avaliou multicriterialmente, alternativas tecnológicas de gerenciamento da demanda de água para um bairro da cidade de Campina Grande – PB. A pesquisadora realizou um estudo da implantação hipotética das medidas (aparelhos hidrosaniários poupadores, captação de água de chuva, reuso de água e medição individualizada de água em edifícios), em casas e edifícios, para a redução de consumo de

água do setor. Com este estudo a autora observou-se que a implantação das medidas estudadas pode-se gerar uma economia de 142.043,12 m³/ano, que corresponde a 0,615% da quantidade de água fornecida anualmente para a cidade de Campina Grande-PB e 74,5% do consumo anual de água do setor.

Para Francato e Barbosa (2003), as técnicas de análise multiobjetivo ou multicriterial têm se mostrado um recurso significativo no apoio à tomada de decisão, especialmente em problemas de interesse social. Os autores consideram que planejamento e gerenciamento de recursos hídricos com múltiplos objetivos não envolvem apenas uma simples combinação de elementos e sim, uma análise de conflitos entre os objetivos. Eles realizaram uma comparação e analisaram as relações de interdependência entre dois objetivos operacionais conflitantes no setor adutor metropolitano do serviço de abastecimento da grande São Paulo. Como resultado do trabalho, foi obtida uma melhor compreensão sobre o relacionamento entre os dois objetivos operacionais considerados relevantes, sob a ótica dos gestores de sistemas urbanos de abastecimento de água (minimização da flutuação da vazão da estação de tratamento de água e minimização da vazão bombeada no booster), bem como a caracterização do grau de compromisso entre as funções objetivo estudadas.

2.18.2 - Método de análise multicriterial concebido

O método multicritério utilizado foi selecionado em função da avaliação de alternativas propostas considerando um conjunto de objetivos e critérios, o mesmo sendo ele uma função matemática que mede o desempenho das alternativas com relação a um determinado aspecto. O modelo desenvolvido neste trabalho, que foi baseado no Método Analítico Hierárquico (AHP), criado por Saaty (1992), é uma ferramenta muito útil por ser uma boa medida da hierarquia dos principais critérios, indicadores e verificadores, apresenta uma escala numérica para a avaliação subjetiva das alternativas. Esta escala expressa uma intensidade de importância entre uma alternativa e outra, a qual varia em duas unidades. A escala adotada na presente pesquisa corresponde a valores decimais, variando de 0,2 (para as piores soluções) a 1,0 (para as melhores soluções), pois a grandeza não interfere na interpretação dos resultados.

Os critérios de avaliação podem, de maneira geral, ser classificados como tangíveis ou intangíveis. Critérios tangíveis são assim denominados por possuírem a característica de serem avaliados com base em variáveis quantificáveis. No caso de

critérios intangíveis, faz-se o que é usual chamar de julgamento de valor, ou seja, parte-se para a quantificação, ou atribuição de um valor a um critério intangível, a fim de que as alternativas participantes do processo de seleção possam ser avaliadas em relação ao mesmo. Essa mensuração pode ser feita através da criação de variáveis que servirão para quantificar o desempenho de cada alternativa em relação ao critério considerado. Tais variáveis podem ser comparativas entre as alternativas, ou em relação a um ponto de referência, contendo valores de julgamento tais como: bom, médio, ruim, melhor, pior, etc.

Os conhecimentos expostos nesse Capítulo, fundamentados em ampla revisão bibliográfica, tiveram como escopo a realização dos objetivos da pesquisa, estabelecidos no Capítulo 1 item 1.4, entre os quais o estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental no reaproveitamento da água de lavagem provinda das unidades de tratamento da Estação de Tratamento de Água (ETA) de Gravatá-PB.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho envolveu o estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental no reaproveitamento de água de lavagem de Estações de Tratamento de Água (ETAs), através de quatro alternativas propostas, visando à minimização de impactos ambientais e a redução de perdas de água. A tese foi desenvolvida para o estudo de caso da ETA de Gravatá/PB, operada pela CAGEPA, e que abastece a cidade de Campina Grande e municípios vizinhos.

Para atingir os objetivos da tese, a pesquisa foi embasada em procedimentos experimentais e em dados secundários, extraídos de materiais já elaborados como livros, artigos científicos, periódicos, obras de referência e informações disponíveis na internet. Alguns dados experimentais utilizados no trabalho foram disponibilizados pela CAGEPA. Esse material conta como dados secundários disponibilizados em períodos diferenciados, tais como dados históricos dos anos de 1996 a 2007 e com dados primários que constituíram em informações operacionais e resultados das análises físico-químicas e bacteriológicas. O projeto-piloto, referente a cada alternativa proposta na pesquisa, é composto de um projeto em nível de viabilidade técnica, e não com detalhamento de projeto executivo ou básico.

O processo metodológico empregado para o desenvolvimento do presente trabalho consistiu nas seguintes etapas:

1. identificação e caracterização do objeto de estudo;
2. disponibilidade hídrica do manancial de abastecimento da ETA;
3. procedimento experimental;
4. formulação de propostas de alternativas para o reaproveitamento de água de lavagem;
5. procedimentos para projeto e construção do sistema-piloto de tratamento de água de lavagem;
6. levantamento de custos e benefícios das alternativas propostas;
7. análise comparativa das alternativas;
8. verificação de viabilidade técnica, econômica e ambiental das alternativas selecionadas;
9. desenvolvimento do modelo multicriterial.

3.1 - Identificação e caracterização do objeto em estudo

3.1.1 - Manancial

O manancial superficial utilizado no sistema de tratamento de água na ETA de Gravatá é o açude Epitácio Pessoa, que surgiu de um barramento do rio Paraíba, localizado no município de Boqueirão/PB. Foi construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS entre os anos de 1951 e 1956 e inaugurado em 1958.

O açude Epitácio Pessoa (7°29'20"S e 36°17'3"W), conhecido popularmente como Boqueirão, está situado em plena região semi-árida e é o principal reservatório da bacia do Rio Paraíba (cerca de 14.000 km^2), a maior do estado da Paraíba, e bastante antropizada (com mais de 80% da floresta nativa alterada e com apenas manchas residuais de mata ciliar). Está a 420 m, acima do nível do mar, de altitude na zona rural do município de Boqueirão, região dos Cariris Velhos. O açude Boqueirão está localizado na sub-bacia do Alto Paraíba e recebe as águas dos rios Paraíba do Norte e Taperoá (Figura 3.1). O rio Paraíba, apesar de possuir uma bacia hidrográfica relativamente grande, não é perene, apresentando vazão nula em vários períodos de observação. O volume máximo de projeto corresponde a 537.700.000 m^3. O volume máximo considerado atualmente é em torno de 412.000.000 m^3 (AESA, 2006). Esta redução de volume decorre do severo assoreamento (perda em torno de 17% de sua capacidade de armazenamento original, desde sua construção, há 46 anos), resultado do desmatamento na sua bacia de contribuição ou da redução significativa das afluências anuais de água. Esta redução é decorrente da construção descontrolada de novos açudes na bacia, em conseqüência da ausência de um sistema de licenciamento de obras hidráulicas e de um sistema de outorga que estabeleça, criteriosamente, o direito de uso da água (RÊGO et al., 2001).

O reservatório foi projetado e construído para as atividades de abastecimento urbano (aproximadamente 600.000 pessoas), animal, piscicultura e a regularização da vazão a jusante do reservatório. Esta regularização vinha sendo realizada por meio da liberação de uma vazão ecológica para atender à necessidade da população ribeirinha a margem do manancial. A vazão era liberada por uma válvula dispersora, comporta do reservatório, controlada pelo DNOCS (Departamento de Obras Contra Seca).

O manancial por estar localizado numa região de clima quente e seco, com o menor índice pluviométrico do país (precipitação média anual 540,00 mm), o reservatório

é bastante vulnerável às mudanças climáticas e aos impactos antropogênicos, o que *conduziram-no a um período de crise no volume de armazenamento, quase gerando um* quadro de calamidade pública às cidades abastecidas. A Figura 3.2 ilustra a barragem do açude Epitácio Pessoa.

Figura 3.1 - Mapa do Estado da Paraíba com indicação de localização do açude Epitácio Pessoa

Figura 3.2 - Açude Epitácio Pessoa, Boqueirão/PB

As principais características gerais do reservatório formado pela barragem são as seguintes (CAGEPA, 2003):

- Cota do nível de água na soleira vertedoura..... 378,36m
- Cota do coroamento da barragem..... 383,17m

- Cota nível de água mínimo operacional..... 360,11m
- Perda anual por evaporação..... 2.000 mm

3.1.2 - Escassez hídrica no manancial

Entre os anos de 1998 e 2000, períodos críticos de estiagem, o que levaram o açude Boqueirão apresentar os mais baixos níveis de armazenamento, cerca de 15% de sua capacidade em novembro de 1999. Segundo Rêgo et ali. (2001) "a causa primordial da crise é encontrada na completa ausência de gerenciamento da bacia hidrográfica e, mais especificamente, no manejo do açude Boqueirão, feito sem qualquer apoio em informações e/ou critérios técnicos seguros e/ou atualizados".

Estudos realizados por Galvão et ali. (2002) identificaram as seguintes práticas de gestão de recursos hídricos, que teriam levado à crise no abastecimento de água:

- irrigação descontrolada na bacia hidráulica do reservatório (quantitativa e qualitativamente), altas perdas na rede de distribuição de água e hábitos de consumo de água incompatíveis com um ambiente semiárido. A ausência de uma gestão adequada da demanda levou o uso do reservatório, além de suas possibilidades de atendimento, ou seja, além da sua disponibilidade hídrica;

- construção descontrolada de outros reservatórios na bacia hidrográfica a montante do açude Boqueirão, causando redução das vazões a ele afluentes, diminuindo assim a sua disponibilidade hídrica;

- monitoramento deficiente, na bacia hidrográfica, no açude Boqueirão, em Campina Grande e em outros núcleos urbanos, com relação a: modificações do uso do solo; construção de novos reservatórios; altas taxas de evaporação no lago; assoreamento da sua bacia hidrográfica; mudanças na relação cota-área-volume, na qualidade da água; um grande consumo de água, tanto urbano quanto agrícola; manejo do solo e aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas nas culturas; e perdas físicas nas redes de abastecimento;

- confuso contexto institucional de gestão dos recursos hídricos. O Brasil está passando, atualmente, por uma grande mudança no seu sistema institucional de gerenciamento de recursos hídricos, o que contribui para a ocorrência de conflitos políticos e administrativos durante todo o período da crise do abastecimento de água de Campina Grande. Este conflito institucional levou, por exemplo, ao racionamento de água para

consumo humano, antes das limitações das demandas de irrigação, ação contrária ao princípio de prioridade para consumo humano, estabelecido na legislação brasileira.

3.1.3 - Captação

A captação é constituída de barragem de nível ou de soleira submersa que alimenta um canal em concreto, onde se encontra a tomada d'água da Estação Elevatória de Água Bruta – EEAB. O sistema adutor é constituído por um trecho de 850 m por gravidade, dividido em duas etapas, sendo a primeira em uma tubulação de aço em 1.500 mm, que sai do interior da barragem através de um túnel de 120 m. A segunda parte compreende uma derivação nesta tubulação de 1.500 mm, saindo duas adutoras também em aço de 900 e 1.100 mm até a elevatória de água bruta num sistema de barriletes de recalque em 1.100 e 900 mm, no município de Boqueirão, que fornecem uma vazão de 1,2 m^3/s ao sistema adutor de Campina Grande e do Cariri.

O sistema elétrico para o abastecimento de água de Campina Grande é composto por duas sub-estações. A Estação Elevatória de Água Bruta - EEAB dispõe de quatro conjuntos motor-bombas com potência de 650 CV cada um, amperagem de 150 A e voltagem de 2.300 V. A água chega em uma tubulação de 1.100 mm e passa para um barrilete de sucção de 1.100 mm, onde, através de uma elevatória, é bombeada em um barrilete de recalque de 900 mm, com uma vazão de 2.989,44 m^3/h (com três conjunto funcionando) e altura manométrica de 130 mca, até uma caixa de amortecimento na ETA de Gravatá. Os conjuntos funcionam, em regime alternado, comandados por painel automatizado.

A segunda elevatória de água bruta é composta também por quatro conjuntos motor-bombas com potência de 900 CV cada um, amperagem de 150 A e voltagem de 2.300 V. A água chega em uma tubulação de 900 mm e passa para um barrilete de sucção de 900 mm onde, através de uma recalque, é bombeado em um barrilete de 800 mm, com uma vazão de 1.419,48 m^3/h (com um conjunto em funcionamento) e altura manométrica de 130 mca, até uma caixa de amortecimento na ETA de Gravatá.

Na estação de tratamento de Gravatá tem-se uma potência instalada de 8.000 kVA – 69 kV com quatro transformadores de 2.000 kVA, atuando 6.000 kVA e um transformador de 2.000 kVA de reserva. A empresa responsável pelo fornecimento de energia é Companhia Energética da Borborema – CELB.

3.1.4 - Caracterização do município de Campina Grande

Campina Grande está localizada na mesorregião do agreste da Paraíba, zona oriental do Planalto da Borborema, na bacia do médio Paraíba (Figura 3.3), com latitude sul de 7°13'50'' e altitude oeste de 35°52'52''. Situa-se no trecho mais alto das escarpas orientais do planalto da Borborema, com altitude variando entre 500 e 600 m. A sua área corresponde a 970 km², sendo 411 km² de área urbana. Campina Grande tem aproximadamente 400 mil habitantes, estando situada a 120 km da capital do estado - João Pessoa. O sistema de abastecimento de água urbano é administrado pela CAGEPA - Companhia de Águas e Esgotos do Estado da Paraíba, empresa mista (pública e estadual).

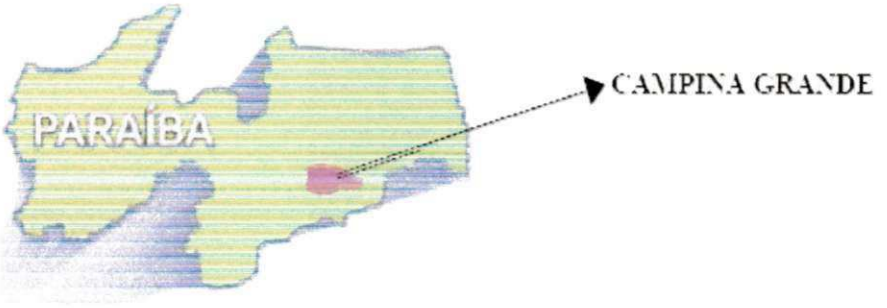


Figura 3.3 - Mapa do estado da Paraíba com localização do município de cidade de Campina Grande.

3.1.5 - Descrição da Estação de Tratamento de Água de Gravatá – Boqueirão/PB

A pesquisa terá como área de estudo a Estação de Tratamento de Água (ETA) de Gravatá, que está localizada no município de Boqueirão - PB e dista 20,4 km de Campina Grande. A ETA é responsável pelo abastecimento de água da cidade de Campina Grande e da zona urbana dos municípios de Queimadas, distrito de Galante, Pocinhos, distrito de São José da Mata, Barra de Santana, Caturité.

A estação de tratamento de Gravatá é do tipo convencional, com unidades de coagulação, floculação, decantação, filtração rápida e desinfecção. A ETA foi inaugurada em 1958 pelo Presidente da Republica Juscelino Kubitschek, sendo ampliada (construção da segunda adutora) em 1973, quando foi reinaugurada pelo governador Ernani Sátyro e, sua última ampliação ocorreu em 1994 (terceira adutora), durante o governo Ronaldo da Cunha Lima.

A ETA em operação tem capacidade nominal de tratamento de 1500 l/s e trata uma vazão média de 906 L/s, com regime de 24 horas/dia, produzindo em média 78.278

m³/dia. O sistema de bombeamento de Gravatá, com três elevatórias, é responsável pelo fornecimento de água para o reservatório de distribuição de Campina Grande, o "R9" é o reservatório que atende à demanda principal de Campina Grande, que é abastecido pelo poço de sucção "R0". junto a ETA, com capacidade de 3.400 m³. A água é transportada via três adutoras: de 500, 700 e 800 mm. O sistema principal é responsável pelo abastecimento de 29 reservatórios de distribuição, uma malha de 450 km de rede de distribuição de água, com um total de 83.500 ligações domiciliares.

A Figura 3.4 representa o esquema do sistema simplificado de abastecimento de Campina Grande-PB, com cinco estações elevatórias e ETA (CAGEPA, 2003).

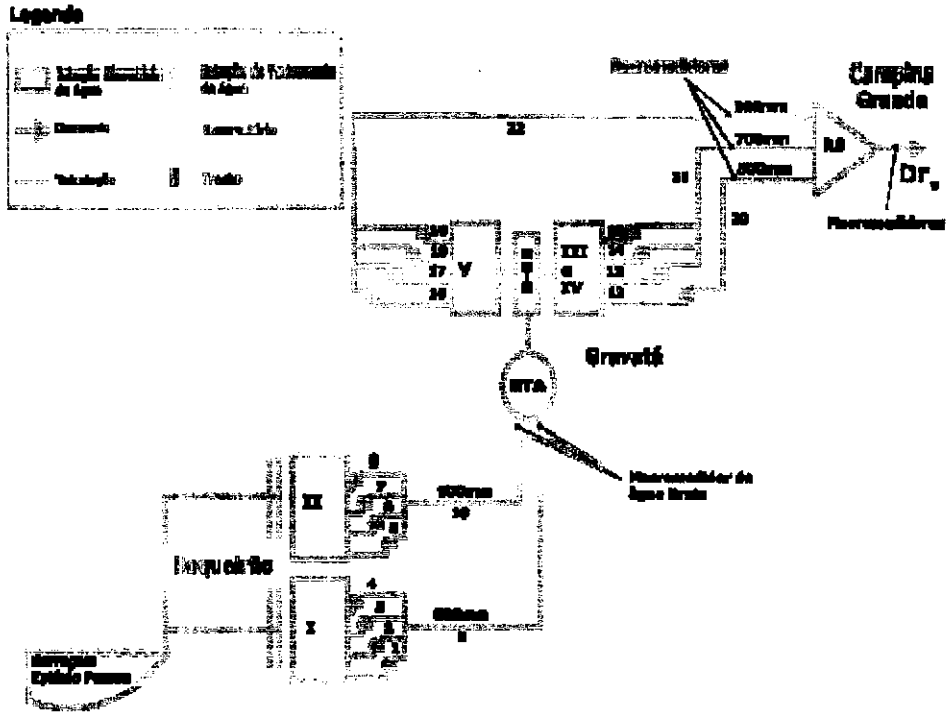


Figura 3.4 - Sistema simplificado de abastecimento de município de Campina Grande/PB

O sistema de bombeamento, nas elevatórias I, II, IV e V, ocorrem com o funcionamento de bombas em paralelas, através da conexão em barriletes e seu rendimento elétrico foi estabelecido como 90%.

3.1.5.1 - Características físicas das unidades de tratamento da ETA

O Quadro 3.1 representa as características físicas das unidades de tratamento de água da ETA de Gravatá, e as unidades de tratamento são ilustradas no fluxograma da

Figura 3.5, que compreende: canal de descarga, calha Parshall, floculadores, decantadores e filtros.

Quadro 3.1 - Características físicas das unidades da ETA de Gravatá – Boqueirão (PB)

Unidade	Comprimento (m)	Largura (m)	Profundidade (m)
Canal de descarga	70	2,00	1,20
Floculadores antigos (6)	10,00	5,20	3,75
Floculadores novos (3)	19,82	19,85	2,60
Decantadores velhos (6)	34,25	10,0	3,75
novos (3)	59,15	19,85	5,00
Filtros 1ª etapa (5)	10,15	4,25	3,80
2ª etapa (6)	9,40	4,60	3,80

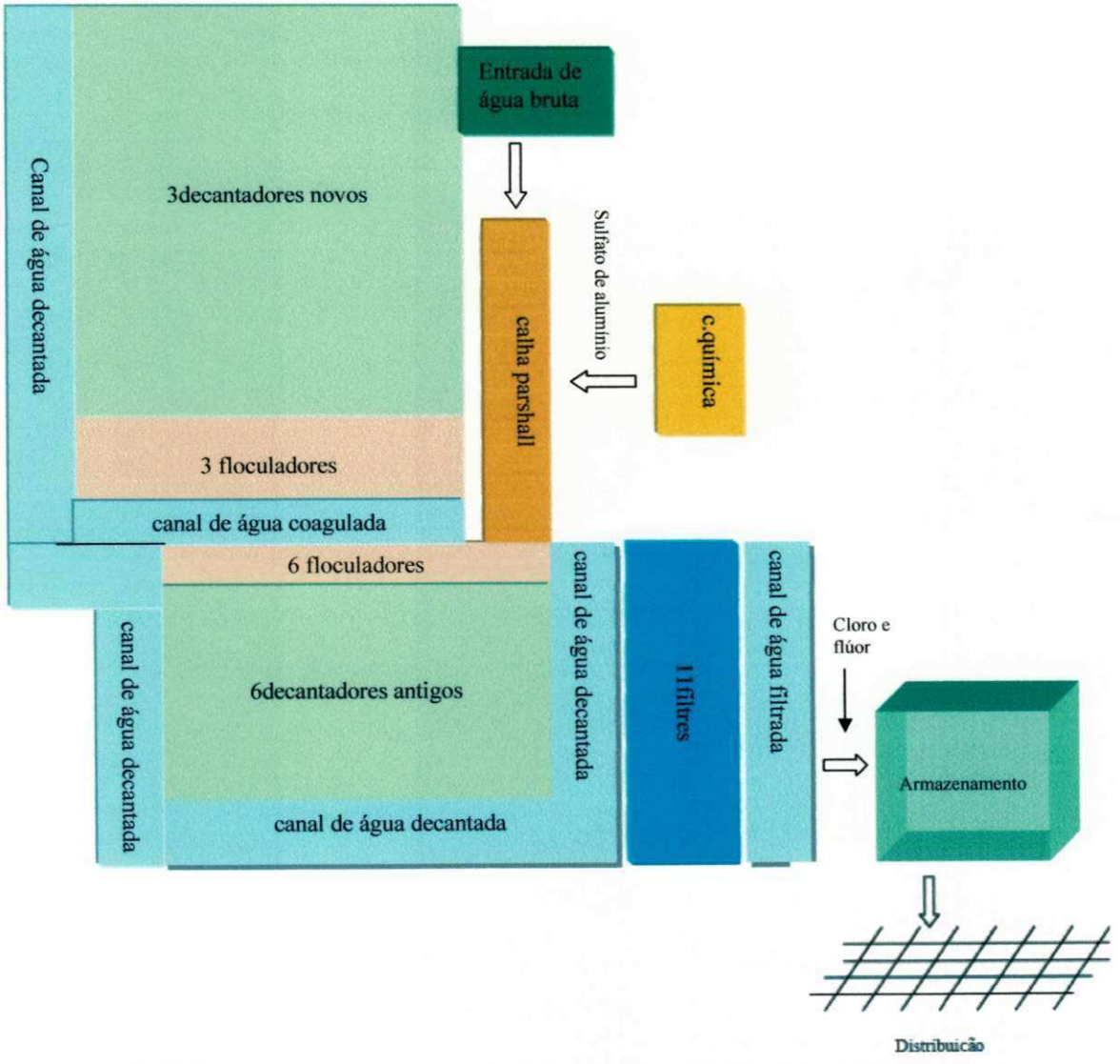


Figura 3.5 – Fluxograma das unidades da ETA de Gravatá –Boqueirão/PB

3.1.6 - Processo de tratamento na ETA de Gravatá

A água é bombeada através de elevatórias situadas no açude Epitácio Pessoa, em Boqueirão, até a ETA. A descarga da água bruta é feita num canal de descarga aberto, com velocidade de 1,05 m/s. A aplicação da solução de sulfato de alumínio se dá num dispositivo adaptado à mistura rápida, constituído de uma calha Parshall junto à entrada do floculador (Figura 3.6).

Figura 3.6 – Canal de descarga da chegada da água bruta na ETA de Gravatá – Boqueirão/PB

A partir daí inicia-se o processo de coagulação, que é a formação de coágulos, através de reação do coagulante, de modo a promover um estado geral de equilíbrio eletrostaticamente instável das partículas, na massa líquida. A coagulação é realizada na faixa de pH de 5,0 a 8.0.

A dosagem na ETA é pela via úmida e a preparação do sulfato de alumínio é realizada em tanques apropriados para dissolução do produto. Os tanques são dotados de agitadores mecânicos para homogeneização da solução. A mistura é deixada em repouso por cerca de 24 horas, sendo usado apenas o sobrenadante.

Do canal aberto, a água é encaminhada para 9 floculadores mecânicos de eixo vertical do tipo paletas (Figura 3.7), onde as partículas em estado de equilíbrio eletrostaticamente instável no seio da massa líquida são forçadas a se movimentar, a fim de que sejam atraídas entre si, formando flocos, que, com a continuidade da agitação, tendem aderir às outras, tornando-se pesadas, para posterior separação nas unidades de decantação

e filtração. Sendo que, desses floculadores 6 correspondem as unidades antigas e 3 com 4 câmaras cada um refere-se aos floculadores novos.

Figura 3.7 – Floculadores mecânicos de eixo vertical do tipo paletas – ETA de Gravatá-Boqueirão/PB

A unidade de tratamento possui 9 decantadores do tipo convencional, com escoamento horizontal, sendo que 6 desses correspondem às unidades antigas e mais 3 decantaodores novos, elementos do projeto de ampliação da ETA (Figura 3.8). Em um processo dinâmico de separação de partículas sólidas, suspensas nas águas, o tempo de detenção é de 2,5 horas, produzindo um volume de água tratada de 7.611,80 m³/dia, em cada decantador.

Figura 3.8 – Decantadores convencionais (novos) da ETA de Gravatá - Boqueirão/PB

O processo de filtração se dá em onze filtros, com área total de 475 m². Os filtros são de seção quadrada e o meio filtrante, com dupla camada de antracito, sendo a camada suporte, com três sub-camadas de pedregulho, e fundo dos filtros, com sistema de canalização perfurado. A taxa de filtração é de 300 e 475 m³/m².dia, resultando num volume diário de 142.500 m³. A Figura 3.9 ilustra os filtros da ETA, cujo sentido do escoamento é o descendente.

Figura 3.9 – Filtro com processo de filtração descendente da ETA de Gravatá – Boqueirão/PB

Após a filtração, a água passa para um reservatório de contato, de onde recebe a desinfecção de cloro gasoso. Através de tubulações de 700 e 800 mm, é encaminhada para um reservatório de água tratada, chamado poço de sucção ou R-0.

A empresa realiza o monitoramento do controle de qualidade da água de amostras da água bruta, decantada filtrada e clorada visando manter padrões de qualidade e potabilidade determinados em lei. São realizadas coletas de amostras diretas do reservatório, mas em locais próximos à tomada d'água. As variáveis da água bruta e da água tratada, analisadas diariamente, são: temperatura, pH, cor aparente, condutividade, dióxido de carbono, alcalinidade total, dureza, cloreto, ferro, sólidos totais dissolvidos, cálcio, oxigênio consumido e turbidez. Esse último é usualmente medido, pelo fato da turbidez ser uma variável de controle operacional, o oxigênio consumido, por sua vez, por ser representativo da qualidade da água bruta, está associado à presença de microrganismos, algas, ou mesmo sólidos em suspensão. O pH, que é também uma variável de caráter operacional, é acompanhado para otimizar os processos de tratamento

da água e preservar, contra corrosões ou obstruções, as tubulações do sistema de distribuição.

3.1.7 - Operação de lavagem dos filtros da ETA de Gravatá

Os filtros são lavados após o período de lavagem estabelecido para cada filtro ou quando há necessidade de lavagem, pelas condições de transpasse e/ou perda de carga hidráulica, ou ainda, quando a turbidez do efluente excede o valor considerado como aceitável (controle de qualidade da água filtrada). O sistema de lavagem é de forma contra-fluxo e ascendente, com duração do processo, para cada unidade, de cerca de 7 a 10 minutos. A lavagem de uma unidade filtrante utiliza em torno de 340 m^3 de água, que provém água de um reservatório de água para lavagem.

A Figura 3.10 ilustra a seqüência de fotos da operação de descarga e lavagem dos filtros, mostrando o liquido antes do início do processo de descarga e limpeza, onde pode se observar o volume de lodo que se apresenta na forma gelatinosa e de cor marrom. A água de lavagem, suja, é coletada por calhas e encaminhada para um tanque de passagem. A lavagem das paredes dos filtros requer esforços operacionais para a remoção de lodo, através de manuseio de mangueiras com jateamento de água.

3.1.8 - Operação de descarga e lavagem dos decantadores da ETA de Gravatá

O processo de descarga e lavagem dos decantadores se dá, inicialmente, pelo fechamento das comportas da entrada dos floculadores, abrindo-se o expurgo, para esvaziar o decantador. O lodo é jateado por meio de uma mangueira e empurrado com o rodo para expurgo. Fecha-se o expurgo e se reenche o decantador, através de uma pequena abertura da comporta. Reabre-se a comporta com o decantador completamente cheio.

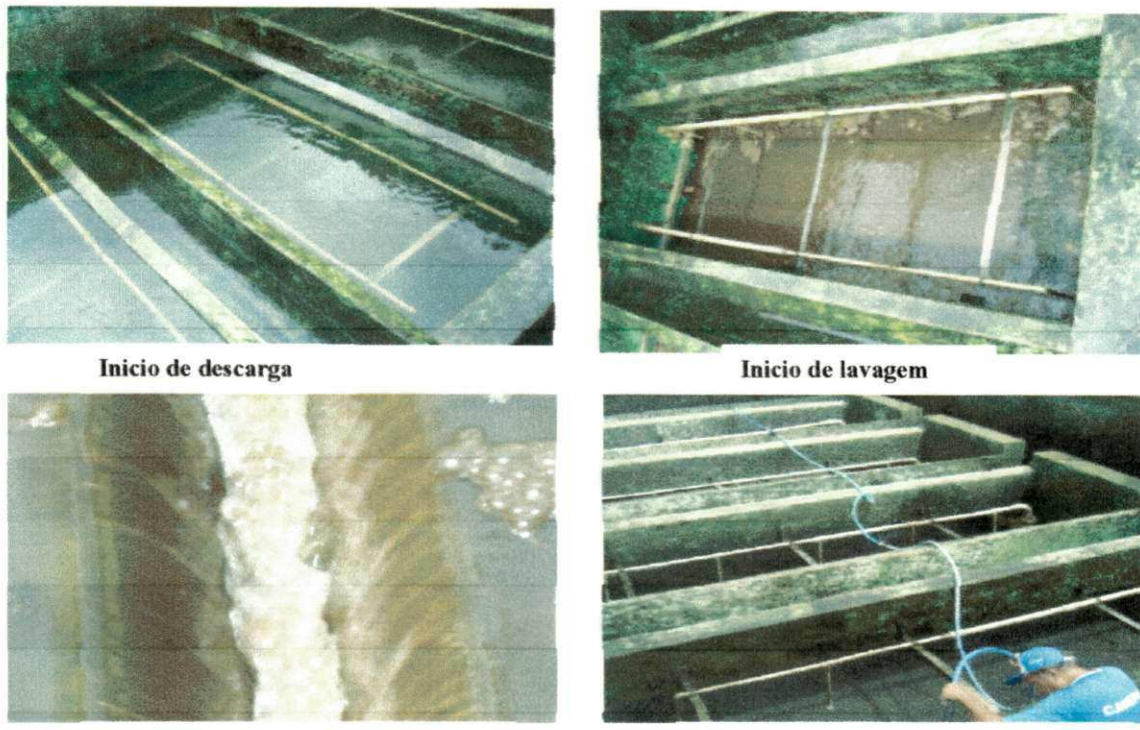


Figura 3.10 – Seqüência da operação de descarga e lavagem de filtros da ETA de Gravatá

A seqüência de fotos da Figura 3.11 ilustra como é realizada a descarga e limpeza dos decantadores da ETA de Gravatá/PB, mostrando as condições da massa líquida do decantador, antes do início do processo de descarga da unidade de tratamento. Podendo observar que os sólidos do decantador tendem a compactar e adensar na base das unidades (os mais pesados situam-se no fundo e os mais leves na parte superior). A característica visual do lodo se apresenta de forma aveludada com cor similar a chocolate.

A Figura 3.11 mostra também o perfil da camada de lodo nas paredes, onde o volume de lodo pode ocupar parte considerável do tanque. A limpeza das paredes, exigi esforços operacionais para a remoção dos sólidos até a limpeza final que é realizada através de manuseio de mangueiras e rodos, direcionando o material sólido pesado para comporta de descarga. O ponto de lançamento dos resíduos da ETA é num barreiro, construído pela própria empresa, que se situa próximo a ETA. Esse líquido é utilizado para agricultura e dessedentação de animais dos moradores vizinhos. A remoção do lodo, retido no barreiro, é realizada periodicamente através de caminhão e disposto no meio ambiente.

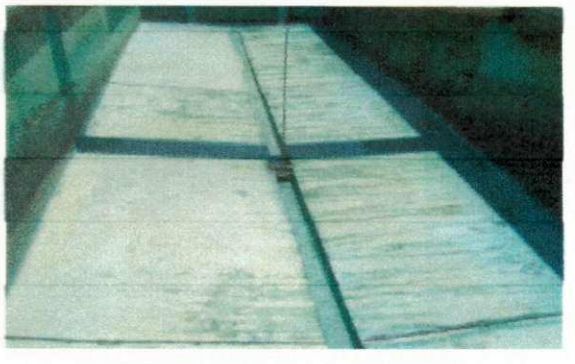
Massa líquida antes da descarga

Operação da descarga do lodo

Raspagem de lodo das paredes com rodo

Lavagem das paredes com jateamento

Lavagem do fundo com jateamento



Final da operação de lavagem

Figura 3.11 – Seqüência de operação de descarga e lavagem de decantador da ETA de Gravatá-Boqueirão/PB.

3.2 Disponibilidade hídrica do manancial de abastecimento da ETA

Para avaliação da disponibilidade hídrica do manancial que abastece a ETA, realizou-se um levantamento de dados históricos relativos ao volume de armazenamento do reservatório. Esse levantamento consistiu de dados em períodos diferenciados, tais como dados históricos dos anos de 1996 a 2006, que compreendem períodos seco e chuvoso, o que permitiu conhecer a disponibilidade hídrica do manancial, assim como,

caracterizar a operação da ETA e a variação das características da água bruta e por sua vez da água de lavagem descartada.

Foi realizado um levantamento do consumo de produtos químicos utilizados na ETA, para indicar que existe uma relação entre dosagem dos produtos químicos e as variações sazonais do volume que ocorrem no manancial nos períodos de chuva e seco, e que teriam influência na quantidade e qualidade dos resíduos gerados na ETA.

3.3 - Procedimentos metodológicos

3.3.1 Análises dos efluentes descartáveis

As análises físico-químicas e bacteriológicas (coliformes total e *Esherichia coli*) foram conduzidas no laboratório da CAGEPA, na Unidade de Gerencia de Divisão de Tratamento e Controle de Qualidade, alto branco, – Campina Grande/PB. As metodologias utilizadas para análises físico-químicas estão descritas em APHA et al. (1998). O procedimento experimental para caracterização das águas de lavagem da ETA foi realizado da seguinte forma:

- Água de lavagem dos filtros – as amostras foram coletadas durante a operação de lavagem dos filtros de número 1, 2, 5 e 6, em 06/10/2006 às 9:00 horas, com tempo de funcionamento de 72 horas (carreira de filtração), e as coletas das amostra ocorreram logo no início da lavagem e após 4 minutos. No laboratório foram realizadas as análises físico-químicas e bacteriológicas das variáveis de turbidez, cor, pH, temperatura, oxigênio consumido, alcalinidade total, condutividade, sólidos dissolvidos totais, dióxido de carbono, cálcio, dureza, cloreto, magnésio, coliformes totais e *Escherichia coli.*
- Água de descarga e lavagem dos decantadores - as amostras foram coletadas durante descargas e lavagem do decantador número 3 (unidade antiga) em 08/11/2006 às 10:00 hs, com tempo de detenção de 90 dias (período do lodo acumulado); as coletas das amostras ocorreram no tempo de descarga de 10 e 30 minutos, após o início da descarga.

3.3.2 Ensaio de clarificação da água de lavagem

Os ensaios de clarificação foram realizados através do processo de sedimentação no Cone de Imhoff (em 1 e 2 horas). As amostras do líquido sobrenadante e lodo sedimentado foram caracterizadas, cujas variáveis analisadas foram: turbidez, cor; pH,

UFCG/BIBLIOTECA

sólidos totais dissolvidos, condutividade e cloreto. Os procedimentos dos ensaios de clarificação por sedimentação, através do método do Cone de Imhoff, foram realizados no Laboratório da Unidade de Tratamento Controle e Qualidade da Água (CAGEPA). A Figura 3.12 ilustra o ensaio de clarificação com a amostra de água de descarga do decantador (após 10 minutos do início de descarga), mostrando o inicio do processo de sedimentação e as condições do sobrenadante após 1 hora de repouso.

Início do processo de sedimentação **Ensaio de sedimentação após 1 hora**

Figura 3.12 – Cone de Imhoff com ensaio de sedimentação da água de lavagem de descarga do decantador da ETA de Gravatá/PB

3.4 Formulação das alternativas propostas para o reaproveitamento de água de lavagem

As alternativas foram formuladas a partir do conhecimento das condições atuais de operação da estação de tratamento de água do sistema de Gravatá, objetivando desenvolver estudos técnicos que possam propor alterações físicas em suas unidades, ou mesmo, sugerir mudanças das rotinas atualmente empregadas no processo de tratamento, visando avaliar as possibilidades de redução dos volumes de água utilizada no processo, principalmente aqueles gastos na lavagem dos filtros e na limpeza dos decantadores, além de, evidentemente, procurar identificar perdas por vazamento no circuito de tratamento.

O projeto-piloto para sistema de tratamento da água de lavagem de ETA proporcionará condições para o reaproveitamento, otimizando os aspectos técnicos e econômicos e atendendo, primordialmente, à legislação ambiental (lançamento de efluentes).

O projeto-piloto do sistema de tratamento das águas de lavagem é composto por:

- tanque de recepção,
- sedimentador,
- lagoas de lodo ou leito de secagem e,
- instalação do sistema de bombeamento para recirculação da água.

O Quadro 3.2 apresenta as alternativas propostas, e que são detalhadas nos esquemas apresentados nas Figuras 3.13 a 3.16.

Quadro 3.2 – Alternativas propostas para o projeto-piloto do sistema de reaproveitamento de água de lavagem na ETA de Gravatá Boqueirão - PB

Alternativa	Funcionamento operacional para cada alternativa
1ª	A ALF (Água de Lavagem dos Filtros) é encaminhada para o sedimentador, onde a água clarificada retorna para o inicio da ETA e o lodo é encaminhado para o leito de secagem juntamente com as águas de descargas e limpezas dos decantadores e o drenado retorna à ETA.
2ª	A ALF é encaminhada para o sedimentador, onde o clarificado retorna à ETA e o lodo é lançado para duas lagoas de lodo as quais recebem os resíduos dos decantadores.
3ª	Todos os resíduos decorrentes das lavagens dos filtros e decantadores são lançados em três lagoas de lodo, de onde, após sedimentação, o sobrenadante retorna à ETA.
4ª	Não há reaproveitamento da água de lavagem na ETA e os resíduos são lançados em um barreiro, próximo à ETA, onde essa água é reaproveitada na irrigação, pela comunidade vizinha (situação atual).

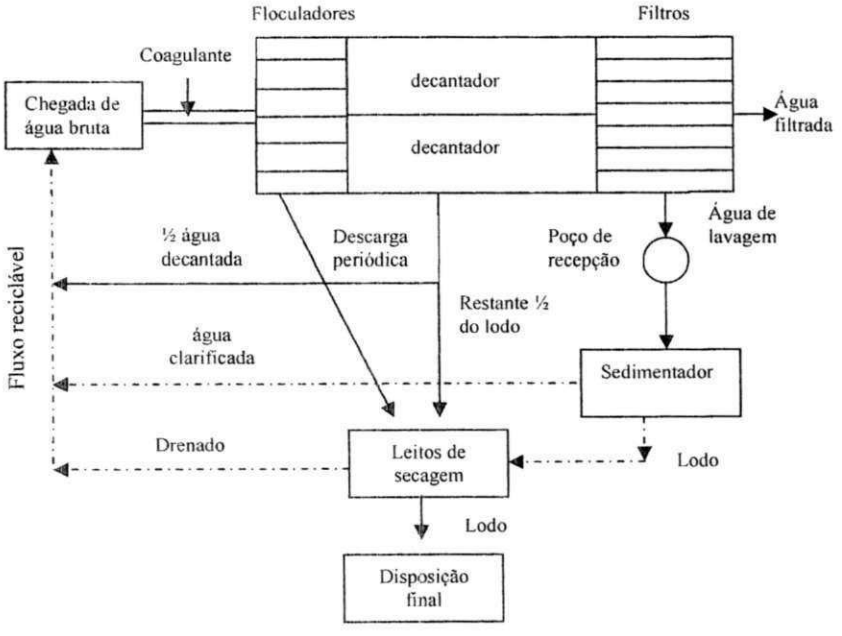


Figura 3.13 – Esquema ilustrativo do sistema de reaproveitamento das águas de lavagens com sedimentador e leito de secagem (alternativa 1)

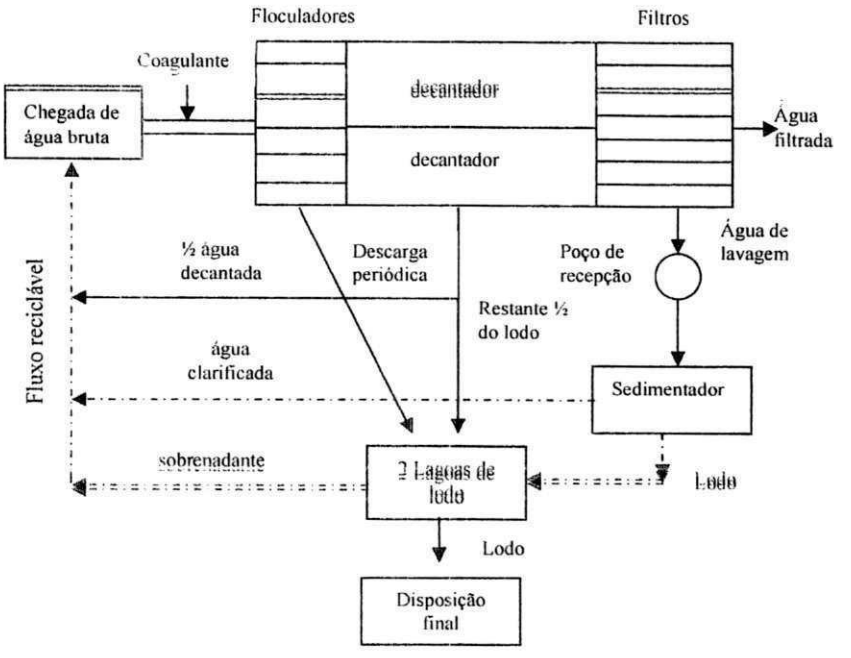


Figura 3.14 – Esquema ilustrativo do sistema de reaproveitamento das águas de lavagens com sedimentador e duas lagoas (alternativa 2)

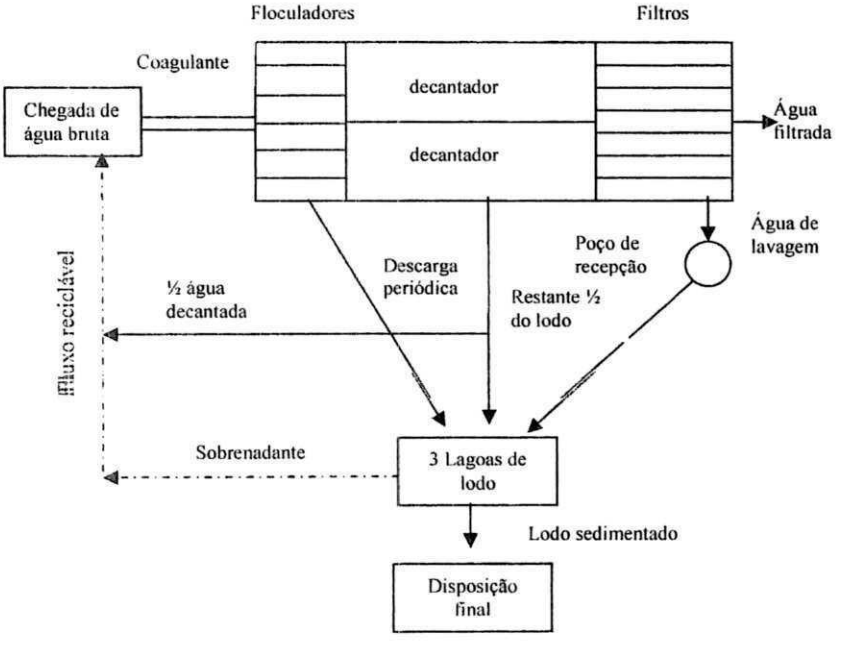


Figura 3.15 – Esquema ilustrativo do sistema de reaproveitamento das águas de lavagens com três lagoas de lodo (alternativa 3)

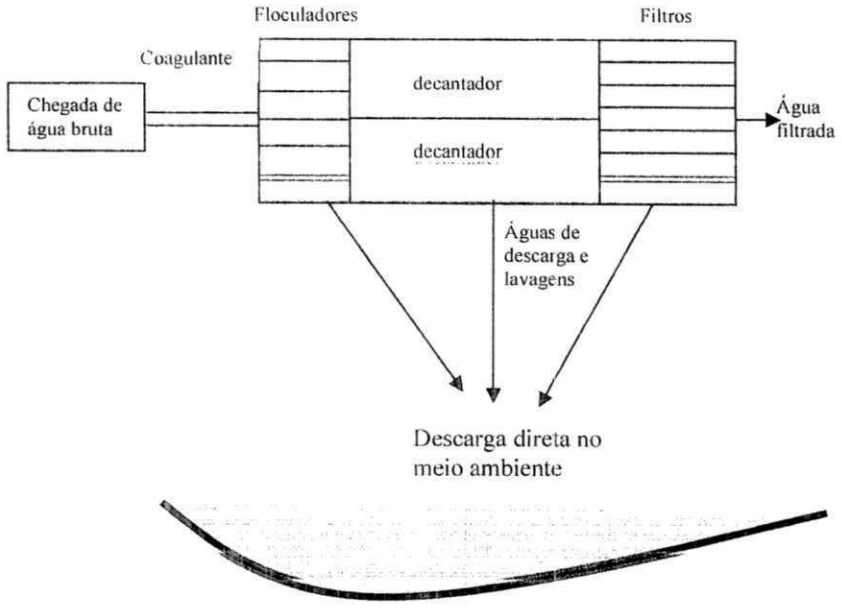


Figura 3.16 – Esquema ilustrativo do sistema sem reaproveitamento de água na ETA com descarga no meio ambiente (alternativa 4)

3.5 - Procedimentos para projeto e construção do sistema de tratamento de água de lavagem (para as alternativas 1, 2 e 3)

3.5.1 - Levantamento topográfico e cadastral da área da ETA.

A partir do levantamento topográfico da área existente na ETA, pretendeu-se obter o conhecimento sobre: a disponibilidade de área na ETA; a localização das estruturas existentes; e a existência ou não de sistema de reaproveitamento instalado na ETA. Para esse levantamento foram utilizados projetos com planta de locação e situação da ETA, curvas de nível e planta baixa da área construída; esse material foi fornecido pela Unidade Regional da Borborema - R 9. Divisão de Obras - Controle Operacional e Gerência administrativa.

3.5.2 - Procedimento e métodos para estimativa de produção dos resíduos de filtros e decantadores

A quantidade e a qualidade do resíduo gerado em uma ETA convencional dependem do período do ano (chuvoso e estiagem), das características dos mananciais utilizados no abastecimento, da quantidade e dos tipos de coagulantes e demais substâncias envolvidas no processo.

Para a estimativa do volume de água de lavagem, fez-se necessário conhecer a freqüência das descargas dos decantadores e o volume correspondente a cada uma delas, assim como o volume de uma lavagem de um filtro e a freqüência com que ocorrem na ETA, a partir das condições operacionais e do volume de água de lavagem dos filtros, floculadores e decantadores. Os controles operacionais da ETA foram pesquisados para determinar o volume máximo mensal de água de lavagem dos filtros para os anos de 2004 a 2005, tais como: levantamentos de dados relativos aos volumes máximos mensais de ALF, freqüência e números de lavagens dos filtros. Para os decantadores, o levantamento de dados se estendeu de 2004 a 2006, para se ter uma avaliação quanto aos períodos de ocorrência da operação de descargas e lavagens dessas unidades.

A estimativa do volume de lodo gerado na ETA foi necessária para avaliar os possíveis impactos ambientais, como também, para determinar o custo de transporte para o seu destino final. A produção de lodo da ETA de Gravatá foi estimada através de fórmulas empíricas e em função da qualidade do manancial. As fórmulas empíricas empregadas foram as propostas por AWWA (1978), Cornwell (1987) e (Saron, 2001 - CETESB) que foram apresentadas no item 2.6.4 (Equações 2.4, 2.6 e 2.7 respectivamente). A quantificação da produção de lodo pôde ser estimada, levando-se consideração a vazão diária da água a ser tratada, associada às características da água bruta no manancial e o tipo de coagulante utilizado.

Os resultados obtidos foram os parâmetros para o dimensionamento, projeto, condições operacionais e implantação, de cada unidade de tratamento, referentes às alternativas propostas na pesquisa.

3.5.3 - Dimensionamento das unidades do projeto-piloto do sistema de tratamento de água de lavagem

No dimensionamento do projeto-piloto do sedimentador, levou-se em consideração o volume estimado da água de lavagem de um filtro, sob a condição operacional de que a água clarificada deve retornar ao início da ETA. Para o projeto-piloto do leito de secagem e lagoas de lodo, considerou-se o volume de uma operação de descarga e limpeza de um decantador de maior capacidade e a condição de que 50% da água clarificada (conforme visto no item 2.7.1 do Capítulo 2) é lançada diretamente para os filtros ou para o início da ETA.

3.6 - Levantamento de custos e benefícios das alternativas propostas (1, 2 e 3)

A estimativa dos custos e benefícios de reaproveitamento para cada alternativa (construção, manutenção e operação) foi feita com base nos dados fornecidos pela própria empresa, extraídos dos arquivos de projetos, valores orçamentários, custos estimados de obra civis e relatórios técnicos das Unidades de Negócios da CAGEPA.

3.7 - Análise comparativa das alternativas

Através dos dados obtidos, foi realizada uma pré-seleção das alternativas, considerando os seguintes fatores: características qualitativas e quantitativas dos efluentes da ETA; disponibilidade hídrica; e tecnologia disponível de reaproveitamento de água de lavagem de ETAs os quais foram comparados entre as alternativas propostas. Para a escolha da melhor alternativa, foram considerados alguns fatores relacionados aos aspectos técnicos, econômicos e ambientais, conforme apresentado no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Fatores que influenciaram na pré-seleção da melhor alternativa

Técnicos	Econômicos	Ambientais
Qualidade do efluente	Custo operacional	Riscos à comunidade
Sistema operacional	Custo de manutenção	Conservação de recurso hídrico
Sistema de manutenção	Investimento aplicado	Riscos ao corpo receptor
Disponibilidade de área	Disponibilidade financeira	Atendimento normativo
Condições climáticas	Benefícios gerados	
Disponibilidade hídrica		

3.8 - Verificação de viabilidade técnica, econômica e ambiental das alternativas selecionadas

Verificação da viabilidade técnica

Para verificação da viabilidade técnica, considerou-se a disponibilidade hídrica, condições climáticas da região, disponibilidade de área na ETA e a eficiência da tecnologia proposta, avaliando-se os aspectos relativos às condições operacionais e funcionalidade do projeto-piloto do sistema de tratamento, bem como o reaproveitamento de água de lavagem, que possa garantir a eficiência deste sistema. A análise de viabilidade técnica foi

realizada a partir de dados secundário, obtidos da literatura, e de dados experimentais determinados na pesquisa.

Verificação da viabilidade econômica

Para verificação da viabilidade econômica do investimento no projeto-piloto do sistema de tratamento, foi realizada uma análise simultânea dos indicadores econômicos para as três alternativas estudadas. Os métodos ou indicadores analisados foram: Valor Presente Líquido do projeto (VPL), Relação Benefício/Custo (B/C), Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Tempo de Retorno do Capital (TRC). Estes indicadores foram calculados a partir de uma planilha eletrônica, composta das equações matemáticas correspondentes à aritmética financeira, necessária para a obtenção destes indicadores.

A avaliação econômica do projeto-piloto do sistema de reaproveitamento de água de lavagem de ETA envolveu os custos fixos (investimentos empregados) e os custos variáveis (operação e manutenção do sistema), assim como os benefícios diretos e indiretos gerados. Os custos de investimentos foram àqueles envolvidos com a implantação do projeto, com a aquisição de novos equipamentos para as instalações hidráulicas (motores, bombas), enquanto; para os custos variáveis, foram os custos envolvidos no decorrer do alcance do projeto ou da vida útil dos equipamentos (energia, reparação nas tubulações e nas peças de controle, reposição de equipamentos, etc). Os benefícios diretos mensais considerados foram os benefícios que o projeto-piloto de reaproveitamento de água de lavagem na ETA de Gravatá proporcionará: a economia de energia elétrica decorrente da diminuição do bombeamento de água bruta, desde o ponto de captação à entrada da ETA, a economia referente à compra da água bruta, assim como, os benefícios gerados com a redução do volume de resíduos.

O levantamento dos custos de implantação do projeto-piloto do sistema de tratamento da água de lavagem para o reaproveitamento foi obtido através de planilhas orçamentárias que se encontram no Anexos A4. Os valores foram calculados tomando-se por base os custos de mercado dos equipamentos, obtidos junto aos fornecedores, custos estimados das obras civis, fornecidos pela companhia, a partir de levantamento de quantitativos e de valores orçamentários referentes ao mês de novembro de 2006.

Os valores de Valor Presente Líquido (VPL), relação B/C, TIR e TRC foram determinados seguindo as metodologias apresentadas no Capitulo 2, onde utilizou-se das Equações 2.8 a 2.12, assim como do fluxo de caixa dos recursos envolvidos e das planilhas

eletrônicas já construídas. Para determinar o valor da Taxa Interna de Retorno – **TIR** do projeto, a partir de planilhas eletrônicas, para cada alternativa, fez-se variar o valor da taxa de juros "i", mantendo-se os outros parâmetros constantes. O valor da TIR correspondeu ao valor de "i", para o qual o Valor Presente Líquido (VPL) tornou-se zero, o qual foi determinado a partir da aplicação da ferramenta "atingir meta" da planilha EXCEL da Microsoft. O Tempo de Retorno do Capital – TRC foi determinado através de planilha eletrônica, onde fez-se variar o valor do número de anos do projeto "n", mantendo-se outros parâmetros constantes.

Verificação da viabilidade ambiental

A avaliação da viabilidade ambiental se deu a partir de um estudo de impacto ambiental dos resíduos gerados pela ETA. Esse estudo deve apresentar a viabilidade ambiental do projeto-piloto do sistema de tratamento da água de lavagem (STAL), nas fases de implantação e operação, abrangendo a identificação de impactos ambientais, a geração de resíduos em ETAs, na forma qualitativa e quantitativa, alternativas de tratamento e disposição destes resíduos, aspectos legais e, finalmente, ações mitigadoras.

A identificação de impactos ambientais gerados pelo lançamento dos resíduos de ETAs no meio ambiente em sua forma qualitativa e quantitativa foi realizada a partir de informações obtidas na literatura e resultados das análises dos parâmetros físico-químicos das águas de descargas dos filtros e decantadores, em especial para os parâmetros sólidos totais dissolvidos, cor e turbidez, em função dos padrões de lançamento permitidos pela Resolução 357/05 do CONAMA, na estimativa da produção de lodo gerado, na eficácia do projeto-piloto de STAL da ETA e, também, em informações complementares já disponibilizadas na literatura.

Para a identificação dos impactos ambientais na forma qualitativa, construiu-se uma rede de interação, representada pela Figura 3.17, a qual se fundamentou nos impactos ambientais relacionados à fase de implantação (durante a obra) e operação do projeto-piloto do sistema de tratamento da água de lavagem (funcionamento do sistema) de ETAs, o que permitiu identificar os possíveis impactos diretos e indiretos decorrentes das ações do tratamento de resíduos da ETA. A identificação dos impactos considerou a natureza dos mesmos (positivos ou negativos).

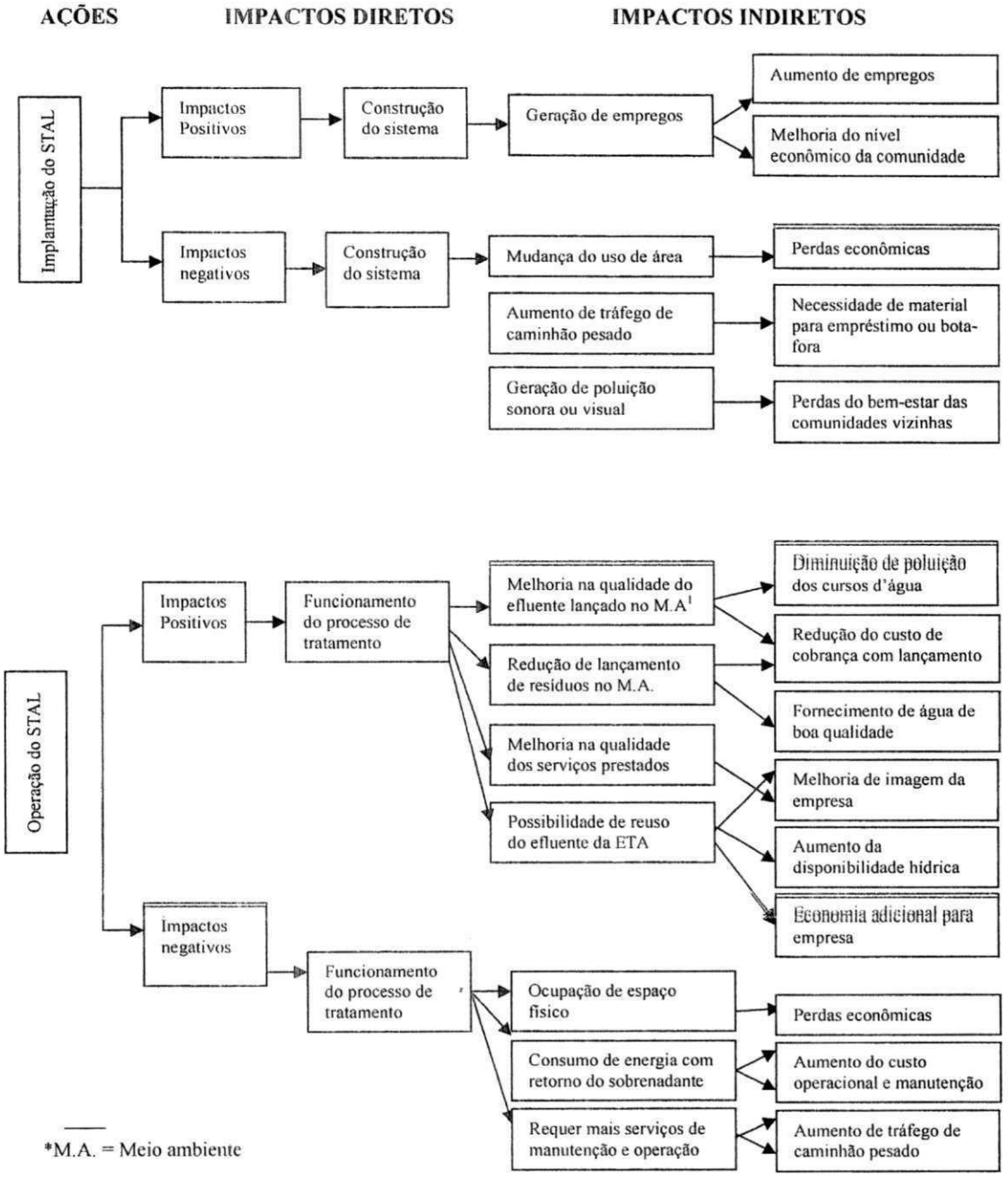


Figura 3.17 - Rede de Interação de avaliação dos impactos ambientais gerados pela implantação e operação do STAL em ETAs.
Fonte: adaptação - Vismara (1992), *apud*, Souza e Salvador (1992), Brostel *et al.* (2005), Achon et al..(2005).

Para a identificação dos impactos negativos, na sua forma quantitativa, elaborou-se uma matriz de correlação em que foram relacionados, na direção horizontal, os principais impactos negativos e, na vertical, foram dispostos critérios para avaliação dos impactos. Esses critérios foram agrupados de forma a classificar os impactos negativos

ambientais quanto à severidade, à natureza e ao potencial para mitigação, conforme apresentado no Quadro 3.4. O objetivo dessa matriz foi determinar o grau de impacto que a ETA provocar para o meio ambiente. Os critérios para avaliação dos impactos ambientais utilizados no preenchimento da matriz de correlação foi adaptado da metodologia de Brostel et al. (2005), sendo que essa serviu para avaliar os impactos ambientais negativos decorrentes dos efluentes de ETEs. Neste trabalho, essa metodologia, foi adaptada para avaliar os impactos ambientais negativos decorrentes dos efluentes de ETAs.

Quadro 3.4 Critérios para avaliação dos impactos ambientais utilizados no preenchimento da matriz de correlação

I – Severidade do impacto	
Critério	**Pontuação**
Magnitude	0 - Não se aplica 1- Impacto ambiental de gravidade muito baixa 2- Impacto ambiental de gravidade baixa 3- Impacto ambiental de gravidade média 4- Impacto ambiental de gravidade alta 5- Impacto ambiental de gravidade crítica
Importância	0 - Não se aplica 1- Impacto ambiental pouquíssimo importante 2- Impacto ambiental pouco importante 3- Impacto ambiental medianamente importante 4- Impacto ambiental altamente importante 5- Impacto ambiental de importância muita alta
II – Natureza do Impacto	
Ocorrência	0 - Nunca 1- Remota 3- Ocasional 5- Freqüente
Abrangência geográfica	0- Não se aplica 1- No ponto de lançamento 3- Nas proximidades de lançamento (20 a 100 m) 5- Além das proximidades de lançamento
III – Potencial para mitigação	
Reversibilidade	0 - Não se aplica 1- Reversível naturalmente 3- Reversível por meio de ação humana 5- Irreversível
Custo de alteração	0 - Não se aplica 1- Investimentos insignificantes 3- Investimentos suportáveis 5- Investimentos consideráveis

Fonte: Brotel et al. (2005)

Para o preenchimento da matriz de correlação o estabelecimento dos pesos dos impactos ambientais, adotado no presente trabalho, foi o mesmo utilizado por Brostel (2005), que considerou como impactos mais graves, aqueles que atingiam a saúde do ser humano, seguidos dos impactos que atingiam o meio ambiente, e, por último, os impactos

sociais. Assim, os pesos relativos atribuídos aos impactos totalizaram dez (10) pontos. O desempenho do projeto-piloto do sistema de tratamento das águas de lavagem e o reaproveitamento do efluente tratado foram considerados como medidas mitigadoras.

Para verificação da viabilidade ambiental do projeto-piloto considerou-se, nessa pesquisa, que cada alternativa funcionará como ações mitigadoras, favorecendo uma minimização ou redução dos impactos causados pelo lançamento dos efluentes no meio ambiente. Portanto, o reaproveitamento de água de lavagem da ETA de Gravatá, representa os impactos ambientais positivos, que cada alternativa contribuirá. Assim, na conservação dos recursos hídricos, destaca-se o volume de água que deixa de ser retirado do manancial e na preservação dos corpos receptores, a porcentagem do volume de resíduos que deixa de ser lançado no meio ambiente.

A avaliação ambiental dos resíduos gerados na ETA pôde também ser realizada através de uma matriz de avaliação ambiental, que envolve a matriz de riscos ambientais, a qual avalia os fatores de riscos de uma ação no ambiente, nesse sentido, tomou-se como base a matriz de avaliação ambiental utilizada por Santos da Silva et al. (2006) sendo adaptada, no presente, trabalho para efluentes de uma ETA.

Com base na lista de rejeitos gerados em cada operação de processamento da ETA de Gravatá e dados das análises obtidas na presente pesquisa, pôde-se identificar seus impactos ambientais reais ou potencias e quais são as operações críticas que o processo de tratamento de água apresenta para o meio ambiente. Na matriz de risco ambientais considerou-se como fatores de riscos o índice de gravidade (G) e da freqüência de ocorrência (FO) de cada intervenção conforme consideram Santos da Silva et al. (2006). No preenchimento da matriz de risco quanto mais grave o efeito da intervenção sobre o meio ambiente, maior é a pontuação que foi designada por valores de 1 a 4. Da mesma forma, quanto maior for a freqüência de ocorrência, maior é o valor atribuído a esse índice, entre 1 e 5, essa pontuação foi adotada com base em Santos da Silva et al. (2006). A partir do produto (P) desses dois fatores, foi possível determinar o efeito da intervenção ambiental e classificá-la como: **crítica**, sendo P maior do que 9; **significativa,** sendo P superior ou igual a 6 e inferior a 9; **reduzida**, sendo P superior ou igual a 4 e inferior a 6; e **desprezível**, sendo P menor do que 4.

3.9 - Aplicação do método multicriterial

Para a tomada de decisão do problema foi aplicado um método multicriterial, com o fim de se alcançar uma solução de hierarquização das alternativas viáveis, para a obtenção da melhor solução, que satisfaça aos objetivos de ordem técnica, econômica e ambiental. Estes objetivos foram caracterizados por critérios, que serviram de elementos mensuráveis para facilitar a avaliação das alternativas viáveis.

3.9.1 Definição dos objetivos, critérios, categorias e especificações a serem considerados na análise multicriterial.

As alternativas para o sistema de tratamento e reaproveitamento das águas de lavagem foram analisadas de acordo com três (3) objetivos: técnico, econômico e ambiental. Para cada objetivo, foram definidos os critérios de análise e as categorias com especificações que traduzem esses critérios, conforme apresentados no Quadro 3.5.

Aos objetivos técnicos, a verificação da melhor alternativa relacionou-se à eficiência do sistema (menor ou maior tempo de secagem, menor ou maior concentração do lodo, quantidade de volume recuperado), à complexidade técnico-operacional (operação e manutenção) e à área requerida para implantação do sistema. Quanto os objetivos econômicos, a melhor alternativa é função de um indicador de avaliação econômica (TIR, VPL, relação B/C ou TRC). Com relação aos aspectos ambientais a melhor alternativa é função da redução de volume de água, captado no manancial, com o reaproveitamento de água de lavagem (conservação dos recursos hídricos) e do grau de redução de impactos (preservação do meio ambiente), após sua implantação.

Para se alcançar uma decisão de se obter uma alternativa mais aceitável econômica, técnica e ambientalmente, optou-se por um conjunto de pesos dos critérios, que reflita a sua importância relativa, em função do contexto do caso em estudo. Na definição dos pesos relativos dos critérios de avaliação, utilizou-se da técnica de Processo Analítico Hierárquico (Analytical Hierachy Process - AHP), definida por Saaty (1992), que apresenta uma escala numérica para a avaliação subjetiva das alternativas. Esta escala expressa uma intensidade de importância entre uma alternativa e outra, a qual varia em duas unidades. A escala adotada na presente pesquisa corresponde a valores decimais, variando de 0,2 (para as piores soluções) a 1,0 (para as melhores soluções), pois a grandeza não interfere na interpretação dos resultados.

Quadro 3.5 Critérios de avaliação e categoria adotados na pesquisa

Objetivos	Critérios	Categoria	Especificações
TÉCNICO	Eficiência do sistema (ES)	Muita alta, Alta, Média, Baixa, Muito baixa	(ES = 100%) (80% ≤ ES < 100%) (60% ≤ ES < 80%) (40% ≤ ES < 60%) (ES < 40%)
	Área Requerida (AR)	Muito baixa, Baixa, Média, Alta Muito alta	(AR ≤ 1.000 m^2) (2.000 ≤ AR < 1.000 m^2) (3.000 ≤ AR < 2.000 m^2) (5.000 ≤ AR < 3.000 m^2) (AR > 5.000 m^2)
	Manutenção (M)*	Muito alta Alta Média Baixa Muito baixa	(p ≥ 1 ano) (½ ano ≤ p < 1 ano) (¼ ano ≤ p < 1 ano) ($_{1/6}$ ano ≤ p < 1ano) (p < $_{1/6}$ ano)
ECONÔMICO	Taxa Interna de Retorno (TIR)	Extremamente rentável Rentável Pouco rentável Sem rentabilidade	(TIR ≥ 40 %) (40 < TIR ≥ 15) (15< TIR ≥ 12) (TIR < 12)
	Tempo de Retorno do Capital (TRI)	Extremamente rentável Rentável Pouco rentável Sem rentabilidade	(TRI ≤ 6 ano) (6 < TRI ≤ 8) (8≤ TRI < 10) (TRI > 10)
	Relação B/C	Extremamente rentável Rentável Pouco rentável Sem rentabilidade	(B/C ≥ 2,0) (2,0 < B/CI ≥ 1,4) (1,4 < B/C ≥1,0) (B/C < 1,0)
AMBIENTAL	Redução de volume de água (RVA)	Muito alta Alta Média Baixa Muito baixa	(RVA = 100%) (70% ≤ RVA < 100%) (50% ≤ RVA < 70%) (30% ≤ RVA < 50%) (RVA < 30%)
	Minimização de impactos ambientais (MIA)	Muito alta Alta Média Baixa Muito baixa	MIA = 100% 90 %≤ MIA < 100% 80% ≤ MIA < 90% 60 %≤ MIA< 70% MIA < 60%

* Refere-se a um período mínimo de manutenção necessária.

Os pesos reais das categorias são: 1,0 (muito alta, extremamente rentável /desejável); 0,8 (alta, rentável, desejável); 0,6 (média); 0,4 (baixa, pouco rentável/desejável); 0,2 (muito baixa, sem rentabilidade, indesejável). O peso real de cada critério é definido em função dos resultados obtidos nos cálculos dos elementos de projeto.

A partir dos pesos preferenciais, o modelo multicriterial simulará todas as possíveis preferências entre os objetivos e, para seleção final das alternativas propostas, são analisados em conjunto todos os resultados para escolha de uma melhor alternativa.

Para a seleção final das alternativas, foram estabelecidos pesos preferenciais para cada objetivo, onde a soma destes, para cada alternativa, é igual a 100. A seqüência dos pesos se deu de forma que, o objetivo primeiro lugar, o peso foi igual a 50, para o segundo lugar (2°) peso 30 e terceiro (3°) o peso foi igual a 20. A partir dos pesos preferenciais, o modelo multicriterial simulou todas as possíveis preferências entre os objetivos e a classificação das alternativas se deu através da somatória dos pesos em cada simulação realizada.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Introdução

A análise de alternativas do aproveitamento das águas residuárias de ETAs que levou em consideração a viabilidade técnica, econômica e ambiental consistiu inicialmente em um levantamento de dados históricos relativos ao volume de armazenamento do manancial que abastece a ETA, com a finalidade de avaliar a disponibilidade hídrica do reservatório, considerando o volume armazenado nos períodos seco e chuvoso. Tal levantamento permitiu ainda caracterizar a operação da ETA e a variação das características da água bruta ao longo destes períodos. Nesta análise, pretendeu-se mostrar que o processo de tratamento tende a sofrer grandes alterações em função da qualidade de água bruta do manancial e da conseqüente geração de resíduos que influencia a periodicidade de lavagem das unidades da ETA, com uma maior freqüência de lavagem em períodos chuvosos do que na estiagem. Para o desenvolvimento deste trabalho, inicialmente, foram realizadas visitas à Estação de Tratamento de Água (ETA) de Gravatá, a fim de conhecer melhor o funcionamento do sistema, como também de acompanhar a operação de lavagem dos filtros, decantadores e floculadores. A partir das visitas "in loco", foram realizadas as coletas das amostras das águas de lavagens, para caracterização quantitativa e qualitativa dos efluentes descartáveis no processo de tratamento de água, a fim de se obter uma idéia do tipo de tratamento a que esses efluentes deverão ser submetidos e propor alternativas para o melhor reaproveitamento das águas de lavagens da ETA.

Em seguida, realizou-se um estudo comparativo entre as alternativas propostas, levando em consideração os aspectos técnicos, econômicos e ambientais, com o propósito de selecionar previamente as alternativas viáveis e descartar as inviáveis. Subseqüentemente, foi realizada ainda uma avaliação, para verificar a viabilidade técnica, econômica e ambiental do projeto-piloto do Sistema de Tratamento de Água de Lavagem (STAL) da ETA de Gravatá-PB. Para verificação da viabilidade técnica considerou-se a disponibilidade hídrica e a eficiência da tecnologia proposta, avaliando-se os aspectos relativos às condições operacionais e funcionalidade do projeto-piloto do sistema de tratamento, bem como o reaproveitamento de água de lavagem, que possa garantir a

eficiência deste sistema. Para verificação da viabilidade econômica, os custos e benefícios diretos e indiretos foram quantificados com o intuito de conhecer a alternativa que se comporta melhor, ao se aplicar os indicadores econômicos. Na análise de viabilidade ambiental, consideraram-se os aspetos da conservação dos recursos hídricos e a preservação do meio ambiente, sendo que na avaliação ambiental das alternativas, foi realizada a identificação, em sua forma qualitativa e quantitativa, dos impactos ambientais gerados pelo lançamento dos resíduos de ETA no meio ambiente, assim como dos impactos provindos da aplicação da tecnologia do reaproveitamento. Em seguida, para seleção final das alternativas propostas, foram analisados, em conjunto, todos os resultados para a escolha da melhor alternativa. Nessa fase pôde-se utilizar métodos multicriterial, a fim de obter um modelo de suporte à decisão da alternativa mais aceitável econômica, técnica e ambientalmente.

4.2 Disponibilidade hídrica do manancial

4.2.1 Levantamento de dados históricos de volume de armazenamento do manancial

Para avaliação da disponibilidade hídrica do manancial, utilizou-se dados históricos referente à precipitação da região e volume armazenado no manancial, compreendendo o período de maio/1996 a março/2006, esses dados foram obtidos de relatório do monitoramento do açude Epitácio Pessoa, realizado pela AESA (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba), os quais são apresentados na Figura 4.1.

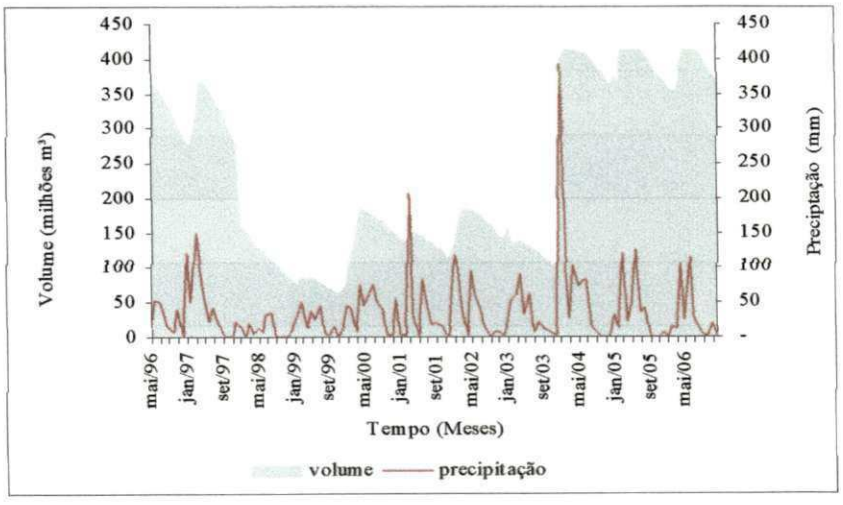


Figura 4.1 - Disponibilidade hídrica do açude Epitácio Pessoa Boqueirão/PB no período de 1996 a 2006.

Na Figura 4.1 observa-se que, durante o período compreendido entre os anos de 1997 e 1999, ocorreu um período de seca que agravou uma situação já crítica, e o reservatório entrou em iminência de colapso (períodos críticos de estiagem já relatado no Capitulo 3), com armazenamento abaixo de 16% de sua capacidade total. Tal fato comprometeu a vazão de demanda do sistema de abastecimento da cidade de Campina Grande – PB, acarretando para a empresa concessionária (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA) a adoção de uma política de racionamento de água (de outubro de 1998 a abril de 2000, chegando a quatro dias/semana sem água nas torneiras, na fase final do racionamento), o que penalizou, principalmente, a população de baixa renda, que não tinha condições financeiras de viabilizar reservas de água. A partir desses acontecimentos, a companhia implantou, em janeiro de 2000, um sistema de reaproveitamento da água de lavagem dos filtros na ETA de Gravatá, no qual a água de lavagem dos filtros era encaminhada para um poço de sucção e recirculada diretamente para o início do processo. Sendo que a companhia não realiza, em período chuvoso, o reaproveitamento da água de lavagem dos filtros.

Outra medida tomada para evitar reduções maiores do volume do manancial foi a suspensão da irrigação, que aconteceu no dia 03 de março de 1999 (RÊGO et al., 2001), medida acionada pelo Ministério Público, com base em Parecer Técnico (MP-PB, 1999). Rêgo et al. (2001) relatam que a irrigação era realizada a montante do reservatório, margeando a sua bacia hidrográfica, e que os produtos químicos provindos dos fertilizantes e pesticidas eram carreados para dentro do açude.

No mês de abril de 2000, foi suspenso o racionamento de água devido à ocorrência de chuvas que produziram vazões afluentes ao reservatório. Este chegou a acumular um volume de 290.000.000 m³. Nos últimos meses do ano de 2001, entretanto, ocorreu uma redução do volume do reservatório, e o racionamento foi retomado (dois dias por semana), vigorando até o início do mês de março de 2002 (ALBURQUERQUE, 2004). Em janeiro desse mesmo ano, o reservatório apresentou seu volume reduzido a 26,5%. Mas, no primeiro semestre de 2002, devido à incidência de chuvas, foi afastada a necessidade de continuidade do racionamento, apesar de o açude apresentar apenas 44% de sua capacidade.

Em outubro de 2003, o manancial atingiu um volume de 111.610.105 m³ (31/11/03). O que fez a companhia implantar um controle de perdas para o sistema de abastecimento de água de Campina Grande, desde a ETA, em Gravatá, até a rede de distribuição da cidade, através da colocação de macromedidores, válvulas redutoras de

pressão, dentre outros equipamentos, reduzindo o índice de perdas físicas de 55% para 35% (CAGEPA 2003).

Observa-se ainda, na Figura 4.1, que final de 2003 e início de 2004 o volume armazenado atingiu 27% de sua capacidade total. Em janeiro de 2004 o a manancial atingiu um volume de 98.557.000 m³ (11/01/04), mas, devido à incidência de fortes chuvas, o açude Epitácio Pessoa chegou acumular um volume de 397.258.175 m³, o que corresponde a 96,50% da sua capacidade máxima (AESA, 2004). Nesse período, foi cessado o reaproveitamento da água de lavagem dos filtros. O açude sangrou em março de 2004, o que não ocorria há 15 anos, atingindo a sua capacidade máxima. Em 2005, sangrou no dia 28 de março, o açude permaneceu com 100% de sua capacidade durante cinco meses consecutivos (AESA, 2005).

Em maio de 2006, terceiro ano consecutivo que o açude Epitácio Pessoa alcançava mais de 97%, da sua capacidade máxima, chegando a transbordar no dia 15 de maio. Nos meses de junho e julho de 2006 ocorre novamente transbordamento no açude (AESA, 2006).

Segundo dados de estudos realizados por GALVÃO et al. (2002), antes do período crítico, anteriormente mencionado, a vazão regularizada do manancial não ultrapassava 2,5 m³/s. O consumo descontrolado atingiu valores estimados em 1,0 m³/s para irrigação a montante do reservatório, em 1,0 m³/s para abastecimento de Campina Grande e em cerca de 0,25 m³/s para diversos usos agrícolas e urbanos a jusante do reservatório. No momento mais crítico (setembro de 1999 a março de 2000) as liberações para suprir a rede de abastecimento de Campina Grande foram reduzidas a 46% dos valores usuais, em novembro de 1998 a redução passou para 77% e em abril de 1999 para 66%; a irrigação praticamente cessou em fevereiro de 1999. Após o fechamento da comporta, por ordem judicial, durante a crise de 1997-1999, as liberações para jusante foram reduzidas a cerca de 50% no início de 1998 e completamente interrompidas em julho daquele ano (ALBUQUERQUE, 2004). A vazão média de água bruta captada do açude para o ano de 2006, para abastecimento público, o valor estimado pela CAGEPA corresponde em torno de 1,0 m³/s.

4.3 Relação entre o volume armazenado no manancial e a qualidade da água bruta

A realização do levantamento dos dados históricos de volume armazenado, além de avaliar a disponibilidade hídrica do manancial, permitiu também conhecer a variação

das características da água bruta ao longo do período estudado, em especial o efeito dos períodos em que o açude esteve com volumes mais baixos (na iminência do colapso) e naqueles em que atingiu a capacidade máxima de armazenamento. Conhecendo essas características, especialmente as variações que ocorrem durante o ano, tem-se como avaliar a quantidade e qualidade dos resíduos gerados, assim como, o tipo de tratamento ao qual a água de reaproveitamento será submetida.

Um fato relatado por Galvão et al. (2002), em decorrência da redução do volume do açude Epitácio Pessoa na estiagem, é que a qualidade da água alterou significantemente. Foram observados os piores índices de qualidade de água, desde a sua construção, no final da década de 1950, em que a concentração de sais da água apresentou níveis que quase inviabilizaram sua potabilidade.

A Tabela 4.1 apresenta as características físico-químicas da água bruta na entrada da ETA de Gravatá, em diversos períodos dos anos de 2004 a 2006. Estes dados foram obtidos junto à Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), com periodicidade de coleta, predominantemente, mensal.

Tabela 4.1 – Valores dos principais parâmetros da água bruta em períodos de 2004 e 2006

Parâmetros	2004			2005			2006		
	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Jan	Fev	Mar
Turbidez (uT)	85,0	92,0	73,0	1,46	0,81	0,91	1,04	1,09	0,61
Cor aparente (uC)	250,0	200,0	175	12,5	10,0	16,0	9,5	12,8	1,9
pH	7,3	7,3	7,3	7,8	7,5	7,9	8,0	7,6	7,5
Ox. consumido (mg/L)	9,0	6,7	8,0	7,4	6,4	8,3	4,7	4,4	3,1
Alcal. total (mg $CaCO_3$/L)	58,0	65,0	69,0	82,0	84,0	79,0	96,0	96,0	87,0
Condutividade (µS/cm)	140,0	146,4	152,5	188,3	182,0	184,7	200,1	214,7	212,3
Sol. T. Dissolvidos (mg/L)	142,0	148,0	154,0	180,0	179,0	181,0	197,0	207,0	206,0
Dióxido de Carbono (mg/L)	7,2	6,16	6,16	2,64	4,4	3,52	2,64	4,40	6,16
Cálcio (mg $CaCO_3$ /L)	37,2	43,0	45,1	45,6	105,0	60,0	62,0	60,0	52,0
Dureza (mg $CaCO_3$/L)	74,5	70,6	76,4	111,2	122,5	96,0	108,0	104,0	110,0
Ferro (mg/L)	6,0	3,0	2,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
Cloreto (mg/L)	53,5	54,0	58,0	60,70	51,7	64,4	74,3	78,4	78,5
Magnésio (mg$CaCO_3$/L)	37,3	43,1	31,3	65,6	17,5	36,0	46,0	44,0	58,0

O que se pode perceber, na Tabela 4.1, é que as características das águas superficiais variam ao longo do tempo, de acordo com a época do ano e o regime de chuva, e que o volume e a qualidade da água de um manancial são sensivelmente afetados pela pluviosidade que ocorre na bacia hidrográfica. Do ponto de vista físico-químico, os valores das variáveis da água bruta apresentam característica adequada para o tratamento em ETA de ciclo completo, e os mesmos são compatíveis com os parâmetros estabelecidos pelas Resoluções 20/86 (dados de 2004) e 357 de mar/05 do Conselho Nacional de Meio

Ambiente – (CONAMA), que dispõem sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes.

As flutuações dos valores de condutividade elétrica, alcalinidade e dureza da água, dentro dos ambientes, estão associadas com o regime das chuvas da região. Observa-se na Tabela 4.1 que os valores dessas variáveis foram mais elevados no período de janeiro a março de 2006, sendo menores no período de abril a junho de 2004. Isso se deve ao aumento do conteúdo mineral nas águas. O aumento da concentração dessas variáveis, durante o período de estiagem, é provocado pela alta taxa de evaporação da água, que contribui para um aumento de concentrações de sais. Por outro lado, o aumento da precipitação pluviométrica e, conseqüentemente, da vazão afluente ao manancial tende a diminuir os valores dessas variáveis pelo efeito da diluição.

As Figuras 4.2 a 4.5 indicam a variação sazonal dos valores de algumas variáveis da água bruta na entrada da ETA de Gravatá, no período de maio/1998 a novembro/2004 (período seco e chuvoso), com periodicidade de coleta predominantemente mensal.

A Figura 4.2 apresenta as concentrações das variáveis de alcalinidade total, cloreto e dureza da água bruta. Pode-se observar que essas concentrações sofreram forte alteração, no período seco, em que o manancial encontrava-se no nível mais baixo. As variáveis dureza e cloreto, por exemplo, apresentaram concentrações elevadas nesse período, com a máxima de dureza de 298 mg $CaCO_3$/l e de cloreto de 410 mg Cl/l. Essa última se apresentou acima do valor estabelecido pelas portarias MS N° 1469/00 e 518/2004 que é de 250 mgCl/l. Sabe-se que altas concentrações de cloretos, presente em água de abastecimento, podem trazer restrições ao sabor da água. Teores elevados de cloretos podem interferir no processo de coagulação (DI BERNARDO, 2005). No segundo semestre de 2002, as variáveis cloreto e alcalinidade total se comportaram com valores mais baixos (120 mgCl/L e 80 mg$CaCO_3$//L respectivamente), permanecendo pouco acima desses valores, até outubro/2004.

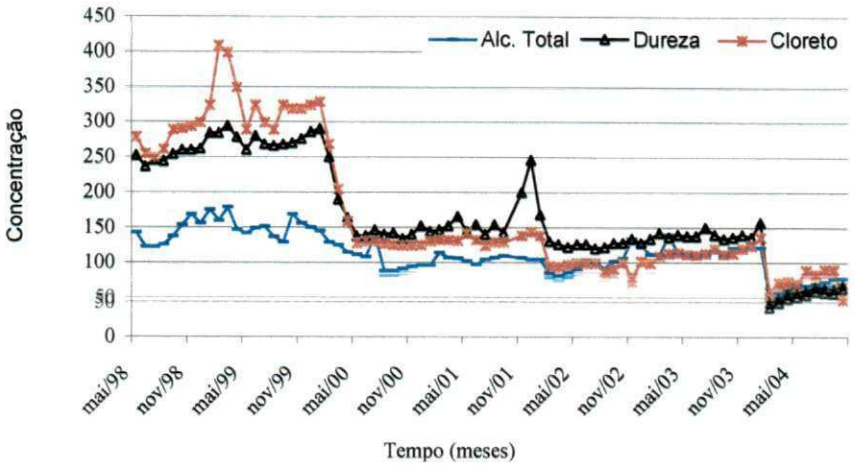


Figura 4.2 – Concentrações de alcalinidade total, cloreto e dureza da água bruta no açude Epitácio Pessoa Boqueirão/PB, no período de 1998 a 2004.

Na Figura 4.3, estão ilustradas as concentrações de oxigênio consumido, cálcio e magnésio da água bruta. Pode-se observar que, no período de menor volume acumulado, cálcio e magnésio apresentaram as maiores concentrações (154,0 mg$CaCO_3$/L e 160,0 mg $CaCO_3$/L, respectivamente), que foram reduzidas com as chuvas do ano de 2000 (70 mg $CaCO_3$/L para ambas variáveis, ou seja, 48% inferiores aos observados anteriormente). Os valores de oxigênio consumido se mantiveram na faixa de 0,4 a 12,9 mg/L, desde 1998 até 2004.

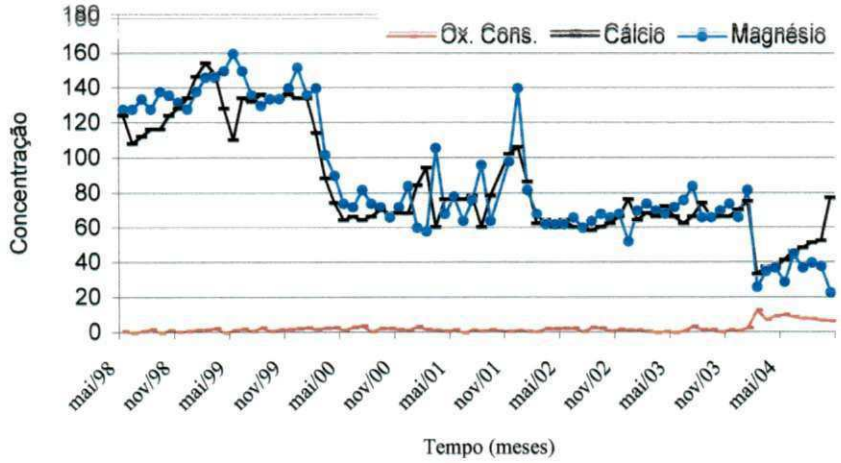


Figura 4.3 - Concentrações de oxigênio consumido, cálcio e magnésio da água bruta do açude Epitácio Pessoa Boqueirão/PB, no período de 1998 a 2004.

Na Figura 4.4, estão apresentadas as variáveis turbidez e sólidos dissolvidos totais. Pode-se verificar que no período de chuvas os valores de turbidez, alteraram significativamente atingindo um máximo de 230 uT no mês de fevereiro. Antes, os valores

encontravam-se em torno de 6,0 uT, com um aumento apenas no período prolongado da seca, quando alcançou o valor de 40 uT. As concentrações de sólidos dissolvidos totais apresentaram altas, no período de janeiro de 1998 até o inicio de 2000, atingindo valores na faixa de 790 mg/L a 510 mg/L. Esse aumento ocorreu em decorrência da redução do volume de água do reservatório durante o período seco. Tendo em vista que a Resolução CONAMA nº 20/86 determina a concentração de 500 mg/L como limite máximo de SDT para os corpos hídricos de água doce de Classes 2 e 3, o manancial, naquele período, apresentou-se com sua qualidade irregular, em termos de SDT, para a potabilização.

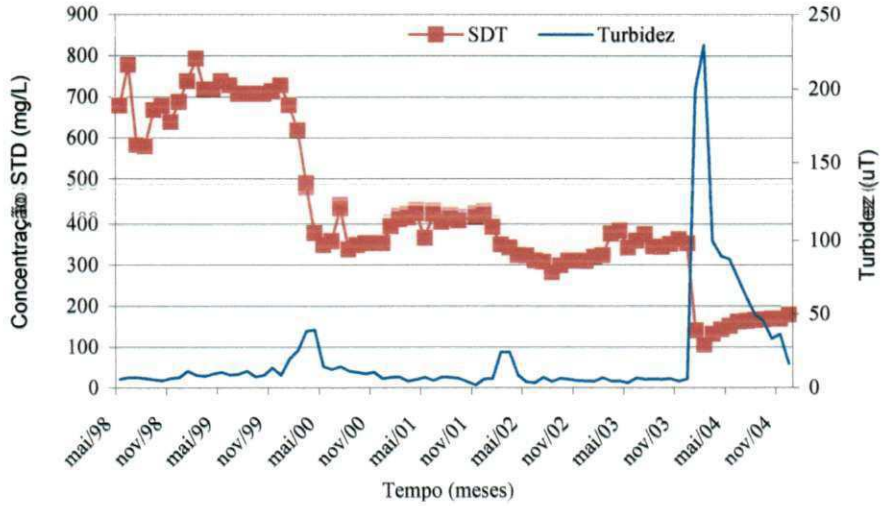


Figura 4.4 - Concentrações de SDT e turbidez da água bruta na entrada da ETA de Gravatá no período de 1998 a 2004.

Na Figura 4.4, observa-se ainda que, no período chuvoso, no período de janeiro a maio (2004), com o aumento do volume no manancial, as concentrações de SDT reduziram consideravelmente, atingindo valores inferiores aos estabelecidos pela Resolução. Verifica-se que, segundo semestre de 2000 até o início de 2004, as concentrações de SDT apresentaram uma pequena variação com valores em torno de 350 mg/L, concentrações essas que não ultrapassam o limite máximo permitido pela Resolução 20/86.

A Figura 4.5 indica os valores mensais de turbidez e cor, durante os períodos de abril/2004 a dezembro/2004 e de fevereiro/2005 a abril/2006. Observa-se que os valores das duas variáveis foram bastante elevados no ano de 2004. Esse aumento pode estar associado ao período de chuva. Sabe-se que a erosão das margens dos rios em estações chuvosas é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez e cor das águas e

que exige manobras operacionais, como alterações nas dosagens de coagulantes e auxiliares, nas estações de tratamento de águas.

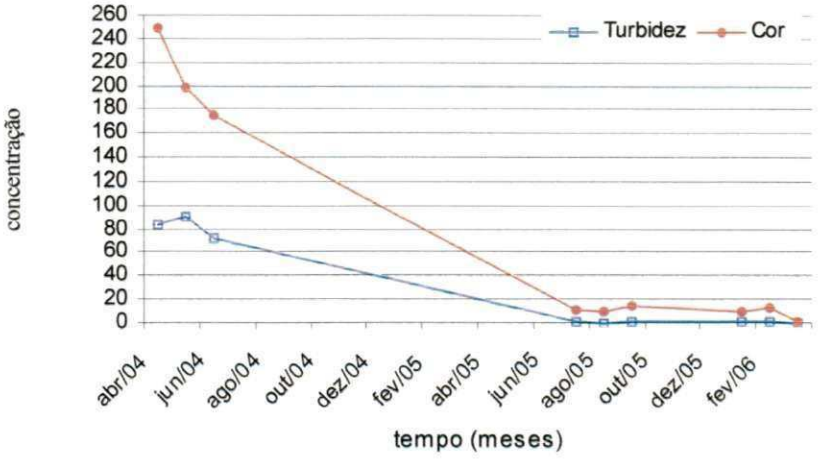


Figura 4.5 – Valores de turbidez e cor da água bruta, na entrada da ETA, para período de 2004 a 2006.

A partir dos resultados obtidos, a respeito das características da água bruta afluente a ETA, pode-se verificar que, quando o manancial apresenta água com características que se alteram acentuadamente ao longo das estações do ano, o processo de tratamento tende a sofrer grandes variações sazonais em função da qualidade de água bruta do manancial. A mudança da qualidade na água bruta afeta diretamente a carreira de filtração e conseqüentemente aumenta o volume de água de lavagem. Por outro lado, se o manancial sofre danos e isso prejudica sua qualidade, será necessário aumentar a concentração do produto químico, de modo a atender às exigências do padrão de potabilidade estabelecido pelo Ministério da Saúde, através da Portaria MS Nº 518/2004. Isto significa afirmar que programas de melhorias e investimentos na qualidade da água diretamente na bacia hidrográfica apresentam não somente benefícios para a operação dos processos de tratamento de água, como também na diminuição da produção de resíduos, bem como de seus custos de tratamento, transporte e disposição final.

4.4 Monitoramento da qualidade da água na ETA de Gravatá/PB

A determinação da cor e turbidez da água bruta é um dos fatores mais importantes na dosagem do sulfato de alumínio para obter a floculação, coagulação e precipitação das impurezas que estejam presentes nessa água. A Figura 4.6 mostra o comportamento adquirido pelas variáveis cor e turbidez, durante os meses de janeiro a

junho de 2006, dados obtidos no monitoramento da qualidade de água realizado durante etapas do processo de tratamento, através das análises realizadas no laboratório da CAGEPA (CAGEPA 2006). Observou-se uma diminuição nos valores das variáveis cor e turbidez na água decantada em relação à bruta, especialmente no mês de junho/06. Isto ocorreu durante a coagulação e floculação que, ao retirar as partículas que estão em suspensão, fazem com que a cor diminua, pois os sólidos presentes são responsáveis pela coloração da água, sendo removidos na decantação. Logo após, na filtração e desinfecção, ocorre a remoção do restante das partículas, contribuindo ainda mais para a clarificação da água. Quanto à redução do valor da turbidez, em cada etapa de tratamento, ocorre, geralmente, devido aos reagentes químicos durante a coagulação e floculação, que se encarregam de retirar as partículas que estão em suspensão.

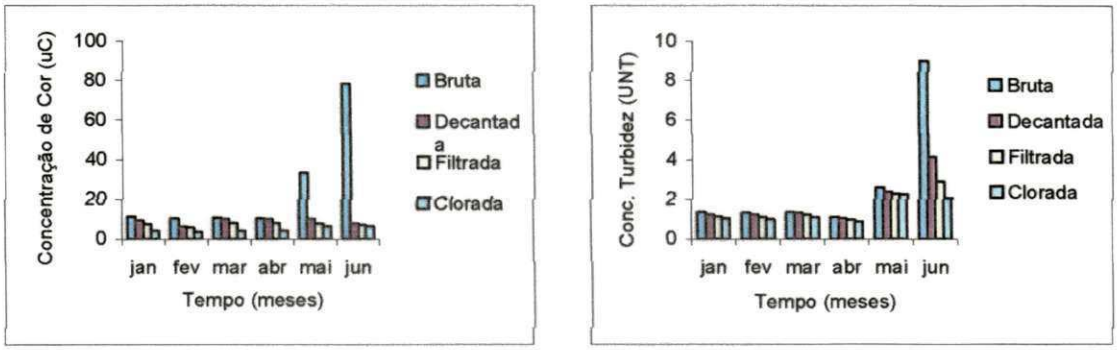


Figura 4.6 - Valores de cor e turbidez durante o processo de tratamento na ETA de Gravatá Boqueirão/PB no período de janeiro a junho de 2006.

O monitoramento sistemático da qualidade da água é um instrumento que pode promover resultados mais eficientes e econômicos para o sistema. A partir do conhecimento da qualidade da água em cada etapa do processo de tratamento existente na estação, acompanhado de uma monitoração, pode-se adequar às mudanças operacionais.

4.4.1 - Relação da qualidade da água bruta com o reaproveitamento da água de lavagem

A qualidade da água bruta e o objeto específico do reaproveitamento das águas de descargas de decantadores e de lavagem de filtros estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados, os custos de capital, de operação e manutenção e os aspectos ambientais associados. Portanto, as possibilidades e formas potenciais de reaproveitamento da água, além de depender da qualidade da água.

que entra no sistema, dependem também das características das águas de lavagens, do nível de tratamento alcançado e das condições técnicas, econômicas e ambientais locais.

Como foi visto que as variáveis cor e turbidez são fundamentais às dosagens de produtos químicos à água bruta que entra na ETA. O aumento de turbidez está associado à elevação de sólidos suspensos na água, podendo aumentar a possibilidade de comprometimento da qualidade da água tratada. A taxa de aplicação de produtos químicos é alterada de acordo com as condições da água bruta. Valores mais altos de turbidez implicam dosagens mais elevadas de coagulantes e maior geração de lodo nas unidades de tratamento, o que provoca redução na carreira de filtração, devido à sobrecarga de sólidos que obstrui os filtros e reduz a qualidade da água filtrada e, conseqüentemente, maior volume gasto para lavagem das unidades. Por outro lado, quando a água bruta apresenta menores valores de cor e turbidez, há redução no consumo de produtos químicos. Vale salientar que a dosagem incorreta de coagulantes implica também maior quantidade de carreiras de filtração, aumentando o consumo de água para lavagem dos filtros.

Para atender às variações diárias que há na qualidade da água bruta, as dosagens dos coagulantes e auxiliares são reguladas, a cada 2 horas no laboratório da ETA, objetivando melhor eficiência e economia. Os testes de coagulação-floculação, feitos por "jar-test", determinam as dosagens ótimas de sulfato de alumínio e cal. A coagulação com sulfato de alumínio, para água da ETA em estudo, geralmente efetiva-se na faixa de pH entre 5,0 e 8,0.

Através dos relatórios mensais de controle de qualidade da água e consumo de produtos químicos emitidos pela CAGEPA, foram levantados valores quantitativos de consumo de produtos químicos, como cloro, sulfato de alumínio e cal. Nas Tabelas 4.2 e 5.3 são apresentadas a relação da dosagem dos produtos químicos utilizados na ETA de Gravatá em função das variáveis de controle operacionais da água bruta e o volume a ser tratado nos períodos chuvoso e seco. Pode verificar que o consumo de produtos químicos sofre alterações decorrentes das variações sazonais que ocorrem no manancial nos períodos de chuva e seca. Em 2004, quando houve o transbordamento do açude, as variáveis turbidez e cor se apresentaram com valores elevados, alterando significantemente a qualidade da água bruta, o que contribuiu para um consumo maior de produtos químicos para clarificação da água.

Tabela 4.2 Relação entre a qualidade de água bruta e a dosagem de produtos químicos para o ano 2004 (período chuvoso).

Mês	V. produzido (m^3/mês)	Turbidez (uT)	Cor (uC)	Cloro	Sulfato de alumínio	Cal
				Dosagem (mg/L)	Dosagem (mg/L)	Dosagem (mg/L)
Jan/04	2.150.184	50,0	103,8	5,78	53,32	13,86
Fev/04	2.211.642	230,0	320,0	5,74	144,63	41,61
Mar/04	2.278.000	120,0	300,0	6,07	115,54	37,77
Abr/04	2.620.264	85,0	250,0	6,61	95,16	39,18
Mai/04	2.404.232	92,0	200,0	7,59	109,05	23,43
Jun/04	2.584.836	73,0	175,0	6,27	95,51	27,12
Jul/04	2.323.439	35,6	97,5	6,30	228,06	35,70
Ago/04	2.492.477	19,5	35,6	5,94	173,97	59,44
Set/04	2.229.244	47,0	75,0	6,72	232,39	16,04
Out/04	2.427.993	56,0	130,0	6,53	182,45	18,11
Nov/04	2.492.915	17,0	60,0	6,50	145,02	18,02
Dez/04	2.499.272	9,7	25,0	7,08	104,70	15,47
Média	**2.392,875**	**69,57**	**147,66**	**77,13**	**140,00**	**28,81**

Tabela 4.3 Relação entre a qualidade de água bruta e a dosagem de produtos químicos 2005/2006 (período seco ou chuva com pouca intensidade)

Mês	V.produzido (m^3 /mês)	Turbidez (uT)	Cor (uC)	Cloro	Sulfato de alumínio	Cal
				Dosagem (mg/l)	Dosagem (mg/l)	Dosagem (mg/l)
Jan/05	2.411.238	2,02	15	7,06	63,65	5,95
Fev/05	2.249.579	2,0	12,5	6,68	94,54	6,41
Mar/05	2.466.866	0,08	10	6,70	105,45	6,42
Abr/05	2.399.573	53,0	75	6,47	161,25	15,99
Mai/05	2.327.558	16,90	25	6,93	101,61	9,79
Jun/05	2.424.548	0,50	15	6,39	85,58	6,93
Jul/05	2.342.664	1,46	12,50	6,70	91,81	9,61
Ago/05	2.369.221	0,81	10	6,72	109,63	9,23
Set/05	2.792.129	0,91	16,0	5,90	106,64	8,98
Out/05	3.014.849	0,65	14,8	5,89	94,64	7,39
Nov/05	2.682.553	1,0	13,0	6,62	61,55	4,19
Dez/05	2.677.738	0,9	10,9	7,19	0,0	0,0
Média	**2.513.210**	**6,69**	**19,14**	**6,60**	**89,70**	**7,57**
Jan/05	2.793.117	1,04	9,5	6,63	0,0	0,0
Fev/05	2.531.531	1,09	12,8	5,44	**0,0**	**0,0**
Mar/05	2.823.919	0,61	1,9	6,50	**0,0**	0,0
Abr/04	2.724.364	1,11	10,4	6,45	0,0	0,0
Mai/04	2.459.463	1,04	11,6	7,39	22,17	2,33
Jun/04	2.595.444	6,27	31,8	7,04	125,27	8,48
Média	**2.654.640**	**1,86**	**13,00**	**6,58**	**24,57**	**1,80**

Por outro lado, no período seco ou com chuva de pouca intensidade e com pouca vazão afluente, dez/05 a jun/06, os valores de turbidez e cor, em sua maioria, apresentaram valores abaixo dos estabelecidos pela Portaria MS N° 518/2004. Conseqüentemente, no período dezembro/ 05 e janeiro a abril de 2006, no processo de tratamento da ETA de Gravatá, não foram empregados os produtos químicos sulfato de alumínio e cal, que são adicionados na entrada. Pode verificar ainda que, em alguns valores, o nível da qualidade da água do manancial não refletiu no consumo de produto químico, ou seja, para valores muito baixos ou altos de turbidez e cor da água bruta quase não houve alteração no

consumo de produto químico, como ocorreu nos meses de setembro (47,0 uT) e fevereiro (230 uT) de 2004, para a dosagem de sulfato de alumínio de 232,39 e 144,63 mg/l. Revelando que o sistema de tratamento operacional da ETA pode não esta sendo operado adequadamente, referente às dosagens do produto químico, especialmente a de sulfato de alumínio. Ressaltando ainda que, um sistema de tratamento de água, com esses valores de turbidez e cor, pode apresentar uma boa qualidade de água tratada sem o gasto excessivo de produtos químicos.

As variações sazonais médias mensais de sulfato de alumínio, em relação à turbidez, para os anos de 2004 a 2005, indicaram que: para um volume médio de água bruta, no período de estiagem, a concentração de sulfato de alumínio ficou em torno de 90 ppm; e durante o período chuvoso, foi aplicada uma concentração em média de 140 ppm. Portanto, é fundamental o conhecimento dessas variáveis de variação sazonal da qualidade da água, como também do consumo de produtos químicos em períodos chuvosos, que é maior do que na estiagem. Isso porque, como conseqüência, há uma maior tendência na geração de resíduos no período chuvoso, assim como a freqüência de lavagem aumenta nas unidades da ETA. Esses dados representam um dos fatores determinantes no dimensionamento do sistema de tratamento desses resíduos.

4.5 - Caracterização qualitativa dos efluentes descartáveis da ETA

4.5.1 - Resultados das análises físico-químicas das águas de lavagem dos filtros

A Tabela 4.4 apresenta os resultados das análises realizadas com amostras coletadas na operação de lavagem dos filtros, no início e com 4 minutos de lavagem. Verificou-se que o efluente descartado apresentou uma composição bastante variada, sendo constituída, principalmente, de material em suspensão, originalmente presente na água bruta, e das substâncias químicas adicionadas à água (coagulantes) para tratá-la. O resultado da análise da água de despejo e lavagem do filtro 2 se encontra no Anexo A1.

No cotejo com as variáveis e valores limites dos padrões de lançamento permitidos pela Resolução CONAMA 357/2005, observou-se que os parâmetros físico-químicos analisados da água de lavagem dos filtros apresentaram características que atenderam aos padrões da Resolução, para abastecimento de manancial Classe 2, exceto cor e turbidez no início da lavagem que apresentaram valores bastante elevados. Tais como o valor de cor atingiu a 2.119,0 uC e turbidez a 448,0 uT (filtro 2). Sabe-se que efluentes

com turbidez alta afetam a qualidade da água, quando lançados no corpo receptor. Assim, provocam impacto ambiental negativo, tais como: a redução da transparência e diminuição da capacidade das plantas aquáticas de realizar a fotossíntese; a obstrução das guelras dos peixes; danos aos ovos e à população de macroinvertebrados. No entanto, após 4 minutos de lavagem, evidenciou-se, na qualidade desse efluente, uma queda brusca de turbidez e cor aparente, cujos valores se apresentaram na faixa de 24,7 uT a 61,8 uT e 14,0 uC a 47,6 uC respectivamente, tornando-se compatíveis com os valores da Resolução.

Tabela 4.4 Resultados das variáveis físico-químicas e bacteriológicas da água descartada da lavagem de filtros da ETA de Gravatá Boqueirão/PB setembro de 2006.

Parâmetros	CONAMA (357/2005) Classe 2	Água de lavagem dos filtros							
		Filtro 1		Filtro 2		Filtro 5		Filtro 6	
		0	4	0	4	0	4	0	4
Turbidez (uT)	100	**181,0**	61,8	**448,0**	29,4	**193,0**	24,7	**191,0**	29,4
Cor aparente (uc)	75	**756,3**	14,0	**2.119**	21,6	**1.268**	17,3	**921,9**	47,6
pH	6,0 a 9,0	7,2	7,0	7,0	6,9	6,8	7,1	6,9	7,0
Temperatura (°C)	< 40°C	26,8	25,2	27,5	26,2	27,3	25,9	27,6	**26,0**
Ox. consumido (mg/L)	-	3,8	3,03	4,3	3,13	3,5	3,4	4,7	3,43
Alc. total (mg $CaCO_3$/L)	-	73,0	64,0	76,0	63,0	80,0	69,0	75,0	67,0
Condutividade (µS/cm)	-	230,0	222,2	336,0	217,9	335,0	216,4	333,6	214,4
Sol. T. Dissolvidos (mg/L)	500	216,0	213,0	265,0	210,0	263,0	208,0	262,0	207,0
Dióx. de Carbono (mg/L)		8,80	11,44	14,96	14,09	19,36	10,56	13,2	11,44
Cálcio (mg $CaCO_3$/L)		56,8	53,0	56,8	58,33	54,7	54,7	50,7	43,75
Dureza (mg $CaCO_3$/L)	250	101,3	118,0	109,5	100,0	117,6	103,4	109,5	106,2
Ferro (mg/L)	0,30	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Cloreto (mg/L)	250	76,2	74,3	78,2	84,91	75,3	68,5	76,2	64,65
Magnésio (mg $CaCO_3$/L)		44,5	65,0	52,7	41,67	62,9	48,7	58,8	62,45
Col. totais (NMP/100 mL)		A	A	A	A	P	P	P	P
Esch. coli (NMP/100 mL)	1000	A	A	A	A	P	A	P	P

N.A = Não analisado.
A – ausência; e P - presença

Pode-se ainda verificar, na Tabela 4.4, que a qualidade microbiológica não foi satisfatória na água de lavagem dos filtros 5 e 6, que apresentou a presença de Coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, devido ao fato do processo de filtração ser uma operação de concentração de sólidos e microrganismos. A presença de coliformes termotolerantes e de *Escherichia coli* na água de lavagem dos filtros indica a necessidade de cuidados quanto à reutilização ou disposição deste resíduo. Vale salientar que a adoção da recirculação do sobrenadante da água de lavagem dos filtros torna imprescindível o monitoramento microbiológico, pois este pode contribuir para um aumento significativo no número de microrganismos na água a ser tratada. Esta prática, quando realizada sem controle adequado, pode prejudicar a qualidade da água final, pela presença de microrganismos indesejáveis como cistos de *Giárdia* e *Cryptosporidium*, de precursores de

trihalometanos (THMs) e substâncias que conferem sabor e odor à água, o que torna o reaproveitamento inviável.

Observando os resultados apresentados nas análises dos resíduos líquidos gerados na ETA, por razões ambientais, apesar da maioria das variáveis serem compatíveis com os padrões de lançamento, deve-se salientar, mais uma vez, que os efluentes, com essas características, quando lançados em cursos d'água podem provocar depleção de oxigênio, inibindo a atividade biológica, prejudicando as condições estéticas (mudanças de cor e turbidez), aumentando a concentração de sólidos no fundo do corpo receptor (assoreamento) e influindo negativamente em áreas de criação e desova de peixes.

No caso da ETA em estudo, um fator preocupante é que a água de descarte é lançada em um barreiro próximo à estação e essa água é utilizada pela comunidade vizinha na irrigação. Além disto, vale destacar a preocupação com a grande concentração de alumínio no lodo e água, presente em coagulantes como o sulfato de alumínio, o que pode gerar problemas de saúde para àqueles que se utilizarem desta água. A disposição do lodo é feita da mesma forma, o que provoca conflitos com os moradores, no período de descarga dos decantadores, devido ao lançamento do lodo ser próximo à área de habitação da comunidade vizinha. A remoção do lodo é realizada por escavadeira, transportado em caminhão e lançado em local exposto ao solo. É sabido que esta é uma prática inadequada, tendo em vista que a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 10004 determina que os lodos provenientes de estações de tratamento de água e esgoto são considerados resíduos sólidos e estes devem ser dispostos em aterros sanitários ou terem um tratamento adequado.

4.5.2 - Características das águas de lavagem dos filtros clarificadas por sedimentação

A Tabela 4.5 apresenta os resultados da caracterização da água de lavagem dos filtros, os quais foram obtidos a partir de ensaios de clarificação por sedimentação no cone de Imhoff (em 1 e 2 horas) e da caracterização do líquido sobrenadante e do sedimentado obtido no ensaio de sedimentação. Foi feita a medição do volume clarificado e do decantado, resultando que o sobrenadante representou cerca de 90% do volume coletado e 10% correspondeu ao sedimentado. A caracterização da água bruta foi feita tão somente para comparar suas características àquelas dos efluentes descartáveis, assim como, as características da água de lavagem do filtro 2, por este apresentar, a situação mais crítica.

Tendo-se, dessa forma, uma idéia da viabilidade técnica do reaproveitamento dos efluentes.

Na Tabela 4.5, nota-se que as variáveis dos sobrenadantes da água de lavagem, em sua maioria, apresentaram valores de qualidade inferiores em relação aos parâmetros da água bruta afluente á ETA, devido à adesão das impurezas presentes nos meios porosos dos leitos filtrantes e da fração residual dos compostos químicos adicionados. Para turbidez e cor, os valores foram bastante significantes, pelo fato do efluente descartável conter sulfato de alumínio, o qual influencia no aumento dos valores dessas variáveis e também no que se pode atribuir à cor, ou seja, apresentar-se com uma cor marrom.

Quanto aos valores de condutividade elétrica, verificou-se um aumento desta na água de lavagem dos filtros em relação aos valores da água bruta, o que era de se esperar, devido ao fato de que quanto mais estiverem as águas poluídas, maior será a condutividade em função do aumento do conteúdo mineral. Os valores de cloretos analisados se encontram dentro dos limites, sendo que se apresentaram mais altos em relação aos da água bruta. Esse aumento pode ser conseqüência do processo de tratamento.

Tabela 4.5 Caracterização da água bruta, da água de lavagem de filtros, dos sobrenadantes e do sedimentado obtidos nos ensaios de sedimentação no cone de Imhoff, (2006).

Parâmetros	Água Bruta	Água de lavagem filtro 02	Sobrenadante da ALF								Sedimentado
			Filtro 1		Filtro 2		Filtro 5		Filtro 6		
			1h	2 h	1h	2h	1h	2h	1h	2h	
Turbidez (uT)	1,54	448,0	2,26	1,68	1,76	1,60	3,27	3,09	3,40	3,32	875,0
Cor aparente (uC)	9,1	2.119	20,7	20,4	15,4	8,3	29,0	24,6	18,8	15,4	2.655
pH	7,6	7,0	7,2	7,1	7,0	7,0	7,1	7,1	6,7	6,7	7,0
Temperatura (°C)	24,0	27,5	26,9	27,0	26,5	26	27,4	27,1	26,8	6,7	27,0
Oxigênio cons. (mg/L)	2,5	4,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alc. total (mg $CaCO_3$/L)	85,0	76,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade (µS/cm)	200,4	336,0	274,6	275	273	274	244	244	262	262	276,8
Sol. dis. totais (mg/L)	195,0	265,0	242,0	242	238	238	224	224	233	233	243,0
Dióx. de Carbono (mg/L)	5,28	14,96	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cálcio (m g $CaCO_3$/L)	50,0	56,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dureza (mg $CaCO_3$/L)	54,2	109,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ferro (mg/L)	N.F	N.F	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloreto (mg/L)	69,5	78,2	73,3	81,1	77,2	84,5	73,3	77,2	79	80	159,0
Magnésio (mg $CaCO_3$/l)	54,2	52,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Col. totais (NMP/100 mL)	-	A	A	A	A	A	P	P	P	P	-
Esch. coli (NMP/100 mL)	-	A	A	A	A	A	P	P	P	P	-

Observa-se na Tabela 4.5 que os sólidos dissolvidos totais se apresentaram com valores relativamente altos em relação as da água bruta. Porém, pela quantidade recirculada, obedecendo à condição de que no máximo 10% da vazão da ETA seja recirculada (KAMUWURA, 2000), esses valores não inferem no processo de tratamento,

podendo servir como núcleos para o crescimento dos flocos (YUZHU, 1996, apud FONTANA, 2004). Nessas condições, a clarificação da água de lavagem dos filtros da ETA de Gravatá possibilitará a recirculação do sobrenadante para a câmara de chegada da água bruta, sendo recomendável um monitoramento microbiológico do sobrenadante. Dependendo da qualidade microbiológica da água bruta, a pré-desinfecção do sobrenadante pode ser necessária antes de ser misturada à água bruta.

Quanto aos parâmetros alumínio e metais pesados, apesar de não terem sido analisados neste estudo, devem passar por um controle, pois a disposição inadequada no corpo receptor com elevada concentração desses materiais pode prejudicar o meio aquático.

Os resultados, apresentados na Tabela 4.5, demonstram a eficiência da clarificação da água de lavagem de filtro para um período de 1hora de repouso, sem adição de qualquer polímero como condicionante, no qual se consegue redução significativa das variáveis como turbidez (99,60 %) e cor (99,30%) em relação aos valores obtidos na caracterização da água resultante da lavagem do filtro 2. Para um tempo de 2 horas de repouso as variáveis ainda continuaram apresentando redução. Apesar dos resultados das análises da água de lavagem dos filtros (ALF), com um tempo de sedimentação de 1 hora, apresentarem compatíveis com as características de água de tratamento de ciclo completo, seria de grande importância para a CAGEPA que a empresa viesse a adotar o tempo de 1 hora de repouso no tanque de sedimentação da ALF antes de se efetuar a recirculação desse efluente, o que indica maior segurança quanto a qualidade do efluente reciclado.

4.5.3 - Resultados das análises físico-químicas das águas de lavagem dos decantadores

A Tabela 4.6 apresenta os resultados das análises realizadas com amostras coletadas durante a operação de descarga e lavagem dos decantadores, com um tempo de descarga de 10 (resultado da análise se encontra no Anexo A2) e 30 minutos, após a abertura das comportas. A partir das amostras, realizou-se no laboratório o ensaio de sedimentação no cone de Imhoff (após 1 hora de sedimentação). Para caracterização da água decantada foi feita coleta de amostra, antes do início de descarga, no canal de água decantada e, em seguida, foram feitas as análises para sua caracterização, cujo resultado das análises se encontram no Anexo A3.

Verifica-se, na referida Tabela, que o efluente descartável do decantador apresentou uma composição bastante variada, sendo constituído principalmente de material

em suspensão, originalmente presente na água bruta, e das substâncias químicas adicionadas à água (coagulantes) para tratá-la. As variáveis analisadas da água decantada apresentaram, em geral, comportamento similar aos da água bruta da ETA, captada no açude Epitácio Pessoa. Dessa forma, é viável que uma parcela do volume de água decantada seja lançada diretamente para os filtros (ou direto para o início do processo) antes de cada descarga na operação de limpeza, o que contribuirá com a redução de área necessária para unidade de tratamento desse efluente. Mas, para isso, deve-se atender à condição operacional de se deixar o decantador fora de operação por um tempo de, no mínimo, 2 horas, para o lançamento das águas clarificadas diretamente para os filtros recomendado por Ferreira Filho (1997), Fontana (2004).

Tabela 4.6 Caracterização da água decantada, da água de descarga dos decantadores e dos sobrenadantes obtidos nos ensaios de sedimentação no cone de Imhoff, (2006)

Parâmetros	Água decantada	Água de descarga de decantadores		Sobrenadante da água de descarga (10min)	Água bruta	CONAMA (357/2005)
		10 min.	30 min.			
Turbidez (uT)	0,77	418,0	1.390,0	0,49	1,32	100
Cor aparente (uC)	14,3	1.511,1	6.357,0	12,5	10,10	75
pH	7,1	7,2	7,0	7,2	7,6	6,0 a 9,0
Temperatura (°C)	25,3	29,3	27,0	28,0	24,0	< 40°C
Ox.consumido (mg/L)	3,5	133,0	206,8	-	2,5	-
Alcal. total (mg/LCaCO3)	77,0	160,0	169,2	-	85,0	-
Condutividade (µS/cm)	247,1	670,9	679,1	679,2	200,4	-
Sólidos dis. totais (mg/L)	226,0	387,0	2.862,0	392,0	195,0	500
Dióxido de Carbono (mg/L)	9,68	38,62	132,3	-	5,28	
Cálcio (mg/L CaCO3)	56,8	40,5	41,2	-	50,0	
Dureza (mg/LCaCO3)	115,5	162,2	169,8	-	54,2	
Ferro (mg/L)	N.A.	N.A.	N.A.	-	N.F.	
Cloreto (mg/L)	81,2	86,8	87,9	83,0	69,5	250 mg/l
Magnésio (mg/l CaCO3)	58,7	121,7	120,0	-	54,2	
Col. total (NMP/100 mL)	P	-	-	-	P	
Esch. coli (NMP/100 mL)		-	-	-	P	

P = Presença - N.A = Não analisado.

Os resultados das variáveis analisadas da água de descarga e lavagem dos decantadores apresentaram variações acentuadas em suas características, em especial para as variáveis cor e turbidez, os quais se encontram fora dos padrões de lançamento permitidos pela Resolução CONAMA 357/05. Observa-se que o valor de sólidos dissolvidos totais, coletado após 30 minutos de descarga, aumenta na ordem de sete vezes a mais do que o valor obtido na amostra de 10 minutos. Isso pode ser atribuído ao fato de o momento da primeira coleta da amostra ter sido poucos minutos após o início da descarga do decantador, como também ao fato de o material coletado ser constituído de água

UFCG/BIBLIOTECA

decantada que não havia ainda sido misturada com o lodo acumulado no fundo do decantador.

Os resultados das análises das variáveis físico-químicos dos efluentes descartados da ETA de Gravatá (Tabelas 4.4, 4.5 e 4.6) exerceram influência na escolha do tipo do tratamento, do qual a água de lavagem da ETA deve ser submetida e reaproveitada com segurança, já que a escolha do tipo de unidade ou equipamento depende das características qualitativas, e quantitativas dos efluentes da ETA. Embasada nos conhecimentos da composição dos efluentes, a tecnologia aplicada para o tratamento da água a ser recirculada resumiu-se, basicamente, na separação das fases líquida e sólida, devido ao fato desse grau de tratamento poder atingir a qualidade da água desejada para recirculação. A técnica de clarificação do líquido (prévio tratamento) possibilitará recuperar as águas de lavagem nas diferentes etapas do tratamento dos resíduos. O processo de tratamento dos resíduos líquidos gerados na ETA deve ser feito de forma separada, já que a as características das águas de lavagem dos filtros são bem distintas das águas de descarga dos decantadores.

Portanto, para o caso estudado, as águas dos filtros passarão pelo processo de clarificação por sedimentação e recirculação para o início do tratamento. O lodo dos decantadores será submetido a um processo de desaguamento, sendo o drenado recuperado e encaminhado para o início da ETA. É importante lembrar que a recuperação desses efluentes se torna bastante importante não só do ponto de vista do impacto ambiental, com redução de descargas diretamente no ambiente, mas também no aspecto econômico, que pode levar à redução de custo de energia para recalque de água bruta.

4.6 - Projeto e implantação do sistema de tratamento da água de lavagem de ETA

4.6.1 - Disponibilidade de área na ETA para implantação do sistema

Para implantação do sistema de tratamento da água de lavagem da ETA, a definição da área necessária é de fundamental importância. Em locais, onde há disponibilidade de áreas próximas às ETAs, o sistema será de mais fácil solução, uma vez que as questões de transporte e de retorno da água recuperada não terão custo elevado. Na verificação de disponibilidade de área, na ETA de Gravatá, foi feito um levantamento topográfico e cadastral, da área existente na ETA (planta baixa da área disponível, CAGEPA). A partir dos dados obtidos observou-se que dentro dos limites da estação em

estudo há disponibilidade de tal recurso para implantação do sistema de tratamento de água de lavagem (tanque de recepção, sedimentador, lagoa de lodo ou leito de secagem). Na implantação das unidades de tratamento, procurou-se a topografia mais favorável, como áreas em cotas mais baixas do que as dos decantadores, evitando-se o emprego de sistemas de recalque para o bombeamento do lodo. A Figura 4.7 ilustra, esquematicamente, a localização das estruturas já existentes e identifica a melhor disposição dos elementos constituintes do projeto-piloto do sistema de tratamento dos rejeitos da ETA.

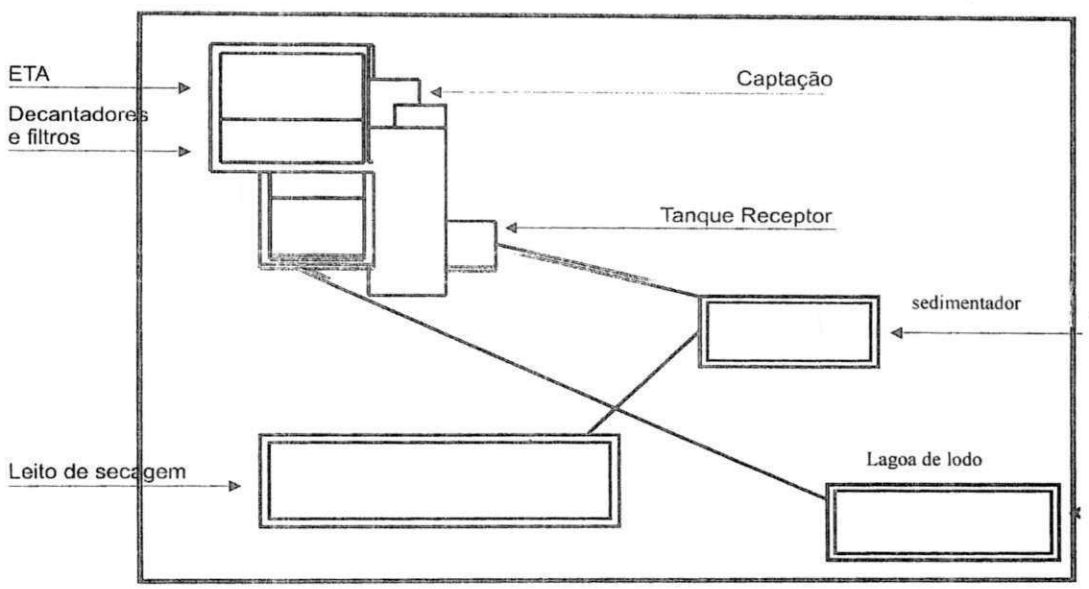


Figura 4.7 – Locação das estruturas já existentes e disposição das unidades do projeto-piloto na ETA de Gravatá - Boqueirão/PB

4.6.2 - Estimativa de volume de água de lavagem para o dimensionamento das unidades do projeto-piloto do sistema de reaproveitamento

Para estimativa do volume de ALF, elaborou-se a Tabela 4.7, na qual estão apresentados os volumes mensais, números de lavagem dos filtros para os anos de 2004 e 2005. A partir desses valores, foi estabelecida a condição para que a lavagem dos 11 filtros ocorra de forma que são lavados 4 filtros por dia a cada 6 horas, com um volume de lavagem cerca de 340 m³ com um tempo de lavagem de 7 minutos, totalizando volume de água de lavagem diário previsto de 1.360 m³/dia, numa freqüência de uma lavagem a outra (mesmo filtro) de três dias.

Tabela 4.7 Volume de água de lavagem de filtros para os anos de 2004 e 2005

Ano	2004			2005		
Mês	Nº de lavagem	Volume de lavagem (m³)	% do volume produzido	Nº de lavagem	volume de lavagem (m³)	% do volume produzido
Jan	91	23.660	1,10	**123**	**41.574**	**1,73**
Fev	94	24.440	1,11	104	35.152	1,56
Mar	119	34.762	1,53	114	38.532	1,56
Abr	115	38.870	1,48	106	35.828	1,49
Mai	106	35.828	1,49	112	37.856	1,62
Jun	102	34.476	1,33	109	36.842	1,52
Jul	111	32.518	1,40	118	39.842	1,70
Ago	*108*	*36.504*	*1,46*	*110*	*37.180*	*1,57*
Set	109	36.842	1,65	104	35.152	1,26
Out	114	38.532	1,59	110	37.180	1,23
Nov	107	36.166	1,45	101	34.138	1,27
Dez	120	40.560	1,62	102	34.476	1,28

Observando os valores apresentados na Tabela 4.7, nota-se que o máximo volume de ALF mensal é de 41.574 m³, com um número de 123 lavagens de filtros. O consumo de água de lavagem dos filtros variou de 1,1 a 1,73% do volume produzido durante o período observado (2004 e 2005). Na Figura 4.8, se encontram as médias anuais dos volumes gastos na lavagem dos filtros, para o ano de 2004 a media foi de 34.430,0 m³ e no ano de 2005 cerca de 36.980,0 m³.

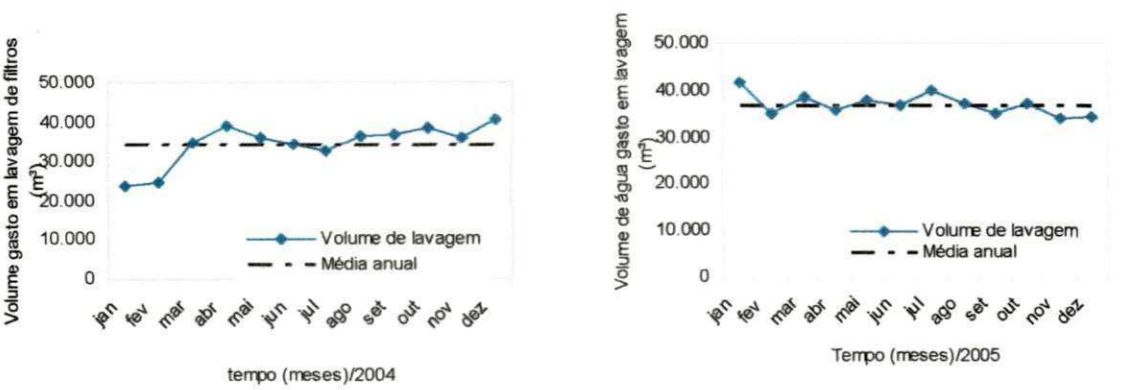


Figura 4.8 - Média mensal de volume de água gasto em lavagem de filtros da ETA de Gravatá Boqueirão/PB, para os anos 2004 e 2005.

O processo de lavagem dos floculadores da ETA de Gravatá é feito por um *jateamento de água, através de pequena abertura nas comportas. Depois, o lodo é* transferido com um rodo para os decantadores. A freqüência de lavagem dos floculadores corresponde ao mesmo período, no qual são lavados os decantadores. A Tabela 4.8 *apresenta o volume de descarga e de lavagem dos floculadores da ETA de Gravatá.* No período estudado das seis unidades antigas, o volume gasto de descarga e lavagem foi de

1.212 m³ e, para as três unidades novas, o volume gasto foi em torno de 2.988 m³, e para unidades antigas o volume gasto foi na ordem de 1.212 m³. Totalizando um volume anual de cerca de 12.600 m³, sendo o percentual desse volume sobre o volume de água tratada em torno de 0,05 % durante o ano 2004.

Tabela 4.8 Volume de descarga e de lavagem dos floculadores da ETA de Gravatá

Mês/ ano	Volume gasto nos floculadores antigos (m³) (duração 4 horas)						Volume floculadores novos (duração 6 horas) (m³)			Volume Total (m³)*
	Floc1	Floc2	Floc3	Floc4	Floc5	Floc6	Floc1	Floc2	Floc3	
Fev/2004	-	-	-	-	-	-	996	996	996	2.988
Mai/2004	202	202	202	202	202	202	-	-	-	1.212
Jun/2004	202	202	202	202	202	202	-	-	-	1.212
Jul/2004	-	-	-	-	-	-	996	996	996	2.988
Set /2004	202	202	202	202	-	-	-	-	-	808
Out /2004	-	-	-	-	202	202	996	996	996	3.392

*O volume do floculador corresponde ao volume de água de descarga + volume gasto para lavagem das paredes (20 m³).

O volume de água de descarga e lavagem dos decantadores foi estimado a partir dos dados relativos aos volumes de resíduos gerados em cada operação de descarga e lavagem dos decantadores da ETA. Tais dados foram obtidos em relatórios da empresa, referentes atividades diárias ocorridas na ETA, como o caso de operação de lavagem e descarga das unidades, nos anos de 2004, 2005 e 2006 e são apresentados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 Volume de descarga e de lavagem dos decantadores da ETA de Gravatá Boqueirão/PB de 2004 a 2006

Mês/ ano	Volumes gasto nos decantadores antigos (m³) (duração 4 horas)						Decantadores novos (m³) (duração 6 horas)			Volume * Total (m³)
	Dec1	Dec2	Dec3	Dec4	Dec5	Dec6	Dec1	Dec2	Dec3	
Fev/2004	-	-	-	-	-	-	5.470	5.470	5.470	16.410
Mai/2004	1.730	1.730	1.730	1.730	1.730	1.730	-	-	-	10.380
Jun/2004	1.730	1.730	1.730	1.730	1.730	1.730	-	-	-	10.380
Jul/2004	-	-	-	-	-	-	5.470	5.470	5.470	16.410
Set /2004	1.730	1.730	1.730	1.730	-	-	-	-	-	6.920
Out /2004	-	-	-	-	1.730	1.730	5.470	5.470	5.470	19.870
Mai/2005	1.730	1.730	1.730	1.730	1.730	1.730	-	-	-	10.380
Jul/2005	1.730	1.730	1.730	1.730	1.730	1.730	-	-	5.470	15.850
Ago/2005	-	-	-	-	-	-	5.470	5.470	-	10.940
Jan/2006	1.730	1.730	1.730	1.730	1.730	1.730	-	-	-	10.380
Fev /2006	-		-	-	-	-	5.470	5.470	5.470	16.410
Nov/2006	1.730	1.730	1.730	1.730	1.730	1.730	5.470	5.470	5.470	26.590

*O volume do decantador corresponde ao volume de água de descarga + volume gasto estimado para lavagem das paredes

Através dos dados da Tabela 4.9, tem-se que, para cada decantador novo, o volume de descarga corresponde a 5.400 m³ e o volume gasto na limpeza das paredes é cerca de 70 m³, totalizando um volume de descarga e lavagem de 5.470 m³. O volume de descarga para cada decantador antigo é de 1.700 m³, sendo que o volume gasto na limpeza das paredes é cerca de 30 m³, assim o volume total gasto nessa operação de lavagem é de 1.730 m³.

Considerando-se que a limpeza dos decantadores é realizada em intervalos de, em média, 90 dias (freqüência de limpeza de três vezes no ano de 2004), com uma duração de descarga e lavagem de aproximadamente 6 horas, para unidades novas e de 4 horas, para as unidades antigas, essa operação resulta em um volume de descarga aproximado de 16.200 m³, para os três decantadores novos, e de 10.200 m³, para os seis antigos. A lavagem do fundo e das paredes é realizada através de jatos d'água de alta pressão, conforme mostram a Figuras 3.12, no Capítulo 3 item 3.3.4, contribuindo com um volume gasto cerca de 390 m³. A operação final de descarga e limpeza de todos os decantadores resultou num volume de água de 26.790 m³. Para o ano de 2004 (três operações), foi estimado um volume de água de descarga e lavagem dos decantadores de **80.370 m³**. A partir desse volume, pode-se verificar que a relação de volume de água de descarga e lavagem dos decantadores com o volume de água tratada foi em torno de 0,3%, em relação ao volume produzido durante o ano de 2004.

A Figura 4.9 estão ilustrados o período de ocorrência de lavagem e os volumes totais mensais dos decantadores para os anos de 2004 e 2006.

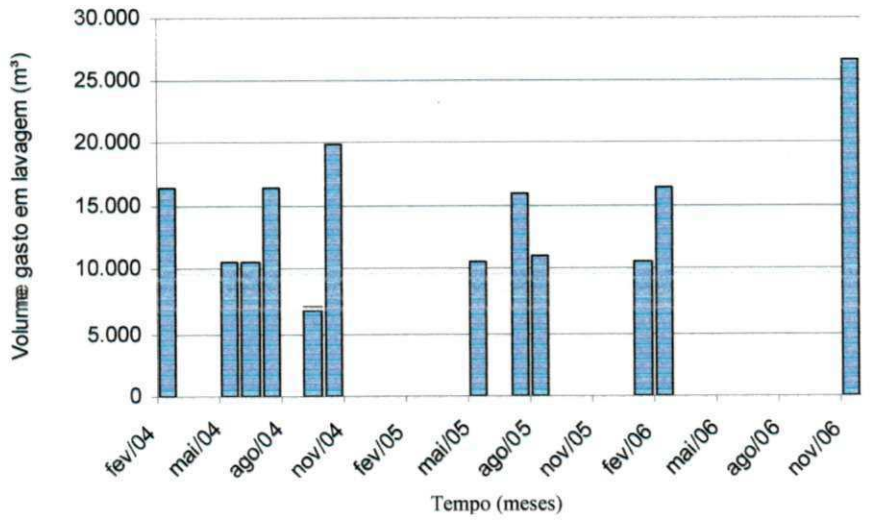


Figura 4.9 – Volumes gasto em descargas e limpezas dos decantadores da ETA de Gravatá - Boqueirão/PB para os anos de 2004 a 2006

Durante os anos de 2005 e 2006, verificou-se o período entre uma lavagem e outra dos decantadores foi maior, como pode ser visto na Figura 4.9, contribuindo para uma redução do volume de resíduo. Isto ocorreu, provavelmente, devido ao fato de que o manancial se encontrava cheio, nesse período, apresentando baixos valores de turbidez e cor, na água bruta. Conseqüentemente, não foi necessário, por algum tempo, o uso de sulfato de alumínio, conforme apresentado na Tabela 4.3. O que justifica que a quantidade de produto químico empregado é inversamente proporcional à qualidade de água bruta.

Em 2005, os decantadores apresentaram um período entre lavagens bastante longo, os Dec1 e Dec3 foram lavados apenas uma vez, por um tempo acumulado de 270 dias; para o Dec2, esse tempo foi em torno de 90 dias. Já o período entre lavagens para os decantadores antigos, ficou em torno de 60 dias, conforme mostra a Tabela 4.8, totalizando um volume de água estimado para o ano de 2005 em torno de **37.170 m³**. Observa-se ainda que, para o ano de 2006, o número de operações de limpeza e descarga dos decantadores novos e antigos foi de duas vezes, resultando num volume anual de limpeza e descarga de **53.580 m³**.

Vale salientar que com o tempo o lodo acumulado nos decantadores tem sua concentração aumentada, tornando-se mais agressivo ao meio ambiente. Pois um período longo de acumulação de sólidos no fundo dos decantadores pode favorecer o surgimento de condições anaeróbias na massa do lodo acumulado, ocasionando impactos nas características do lodo e da água tratada. Uma das possíveis conseqüências dessas condições anaeróbias é a dissolução de metais presentes no lodo (como, por exemplo, ferro, alumínio, manganês e metais pesados).

Com os resultados do volume de água gasto na operação de descarga e lavagem de filtros e decantadores, fez-se necessário elaborar o Quadro 4.1, para revelar que o manancial que abastece a ETA apresentou água com características que se alteram acentuadamente ao longo das estações do ano (2004 e 2005). Provocando grandes variações sazonais (período seco e chuvoso) em relação ao volume de lavagem e à freqüência de lavagem dos filtros e decantadores. No Quadro 4.1, observa-se que o volume gasto, nas lavagens dos filtros, em 2005, no período seco, foi maior do que o gasto no período chuvoso. Apesar de que, nesse período, o valor da turbidez se apresenta baixo, enquanto que, a média da turbidez apresentou-se alta no período chuvoso. Para os decantadores, não ocorreu o mesmo; no período com turbidez elevada houve um maior volume gasto do que no período com a turbidez baixa. Por outro lado, a água bruta quando apresentou essa turbidez, o período entre as operações de descarga e limpeza aumentou e,

consequentemente, o volume gasto foi reduzido. Isso pode ser atribuído ao fato de as oscilações de turbidez influenciarem mais acentuadamente o volume diário de lodo removido e descartado pelos decantadores, que absorvem com maior intensidade do que os filtros as oscilações de fluxo de sólidos afluentes à ETA. Em outras palavras, a quantidade de sólidos suspensos que, diariamente, tem acesso aos filtros usualmente não varia com muita intensidade, mesmo quando a turbidez da água bruta oscila marcadamente ao longo do ano. No caso da turbidez baixa, com um maior volume de água gasto nas limpezas dos filtros, pode-se atribuir ao fato de que, devido à redução do número de descargas e lavagens dos decantadores, o acúmulo de lodo tornou-se maior, as partículas em suspensão foram carreadas para os filtros, provocando a diminuição da taxa de filtração e, conseqüentemente, o aumento do número de lavagens dos filtros e do volume gasto.

Quadro 4.1 Volume gasto nas descargas e lavagens com as variações sazonais

Unidades	**Volume anual gasto em descarga e lavagem (m³)**	
	Chuvoso (2004) Turbidez alta	**Seco (2005) Turbidez baixa**
Filtros	413.158,00	443.572,00
Decantadores	80.370,00	37.170,00
Total	**493.528,00**	**480.742,00**

Os resultados apresentados nas Tabelas 4.7, 4.8 e 4.9 e no Quadro 4.1, indicam que, em termos volumétricos, a maior vazão é produzida nos leitos dos meios filtrantes. O percentual de volume das águas residuárias geradas na ETA de Gravatá/PB foi de 2,08 %. Este percentual é condizente com a faixa de valores apresentada na literatura conforme descrito no item 2.4.1.

Os volumes dos resíduos gerados durante a preparação dos produtos químicos empregados no tratamento foram desprezíveis, quando comparado ao volume descartado nos decantadores e filtros.

A partir da determinação das características da água bruta e o volume total de água gasto nas descargas e lavagens das unidades de tratamento, pode-se observar que o volume diário da água de lavagem é bastante variável ao longo do ano e que as grandes variações sazonais de turbidez da água bruta afluente à ETA contribuem com as características quantitativas e qualitativas dos resíduos gerados no processo de tratamento. Com base nesse conhecimento, considera-se que: a freqüência de lavagem deve ser ajustada em função das variações sazonais da qualidade da água bruta, principalmente, no que se refere às mudanças de valor da sua turbidez, pois a taxa de geração de lodo é

UFCG/BIBLIOTECA

diretamente proporcional à turbidez da água bruta; e que, no projeto-piloto do sistema de tratamento dos resíduos, deve-se levar em consideração as situações sazonais mais críticas, isto é, considerar as grandes oscilações sazonais na turbidez.

É importante ressaltar que a duração de cada descarga deve ser estabelecida de forma que tenha interrupção da mesma, no momento adequado, pois a freqüência de descargas excessivas pode trazer perdas financeiras e danos ambientais. Na prática, muitos operadores, não tendo consciência da importância de minimização do volume de lodos gerados, acabam optando pelo exagero na freqüência e duração dos descartes, a fim de garantir maior "segurança", em relação à qualidade da água clarificada que sai dos decantadores. Isso resulta em maiores dificuldades para o tratamento e disposição final dos resíduos gerados na ETA, além de provocar maiores perdas de água no sistema. Sabe-se que a ineficiência operacional de um sistema de lavagem não apenas compromete o processo de tratamento de água, como também pode exigir um maior volume de água de lavagem, o que, sem dúvida, traz prejuízos consideráveis no que diz respeito ao reaproveitamento da água de lavagem.

A Figura 4.10 representa um esquema ilustrativo dos volumes de resíduos gerados em cada etapa de produção na ETA em estudo. Assumindo o percentual de 2,08 % que corresponde ao volume de resíduos gerados diariamente na ETA, foi determinado, com base no volume médio produzido no ano de 2005, o volume total de resíduo gerado de **1.743,5 m³** por dia. Desse percentual, 1,73% (1.450,10 m³) correspondem ao volume de água de lavagem dos filtros (ALF) e 0,35% (293,14 m³) ao gerado nos decantadores e floculadores. Adotando que a unidade de desaguamento do lodo remove 90% do volume total dos resíduos, percentual que corresponde ao volume drenado e 10%, ao volume de lodo desaguado (decantador, floculador e filtros), que ficou em torno de 24,5 m³/dia. As referências utilizadas para elaboração do esquema (Figura 4.10) foram: Machado (2005), Fontana (2004), Fontana & Cordeiro (2005), Achon et al. (2005), Di Bernardo (2005) e Di Bernardo (1999).

O volume de lodo desaguado produzido a partir da água de lavagem dos filtros foi cerca de 7,25 m³/dia, que representa uma redução de 200 vezes com relação ao volume inicial (1.745,1 m³). Por sua vez, o volume de lodo gerado descartado dos decantadores ficou em torno 16,94 m³, resultando numa redução de 17 vezes em relação ao volume inicial (293,40 m³).

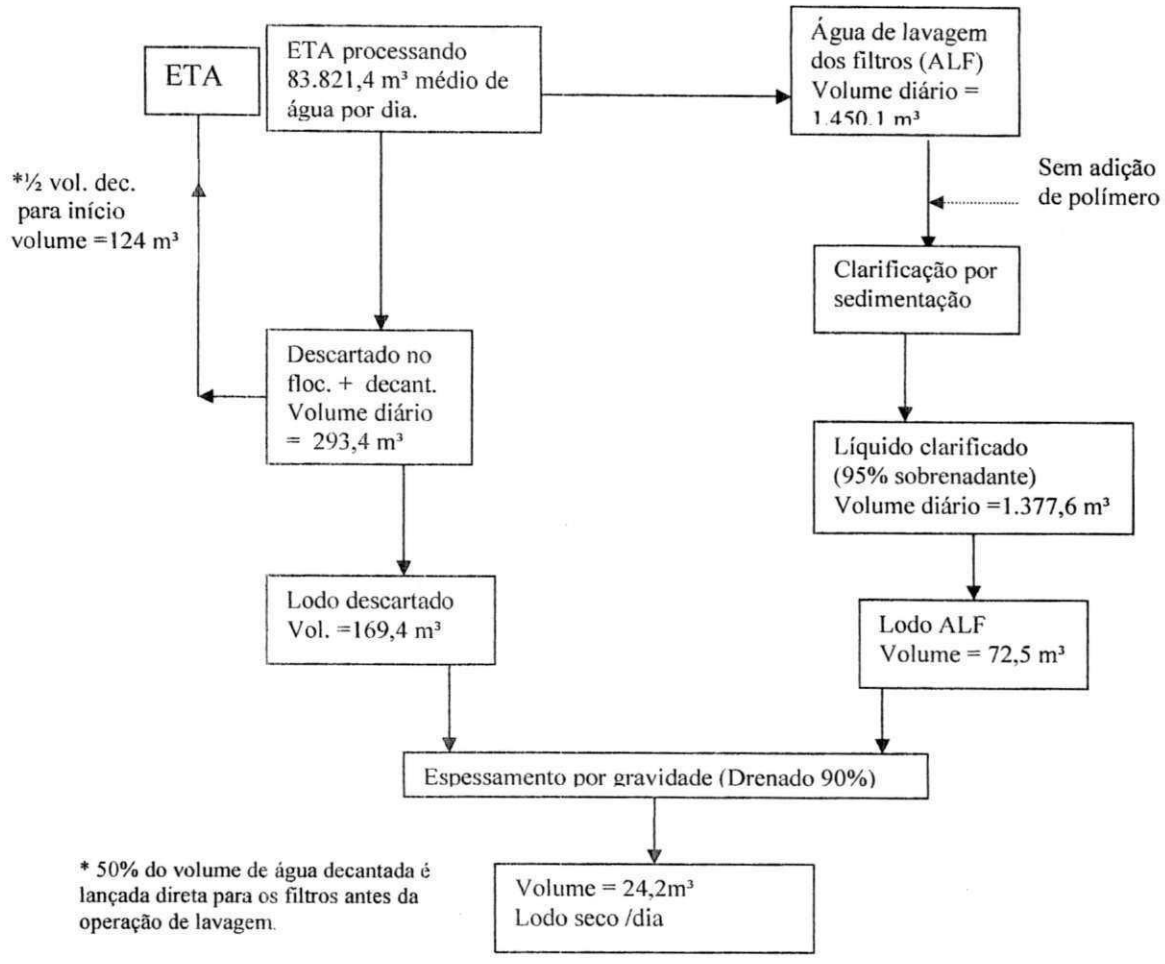


Figura 4.10 - Esquema ilustrativo das etapas de remoção e estimativa de volume de água na ETA de Gravatá - Boqueirão/PB.

Assumindo as condições técnico-operacionais de cada alternativa, citada na literatura (Fontana & Cordeiro 2005, Achon et al. 2005), tais como: **alternativa 1** (sedimentador com leito de secagem), o reaproveitamento de água será na ordem de 90%, para **alternativa 2** (sedimentador com duas lagoas de lodo), a remoção de água é cerca de 85% e no caso da **alternativa 3** (arranjo de três lagoas) considerou-se uma remoção de 80%. Com base nessas condições e no esquema da Figura 4.10, pode-se determinar o valor do volume recuperado em cada unidade de tratamento. O Quadro 4.2 indica o volume total de água que pode ser recuperado diariamente na ETA de Gravatá, para o ano de 2005, após o tratamento por sedimentação e desaguamento do lodo.

Quadro 4.2 - Estimativa do volume de água de lavagens a ser recuperado na ETA de Gravatá no ano de 2005.

Unidades	Volume a recuperar por unidade (m^3/dia)	Média mensal de volume de água a ser recuperado (m^3/mês)
Sedimentador	1.378,0	41.340,0
Decantadores*	124,0	3.720,0
Leito de secagem	218,0	6.540,0
Total	**1.720,0**	**51.600,0**

* Volume de água (50%) decantada lançada diretamente para os filtros.

A estimativa do volume de água a ser recuperado, para a alternativa composta de um sedimentador com leito de secagem, foi na ordem de 51.600,0 m^3/mês, que corresponde ao suficiente para abastecer uma população de 8.519,0 habitantes, com um consumo "*per capita*" de 200 l/hab/dia. No caso do uso de sedimentador com duas lagoas, o volume recuperado é de 51.240 m^3/mês e o conjunto de três lagoas recuperará 43.500,0 m^3/mês.

4.7 - Avaliação das perdas de água no processo de tratamento

Nos sistemas de abastecimento as perdas de água ocorrem, desde sua captação até a distribuição. Atualmente o índice de perdas físicas no sistema de abastecimento da água de Campina Grande é da ordem de 53,0% (CAGEPA, 2007). As condições operacionais da ETA podem levar a perdas de água no processo, a perdas de produtos químicos, perdas de energia elétrica, além de provocar impactos ambientais.

Nesse trabalho, o volume de lavagem da ETA, sem o reaproveitamento, foi considerado como perdas em razão as condições específicas relativa à ETA em estudo, a saber, a existência de escassez hídrica da região e a distância entre a ETA e manancial que demanda um consumo adicional de energia elétrica para o bombeamento.

Ao longo de todo o processo de tratamento de água na ETA de Gravatá, ficou evidente que existe um conjunto de perdas e possíveis danos ambientais que não são considerados, tais como: transbordamentos de água das unidades e vazamentos em registros. No processo de lavagem de filtros, no momento de visitas *in loco*, observou-se que é gerado um grande volume de perdas de água, pois a operação necessita ser realizada a cada 6 horas. Outro problema foi o tempo de execução, pois os filtros não possuem equipamentos para a indicação do final da retrolavagem. Dessa forma, o término da lavagem fica a critério da sensibilidade do operador, através de percepção visual.

A Figura 4.11 mostra a porcentagem do volume de água gasto dentro da ETA de Gravatá, no processo de lavagem dos filtros, referente ao volume tratado mensalmente ao longo dos anos de 2004 a 2006. Percebe-se uma redução de perdas no inicio do ano de 2004 (janeiro e fevereiro), porém a porcentagem aumenta nos anos seguintes, com um pequena melhora no índice de perdas em setembro a dezembro de 2005.

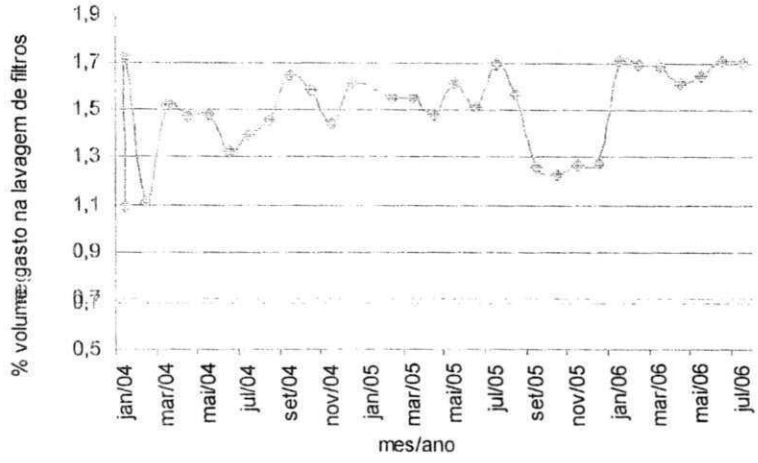


Figura 4.11 - Volume de água gasto na lavagem de filtros para os anos de 2004 a 2006.

No acompanhamento da execução do processo de lavagem dos decantadores da ETA em estudo, foi verificado que há uma grande quantidade de água perdida por vazamentos de outro decantador e do floculador. Outro ponto de perda observado é o transbordamento de água que ocorre em uma canaleta existente entre o canal de água decantada e os filtros.

A partir dos dados operacionais mensais referentes ao volume consumido na ETA de Gravatá durante os anos de 2005 e 2006, conforme Tabela 4.10, foi feito um balanço hídrico do volume de água consumido na ETA.

Pela Tabela 4.10, o volume de água perdido corresponde a uma parcela de perda de água que ocorre desde a entrada da ETA até os filtros (mistura de volume de água bruta com água decantada), devido a vazamentos de registros de cada unidade, à parcela referente à água que cai na calha de esgoto (água coagulada), a extravasamentos em canais e a transbordamento dos decantadores (água decantada). Totalizando num valor médio do volume perdido de cerca de 1.577,0 m³, compreendendo a um percentual de perdas físicas de 0,06 % .

O volume de água consumido na ETA compreende os volumes gastos na operação do processo de tratamento, ou seja: na lavagem de filtros, na preparação e limpeza dos tanques de mistura de produtos químicos, no laboratório, como também nas perdas e desperdícios na ETA.

Tabela 4.10 - Dados operacionais mensais referentes ao volume consumido na ETA de Gravatá- Boqueirão/PB.

Mês/Ano	Volume de água (m^3)			Nº lavagens	Consumo da ETA (%)	Consumo total
	Recebido	Filtrado clorado	Perdido**			
03/05	2.318.171	2.316.520	1.651	114	2,85	67.751
04/05	2079.399	2.077.756	1.643	106	2,92	62.398
05/05	2.049.964	2.048.349	1.615	112	3,07	64.555
06/05	1.900.215	1.898.635	1.580	109	3,26	63.480
07/05	2.029.219	2.027.510	1.709	118	3,37	**70.098**
08/05	2.129.094	2.127.549	1.545	110	3,03	66.005
09/05	2.164.444	2.162.947	1.497	104	2,92	64.647
10/05	2.361.587	2.359.994	1.593	110	2,81	67.813
11/05*						
12/05	2.720.833	2.719.362	1.471	102	2,42	67.211
01/06	2.977.145	2.975.581	1.564	108	1,91	58.291
02/06	2.875.744	2.877.414	1.330	92	1,70	50.210
03/06	3.144.887	3.143.427	1.460	**101**	1,69	54.695
04/06	2.962.302	2.960.742	1.560	107	1,62	49.380
05/06	2.986.641	2.984.832	1.809	124	1,65	50.959
06/06	2.695.235	2.693.493	**1.742**	**120**	**1,78**	49.602
07/06	2.829.908	2.828.260	1.680	114	1,72	50.248

* não foi fornecido

** Volume não foi filtrado (volume perdido)

Tomando por base o volume gasto para **120** lavagens, que corresponde a cerca de **40.800** m^3. Na Tabela 5.10, verifica-se que, para a mesma quantidade de filtros lavados, o volume foi **49.602** m^3 (junho/2006), significa que, para lavagem dos filtros o volume corresponde a **40.800** m^3 e a parcela restante de **8.802,00** m^3 pode ser considerada como sendo o volume gasto no consumo próprio nas atividades da ETA (laboratório, banheiro, copa, com jardins, caminhão pipa e outros) e o volume gasto com preparação de produtos químicos.

Levando em consideração o volume de água gasto na limpeza (de filtros, decantadores, floculadores) e o volume de água perdido, pode-se estimar um volume de perda mensal total ocorrido no mês de junho de 2006, ou seja, por meio da somatória dos índices de perda em cada uma dessas fases, tem-se a estimativa do índice de perdas na ETA: Porcentagem de Volume Gasto = (volume ALF) + (Volume Dec. e Floc.) + (perdas físicas).

Porcentagem de volume gasto na ETA = 1,73 % + 0,35 % + 0,06 % = 2,14 %

O volume gasto na ETA de Gravatá resultou num percentual em torno de 2,14 %, que se encontra dentro dos valores relatados na literatura. Apesar o pequeno percentual, em termos de vazão, torna-se significativo. É importante que os responsáveis pela empresa invistam no controle das perdas, de forma a utilizar o volume mínimo de água necessário, nas práticas operacionais e manutenção da ETA. O reaproveitamento das águas de lavagem e de descargas dos decantadores, pode se constituir numa alternativa importante, sob o ponto de vista ambiental e econômico, diante da escassez de mananciais e comprometimento da qualidade da água bruta por poluição.

É indiscutível a necessidade de lavar filtros e decantadores em ETAs de ciclo completo, mas o cuidado com a quantidade gasta é muito importante, assim como quantificar possíveis perdas por vazamentos, pois dentro destas perdas então inseridas outras perdas, tais como, perdas de produtos químicos. O índice de perdas de 2,14% representa também uma perda de energia consumida para captar e tratar um volume de água que não chega aos consumidores, que nem chega a ser distribuído, ou seja, é a energia gasta para bombear e tratar a água, que é utilizada nas descargas e lavagens dos decantadores e filtros. É importante ressaltar a água que não retorna para ETA, é uma água perdida e que não chega a ser distribuída, fato esse, que pode ser considerado um problema de falta de controle e atenção ao uso desta água, que poderia estar sendo reaproveitada e utilizada de forma mais racional.

Portanto, os excessos praticados nas operações que geram perdas devem ser controlados com revisão do processo de tratamento e adequação das instalações ou métodos operacionais com vista à utilização do mínimo de volume necessário. O sucesso das ações contínuas para redução de perdas nas companhias de saneamento contribui para um melhor desempenho econômico da companhia, revertendo tal benefício em tarifas mais baixas aos consumidores e postergação de novos investimentos na ampliação dos sistemas de produção, adução e reservação de água.

4.8 - Quantificação do volume de lodo gerado no processo de tratamento de água

Conforme informações obtidas nas entrevistas realizadas com funcionários da CAGEPA, as quantidades de resíduos gerados, principalmente o lodo dos decantadores, não são quantificadas pelos responsáveis pela operação de descarga e limpeza, uma vez que este lodo é descartado através de um expurgo, quando é feita a limpeza dos decantadores, sem a execução de qualquer medição. Tendo-se os valores médios mensais

de características da água bruta que abastece a ETA, dosagem de produtos químicos usados e vazões tratadas fornecidos pelo setor operacional (Tabelas 4.2 e 4.3), relativos aos anos de 2004 e 2005, pode se quantificar o lodo da ETA aplicando as equações empíricas conforme descritas no item 2.6.3 Capítulo 2. A partir da equação 2.4, AWWA (1978), determinou-se a produção global de sólidos para período chuvoso (2004) e seco (2005), cujos valores foram **4.482,0 kg/dia** e **985,0 kg/dia,** respectivamente.

Utilizando a equação proposta por Cornwell (1987), equação (2.6), e assumindo os valores reais da ETA de Gravatá, para a média do coagulante auxiliar (cal) de 7,57mg/l no ano de 2005 (período seco), tem-se uma produção de lodo de **4.942,00 kg/dia** e, para o período chuvoso a produção de lodo de **16.521,00 kg/dia**. Aplicando os valores reais da ETA, em estudo, na equação 2.7 (SARON, 2001), a produção total de sólidos, para período chuvoso (2004), ficou em torno de **13.119,0 kg/dia** e, para o período seco (2005), a produção de lodo ficou em torno de **4.024,0 kg/dia**.

A produção total de resíduos pode ainda ser estimada, levando-se em consideração a vazão diária de água a ser tratada, associada às características da água bruta no manancial que abastece a ETA. De acordo com Barroso (2002), a produção de lodo nas ETAs que utilizam sulfato de alumínio como coagulante é cerca de 22 g de sólidos/m³ água tratada. Aplicando-se esse valor ao volume médio mensal de água tratada na ETA, tem-se uma produção de lodo de **1.844,00 kg/dia**, para o período seco e de **1.754,80 kg/dia** para o chuvoso. Nesse caso, a produção de lodo, no período chuvoso, se apresentou menor do que no período seco, isso se deve ao fato de que o volume médio produzido em 2004 (chuvoso) foi menor.

Na Quadro 4.3, encontra-se resumido o resultado da produção de lodo gerado no tratamento de água da ETA de Gravatá, calculada através das três fórmulas citadas utilizando valores reais da ETA de Gravatá/PB, assim como estimativa da vazão tratada, associada às características da água bruta no manancial.

Quadro 4.3 Estimativa da produção mensal de lodo gerado na ETA de Gravatá/PB

Referência	Quantidade de lodo			
	Diária (kg/dia)		Mensal (t/mês)	
	Período seco	Período chuvoso	Período seco	Período chuvoso
AWWA (1987)	985,00	4.482,0	29,55	134,50
CORNWELL (1987)	4.942,00	16.521,0	148,23	495,60
SARON (2001)	4.024,00	13.119,0	120,72	393,57
BARROSO (2002)	1.843,00	1.754,80	55,30	52,64

Com os valores obtidos pela equação 2.7 (CORNWELL 1987), verificou-se um aumento bastante significativo da produção global de lodo em relação ao que foi determinado na equação 2.5 (AWWA, 1978). Isso se deve ao fato de que, na equação (2.7), leva-se em consideção a dosagem do sulfato de alumínio e produtos auxiliares (cal), os quais influenciam na produção de resíduos no processo de tratamento de água. Sendo assim, isto confirma que a quantidade de lodo acumulado no fundo dos decantadores, além de ser função da vazão afluente ao decantador, da freqüência de remoção, da qualidade da água bruta em tratamento, principalmente avaliada em termos de turbidez e/ou cor, é função também da dosagem e do tipo de produtos químicos utilizados nas fases de coagulação e floculação.

Verificou-se no Quadro 4.3 que, na maioria das estimativas, ocorreu uma maior produção de lodo no período chuvoso, ano 2004, época em que há piora na qualidade geral das águas dos mananciais, representada pelos parâmetros cor aparente e turbidez, necessitando, consequentemente, da aplicação de maiores quantidades de produtos químicos para o tratamento. A quantidade estimada de lodo se apresentou no período chuvoso mais de três vezes a mais do que no período seco AWWA (1987), Cornwell (1987) e Saron (2001).

A ordem de grandeza dos valores da produção de lodo na ETA de Gravatá/PB é significativa, uma vez que os custos para transporte e destinação final se tornam elevados ao longo do tempo, bem como a escassez de áreas disponíveis para sua disposição. Sendo assim, fazem se necessário o planejamento e implantação de alternativas de tratamento dos lodos e disposição final.

Para a avaliação econômica e ambiental, a quantidade de lodo da ETA em estudo foi aquela estimada através da equação proposta por Cornwell (1987) (eq 2.7), período seco, pois esta, além de considerar as características da água bruta do manancial e a vazão tratada, considera também dosagem e tipo de produtos químicos, o que pode contribuir para retratar valores reais de produção do lodo na ETA em estudo.

4.9 - Dimensionamento das unidades do projeto-piloto

4.9.1 - Dimensionamento do projeto-piloto do sedimentador

No dimensionamento do sedimentador, levou-se em consideração o volume da água de lavagem de um filtro, que corresponde a 340 m³, sob a condição operacional de

que a água clarificada deve retornar ao início da ETA, quando acionado o sistema de recalque, pelo próprio operador da estação, antes da operação da próxima lavagem de filtros.

Na Tabela 4.7, identificou-se o máximo volume de ALF, que foi de 41.570 m³/mês, para 123 lavagens correspondentes ao mês de janeiro/05. O volume diário que entra no sedimentador foi calculado através da Equação 4.1 e resultou num volume de 1.341 m³ /dia.

$$\mathbf{Vs = V_M/N_m} \qquad \text{(eq. 4.1)}$$

Onde:

V_S = volume do sedimentador, m³;

V_M = volume máximo de ALF, em m³ por mês;

N_m = número de dias do mês do maior consumo de ALF.

O equacionamento para recirculação considerou o tempo de sedimentação dos sólidos de duas horas, em relação ao funcionamento diário da ETA. Esse tempo, segundo Oliveira et al. (2002), *apud* Fontana (2004), é suficiente para sedimentar valores de 95% dos sólidos suspensos totais presentes na água de lavagem de filtros. O volume de recirculação determinado através da Equação 4.2 situou-se na ordem de 61,0 m³/h.

$$V_r = Vs/(T_F - n) \qquad \text{(eq. 4.2)}$$

Onde:

V_r = volume de reciculação, m³/h;

Vs = volume do sedimentador

T_F = Funcionamento médio da ETA, horas/dia; (24 h/dia)

n = tempo necessário para sedimentar 95% dos sólidos (adotado 2 horas)

Para obedecer à condição de no máximo 10% de volume de recirculação em relação à vazão média da ETA, (KAWAMURA, 2000) conforme visto no item 2.9.1 do Capitulo 2, foi feita a seguinte verificação, Equação 4.3:

$$V_r < Qmáx._R \qquad \text{(eq. 4.3)}$$

Onde:

$Qmáx._R = 0,1 \cdot Q_{ETA}$

$Qmáx._R$ = vazão máxima de recirculação;

Com uma vazão média de 3.451,30 m³/h, tem-se uma vazão máxima de recirculação correspondente a 345,13 m³/h, valor volume recirculado Vr (61,0 m³/h) foi inferior a 10% da vazão média da ETA, indicando que o volume de água de lavagem dos filtros ALF pode ser reaproveitado integralmente no processo de tratamento de água sem causar danos ao sistema.

O projeto-piloto do sedimentador é constituído de um tanque de concreto com dimensões 20 m x 12 m x 1,5 m, com formato retangular, conforme esquema mostrado na Figura 4.12. O sedimentador apresentará condição de recuperação de praticamente toda a água clarificada, sendo os resíduos sedimentados bombeados para o leito de secagem juntamente com os lodos de decantadores.

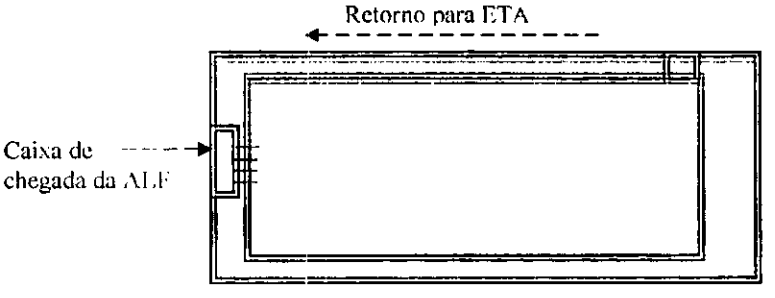


Figura 4.12 – Planta baixa do sedimentador

4.9.2 - Dimensionamento do projeto-piloto do leito de secagem

O projeto do leito de secagem requer conhecimento do clima da região. A ETA em estudo se encontra numa região de clima semi-árido e baixa precipitação, apresenta excelente eficiência no grau de insolação e uma taxa elevada de evaporação.

Para o dimensionamento do leito de secagem, o volume estimado de descarga e limpeza do decantador de maior capacidade foi de 2.770 m³, ressaltando que, do volume total, 50% da água clarificada, conforme visto no item 2.71, Capítulo 2, são lançados diretamente para os filtros. Para aplicar a condição do lançamento da água clarificada do decantador diretamente para os filtros, antes da descarga do lodo, tomou-se como base os resultados das análises realizadas conforme visto no item 4.6.3 deste Capítulo. Esta operação reduz sensivelmente a quantidade de lodo, a ser lançado na unidade de desaguamento, aumentando a concentração de sólidos e resultando numa condição muito favorável para a utilização do leito de secagem.

O projeto-piloto do leito de secagem é constituído por um tanque raso, com quatro módulos de dimensões 35 m x 16 m x 1,3 m, com duas camadas de areia com

granulometria diferente. O sistema é composto por camada suporte, meio filtrante e sistema drenante, conforme mostrado nas Figuras 4.13 e 4.14. As paredes laterais em concreto, com 1,3 m de altura e com laje de fundo em concreto simples, com inclinação de 2% para os pontos de coleta. Sobre a laje, tem-se uma camada de britas graduadas de 1/8" a 1/4", com 0,20 m de espessura. Em cima da brita, tem-se uma camada suporte de areia de 0,15 m, que, além de garantir a drenagem da água, mantém a espessura do lodo uniforme, permitindo a passagem da parte líquida (drenado) e retendo as partículas sólidas. Sobre essa camada, tem-se um lastro de tijolo maciço de 0,05 m de espessura. O sistema drenante é constituído por tubos perfurados de PVC, com diâmetro de 150 mm. O lodo é espalhado em camada de 0.70 m (altura livre de 0,2 m) e uma nova camada deve ser lançada somente após a secagem total do lodo. As Figuras 4.13 e 4.14 ilustram a planta baixa e os cortes do projeto-piloto do leito de secagem.

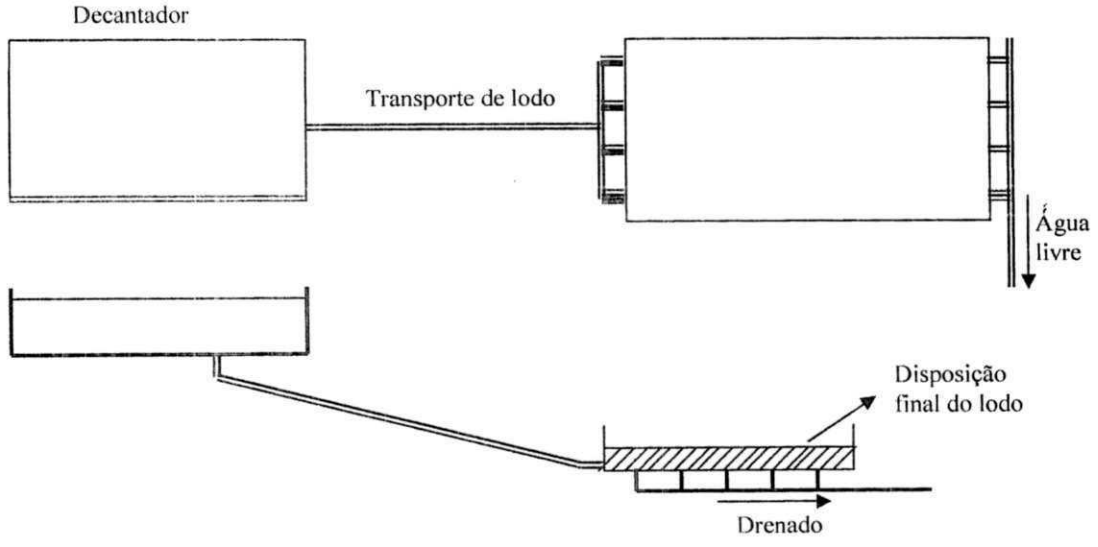


Figura 4.13 - Esquema da planta baixa e do corte lateral do sistema de tratamento por leito de secagem

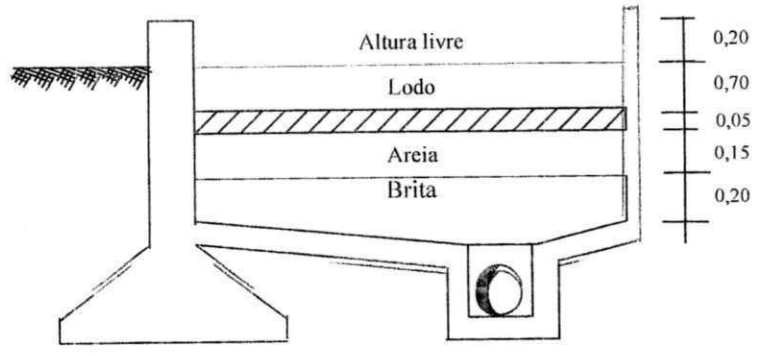


Figura 4.14 Esquema do corte frontal do leito de secagem

Outra condição operacional para o leito de secagem é que os períodos de descarga e lavagem dos decantadores não sejam superiores a sessenta dias. Dessa forma, os decantadores passam a ser descarregados e lavados, alternadamente, o que faz com que o período de utilização do leito não ultrapasse 30 dias. O período de utilização do leito corresponde às operações de lançamento do lodo, monitoramento das alturas, retirada dos sólidos e operação de limpeza. A água drenada no sistema deve ser removida para o início da ETA, de forma intermitente, possibilitando que a massa de lodo fique exposta para facilitar a remoção dos sólidos no final dos ciclos, preparando a unidade desaguadora para receber a próxima descarga.

Uma outra condição operacional considerada no dimensionamento do leito de secagem, que pode reduzir sua área é que durante a operação de descarga do decantador (6 horas), quando o lodo é lançado nos leitos, nesse período, uma parcela do volume drenado já pode ser recirculada.

4.9.3 - Dimensionamento do projeto piloto da lagoa de lodo

O conjunto de lagoas de lodo foi projetado para receber os efluentes da descarga e limpeza dos decantadores e o lodo proveniente do sedimentador (sedimentado da ALF). Para o dimensionamento das lagoas de lodo, foi considerada a metade do volume oriundo da operação de descarga e limpeza do decantador de maior capacidade. A Figura 4.15 representa o esquema da planta e corte transversal do projeto-piloto de lagoa de lodo.

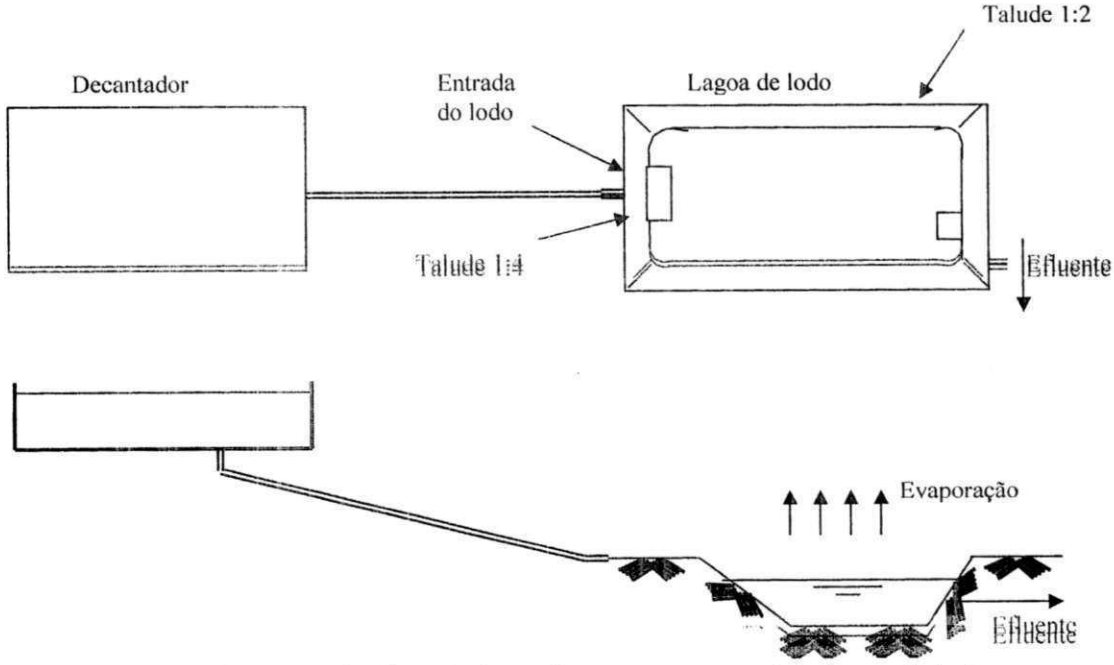


Figura 4. 15 - Esquema da planta baixa e do corte transversal da lagoa de lodo.

O projeto-piloto das lagoas de lodo inclui tubulações de entrada de lodo, coletores flutuantes ou vertedores reguláveis para saída do decantado, sistema de bombeamento para retorno do clarificado, proteção dos taludes, impermeabilização de fundo (concreto) e rampa de acesso para entrada de equipamentos e limpeza das mesmas. As lagoas possuem um extravasor que controla o nível de lodo. Depois de determinado limite, o lodo em excesso passa através desse extravasor para a próxima lagoa e assim sucessivamente.

A condição operacional das lagoas de lodo se dará de forma que o clarificado seja retirado antes do próximo lançamento de outra operação de descarga do decantador. A remoção do sobrenadante proporcionará melhores resultados no tempo disponível para a secagem do lodo que, periodicamente, deve ser retirado para disposição final.

No projeto das lagoas de lodo foi considerado o cercamento da área para prevenção de acidentes e, na escolha do local de implantação, devendo-se ainda avaliar a possibilidade de proliferação de insetos e exalação de maus odores. Isto poderá ocorrer quando o lodo possui altas concentrações de matéria orgânica.

O projeto-piloto para atender a **alternativa 2** é constituído por duas lagoas de lodo com operação de forma alternada, a fim de se obter melhores resultados no tempo disponível para a secagem. A capacidade de cada uma é de 3.000 m³ com dimensões de 80 m de comprimento, 25 m de largura e 1,5 m de profundidade com lâmina livre de 0,50 m.

O projeto-piloto do sistema de tratamento para a **alternativa 3** é constituído por um conjunto de três lagoas, com dimensões cada de 75 m x 20 m x 1,5 m. Estas foram projetadas para receber o volume de resíduo de um decantador e o volume diário de lavagem dos filtros. Para permissão de entrada de trator ou retroescavadeira para remoção de lodo, considerou-se um espaço entre uma lagoa e outra de 3,0 m. As condições operacionais para a atender à alternativa 3 ocorrem de forma que no momento em que duas lagoas recebem a descarga, a terceira lagoa se encontra fora da operação para desidratação do lodo. Esse lodo é removido antes da descarga e lavagem do próximo decantador.

Os trabalhos envolvidos na operação e manutenção das lagoas incluem: aplicação do lodo, remoção periódica dos sólidos e reparos dos taludes.

4.10 Resultado da análise comparativa entre alternativas

Neste trabalho, foram estudadas quatro (4) alternativas, conforme descrito e esquematizado no item 3.3, Capítulo 3, com o intuito de selecionar a melhor tecnologia de

aproveitamento da água de lavagem de ETAs, que atenda aos aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Na análise comparativa entre as alternativas propostas, foi realizada uma seleção preliminar das alternativas para a situação estudada. A partir dessa seleção, pôde-se selecionar, para o caso em questão, a(s) alternativa(s) de comportamento viável e inviável.

Com base nos fatores citados no Quadro 3.2, Capítulo 3, e informações obtidas na literatura Cordeiro, (2001); Di Bernardo, (2005); Achon et al., (2005), pôde–se elaborar o Quadro 4.4, que apresenta possíveis soluções em cada alternativa de reaproveitamento.

A condição ideal para selecionar a melhor alternativa seria optar pela escolha de uma ETA que não gere resíduo e tenha um reaproveitamento integral. Mas, como isto não é possível na análise comparativa entre as alternativas, obteve-se, como possíveis soluções, as alternativas **1**, **2** e **3**, e optou-se por descartar a **alternativa 4**, pelo fato de que a mesma apresentou comportamento que pode infligir as leis ambientais e também pelo fato de a ETA se encontra em uma região que apresenta pouca disponibilidade hídrica, associada ao não reaproveitamento da água de lavagem.

Quadro 4.4 -Possíveis soluções para cada alternativa de reaproveitamento de água de lavagem

Possíveis soluções	Alternativas			
	1	2	3	4
Objetivos Técnicos				
Eficiência do sistema	+ + +	+ +	+	-
Menor área requerida	+ + +	+ +	+	+
Objetivos Econômicos				
Redução de custo de energia elétrica	+ + +	+ +	+	-
Redução de custo com disposição final	+ + +	+ +	+ +	+
Redução de custo na compra de água bruta	+ + +	+ + +	+ +	-
Redução de custo do lançamento de efluente	+ + +	+ + +	+ +	+
Objetivos Ambientais				
Preservação dos corpos receptores	+ + +	+ +	+ +	+
Conservação de recursos hídricos	+ + +	+ +	+ +	+ +
Diminuição dos impactos ambientais	+ + +	+ +	+ +	-
Atendimento normativo	+ + +	+ +	+ +	-

+ + + ótima solução + + boa solução + solução regular - péssima solução

4.11 – Viabilidade econômica, técnica e ambiental do projeto-piloto do STAL

4.11.1 Análise de viabilidade técnica

Dos pontos de vista técnico e operacional, a adoção de qualquer aplicação de tecnologia para o reaproveitamento de água em ETA deve considerar todas as alterações que poderão decorrer das mesmas, ressaltando-se que a limitação para a sua aplicação

estará diretamente associada aos custos envolvidos. Na análise de viabilidade técnica, levaram-se em consideração os aspectos relativos às condições operacionais e funcionalidade do projeto- piloto do sistema de reaproveitamento de água de lavagem, que possam garantir a eficiência do sistema. O Quadro 4.5 mostra alguns aspectos técnicos para cada alternativa do reaproveitamento de água de lavagem.

Quadro 4.5 – Aspectos técnicos para a análise de viabilidade técnica no reaproveitamento de água de lavagem em ETAs.

Alternativa	Eficiência do sistema			Área Requerida (m^2)	Manutenção Mensal [2]
	Tempo de secagem (dias)	Concentração do lodo [1]	Reuso de água (%)		
1	20	25 %	1,87	2.480,0	1
2	**60**	15 %	1,77	4.240,0	1
3	60	15 %	1,66	4.500,0	1

[1] Valores adotados com base em Cordeiro (1999), Di Bernardo (2005), Fontana & Cordeiro (2005) e Achon et al. (2006).
[2] Refere-se ao número de manutenções necessárias

Comparando a eficiência entre as lagoas de lodo (**alternativa 2**) e dos leitos de secagem (**alternativa 1**), com base em (CORDEIRO, 2001; ACHON et al., 2006) verifica-se que as lagoas de lodo têm finalidade e funcionamento semelhantes aos leitos de secagem, dos quais diferem, fundamentalmente, no que se refere ao sistema de drenagem, que é pouco eficiente. No caso das lagoas, conforme mostra o Quadro 4.5, o tempo de secagem é maior do que o tempo de secagem dos leitos. Nas lagoas de lodo, o que acontece é que o lodo não reduz sensivelmente o volume, pois não chega a secar completamente, alcançando uma determinada umidade, que se torna constante, com o passar do tempo. Cordeiro (2001) afirma que a secagem do lodo em lagoas, além de deficitária, demora em média dois meses. Quanto ao leito de secagem, o tempo de secagem de água completa do lodo é entre 7 e 20 dias, independente do volume de lodo descartado no leito, promovendo uma enorme redução no volume deste. Por outro lado, quanto maior o tempo que o sistema gastar para remover a água livre, maior o intervalo de limpeza dos decantadores, gerando um acúmulo cada vez maior de lodo, prejudicando o sistema operacional da ETA. Observa-se, ainda, no Quadro 4.5, que as lagoas requerem maior disponibilidade de área para implantação. As alternativas baseadas em lagoas de lodo requerem cerca de duas vezes a área requerida para o leito de secagem.

Portanto, a alternativa do reaproveitamento com aplicação da tecnologia de leito de secagem com sedimentador, mostrou-se tecnicamente uma alternativa bastante eficiente

para o desaguamento e redução de resíduos na ETA. A concepção dos leitos permite que a água seja removida rapidamente, em um sistema simples, sem consumo de energia, fácil de ser utilizado. Apesar dessa alternativa apresentar o maior custo, comparado com o sistema de lagoas, por sua vez, o sistema de leito de secagem é considerado de baixo custo, quando comparado com os sistemas mecânicos, e tem como principal vantagem a viabilidade econômica de implantação e operação, desde que haja área disponível.

Quanto à análise técnica referente à **alternativa 3,** a literatura retrata que a técnica de mistura dos resíduos ALF e ADD não é recomendável, pois os resíduos da lavagem dos filtros e dos decantadores apresentam características distintas. Os lodos dos decantadores têm partículas de pequeno tamanho, dificultando a remoção da água livre, para a redução do volume, e a resistência específica do lodo de decantadores é bem maior do que a do lodo da ALF. De acordo com Reali et al. (1999), conforme visto no item 2.10, Capítulo 2, os valores de resistência específica de lodos de decantadores de ETAs estão entre $5{,}0 \times 10^{12}$ a 70×10^{12} m/kg, enquanto os lodos gerados durante a lavagem de filtros apresentam valores desses parâmetros na faixa de $0{,}1$ a 15×10^{12} m/kg. Outro fator que interfere na análise técnica desse sistema é o fato de que a operação de lavagem dos filtros tem freqüência diária. O sistema de desaguamento do lodo deve operar em enchimento, em seguida, ser retirado de operação para desidratação do lodo acumulado.

4.11.1.1 - Verificação da viabilidade técnica das alternativas

A partir dos resultados obtidos na análise técnica, pode-se verificar que as alternativas 1 e 2 se apresentaram tecnicamente viáveis, sendo que a **alternativa 1** comportou-se com maior eficiência e melhor condição de reaproveitamento, com menor tempo de remoção de água livre, maior volume recuperado e, ao mesmo tempo, teve o processo de secagem do lodo mais rápido. Isto não ocorre nas lagoas de lodo, em que a remoção de água presente é realizada com dificuldade, em virtude da concepção desse sistema.

Na **alternativa 3**, sob as condições operacionais descritas anteriormente, verifica-se que o conjunto das três lagoas de lodos se comportam com ineficiência em sua funcionalidade, tornando essa tecnologia tecnicamente inviável.

Na verificação da viabilidade técnica, foram consideradas também as variações do volume armazenado, decorrentes dos períodos chuvosos e secos. No caso em que o manancial de abastecimento se encontra com sua capacidade elevada (período chuvoso), o

reaproveitamento pode não ser viável, ou seja, quanto maior a disponibilidade hídrica menor é a necessidade do reaproveitamento. Para tanto, deve ser levado em consideração o custo de bombeamento, que não deve superar o custo do reaproveitamento.

No caso de ETA que apresenta pouca disponibilidade hídrica e com o manancial de captação distante, o aproveitamento de água de lavagem pode trazer muitas vantagens para o sistema, pois é uma parcela considerável de água aduzida que não será descartada e lançada nos corpos receptores. Além disso, outra parcela deixará de ser captada, tendo como conseqüência a preservação do meio ambiente afetado pelos efluentes das ETAs, como também a conservação na disponibilidade hídrica do manancial, contribuindo na redução de escassez hídrica.

4.11.2 - Análise da viabilidade econômica

4.11.2.1 - Estimativa de custos do projeto-piloto das alternativas propostas

1. Custo de implantação

No Quadro 4.6 se encontram resumidos os custos de implantação do projeto-piloto de sistema de tratamento de água de lavagem para cada alternativa. A Planilha orçamentária para a implantação do STLA se encontra no Anexo A4.

Quadro 4.6 Custo de implantação de cada unidade referente ao projeto-piloto de cada alternativa

Tipo de unidade	Custo de implantação em R$ (nov/2006)		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Tanque de recepção	600,00	600,00	600,00
Sedimentador	50.800,00	50.800,00	-
Leito de secagem	357.100,00	-	-
Lagoa de lodo	-	297.000,00	402.300,00
Sistema de bombeamento	5.400,00	5.400,00	5.400,00
TOTAL	**413.900,00**	**353.800,00**	**408.300,00**

2. Custos operacionais

O custo operacional consistiu no custo anual de energia elétrica, gasta no bombeamento do volume de água que retornará à ETA. Segundo Tsutiya (2004) e Gomes (2005), as despesas de operação nos projetos com sistemas de bombeamento são, de

maneira predominante, relativas aos gastos de energia elétrica das estações elevatórias, podendo ser desprezadas as demais.

O custo anual do consumo de energia elétrica foi calculado para um intervalo de tempo de bombeamento de 8 horas de funcionamento por dia (240 h/mês). Levando-se em consideração o conjunto motor-bomba com um rendimento de 70%, e o preço de energia fornecido pela companhia, de R$ 0,25 por kwh (Anexo A5), com a vazão de retorno correspondente a cada alternativa e altura manométrica de 6 m.c.a. com base nestes dados, pode-se determinar o custo operacional (energia elétrica) para cada alternativa, através da Equação (4.4) (GOMES, 2004). Assim sendo, o Quadro 4.7 apresenta o resultado do cálculo referente ao custo operacional anual para o bombeamento do volume recuperado anual em cada alternativa.

$$\mathbf{Ce} = 9{,}81 \frac{H \times Q}{\eta} \times N \times p \qquad \text{(eq. 4.4)}$$

Onde:

Ce = custo de energia elétrica de bombeamento, em (R$),

Q = vazão de retorno, em m^3/s,

p = preço de energia, em R$/kwh,

N = número de horas de funcionamento de recalque por mês,

H = altura manométrica, em m.c.a e,

η = rendimento esperado do conjunto motor-bomba, valor decimal.

Quadro 4.7 Custo operacional anual em (R$) para cada alternativa

Alternativa	Vazão de Retorno (m^3/s)	Custo anual de operação (R$)
1	0,72	3.633,00
2	0,71	3.572,00
3	0,60	3.027,00

3. Custos de Manutenção

O cálculo do custo de manutenção consistiu no custo de operação de remoção do lodo desaguado, em cada unidade de tratamento da água de lavagem, que deve ocorrer antes da próxima operação de descarga e limpeza, incluindo serviços de transportes e destino final. A quantidade de lodo gerado na ETA empregada no cálculo dos custos de

manutenção foi à estimada através da Equação proposta por Cornweell (1987), cujo valor foi na ordem de 148,23 t/mês, período seco. O custo de manutenção de cada alternativa foi determinado com base no volume de lodo desaguado (lodo seco) a ser removido. O Quadro 4.8, mostra a quantidade mensal de lodo desaguado a ser removido, em cada alternativa, a qual foi determinada em função da eficiência de remoção de lodo das alternativas estudas conforme foi visto no item 4.7.2 deste Capítulo.

Quadro 4.8 Quantidade mensal de lodo desaguado a ser removido da ETA de Gravatá

Alternativa	Produção de lodo (t/mês)
1	14,82
2	22,23
3	29,65

Os trabalhos envolvidos na manutenção do leito de secagem consistiram na remoção manual e mecânica de lodo seco. O tempo de utilização do leito de secagem foi projetado para, no máximo, 30 dias. Os trabalhos considerados na manutenção das lagoas foram: remoção periódica dos sólidos e reparos nos taludes. Como as lagoas requerem mais tempo para secagem do lodo, as condições operacionais deverão ser de forma alternada; portanto, o tempo de utilização das lagoas foi projetado para no máximo 60 dias. A partir do número de decantadores existente na ETA e as condições operacionais de lavagens, o número estimado para manutenção tanto do leito de secagem como das lagoas foi de 1 vez por mês.

Em função da quantidade de lodo a ser removido em cada alternativa, foram estimados, 12 ajudantes para remover o lodo da alternativa 1, 16 para alternativa 2 e 18 alternativa 3, sendo que o número de horas trabalhadas na alternativa 1 foi de 8 horas, na alternativa 2 de 12 e a alternativas 3 com 14 horas para remoção do lodo. Para o enchimento do caminhão (capacidade de 10 toneladas) e transporte do lodo, a uma distância de até 30 km, o custo foi R$ 40,00/hora. A duração dessa operação e os preços unitário dos serviços para cada alternativa se encontram no Quadro 4.9, que também mostra o tempo estimado para os serviços realizados pela retroescavadeira, cujo custo foi de R$ 70,00/hora. Os valores aqui aplicados foram fornecidos pela própria empresa, com base em serviços prestados pela mesma. O Quadro 4.10 apresenta o resumo do custo anual dos serviços de manutenção para cada alternativa.

Quadro 4.9 - Preço unitário para serviços de manutenção para cada alternativa

Operação	Alternativas			Preço unitário (R$/h)
	1	2	3	
Manual (ajudante)	12	16	18	2,50
Transporte (hora)	6	10	12	40,0
Retroescavadeira (hora)	5	8	10	70,0

Quadro 4.10 Custo anual (R$) de manutenção referente a cada alternativa

Serviços	Alternativas		
	1	**2**	**3**
Ajudante	2.880,00	5.760,00	7.560,00
Transporte	2.880,00	4.800,00	5.760,00
Retroescavadeira	4.200,00	6.720,00	8.400,00
Total/ano	**9.960,00**	**17.280,00**	**21.720,00**

A partir dos resultados obtidos nos Quadros 4.6, 4.7, e 4.10, podem-se determinar os custos diretos envolvidos do projeto-piloto de reaproveitamento de água de lavagem na ETA em cada alternativa estudada e estão apresentados no Quadro 4.11.

Quadro 4.11 Custos diretos totais envolvidos no reaproveitamento de água de lavagem para cada alternativa

Alternativa	Custo de reaproveitamento de água de lavagem R$		
	Implantação	Manutenção/ano	Operacional/ano
1	413.900,00	**9.960,00**	3.633,00
2	297.000,00	**17.280,00**	3.572,00
3	402.300,00	**21.720,00**	3.027,00

4.11.2.2 - Estimativas dos benefícios com o reaproveitamento de água de lavagem

1. Benefícios diretos mensais

O benefício direto mensal, com a economia de energia elétrica, foi estimado com base na energia elétrica economizada, que deixa de ser gasta com o volume de água bruta não captada, ou seja, volume recuperado na ETA. A partir dos dados, fornecidos pela CAGEPA, referentes às despesas com energia elétrica na captação e bombeamento de água bruta à ETA (período janeiro a outubro/2006, conforme Anexo A7), obteve-se o custo de bombeamento por metro cúbico captado no manancial, cujo valor foi de R$ 0,10/m³. O benefício referente à economia na compra de água bruta foi determinado com base na redução de volume de água captado, considerando que a CAGEPA compra água bruta ao

DNOCS num valor de R$ 0,010/m³ (valor tomado com base na faixa de valores estabelecidos em empresas nacionais onde já ocorre o processo de cobrança de água bruta).

2. Benefícios de transporte e disposição final

Outro benefício gerado, bastante significativo na avaliação econômica e que interfere na viabilidade econômica da tecnologia do reaproveitamento de água de lavagem, é a redução do volume de resíduos que, conseqüentemente, reduz o custo de transporte e disposição final do lodo. Para o volume de resíduo, estimado de 148,26 t/mês de lodo gerado na ETA de Gravatá, elaborou-se a composição de custo, a qual teve com base os preços (R$/t) obtidos na CAGEPA. Em janeiro de 2007, para a operação/ano, obteve-se um custo de R$ 10,00 (dez) por tonelada, para uma distância de transporte de até 30 km. Considerando as condições do reaproveitamento nas unidades de tratamento de cada alternativa, tais como: a **alternativa 1** deixa de lançar 90% dos resíduos no ambiente; o percentual da **alternativa 2** é de 85%; assim como na **alternativa 3**, 80% dos resíduos não serão lançados no meio ambiente. Desse modo, por meio dos percentuais encontrados, pôde-se determinar a economia de transporte e disposição final do lodo, que representa uma quantia (em reais), proporcionada pelo projeto-piloto do reaproveitamento de água de lavagem. No Quadro 4.12 são apresentados os benefícios diretos mensais, proporcionados pela tecnologia aplicada para o reaproveitamento da água de lavagem.

Quadro 4.12 - Benefícios diretos mensais e anuais no reaproveitamento de água de lavagem

Alternativa	Energia economizada (R$/mês)	Economia na compra de Água Bruta (R$/mês)	Economia de transporte e disposição final do lodo (R$/mês)	Total Anual (R$)
1	5.160,00	516,00	1.334,00	**84.120,00**
2	5.124,00	512,00	1.260,00	**82.752,00**
3	4.350,00	435,00	1.186,00	**71.653,00**

3. Benefícios indiretos mensais

Os benefícios indiretos mensais foram representados pela conservação de água com o reaproveitamento da água de lavagem que reduz o volume de retiradas e, conseqüentemente, aumenta a disponibilidade hídrica, pela economia dos custos relativos à redução dos efluentes lançados no meio ambiente (custo evitado da poluição provocada por lançamento de resíduos no corpo receptor). Há ainda, com a diminuição dos gastos com a

energia elétrica da estação de bombeamento para captação da água bruta, na mesma proporção, uma diminuição no custo de produção da água de abastecimento. Esta economia poderá levar a uma redução na tarifa de água cobrada ao consumidor, assim como à melhoria da imagem da empresa.

A economia de energia elétrica pode gerar também um benefício indireto ambiental, já que as fontes de energia hidroelétrica são vulneráveis e podem levar a racionamentos, causando enormes prejuízos à economia da região.

Outro benefício indireto proporcionado pelo projeto-piloto do reaproveitamento da água de lavagem é a economia de área destinada para disposição final dos resíduos. Sabe-se que a redução do volume dos resíduos é de extrema importância, tendo em vista que um dos grandes problemas, nos dias de hoje, com relação ao gerenciamento de resíduos de ETAs, é a obtenção de área adequada para a construção de aterros sanitários. Nesse aspecto, a economia gerada pela não disposição final do lodo de ETA em aterros sanitários representa benefícios indiretos de conservação do meio ambiente, que podem ser revertidos para a qualidade ecológica da região e para a sociedade em geral.

4.11.2.3 - Verificação da viabilidade econômica das alternativas

A verificação da viabilidade do investimento para o projeto-piloto do sistema de reaproveitamento de água de lavagem foi verificada através a análise dos métodos: VPL, TIR, TRC e relação B/C. Na análise econômica se considerou uma taxa de juros anual "i" de 9% (BNDES, CEF) e uma taxa de aumento da energia "e" de 4% e como se trata de um projeto específico de saneamento, em um sistema já existente, tomou-se um período de alcance do projeto de 10 anos, considerando a vida útil dos equipamentos ou materiais empregados.

A Figura 4.16 apresenta o fluxo de caixa dos custos e benefícios do investimento aplicado na alternativa 1, ao longo dos 10 anos de vida útil do projeto-piloto do sistema de reaproveitamento de água de lavagem de ETA. O investimento inicial de R$ 413.900,00, alternativa 1, incide no instante zero e os custos de manutenção e os benefícios anuais nos finais de cada ano. Como o fluxo de caixa apresenta parcelas crescentes o Valor Presente Líquido (VPL) foi determinado utilizando a Equação (2.12), cujo o valor foi de R$ 129.308,54 para o investimento aplicado na alternativa 1.

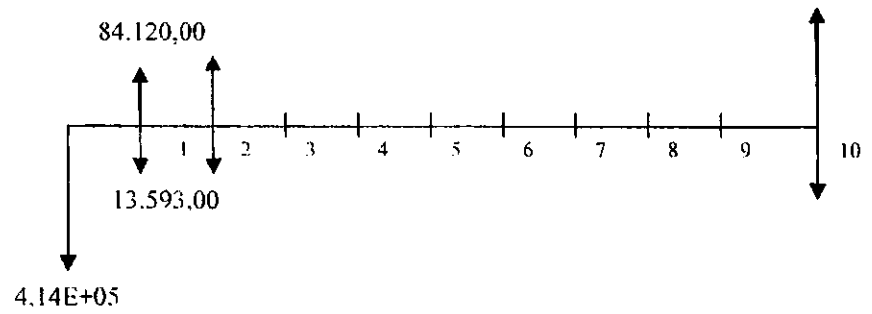


Figura 5.16 – Fluxo de caixa dos custos e benefícios da alternativa 1

O valor da Taxa Interna de Retorno – **TIR** do projeto foi determinado a partir da construção das planilhas representadas pelas Tabelas 4.11, 4.12 e 4.13, para cada alternativa. De acordo com os dados da planilha, representada pela Tabela 5.11, o valor da TIR para **alternativa 1** foi de 15,16 %. Verifica-se ainda na Tabela 4.11 que a relação Benefício/Custo (B/C), para a alternativa 1, é de 1,68 quando o Valor Presente Líquido (VPL) se apresenta em R$ 365.412,32, o que indica que o valor da (B/C) proporciona os benefícios gerados com aplicação da tecnologia do reaproveitamento da água de lavagem, sendo estes maiores do que os custos envolvidos. Assim, como VPL foi maior que zero, a alternativa pode ser considerada atrativa.

Tabela 4.11 - Cálculo dos indicadores econômicos para o empreendimento da **alternativa 1**

investimento	benefício anual	custo anual	"i" (%)	e (%)	n	VPL	B/C
4,14E+05	8,412E+04	1,36E+04	2	4	10	365412,32	1,68
4,14E+05	8,412E+04	1,36E+04	3	4	10	323468,67	1,61
4,14E+05	8,412E+04	1,36E+04	6	4	10	215540,13	1,42
4,14E+05	8,412E+04	1,36E+04	8	4	10	155989,97	1,31
4,14E+05	8,412E+04	1,36E+04	9	4	10	129308,54	1,26
4,14E+05	8,412E+04	1,36E+04	12	4	10	59652,62	1,12
4,14E+05	8,412E+04	1,36E+04	14	4	10	20517,34	1,04
4,14E+05	**8,412E+04**	1,36E+04	**15,16**	**4**	**10**	**0,00**	**1,00**
4,14E+05	8,412E+04	1,36E+04	16	4	10	-13816,58	0,97
4,14E+05	8,412E+04	1,36E+04	18	4	10	-44066,64	0,91
4,14E+05	8,412E+04	1,36E+04	20	4	10	-70128,12	0,85
4,14E+05	8,412E+04	1,36E+04	23	4	10	-105491,87	0,77

A Figura 4.17 apresenta o fluxo de caixa dos custos e benefícios do investimento aplicado para alternativa 2, com o investimento inicial de R$ 297.000,00, incide no instante zero e os custos de manutenção e os benefícios anuais nos finais de cada ano. O Valor Presente Líquido (VPL) foi de R$ 189.370,18 para o investimento aplicado na alternativa 2.

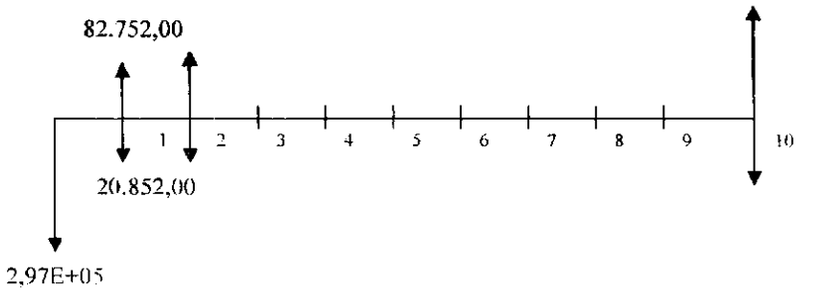


Figura 4.17 – Fluxo de caixa dos custos e benefícios da alternativa 2

Para o projeto-piloto da **alternativa 2**, o valor TIR, foi de 20,83 %, conforme é mostrado na Tabela 4.12, a relação Benefício/Custo (B/C), para essa alternativa, é de 1,83 quando o Valor Presente Líquido (VPL) se apresenta em R$ 402.448,53, o que indica que o valor da (B/C) proporciona os benefícios gerados com aplicação da tecnologia do reaproveitamento da água de lavagem, sendo estes maiores do que os custos envolvidos.

Tabela 4.12 Cálculo dos indicadores econômicos para o empreendimento da **alternativa 2**

Investimento	benefício anual	custo anual	"i" (%)	e (%)	n	VPL	B/C
2,97E+05	8,275E+04	2,09E+04	2	4	10	402448,53	1,83
2,97E+05	8,275E+04	2,09E+04	3	4	10	364570,83	1,77
2,97E+05	8,275E+04	2,09E+04	5	4	10	297168,01	1,65
2,97E+05	8,275E+04	2,09E+04	6	4	10	267150,36	1,59
2,97E+05	8,275E+04	2,09E+04	8	4	10	213430,36	1,49
2,97E+05	8,275E+04	2,09E+04	9	4	10	189370,18	1,44
2,97E+05	8,275E+04	2,09E+04	12	4	10	126587,50	1,31
2,97E+05	8,275E+04	2,09E+04	14	4	10	91335,80	1,23
2,97E+05	8,275E+04	2,09E+04	16	4	10	60424,25	1,15
2,97E+05	8,275E+04	2,09E+04	18	4	10	33202,93	1,08
2,97E+05	8,275E+04	2,09E+04	**20,83**	**4**	**10**	**0,00**	**1,00**
2,97E+05	8,275E+04	2,09E+04	23	4	10	-12235,39	0,97

A Figura 4.18 apresenta o fluxo de caixa dos custos e benefícios do investimento aplicado para alternativa 3, com o investimento inicial de R$ 402.300,00, incide no instante zero e os custos de manutenção e os benefícios anuais nos finais de cada ano. O Valor Presente Líquido (VPL) foi de R$ -24.108,90, (VPL < 0) o que mostra que o investimento aplicado na alternativa 3 pode ser não atrativo. E o valor da TIR, a para o caso do projeto-piloto da alternativa 3 foi de 7,74 %, conforme é mostrado na a Tabela **4.13.**

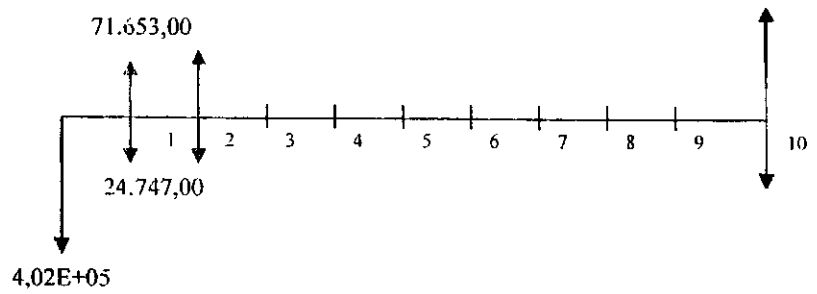


Figura 4.18 – Fluxo de caixa dos custos e benefícios da alternativa 3

Tabela 4.13 - Cálculo dos indicadores econômicos para o empreendimento da **Alternativa 3**

Investimento	beneficio anual	custo anual	"i" (%)	e (%)	n	VPL	B/C
4,02E+05	7,165E+04	2,47E+04	2	4	10	143226,77	1,23
4,02E+05	7,165E+04	2,47E+04	3	4	10	113456,58	1,18
4,02E+05	7,165E+04	2,47E+04	5	4	10	60504,15	1,10
4,02E+05	7,165E+04	2,47E+04	7,735	4	10	0,00	1,00
4,02E+05	7,165E+04	2,47E+04	8	4	10	-5232,59	0,99
4,02E+05	7,165E+04	2,47E+04	9	4	10	-24108,90	0,96
4,02E+05	7,165E+04	2,47E+04	12	4	10	-73335,46	0,86
4,02E+05	7,165E+04	2,47E+04	15	4	10	-100954,14	0,81
4,02E+05	7,165E+04	2,47E+04	16	4	10	-125157,52	0,76
4,02E+05	7,165E+04	2,47E+04	18	4	10	-146458,37	0,71
4,02E+05	7,165E+04	2,47E+04	20	4	10	-165281,85	0,67
4,02E+05	7,165E+04	2,47E+04	23	4	10	-181982,02	0,64

A partir de mudanças feitas nas planilhas eletrônicas (Tabelas 4.11 a 4.13), onde o valor de "n" sofreu a variação de 1 a 15 anos e os outros parâmetros constantes se manteve, pôde-se determinar os valores do Tempo de Retorno de Capital (TRC) referentes a cada alternativa estudada. Os valores do TRC, para a **alternativa 1** foi de 7,22 anos e a **alternativa 2** foi de 5,66 anos, indicaram que o investimento aplicado para essas alternativas é viável, ou seja, os benefícios gerados no projeto-piloto levarão menos de 10 (dez) anos da vida útil do projeto, para se igualar ao custo investido, sendo que a **alternativa 2** apresentou o menor valor de TRC, tornando-se economicamente a melhor alternativa. No caso do projeto-piloto da **alternativa 3,** o valor do TRC, foi de 10,76 anos, apresentou-se um pouco maior do que a vida útil do projeto, demonstrando que o empreendimento aplicado pode ser inviável.

O Quadro 4.13 apresenta o resumo dos resultados da avaliação econômica para a comparação entre as alternativas estudadas. No valor da relação (B/C) se considerou uma taxa de juros de longo prazo aplicado ao saneamento de 9% (BNDES, CEF), aumento de custos operacionais de 4% e vida útil de 10 anos, com a taxa "e". Os valores de TIR e do

TRC correspondem ao momento em que a taxa de juros zera o Valor Presente Líquido (VPL) do projeto. Comparando a TIR com uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) do mercado de 12% ao ano, o valor da TIR para o projeto-piloto da alternativa 2 indica que o empreendimento dessa alternativa apresenta um bom nível de rentabilidade. O que não ocorre o mesmo para o empreendimento da alternativa 3, cujo valor da TIR (7,74) é menor do que a TMA o que pode tornar o projeto sem rentabilidade. Mas, vale salientar que os benefícios indiretos e intangíveis gerados podem contribuir, de forma significativa, para sua atratividade.

Quadro 4.13 – Resumos dos indicadores econômicos aplicados a cada alternativa.

Alternativa	Benefício/Custo	TIR	TRC (ano)	VPL
1	1,26	15,16	7,22	129.308,54
2	1,44	20,83	5,66	189.370,18
3	0,96	7,74	10,76	-24.108,90

O Quadro 4.13 revela que a **alternativa 2** se mostrou como aquela de melhor indicador econômico, apontando que o investimento aplicado à tecnologia de reaproveitamento de água de lavagem representa uma ótima rentabilidade do projeto.

É importante lembrar que os resultados apresentados são específicos para as condições observadas na ETA de Gravatá, sendo que a tecnologia pode ser viável ou não, dependendo das características da ETA, tais como qualidade da água bruta, tipo de coagulante, dosagem de coagulante e localização da ETA em relação ao manancial, que interfere no custo de energia elétrica, assim como distância de transporte e disposição final do lodo.

Assim, o reaproveitamento da água de lavagem em ETAs pode ser viável economicamente ou não, dependendo das condições específicas de cada caso, pois, em cada situação, as variáveis técnicas relativas às condições de operação e as variáveis econômicas, como custo do bombeamento e do transporte e disposição do lodo, serão distintas. Portanto, os resultados obtidos indicaram que o reaproveitamento da água de lavagem da ETA de Gravatá pode ser viável, e isso justifica que ele seja considerado e estudado, para cada caso específico, visando determinar onde pode ser aplicado de forma viável economicamente. Além disso, mesmo que os benefícios econômicos não sejam muito significativos, deve-se considerar que essa é uma alternativa ambientalmente adequada, uma vez que reduz a quantidade de resíduos e reaproveita um recurso natural.

4.11.3 - Avaliação ambiental dos possíveis impactos gerados pela ETA

A avaliação dos impactos ambientais gerados pela implantação e operação do STAL em ETAs, na sua forma qualitativa, representada pela Figura 3.17, evidencia a existência de potencial de impactos negativos, mas, por outro lado, o projeto-piloto proporcionará impactos positivos nas diversas fases da implementação com a operação do seu sistema de modo a assegurar o controle dos impactos e de ações mitigadoras.

Na quantificação dos impactos negativos, decorrentes dos lançamentos *in natura* dos efluentes de ETAs, levou-se em consideração a produção de lodo mensal de resíduos produzidos na estação de tratamento que foi de **4.942,00 kg/dia**, ou seja, **148,26** toneladas de resíduos são produzidas mensalmente na ETA de Gravatá. A partir do Quadro 3.4 construiu-se o Quadro 4.14, que representa uma matriz de correlação entre os principais impactos ambientais e critérios para sua avaliação. O preenchimento da matriz de correlação, conforme Quadro 4.14, foi feito com base nas referências bibliográficas utilizadas para avaliação ambiental, tais como: Brostel et al. (2005), Achon et al. (2005), Cordeiro (2001) e Cordeiro & Campos (1999). No cálculo do grau do impacto ambiental provocado pela ETA, considerou-se que os efluentes da ETA são lançados no meio ambiente (corpo receptor), com o intuito de se adquirir um valor inicial. Dessa forma, foi possível avaliar a viabilidade das alternativas propostas, ou seja, a alternativa que dispõe de um maior grau de minimização dos impactos ambientais.

Apesar da não quantificação de concentração de sulfato de alumínio, metais, sais de ferro e microrganismos, sabe-se que esses parâmetros se encontram nos resíduos de ETAS, conforme descrito na Tabela 2.4 Capítulo 2, e os mesmos podem ocasionar sérios transtornos ao meio ambiente, uma vez que aumentam a toxicidade prejudicial à camada bentônica e a peixes e interferem econômica e socialmente na vida das populações que se beneficiam do recurso hídrico, em especial, na saúde do homem, conforme relatado no 2.13, Capítulo 2.

Quadro 4.14 – Matriz de correlação utilizada para avaliação dos impactos ambientais com lançamento de efluentes de ETAs no meio ambiente.

Impactos negativos potenciais do lançamento "in natura" do lodo proveniente de ETAs	Peso do critério	Severidade do impacto		Nível de Severidade	Natureza do impacto		Nível de atuação	Potencial para mitigação		Nível de reversibilidade	Nível de impactação individual	Nível máximo de impacto ambiental
		Magnitude	Importância		Ocorrência	Abrangência		Reversibilidade	Custo da alteração			
Nome da coluna	P	S_1	S_2	S	A_1	A_2	A	R_1	R_2	R	NI	NR
Aumento da Turbidez												
Redução da camada eufótica	0,4	3	2	2,45	3	3	3,00	3	3	3,00	1,12	2,00
Sombreamento de macrofitas	0,5	3	2	2,45	3	1	1,73	3	3	3,00	1,17	2,50
Soterramento do bentos	0,5	3	2	2,45	3	1	1,73	3	3	3,00	1,17	2,50
Hiperplasia das brânquias dos peixes	0,5	4	3	3,46	2	3	2,45	3	3	3,00	1,47	2,50
Matéria orgânica												
Depleção na concentração do OD	0,6	3	3	3,00	2	3	2,45	3	3	3,00	1,68	3,00
Alteração na biota aquática	0,5	3	3	3,00	3	3	3,00	3	3	3,00	1,50	2,50
Metais pesados alumínio e ferro												
Alterações físicas, químicas e biológicas	0,7	3	3	3,00	3	3	3,00	3	3	3,00	2,10	3,50
Apatia, desânimo e mortalidade dos peixes	0,7	4	4	4,00	3	3	3,00	5	5	5,00	2,74	3,50
Mortalidade da comunidade bentônica	0,8	4	3	3,46	3	3	3,00	5	5	5,00	2,98	4,00
Inibição nos movimentos de pupas	0,6	3	2	2,45	1	3	1,73	5	5	5,00	1,66	3,00
Deficiência renal no ser humano	1,0	5	5	5,00	1	3	1,73	3	5	3,87	3,22	5,00
Doenças cardiovasculares	1,0	5	5	5,00	1	3	1,73	3	5	3,87	3,22	5,00
Degradação da qualidade do ambiente												
Condições estéticas são afetadas	0,5	2	3	2,45	3	1	1,73	3	5	3,87	1,27	2,50
Aumento no custo na recuperação da água	0,3	1	1	1,00	1	3	1,73	3	5	3,87	0,57	1,50
Aumento na tarifa de cobrança da água	0,3	0	1	0,00	1	0	0,00	0	0	0,00	0,00	1,50
Diminuição da potencialização para uso a jusante	0,7	3	3	3,00	1	3	1,73	3	5	3,87	1,90	3,50
Desemprego	0,3	1	1	1,00	1	3	1,73	3	5	3,87	0,57	1,50
Peso total	10,0										**1,67**	**2,91**

Fonte: adaptado de BROSTEL et al., (2005) e ACHON et al. (2005)

Os critérios de pontuação e avaliação dos impactos negativos para o preenchimento da matriz estão no Quadro 3.4 do Capítulo 3. A partir dos resultados da matriz de correlação, pôde-se determinar o nível de severidade ($S = (S_1 x S_2)^{1/2}$). O nível de atuação ($A = (A_1 x A_2)^{1/2}$) e o nível de reversibilidade ($R = (A_1 x A_2)^{1/2}$). Sendo assim, foi possível identificar o grau dos impactos ambientais negativos causados pelo lançamento e disposição final do lodo de ETAs no meio ambiente, a partir dos valores do nível de

impactação individual (NI = $\mathbf{Px(SxAxR)^{1/3}}$) que foi igual 1,67 e ao nível máximo de impacto ambiental (NR = 5xP), foi igual a 2,91, então a relação NI/NR obteve-se o grau de impacto ambiental provocado pelo o lançamento de resíduos da ETA no meio ambiente foi de 57,39%. Com esse resultado, obteve-se uma referência comparativa do grau de impactos dessas unidades e uma definição de um valor inicial mínimo de impacto, uma vez que, qualquer que seja a ETA, ela sempre provocará algum impacto sobre o meio ambiente. Dessa forma, evidenciou-se que a Estação de Tratamento de Água (ETA) de Gravatá produz lodos residuais, resultado do processo de lavagem dos filtros e descarga dos decantadores, os quais, atualmente, são lançados no meio ambiente (barreiro próximo a ETA) e com esse procedimento a ETA apresenta um grau de impacto em torno de 57,39 % em relação às concentrações dos efluentes lançados no meio ambiente. Nesse caso, esse foi o grau referente ao valor inicial mínimo para verificação de viabilidade ambiental com o grau de minimização que cada alternativa estudada proporcionará.

Em visitas *in loco*, verificou-se que a empresa não possui sistema de gestão ambiental implantado. Quanto à geração de rejeitos, observou-se que a produção de resíduos na ETA é um problema enfrentado por essa organização. Sabe-se que o lançamento dos efluentes sem tratamento e sua disposição podem trazer riscos para os usuários desse líquido, não obstante, a crescente preocupação e a regulação sobre a preservação e recuperação da qualidade do meio ambiente, conforme visto no item 2,6 do Capítulo 2. Tem-se restringido ou mesmo proibido o uso deste método de disposição, impondo a procura por alternativas que pouco interfiram no meio ambiente. A partir de informações dos moradores próximo à ETA de Gravatá, no período de descarga de lodo dos decantadores, surgem várias reclamações por parte das comunidades vizinhas à ETA. Vale ressaltar que a disposição final, o lançamento do efluente descartável das ETAs nos corpos d'água, é regido por instrumentos legais de controle ambiental, segundo a Resolução nº 357/2005 do CONAMA. No entanto, a forma de disposição desse efluente não tem merecido a devida atenção por parte das companhias de água e esgotos, por falta de conhecimento mais aprofundado sobre suas características e ações negativas que podem provocar no meio ambiente e cursos de água onde é disposto.

Levando-se em consideração a legislação brasileira vigente, pode–se observar que, no caso estudado, as concentrações desse despejo provocaram degradação na qualidade ambiental, afetando condições estéticas em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos. Assim, de acordo com a Lei 6838, de 31 de agosto de 1981, essa

prática de lançamento fere o artigo 3, incisos II e III e os gerentes de sistemas de tratamento podem ser enquadrados como *"poluidor"*, inciso IV desse artigo.

4.12.3.1 - Verificação de viabilidade ambiental com reaproveitamento da água de lavagem

O Quadro 4.15 mostra os resultados da avaliação de viabilidade ambiental do projeto-piloto do reaproveitamento de água de lavagem para cada alternativa.

Quadro 4.15 – Resultado da avaliação de viabilidade ambiental do projeto-piloto do reaproveitamento de água de lavagem

Alternativas	Preservação dos Corpos Receptores (% de resíduos)	Conservação Recursos Hídricos	Grau de impacto (%)
Alternativa 1	90	51.600,00 m³/mês	10
Alternativa 2	85	51.124,00 m³/mês	15
Alternativa 3	80	43.500,00 m³/mês	20

A partir do Quadro 4.15, verificou-se que todas as alternativas apresentaram um grau de impacto ambiental inferior ao grau de referência, que foi de 57,39 %, o que torna todas as alternativas viáveis no aspecto ambiental. Em outras palavras, a tecnologia do reaproveitamento de água de lavagem é uma medida capaz de diminuir a gravidade dos impactos negativos, causados pelo lançamento dos resíduos de ETAs no ambiente, e de potencializar os impactos positivos.

Verificou-se, ainda, que a alternativa que melhor se comportou como ação mitigadora na compensação de danos ambientais foi a **alternativa 1**. Levando em conta a legislação brasileira vigente, pode-se observar que as concentrações desse despejo provocam degradação da qualidade ambiental, afetando condições estéticas e lançando materiais em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos. Além desses aspectos, as Leis 6.938, de 31 de agosto de 1981 – "Política Nacional do Meio Ambiente", 9.433, de janeiro de 1997 – "Política Nacional dos Recursos Hídricos", e 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 – "Crimes Ambientais", trazem em seus conteúdos condições que deverão exigir nova postura dos gerentes dos sistemas de tratamento de água diante dos resíduos gerados e sua disposição no meio ambiente.

Face às exigências, cada vez maiores, da sociedade no que tange a questões ambientais, a decisão da necessidade de implantação de sistemas de recuperação de águas de processo e de tratamento e de disposição final dos resíduos da ETA não passa

obrigatoriamente pela viabilidade econômica do empreendimento, mas sim pelo aspecto da preservação ambiental.

4.13 - Avaliação ambiental a partir de avaliação de riscos ambientais

A partir do preenchimento do Quadro 4.16, composto pelos fatores de intervenção ambiental em função de cada operação e dos seus fatores de riscos ambientais, pode-se distinguir as intervenções com efeitos críticos sobre o meio ambiente daquelas cujos efeitos poderiam ser desprezados com aplicação de tecnologia do reaproveitamento de resíduos e sua disposição final adequada. Desta forma, a empresa apresentará um panorama mais adequado ao seu processo produtivo. Identificou-se no fluxo produtivo de água, que a operação de lavagem e descargas dos decantadores representa a etapa do processo de maior potencial de impacto sobre o meio ambiente. Observou-se, na matriz de avaliação de risco, que três intervenções ambientais possuem efeito crítico sobre o meio ambiente, sendo uma do efluente de lavagem dos filtros, que provoca o aumento da turbidez, e duas da operação de descarga dos decantadores provocados pelo aumento da turbidez e metais pesados. Outro aspecto relevante é que praticamente todas as intervenções provocam um aumento na quantidade de resíduos que a empresa necessita dispor em aterro sanitário ou outra disposição final.

Quadro 4.16 – Fatores para avaliação ambiental na operação do processo produtivo de água

Operação	**Rejeitos da ETA**	**Intervenção ambiental**	**Meio impactado**	**Riscos ambientais**		
				(G)	**(FO)**	**(P)**
Lavagem dos filtros	Efluente líquidos	•Aumenta a turbidez •Metais pesados	Água Solo Ar	3 2 1	5 2 2	Crítica Reduzida Desprezível
Lavagem dos decantadores	Descarga de lodo	•Aumenta a turbidez •Metais pesados •Aumento de material disposto no solo e sua contaminação •Emissões de gases	Água Solo Ar	4 4 3	3 3 2	Crítica Crítica Significativa

4.12 - Aplicação de modelo de análise multicriterial desenvolvido

4.12.1 - Resultados da análise multicriterial

O Quadro 4.17 apresenta a porcentagem da eficiência do sistema de tratamento de cada alternativa. Para se obter essa porcentagem, procurou-se adotar valores fornecidos pela literatura citada no item 4.8.2 (tempo de secagem e concentração de sólidos) e determinados neste estudo (redução de perdas), como é mostrado no Quadro 4.17.

Quadro 4.17 – Porcentagem da eficiência do sistema de tratamento de cada alternativa

Tempo de secagem	Concentração de sólidos	Redução de perdas	(%) Eficiência
TS < 7 dias	**CS** ≥ 50 %	RP ≥ 2,08 %	100
7 < **TS** ≤ 20 dias	30 ≤ **CS** < 50 %	1,90% ≤ **RP** < 2,08%	90
20 < **TS** ≤ 40 dias	20 ≤ **CS** < 30 %	1,70% ≤ **RP** < 1,90%	80
40 < **Ts** ≤ 60 dias	10 ≤ **CS** < 20 %	1,50% ≤ **RP** < 1,70%	60
60 < **Ts** ≤ 80 dias	5 ≤ **CS** < 10 %	1,00% ≤ **RP** < 1,50%	40
Ts > 80 dias	**CS** < 5 %	**RP** < 1 %	20

O Quadro 4.18 apresenta os resultados obtidos do cálculo dos elementos de projeto- piloto, para análise multicriterial, considerando a implantação do sedimentador, do leito de secagem, do conjunto de duas lagoas em paralelo e um conjunto de três lagoas em paralelas.

Quadro 4.18 – Resultados dos cálculos dos elementos de projeto-piloto para análise multicriterial

Alternativa	Técnico			Econômico			Ambiental	
	Eficiência do sistema (%)	Área requerida (m^2)	Manutenção (mês) *	B/C	TIR	TRC	Redução de volume	Impacto ambiental
1	83,33	2.480,0	1	1,23	15,16	7,22	90 %	10 %
2	66,67(%)	4.240,0	1	1,44	20,83	5,66	85 %	15%
3	*60,00(%)*	*4.500,0*	*1*	*0,96*	7,74	*10,76*	*80 %*	*20%*

* manutenção nas unidades ocorrerá alternadamente a cada 30 dias.

Após determinados os pesos reais para os critérios e respectivas categorias, foi realizada uma média dos pesos dos critérios relacionados ao mesmo objetivo, para cada alternativa. Logo, realizou-se uma média dos pesos reais desses três critérios que resultou em um peso geral, como é mostrado nos Quadros 4.19, 4.20 e 4.21. Em função dos resultados obtidos nos Quadros 4.19, 4.20 e 4.21 elaborou-se o Quadro 4.22, que apresenta os resultados dos pesos gerais obtidos para cada alternativa.

Quadro 4.19 – Cálculo do peso geral para o objetivo técnico para cada alternativa.

Objetivo técnico			
Critério	Pesos reais		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Eficiência do sistema	0,8	0,6	0,6
Área requerida	0,6	0,4	0,4
Manutenção	0,8	0,6	0,6
Média dos pesos (Peso geral)	**0,73**	**0,53**	**0,53**

Quadro 4.20 – Cálculo do peso geral para o objetivo Econômico para cada alternativa.

Objetivo econômico			
Critério	Pesos reais		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Taxa Interna de Retorno	0,8	**1,0**	0,2
Tempo de Retorno do Capital	0,8	**1,0**	0,2
Relação B/C	0,4	0,8	0,2
Média dos pesos (Peso geral)	**0,7**	**0,9**	**0,2**

Quadro 4.21 – Cálculo do peso geral para o objetivo ambiental para cada alternativa.

Objetivo ambiental			
Critério	Pesos reais		
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Redução de volume	**0,8**	0,6	0,6
Minimização de impactos	0,8	0,6	0,6
Média dos pesos (Peso geral)	**0,8**	**0,6**	**0,6**

Quadro 4.22 – Pesos gerais dos objetivos, para cada alternativa

Aspectos	**Alternativa 1**	**Alternativa 2**	**Alternativa 3**
Técnico	**0,53**	0,40	0,40
Econômico	0,70	**0,90**	0,20
Ambiental	**0,80**	0,47	0,47

A partir do Quadro 4.22, pode-se verificar que a **alternativa 2** se apresentou economicamente rentável; a **alternativa 1** com pouca rentabilidade, e a **alternativa 3** sem rentabilidade (peso 0,2), ou seja, é uma solução economicamente inviável. Quanto ao aspecto ambiental, as **alternativas 2 e 3** se apresentaram com baixa viabilidade, ao mesmo tempo em que a **alternativa 1** se comportou como uma solução com alta viabilidade (peso 0,8). Verificou-se ainda que todas as alternativas apresentaram pouca viabilidade técnica (peso geral variando de 0,3 a 0,5).

4.14.4 Seleção das alternativas por simulação do modelo multicriterial

Foram realizadas 6 simulações, variando de acordo com a ordem preferencial para cada caso, alterando os pesos preferenciais dos objetivos, de modo a verificar a alternativa tecnológica selecionada para cada ordem preferencial. Os resultados das simulações estão apresentados no Quadro 4.23 e os pesos somatórios se encontram na Figura 4.19.

Quadro 4.23 - Resultados das simulações na ordem preferencial dos objetivos

Simulação	Objetivos	Pesos preferenciais	Pesos das Alternativas		
			1	2	3
1°	Econômico	50	35,0	45,0	10,0
	Técnico	30	15,9	12,0	12,0
	Ambiental	20	16,0	9,4	9,4
2°	Técnico	50	26,5	20,0	20,0
	Econômico	30	21,0	27,0	6,0
	Ambiental	20	16,0	9,4	9,4
3°	Ambiental	50	40,0	23,5	23,5
	Econômico	30	21,0	27,0	6,0
	Técnico	20	10,6	8,0	8,0
4°	Econômico	50	35,0	45,0	10,0
	Ambiental	30	24,0	14,1	14,1
	Técnico	20	10,6	8,0	8,0
5°	Técnico	50	26,5	20,0	20,0
	Ambiental	30	24,0	14,1	14,1
	Econômico	20	14,0	18,0	4,0
6°	Ambiental	50	40,0	23,5	23,5
	Técnico	30	15,9	12,0	12,0
	Econômico	20	14,0	18,0	4,0

Os valores das três últimas colunas (pesos das alternativas) correspondem ao resultado da multiplicação da média total dos pesos gerais de cada objetivo estudado (Quadro 4.22) pelo peso preferencial. Em seguida, foi feita a somatória dos pesos do conjunto dos objetivos para cada simulação. A alternativa selecionada corresponderá àquela que apresentará o maior somatório de pesos para o conjunto dos objetivos.

A Figura 4.19 apresenta os resultados da seleção das alternativas por simulação do modelo multicriterial, demonstrando que o método multicriterial aplicado se mostrou eficaz para o estudo e serviu como modelo suporte de decisão para selecionar a melhor alternativa. Na classificação das alternativas através da somatória dos pesos em cada simulação realizada, de acordo com a ordem de preferências dos objetivos, tem-se a **Alternativa 1** (sedimentador com leito de secagem). Ela ocorreu na terceira simulação e

foi selecionada com maior somatória de pesos (71,6). Apesar de ter pouca rentabilidade, a alternativa apresenta alta viabilidade no aspecto ambiental e é também tecnicamente viável. Observa-se ainda na Figura 4.21 que, na sexta simulação, o modelo selecionou mais uma vez a proposta da **alternativa 1**, segunda medida com maior somatório dos pesos (69,9), por ser uma tecnologia ambientalmente viável e apresentar viabilidade econômica e técnica-operacional.

A quarta simulação teve como ordem de preferência primeiramente o objetivo econômico, seguido do ambiental e técnico, conforme mostra o Quadro 4.23. A alternativa selecionada foi a **alternativa 2** (sedimentador com o conjunto de duas lagoas) que se apresentou na terceira medida de maior somatório dos pesos (67,1). Apesar de ser economicamente viável, a alternativa apresenta um baixo nível técnico-operacional.

A medida com menor somatório dos pesos ocorreu na primeira simulação (31,4) e foi a **Alternativa 3** (conjunto com três lagoas), que, além de ser inviável economicamente, por ser um investimento sem rentabilidade, apresenta baixa redução de volume de água, por ter pouca viabilidade técnica (baixo nível de condições operacionais e funcionalidade do projeto- piloto). Verifica-se que esse fato teve ocorrência em todas as simulações.

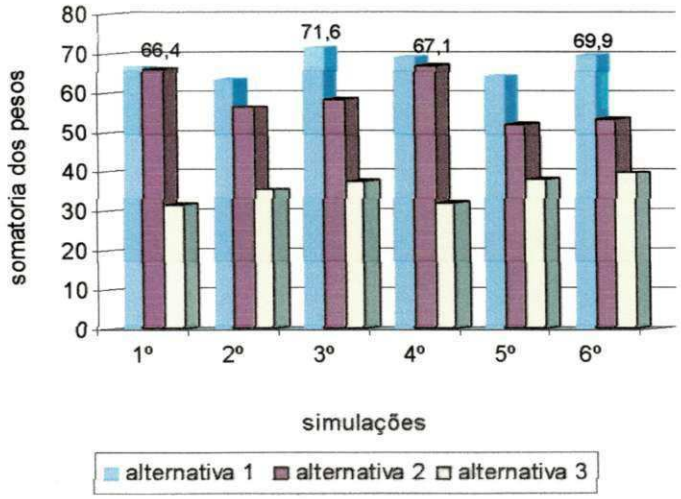


Figura 4.19 – Resultados das seis simulações do modelo multicriterial para as alternativas estudadas.

Por fim, para tomada de decisão sobre a melhor alternativa, chegou-se à conclusão que a escolha quanto à tecnologia a ser adotada para o reaproveitamento da água de lavagem de ETA deve ser fundamentada por um equilíbrio entre aspectos técnicos,

econômicos e ambientais, com a avaliação dos méritos quantitativos e qualitativos de cada alternativa proposta. Se a decisão quanto ao aspecto econômico pode parecer relativamente simples, o mesmo não pode ocorrer quanto aos pontos técnicos e ambientais, que são, em grande parte das vezes intangíveis, e, num grande número de situações, a decisão final pode assumir um caráter de subjetividade. Para que a escolha conduza realmente à alternativa mais adequada para a configuração em avaliação, critérios ou pesos devem ser atribuídos a diversos aspectos, vinculados essencialmente à realidade em foco. Não há fórmulas generalizadas para tal, e o bom senso, ao se atribuir a importância relativa a cada aspecto técnico ou ambiental, é essencial. Face às exigências cada vez maiores da sociedade no que tange às questões ambientais, a decisão da necessidade de implantação de sistemas de recuperação de águas de processo e de tratamento e disposição final dos resíduos da ETA não só passa obrigatoriamente pela viabilidade econômica do empreendimento, mas também pelo aspecto técnico e pela preservação ambiental.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Por meio da pesquisa desenvolvida, podem-se extrair as principais conclusões, tomando como referência os objetivos estabelecidos nesta tese e os resultados alcançados, a partir da metodologia utilizada. Assim, a seguir são apresentadas as conclusões no que diz respeito aos seguintes aspectos: das atividades de funcionamento da ETA de Gravatá; das alternativas propostas para o reaproveitamento; da análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental e da tomada de decisão da melhor alternativa.

- Há evidência de que o processo de tratamento tende a sofrer grandes variações sazonais, ao longo das estações do ano, em função da qualidade de água bruta do manancial e da conseqüente geração de resíduos, que influencia na periodicidade de lavagem das unidades da ETA, com uma maior freqüência de lavagem para os decantadores em períodos chuvosos do que na estiagem. Tal fato influencia as formas potenciais de reaproveitamento de água, assim como, essas formas, dependem também das características da água de lavagem, do nível de tratamento a ser aplicado e das condições técnicas, econômicas e ambientais locais.

- Os resíduos gerados nos decantadores e filtros são, atualmente, descartados em terreno próximo à ETA, podendo estar infringindo a legislação de controle de poluentes, não havendo por parte dos gerenciadores grandes preocupações com essa prática.

- O balanço hídrico da ETA apontou um percentual de volumes gastos de 2,14%, sendo que 1,73 % correspondem ao volume de água de lavagem dos filtros, 0,35 % derivada da descarga e limpeza dos decantadores e floculadores e o percentual restante corresponde a perdas físicas.

- A caracterização da água de lavagem da ETA mostrou-se que, por razões técnicas, os resíduos líquidos gerados na ETA devem ser submetidos a um prévio tratamento, onde o efluente tratado dará maior segurança na qualidade da água que retornará ao processo de tratamento.

- O volume de água a ser recuperado mensalmente na ETA de Gravatá/PB foi da ordem de 51.600 m³, representando um percentual de 2,08 % em relação ao volume de água tratada, volume suficiente para abastecer uma população de 8.519 habitantes, com um consumo *per capita* de 200 l/hab/dia.

- O reaproveitamento das águas de lavagem em ETA, além de evitar um dano ambiental, constitui-se em uma alternativa para redução dos custos e para o aumento da produção de água tratada, o que é especialmente importante em regiões cujo aumento na capacidade de produção é muito oneroso, devido à escassez de mananciais próximos ao centro consumidor e nos casos em que a disponibilidade de recursos humanos e tecnológicos é capaz de assegurar a rigidez da operação com a minimização dos riscos. Contribui também na habilitação para receber incentivos e coeficientes redutores dos fatores da cobrança pelo uso da água, bem como, traz benefícios intangíveis, acarretando um aumento na eficiência do sistema e melhoria da imagem da empresa, proporcionando um beneficio político.

- A análise técnica do projeto-piloto mostrou-se com viabilidade de funcionamento do sistema, evidenciando o fato de que quanto melhor forem atendida as condições operacionais estabelecidas, mais eficientemente o sistema de recuperação de água de lavagem poderá ser otimizado, visando ao seu reaproveitamento integral.

- A pesquisa revelou a existência de viabilidade técnica na clarificação por sedimentação da água de lavagem dos filtros, e que pode ser encaminhada para o sedimentador que, após duas horas, já se encontra clarificada e podendo ser recirculada para o início do tratamento. E a água livre proveniente do sistema de desaguamento pode ser totalmente recuperada.

- As alternativas propostas requerem um estudo sobre as condições climáticas da região e exigem disponibilidade de área interna ou externa à ETA, desde que apresentem condições de uso.

- Os custos de energia elétrica envolvidos no tratamento de água é um ponto importante para que a gestão do sistema possa fazer um balanço dos custos envolvidos. Os custos de energia elétrica derivada do bombeamento de água bruta podem se prestar ao papel de indicadores para reaproveitamento de água de lavagem.

UFCG/BIBLIOTECA

- A **alternativa 2** se mostrou como aquela de melhor indicador econômico, apontando o menor valor de TRC (Tempo de Retorno de Capital), que foi de 5,66 anos, tornando-se economicamente a melhor alternativa. O valor TIR (Taxa Interna de Retorno) com uma duração do Projeto de 10 anos, foi de 20,83 %, valor esse maior do que a TMA. A relação Benefício/Custo (B/C), para essa alternativa, foi de 1,44, quando o Valor Presente Líquido (VPL) se apresentou em R$ 189.370,18.

- A TIR da **alternativa 1** foi de 15,16 %, sendo bem próximo ao valor da TMA, o que pode tornar o projeto pouco rentável. Mas, vale salientar que os benefícios indiretos e intangíveis gerados podem contribuir, de forma significativa, para sua atratividade. A relação Benefício/Custo (B/C), para essa alternativa, foi de 1,26 o que indica que o valor da (B/C) proporciona benefícios gerados, com aplicação da tecnologia do reaproveitamento da água de lavagem, maiores do que os custos envolvidos. O valor de TRC que foi de 7,22 anos e o Valor Presente Líquido (VPL) se apresentou em R$ 129.308,54, a alternativa se mostrou atrativa.

- A **alternativa 3**, conjunto com três lagoas, comparando com as outras, mostrou-se um investimento com pouca rentabilidade. O seu custo de instalação e operacional apresentou-se mais elevado, com baixa redução de volume de água, por ter pouca viabilidade técnica, e com baixo nível de condições operacionais e funcionalidade do projeto-piloto.

- O lançamento de resíduos diretamente ao meio ambiente pode provocar danos e, nesse caso, a ETA apresentou um grau de impacto estimado em torno de 57,29 %, em relação às concentrações dos despejos descartados no meio ambiente. Assim, deve-se exigir da gestão uma nova postura frente a essa situação.

- O projeto-piloto de cada alternativa se mostrou ambientalmente viável pelo fato de que a tecnologia aplicada pode contribuir para minimizar a gravidade dos impactos negativos, causados pelo lançamento dos resíduos da ETA no ambiente, e potencializar os impactos positivos, tais como, preservação do meio ambiente e conservação na disponibilidade hídrica.

- A utilização de sedimentador junto com leitos de secagem, em conjunto, apresentou-se como melhor alternativa (**alternativa 1**) nos aspectos técnico e ambiental,

constituindo numa alternativa essencialmente importante para a ETA de Gravatá, que se encontra numa região com pouca disponibilidade hídrica e manancial de captação distante da ETA. Com essa tecnologia de reaproveitamento aplicada, é possível recuperar cerca de 619.200 m³ de água ao ano. Considerando um custo unitário de R$ 1,00 cobrado por metro cúbico do volume de água produzido, sem percentual de impostos, o volume reaproveitado representa uma receita adicional à empresa de abastecimento de R$ 619.200,00 ao ano. A partir dos resultados obtidos na análise multicriaterial, o presente estudo conclui que a **alternativa 1** se apresentou a mais adequada para a configuração em avaliação.

RECOMENDAÇÕES

Considerando as conclusões anteriores e as análises efetuadas, são apresentadas as seguintes recomendações:

- O presente estudo pode ser replicado em várias situações de gestão de resíduos gerados em ETAs, desde que seja realizada uma avaliação operacional mais aprofundada para cada caso, pois os resultados apresentados são específicos para as condições observadas na ETA de Gravatá, sendo que a tecnologia pode ser viável ou não, dependendo das características da ETA, tais como: qualidade da água bruta, tipo e dosagem de coagulante, condições operacionais, inclusive lavagem dos decantadores e filtros, características topográficas da área e localização da ETA em relação a distância do manancial, que interfere no custo de energia elétrica, assim como, na distância para transporte e disposição final do lodo.

- Para uma análise mais consistente, recomenda-se considerar os custos e benefícios envolvidos no sistema de reaproveitamento de água de lavagem, assim como o retorno de investimento, que proporcionará, ao administrador, informações seguras quanto à viabilidade do empreendimento.

- Para sistemas com descargas diárias de lodo, são necessários estudos mais aprofundados em função do arranjo a ser adotado, uma vez que os resíduos dos decantadores terão teores de sólidos muito baixos e poderiam estar sendo lançados no sedimentador em conjunto com a água de lavagem de filtros.

- É necessário realizar um estudo científico, com base em uma metodologia e coletas de dados meteorológicos, para a real avaliação da viabilidade de implantação de sistemas como lagoas e leitos em cada região.

- Existe a necessidade para ETAs convencionais de se trabalhar com os resíduos de decantadores e filtros separadamente, com processos específicos de tratamento.

- Sejam elaborados estudos de custos de instalação e operação comparados, principalmente, com os sistemas mecânicos. Assim como a possibilidade do uso de polímero aplicado para clarificação dos efluentes descartáveis da ETA para o seu reuso.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ACHON, C. L.; BARROSO, M. M. CORDEIRO, J. S.; FONTANA, A. O. Métodos naturais de minimização de lodo de estação de tratamento de água. In: III Congresso Brasileiro: ICTR 2006, São Pedro - SP. p. 01-10.

ACHON, C. L. CORDEIRO, J. S.; BARROSO, M. M. Desempenho de leitos de drenagem para desaguamento de lodos de ETA que utilizam diferentes coagulantes , considerando as variáveis climáticas. In: 23° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande - MS. ABES, 2005.

ACHON C. L.; SOARES L. V.; MEGDA C. R. Impactos ambientais provocados pelo lançamento "in natura" de lodos provenientes de estações de tratamento de água. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23. Campo Grande, MS. ABES, I-020 2005.

ACHON, C. L. CORDEIRO, J. S. Utilização de indicadores de desempenho para gerenciamento de sistema de tratamento de água. In: 23° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande - MS. ABES, 2005.

_____ Gerenciamento de lodos de ETAs remoção de água livre através de leitos de secagem e lagoas. In: 21 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinvile SC, ABES. 2003.

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Volume do Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), 2004 e 2005. Dados disponíveis em: <www.aesa.pb.gov.br/> Acesso em: 08 jul. 2005.

_____ - Volume do Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão). Dados Disponíveis em: <www.aesa.pb.gov.br/> Acesso em: 08 abr. 2006.

ALBUQUERQUE, T. M. A. Seleção multicriterial de alternativas para o gerenciamento da demanda de água na escala de bairro. 2004. Dissertação de mestrado do curso de engenharia civil - Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande/PB.

ALMEIDA, A. R.; ANTONIO DA SILVA A. S.; CAMURI, R. Programa de Controle e Gestão de Perdas do SAAE Barra Mansa - RJ In: XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa ABES, CD-ROM, 2001.

ALVES W. C.; GONÇALVES E.; SANCHEZ, G.J.; NIIDA, O. I. Macromedição. Ministério do Planejamento e Orçamento, Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água PNCDA – Documento Técnico de Apoio D2, Brasília. 2004.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Washington, 19 ed.1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) NBR 10.004 – Dispõe sobre a definição e classificação dos Resíduos Sólidos 2004.

_____ (ABNT) NBR 12216: Projeto de Estação de Tratamento de Água. Rio de Janeiro, Brasil, 1992.

AZEVEDO NETTO J. M. et. al., Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água. vol. 2 3ª ed. CETESB. Sao Paulo. 1987.

AWWA. American Water Works Association.Water quality & treatment – a handbook of community water supplies. American Works Association 5° ed., 1999.

_____ Landfilling of water treatment plant coagulant sludge's. EUA: AWWARF, 1992.

_____ Coagulant recovery: a critical assessment. EUA: American Water Works Association Research Foundation, 1991.

_____ Water quality & treatment – A handbook of community water supplies. American Works Association 5° ed., 1998.

_____ Procedures manual for polymer selection in water treatment plants. American Water Works Association Research Foundation, Denver, 216 p. 1989.

_____ Research needs of alum sludge discharge, American Water Works Association. Research Foundation, Journal JAWWA. Denver, Vol. 79, n° 6, p. 99-104 jun,1987.

_____ Committee report, Water Treatment Plants Sludges – An Update of the state of the art: part 1. JAWWA, v. 70 n. 9, 1978, p489-503.

BARBOSA, R. M. Avaliação do impacto de efluentes (lodos) de Estações de Tratamento de Água à biota aquática através de testes de toxicidade. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2000.

BARROSO, M. M. Problemática dos metais e sólidos no tratamento de água (Estação Convencional de Ciclo Completo) e nos resíduos gerados. São Carlos. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 2002.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Produção de sólidos em ETAs estudo de caso – ETA São Carlos (São Paulo/Brasil), Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental, 28., Cancun, México, 2002.

BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J. S. Metais e sólidos: Aspectos legais dos resíduos de estação de tratamento de água. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21. *Anais...* João Pessoa: ABES, 2001. CD-ROM.

BERENHAUSE, C.J. B., A Importância de Macromedição. In. Seminário Internacional Sobre Programas de Redução e Controle de Perdas em Sistema de Abastecimento de Água, 2002, Recife-PE.

BIDONE, F.R.A.; CASTRO, C.M.B.; ABOY, N. Monitoramento de parâmetros físico-químicos de lodos de ETAs durante a sua desidratação em leitos de secagem com

diferentes espessuras de leito drenante. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 18. Rio de Janeiro. Anais. ABES, 1999.

BIO – Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente. Ano XV nº 38 abril/junho de 2006, p16.

BRAGA, C. F. C.; RIBEIRO, M. M. R. Avaliação por múltiplos critérios e decisores de alternativas de gerenciamento da demanda de água. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 37-49, 2006.

BRASIL. Resolução Nº 357 de 17 de Março de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA Ministério do Meio Ambiente, 2005.

BRASIL Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Mordenização do Setor de Saneamento PMSS. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento SNIS. Diagnostico dos serviços de água e esgotos. Brasília, 2004. V.2.

BRASIL. Criação da Agência Nacional d Águas ANA: Lei nº 9.984, de 17 julho de 2000.

BRASIL. Crimes Ambientais: Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998.

BRASIL. Política Nacional dos Recursos Hídricos: Lei nº 9.433, 8 de janeiro de 1997.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. São Paulo, Atlas. 1988.

BRASIL. Política Nacional do Meio Ambiente: Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.

BRASIL. Código Nacional de Águas. Decreto – Lei nº 24.642/1934.

BREGA FILHO, D. & MANCUSO, P. C. S. Conceito de Reuso da Água. In: Reuso de Água.: Capítulo 2. Eds. P. C. Sanches Mancuso & H. Felício dos Santos. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. São Paulo. 2002.

BRINK, N.C.P.; FREITAS, J.G.; FEREIRA FILHO, S. S.; Desaguamento mecânico de lodos de estação de tratamento de esgotos em conjunto com lodos de estação de tratamento de água. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, Campo Grande ABES, 2005.

BROSTEL, R. C.; SOUZA, M. A. A. Uma proposta para avaliação do grau de impacto ambiental provocado por estações de tratamento de esgotos. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23 Campo Grande, set., I 205 2005.

CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba, Unidade de Negocio da Borborema UNB – Diretoria de Operação e Manutenção Departamento de Controle Operacional - Divisão de Macromedição Campina Grande-PB. Relatório Mensal de Volume Bombeado na E.E.A.B. de Boqueirão e E.E.A.T. de Gravatá. 2005.

_____ – Gerência de Divisão de Tratamento e Controle de Qualidade, Boletim Mensal de Análises. 2006, Campina Grande-PB.

_____ – Gerência de Divisão de Tratamento e Controle de Qualidade, dados de volume de descarga e lavagem dos filtros, decantadores e floculadores, anos 2004, 2005 e 2006, Campina Grande-PB.

_____– Diretoria de Operação e Manutenção Departamento de Controle Operacional - Divisão de Macromedição Campina Grande-PB relatório mensal 2003.

CÁNEPA, E. M., PEREIRA, J. S.; LANNA, A. E. A Política de recursos hídricos e o princípio usuário-pagador (PUP). Revista Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, v. 4 n.1, p.103-117, 1999.

CARNEIRO, G.A.; BARBOSA, R. F. M.; SOUZA, M. A.A. Tecnologia apropriada em saneamento: Uma nova abordagem com emprego de análise multiobjetivo e multicritério. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21 João Pessoa ABES, 2001.

CARNEIRO SILVA, O. L., GOMES H. P. Viabilidade técnica, econômica e ambiental no reaproveitamento de água de lavagem de ETAs. In: 24 Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, Belo Horizonte, MG, 2007.

CASTRO, A. A; et. al. O Problema da caracterização qualitativa e quantitativa dos efluentes gerados nas estações de tratamento de água – O caso da unidade de tratamento e recuperação de resíduos – UTR do sistema de Rio das Velhas. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental,19. Foz do Iguaçu. Brasil. Anais Eletrônicos II – 059, 1997.

COELHO, A C. Manual de Economia de água. Recife: Comunigraf, 2001, xvi, 264 p.

COELHO, A C. Medição de Águas, Política e Prática. Manual de consulta. Recife, Comunicarte, 1996, p. 27-29.

CONEJO, J.G.L; LOPES, A. R. G. e MARCKA, E., Medidas de redução de Perdas – Elementos para planejamento. MPO/PNCDA (Ministério do Planejamento e Orçamento, Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água). Brasília, 1999.

CORDEIRO, J. S. Processamento de lodos de estação de tratamento de água ETAs. In: ANDREOLI, C. V. (Coord). *Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final*. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, 2001.

CORDEIRO, J. S. Gerenciamento de Lodo de ETAs – Remoção de água, através de leitos de secagem e codisposição da fase sólida em matrizes de cimento e resíduos da construção civil. São Carlos: UFSCar /FINEP: Relatório Técnico PROSAB 2. 2000. 145 p.

CORDEIRO, J. S. Importância do Tratamento e Disposição Adequada dos Lodos de ETAs. In: REALI, M. A. P. (coord.) *Noções Gerais de Tratamento de Disposição Final de Lodos de ETA*. Rio de Janeiro: ABES / PROSAB, 1999.

CORDEIRO, J.S.; CAMPOS, J.R. O impacto ambiental provocado pela indústria da água. Revista Saneamento Ambiental, São Paulo, ano X, n.50, março/ abril, p.52-57, 1999.

CORDEIRO. J. S. O problema dos lodos gerados em decantadores de Estações de Tratamento de Água. São Carlos. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. 1993.

CORNWELL, D.; MUTTER, R. N.; VANDERMEYDEN, C. Commercial application and marketing of water plant residuals. AWWARF, AWWA, 2000.

CORNWELL, D.A LEE, R.G. Water Stream recycling: Its effect on water Quality. American Water Works Association Journal JAWWA. EUA, Vol. 86, nº 11, Nov. 1994.

CORNWELL, D.A. Water treatment plant management. Denver, American Water Works Association Research Foundation, 308p, 1987.

DI BERNARDO, L. Métodos e técnicas de tratamento de água - V. I e II. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

DI BERNARDO, L. (coord.) et al. Tratamento de água para abastecimento por filtração direta. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro. 2003.

DI BERNARDO, L. SCALIZE, P. S., SOUZA FILHO A. G. Água de lavagem de filtros rápidos. In: REALI, M. A. P. (Coord.) *Noções gerais de tratamento de disposição final de lodos de ETA*. ABES-RJ / PROSAB, 1999.

DRISCOLL Jr., C.T., LETERMAN, R. D.; FICH, D.E. Residual aluminumin filtered water. AWWARF, Denver, 71p. 1987.

EPA - USEPA United States Environmental Protection Agency Economic Analysis for the Filter Backwash Recycling Rule. 816-R-D1-020, July 2001.

EPA - USEPA United States Environmental Protection Agency. Manual Guidelines for Water Reuse, 1999, Disponível em http//:www.epa.gov/ORD/NRMRL. Acesso em 25/04/2005.

FERNANDEZ, A.N.; FERREIRA FILHO, S. S. Balanço de massa e produção de lodo da Estação de Tratamento de Água do Alto da Boa Vista - SABESP. In: 22 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville: ABES, 2003. v. 1. p. 1-10.

FERREIRA FILHO. S. S.; LAJE FILHO, A.F., Redução de Perdas e tratamento de lodo em ETA – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA DTA - D4, Brasília, 1999.

FERREIRA FILHO. S.S.; ALÉM SOBRINHO. P. Considerações sobre o tratamento de despejos líquidos gerados em estações de tratamento de água. Engenharia Sanitária e Ambiental. V. 3, n. 3. Jul/Set.1998.

FERREIRA FILHO. S.S Pré-condicionamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água Visando o seu Adensamento por Gravidade. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental,19. Foz do Iguaçu. Brasil. Anais Eletrônicos II – 025,1997.

FRANCATO, A.L. & BARBOSA, P.S.F. Soluções de compromisso na tomada de decisão sobre a operação diária de sistemas urbanos de abastecimento de água. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. Curitiba, 23-27 de novembro de 2003.

FREITAS, J. G.; FERREIRA FILHO, S.S; PIVELI, R. P., Viabilidade técnica e econômica da regeneração de coagulantes a partir de lodos de estações de tratamento de água. Engenharia Sanitária e Ambiental. V. 10, n. – abr-jun, 2005 137-145.

FONTANA, A. O. CORDEIRO Gestão Integrada como busca de solução para rejeitos de ETAs – O caso de Cardoso – SP. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23 Campo Grande, set., I 171 2005.

FONTANA, A.O. Sistema de leito de drenagem e sedimentador como solução para redução de volume de lodo de decantadores e reuso de água de lavagem de filtros - Estudo de caso ETA Cardoso. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos. São Carlos 2004.

GALVÃO, C. O.; et al. Sustentabilidade da Oferta de Água para Abastecimento Urbano no Semi-Árido Brasileiro: O caso de Campina Grande. In: Seminário: Planejamento, Projeto e Operação de Redes de Abastecimento de Água – O Estado da Arte e Questões Avançadas. João Pessoa, Jun. 2002.

GRANDIN, S. R.; ALEM SOBRINHO, P.; GARCIA JR., A. D. Desidratação de lodos Produzidos em Estações de Tratamento de água. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 17. Vol. 2, ABES, Natal 1993.

GOMES, H. P. Eficiência hidráulica e Energética em Saneamento. 1ª ed. Editora da ABES Nacional Rio de Janeiro 2005.

GOMES, H. P. Sistemas de Abastecimento de água. 2ª ed. Ed. Universitária UFPB João Pessoa. 2004.

HARADA, A. L. e CORDEIRO NETTO, O. M. Análise Multicritério Aplicada a Sistemas de Esgotamento Sanitário no Distrito Federal. **In:** Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. Rio de Janeiro, Brasil, 1999.

HELLER L.; VIEIRA, M. B. C.; BRITO, L..A; SALVADOR, D. P. Desempenho da filtração lenta em areia submetida a cargas de pico de oocistos de *cryptosporidium* sp, bactérias e sólidos: uma avaliação em instalação piloto. ABES: Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 11 nº 1 – jan/mar 2006 p.27-38.

HOPPEN, C. et all. Estudo de dosagem para incorporação do lodo de ETA em matrizes de concreto com forma de disposição final. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária E Ambiental. Campo Grande, set., I 106 2005.

JANUÁRIO G. F.; FERREIRA FILHO S. S. Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos das estações de tratamento de água da Região Metropolitana de São Paulo. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 12, p. 117-126, 2007.

JARDIM, S. B. Aplicabilidade de algumas técnicas de análise multiobjetivo ao processo decisório no âmbito de comitês de gerenciamento de bacia hidrográfica. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

LIMA J. M. e COSTA R. P. Reaproveitamento da água de lavagem de filtros da ETA de Santa Bárbara. In: Cadernos temáticos. Secretaria de Educação Profissional e Tecnologia. V 1, novembro de 2004.

LUCIANO, S. Y. et. al. Tratabilidad de los lodos producidos em la potabilización del água. In: Congresso Interamericano De Ingenieria Sanitária Y Ambiental, XXVI, 1998, Lima – Peru. Anais: AIDIS, 1998. 1 CD-ROM.

KAWAMURA, S. Integrated design and operation of Water Treatment Facilities. New York, NK, John Wiley & Sons Inc. 2° ed. 2000.

MACHADO, L. C.T., PONTE, M. X., LOPES L. A., PEREIRA. J.R. Avaliação de desaguamento de lodo de ETA em leito de secagem. In: 23° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande ABES, CD-ROM 2005.

MP – PB, MINISTÉRIO PÚBLICO DA PARAÍBA. Parecer resultante da análise comparativa de estudos técnicos sobre problemas de abastecimento d'água, com base em reserva tangível do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão). Campina Grande: Grupo Permanente de Assessoramento Técnico ao 2° Centro de Apoio Operacional às Curadorias. 1999.

MARCKA, E. et al., Panorama dos sistemas de abastecimento público do país – DTA C2, Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, Brasília, Revisão, 2004.

MEGDA, C. R., SOARES, L. V., ACHON, C. L. Propostas de aproveitamento de lodos gerados em ETAs. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, 2005, Campo Grande ABES, CD-ROM.

MENESES, A. C. S. et al. Caracterização da água de lavagem de uma estação de tratamento de água com vistas ao reúso. In: Workshop Uso e reúso de águas de qualidade inferior realidades e perspectivas, Campina Grande-PB, novembro de 2005.

MILLER, R. G. et al. The ocurrence of aluminum in drinking water. Jornal AWWA, Denver vol. 76 n°, p.87-91. jan. 1984.

MORITA, D.M.; SAMPAIO, A.O.; MIKI, M.K. e DAVID, A.C. Incorporação de lodos de estações de tratamento de água em blocos cerâmicos. In: X Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, SILUBESA, Anais, Braga. PORTUGAL. 2002.

NASCIMENTO, N. O., HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. ABES: Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 10 n° 1 – jan/mar 2005 p.36-48.

PARSEKIAN M. P. S. Análise e proposta de formas de gerenciamento de estações de tratamento de água de abastecimento completo em cidades de porte médio do estado de São Paulo. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos da USP, 1998.

REALI, M. A. P. Principais características quantitativas e qualitativas do lodo de ETAs. In: *Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água.* PROSAB. Rio de Janeiro, Brasil, 1999.

RÊGO, J. C., RIBEIRO, M. M. R., ALBUQUERQUE, J.P. T., GALVÃO, C. O. Participação da sociedade na crise 1998-2000 no abastecimento de Campina Grande-PB, Brasil. IV Diálogo Interamericano de Gerenciamento de águas. Anais: (Cd-rom). Foz do Iguaçu; IWRA/ABRH. 2001.

RIBEIRO, R. E. Y.; CORDEIRO, J. S.; Gestão Operacional de ETAs de ciclo completo - Estudo de caso da ETA Cubatão-SP. In: 23 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande ABES, CD-ROM, 2005.I-035.

RICHTER, C. A. Tratamento de lodo de estação de tratamento de água. São Paulo; Editora Edgard Blücher Ltda, 2001.

SAATY, T. L. Multicriteria decision making - The analytical hierarchy process, Pittsburg: RWS Publications, 1992.

SABESP. Sistemas de Captação e Tratamento – Região Metropolitana de São Paulo. Disponível em <http://www.sabesp.com.br. Acesso em 25.04.2006

SABESP, Revista DAE nº 149: Metodologia da Aplicação de Distritos Pitométricos no Programa de Redução e Controle de Vazamentos. página 196, São Paulo, setembro de 1987.

SABOGAL-PAZ L. P., & DI BERNADO L. Aspectos conceituais relativos à seleção das tecnologias de tratamento e de disposição dos resíduos gerados nas estações de tratamento de água. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23. Campo Grande, 2005.

SANTOS DA SILVA, P. R.; AMARAL, F. G., MAICAPI - Metodologia para avaliação de impactos e custos ambientais em processos industriais: Estudo de Caso. Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES Vol. 11, Nº 3, jul/set, 2006.

SARON, A.; LEITE, V. M. B. Quantificação de Lodo em Estação de Tratamento de Água. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21. João Pessoa. ABES, 2001.

SCALIZE, P. S., DI BERNARDO, L. Água de lavagem de filtros rápidos de estações de tratamento de água e dos sobrenadantes e sedimentos obtidos após ensaio de clarificação utilizando polímeros aniônico - Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23., Campo Grande/MT ABES, CD-ROM, 2005.

SILVA, R. T; CONEJO, J. G. L; ALVES, R. F. F.; MIRANDA, E. C. Indicadores de perdas e nos sistemas de abastecimento de água - Documento Técnico de Apoio A2, Programa Nacional de Combate Ao Desperdício de Água – PNCDA, Brasília, 2003.

SILVA, D. D., PRUSKI F. F., Gestão de recursos hídricos; Aspectos legais, econômicos e sociais, Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, Brasília, 2000.

SNIS - Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA. Programa de Mordenização do Setor de Saneamento PMSS.Diagnóstico dos serviços de água e esgotos. Brasília, 2005.

SOARES, S. R. A.; CORDEIRO N. O. M. ; BERNARDES, R. S. Avaliação de aspectos político-institucionais e econômico-financeiros do setor de saneamento no Brasil com vistas à definição de elementos para um modelo conceitual. Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1/2, p. 84-94, 2003.

SOUZA, FILHO, A. G. Caracterização e clarificação por sedimentação da água de lavagem de filtros rápidos de estação de tratamento de água que utiliza cloreto férrico como coagulante primário. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, USP São Carlos. 1998.

SOUZA, M. A. A. Metodología de analisis de decisiones para seleccionar alternativas de tratamiento y uso de aguas residuales. Hojas de divulgación tecnica. Lima, Peru: CEPIS, n. 68, p. 1-6, Abril 1997.

SOUZA, M. A. A.; FORSTER, C. F. Metodologias para seleção de processos de tratamento de aguas residuárias. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, I, v. 2, p. 19-31, 1996.

SOUZA, R.C. e SALVADOR, N.N.B. Proposta para avaliação dos impactos sociais nos processos de implantação e operação dos serviços de tratamento de esgotos sanitários. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 2. N °3 e 4. 1997.

TOMMASSI, L.R. Estudo de impacto ambiental. CETESB. São Paulo. 1994.

TROJAN et al. Automação em Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água: Uma ferramenta para Redução de Perdas de produção. In: I Encontro Estadual de Engenharia da Produção e I Simpósio de Gestão Industrial – Ponta Grossa, PR, 26 a 30/set/2005.

TROW S., FARLEY M., Losses Water distribution Networks – A Practitioner's Guides to assessment monitoring and control – Published by IWA april 2003.

TSUTIYA, M. T., Abastecimento de Água, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1ª edição São Paulo, 2004.

TSUTIYA, M. T.; HIRATA. A. Y. Aproveitamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água do Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21. João Pessoa ABES, CD-ROM, 2001.

VIEGAS, V. J., GASTALDINI, M.C.C. e BARROSO L. B., Estudo de metrodologias para determinação das perdas físicas em redes de distribuição de água, Revista Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, vol. 10 n.1 jan/mar 2005, 37-47.

VISMARA, R. Ecologia applicata. Ulrico Hoepli Editore S.P.A. Milano, Italy. 1992.

ANEXO A1

Resultados das análises da água de lavagem do filtro 2

CAGEPA	BOLETIM DE ANÁLISES	BOLETIM DE
GERÊNCIA DA UNIDADE DE NEGÓCIO DA BORBOREMA	FÍSICO – QUÍMICAS	ANÁLISES Nº [illegible] FQ/2006 DATA: 19.10.2006
		EXPEDIDO PARA: *Profª Ofélia de Lira Carneiro*

PROTOCOLO DA AMOSTRA

REMETENTE: *ETA de Gravatá*
PROCEDÊNCIA: *Gravatá*
MANANCIAL: *Açude Pres. Epitácio Pessoa*
NATUREZA DA AMOSTRA: *Água de despejo da lavagem do filtro*
DATA E HORA DA ENTRADA NO LABORATÓRIO: *06/10/2006 às 11:15horas*
PARA ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA
PONTO DE COLETA: *Filtro nº 02*
APRESENTAÇÃO: *Garrafa plástica de 2,0 litros*
ANALISTA: *Evanisa / Flávio*

MUNICÍPIO: *Queimadas*
COLETADOR: *Wellington*
DATA E HORA DA COLETA: *06/10/2006 às 07:40h.*

PARÂMETROS: PADRÕES	UNIDADES	RESULTADOS ENCONTRADOS NA AMOSTRA	VALORES MÁX. PERMISSÍVEIS P/ QUE UMA ÁGUA SEJA CONSIDERADA POTÁVEL
DIÓXIDO DE CARBONO (CO_2)	mg/L	14,96	-
ALCAL. EM HIDRÓXIDOS ($CaCO_3$)	mg/L	0,0	-
ALCAL. EM CARBONATOS ($CaCO_3$)	mg/L	0,0	-
ALCAL. EM BICARBONATOS ($CaCO_3$)	mg/L	76,0	-
ALCAL. TOTAL ($CaCO_3$)	mg/L	76,0	-
OXIGÊNIO CONSUMIDO (O_2)- MEIO ÁCIDO	mg/L	4,3	-
ASPECTO	-	Barrento	LÍMPIDO
SABOR	-	-	NÃO OBJETÁVEL
ODOR, A FRIO	-	Presente	IDEM
ODOR, A QUENTE	-	Presente	IDEM
COR APARENTE	HAZEN (em Pt-Co/L)-UH	2.118,6	15 (PORT. MS Nº 518/2004)
TURBIDEZ	NEFELOMÉTRICA-UNT	448,0	5 (PORT. MS Nº 518/2004)
pH	-	7,0	6,0 a 9,5 (PORT. MS Nº518/2004)
TEMPERATURA	°C	27,5	
CONDUTIVIDADE	µS/cm	336,0	-
SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS	mg/L	265,0	1.000 (PORT. MS Nº518/2004)
SALINIDADE	‰	0,3	≤0,5 ÁGUA DOCE; >0,5 e <30 ÁGUA SALOBRA CONAMA-Resolução nº 357/2005
AMÔNIA (como NH_3)	mg/L	Ausente	1,5 (PORT. MS Nº518/2004)
NITRATO (como N)	mg/L	Ausente	10 (PORT. MS Nº518/2004)
NITRITO (como N)	mg/L	-	1 (PORT. MS Nº518/2004)
SULFATO	mg/L	Presente	250 (PORT. MS Nº518/2004)
CLORETO	mg/L	78,2	250 (PORT. MS Nº518/2004)
CÁLCIO ($CaCO_3$)	mg/L	56,8	-
MAGNÉSIO ($CaCO_3$)	mg/L	52,7	-
DUREZA ($CaCO_3$)	mg/L	109,5	500 (PORT. MS Nº518/2004)
FERRO	mg/L	N.F.	0,3 (PORT. MS Nº518/2004)
CLORO LIVRE	mg/L	N.F	5 (PORT. MS Nº518/2004)

PARECER:

RESPONSÁVEL: CAGEPA-Cia. de Água e Esgotos da Paraíba
UNIDADE DE NEGÓCIO DA BORBOREMA
Evanisa Maria Trigueiro Dantas
Química Industrial - CRQ 19.2.0007

N.F.= Não foi feito.

CAGEPA-Cia. de Água e Esgotos da Paraíba
Unidade de Negócio da Borborema
Nilton Bonifácio

BOLETIM DE ANÁLISE BACTERIOLÓGICA

BOLETIM DE ANÁLISE BACTERIOLÓGICA

CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba)

Gerência da Divisão de Tratamento e Controle de Qualidade

LABORATÓRIO DE BACTERIOLOGIA

HISTÓRICO — Análise nº 1767 B/2006

Remetente: ETA de Gravatá
Procedência: Gravatá
Município: Queimadas - PB
Manancial: Açude Epitácio Pessoa
Natureza da Amostra: Água de despejo da lavagem do filtro
Ponto de Coleta: Filtro nº 02
Apresentação: Recipiente de plástico para amostragem
Data e Hora da Coleta: 06/10/2006 às 07:40 horas
Cloro Residual: 0,0mg/L
Coletador: Wellington
Data e Hora da Análise: 06/10/2006 às 14:00 horas
Bacteriologista: Maria do Desterro

RESULTADO DAS ANÁLISES BACTERIOLÓGICAS

MÉTODO: COLILERT			MÉTODO: LMX plus		
N.M.P./100ml	18H	24H	N.M.P./100ml	18H	24H
C.TOTAL	-	-	C.TOTAL	-	A
E.COLI	-	-	E.COLI	-	A

Químico Responsável: CAGEPA-Cia. de Água e Esgotos da Paraíba UNIDADE DE NEGÓCIO DA BORBOREMA — Evanisa Maria Trigueiro Dantas, Química Industrial - CRQ 19.2.0007 — Data: 18.10.2006

OBS: Ausência de Coliformes totais e Escherichia coli.

CAGEPA-Cia. de Água e Esgotos da Paraíba Unidade de Negócio da Borborema — Newton Bonifácio, Ger. da Div. de Trat. e Controle de Q...

ANEXO A2

Resultados das análises da água de descarga e lavagem dos decantadores

CAGEPA	BOLETIM DE ANÁLISES	BOLETIM DE
GERÊNCIA DA UNIDADE DE NEGÓCIO DA BORBOREMA	FÍSICO – QUÍMICAS	ANÁLISES Nº 0314 FQ/2006 DATA: 13/11/2006 EXPEDIDO PARA: *Profª Ofélia de Lira Carneiro*

PROTOCOLO DA AMOSTRA

REMETENTE: *Gerência da Divisão de Tratamento e Controle de Qualidade*
PROCEDÊNCIA: *Gravatá*
MANANCIAL: *Açude Pres. Epitácio Pessoa*
NATUREZA DA AMOSTRA: *Água de lavagem do decantador*
DATA E HORA DA ENTRADA NO LABORATÓRIO: *08/11/2006 às 11:15horas*
PARA ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA
PONTO DE COLETA:
APRESENTAÇÃO: *Garrafa plástica de 2,0 litros*
ANALISTA: *Cristina*

MUNICÍPIO: *Queimadas*
COLETADOR: *Wellington*
DATA E HORA DA COLETA: *08/11/2006 às 10:20h.*

PARÂMETROS: PADRÕES	UNIDADES	RESULTADOS ENCONTRADOS NA AMOSTRA	VALORES MÁX. PERMISSÍVEIS P/ QUE UMA ÁGUA SEJA CONSIDERADA POTÁVEL
DIÓXIDO DE CARBONO (CO_2)	mg/L	38,72	-
ALCAL. EM HIDRÓXIDOS ($CaCO_3$)	mg/L	0,0	-
ALCAL. EM CARBONATOS ($CaCO_3$)	mg/L	0,0	-
ALCAL. EM BICARBONATOS ($CaCO_3$)	mg/L	160,0	-
ALCAL. TOTAL ($CaCO_3$)	mg/L	160,0	-
OXIGÊNIO CONSUMIDO (0_2)- MEIO ÁCIDO	mg/L	133,0	-
ASPECTO	-	Barrento	LÍMPIDO
SABOR	-	-	NÃO OBJETÁVEL
ODOR, A FRIO	-	Presente	IDEM
ODOR, A QUENTE	-	Presente	IDEM
COR APARENTE	HAZEN (em Pt-Co/L)-UH	1.511,1	15 (PORT. MS Nº 518/2004)
TURBIDEZ	NEFELOMÉTRICA-UNT	418,0	5 (PORT. MS Nº 518/2004)
pH	-	7,2	6,0 a 9,5 (PORT. MS Nº518/2004)
TEMPERATURA	°C	29,3	
CONDUTIVIDADE	µS/cm	670,9	-
SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS	mg/L	387,0	1.000 (PORT. MS Nº518/2004)
SALINIDADE	‰	0,4	≤0,5 ÁGUA DOCE; >0,5 e <30 ÁGUA SALOBRA CONAMA-Resolução nº 357/2005
AMÔNIA (como NH_3)	mg/L	Presente	1,5 (PORT. MS Nº518/2004)
NITRATO (como N)	mg/L	Presente	10 (PORT. MS Nº518/2004)
NITRITO (como N)	mg/L	-	1 (PORT. MS Nº518/2004)
SULFATO	mg/L	Presente	250 (PORT. MS Nº518/2004)
CLORETO	mg/L	86,8	250 (PORT. MS Nº518/2004)
CÁLCIO ($CaCO_3$)	mg/L	40,5	-
MAGNÉSIO ($CaCO_3$)	mg/L	121,7	-
DUREZA ($CaCO_3$)	mg/L	162,2	500 (PORT. MS Nº518/2004)
FERRO	mg/L	N.F.	0,3 (PORT. MS Nº518/2004)
CLORO LIVRE	mg/L	N.F	5 (PORT. MS Nº518/2004)

PARECER:	RESPONSÁVEL:

N.F = Não foi feito

ANEXO A3

Resultados das análises de água decantada dos decantadores

CAGEPA	BOLETIM DE ANÁLISES	BOLETIM DE
ERÊNCIA DA UNIDADE DE NEGÓCIO DA BORBOREMA	FÍSICO – QUÍMICAS	ANÁLISES Nº 0783 FQ/2006 DATA: 27/10/2006 EXPEDIDO PARA: *Profª Ofélia de Lira Carneiro*

ORIGEM DA AMOSTRA

METENTE: *Gerência da Divisão de Tratamento e Controle de Qualidade*
OCEDÊNCIA: *Gravatá*
NANCIAL: *Açude Pres. Epitácio Pessoa*
TUREZA DA AMOSTRA: *Água Decantada*
TA E HORA DA ENTRADA NO LABORATÓRIO: *24/10/2006 às 11:15horas*
RA ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA
NTO DE COLETA: *Reunião das águas decantadas*
RESENTAÇÃO: *Garrafa plástica de 2,0 litros*
ALISTA: *Hênio / Déborah*

MUNICÍPIO: *Queimadas*
COLETADOR: *Wellington*
DATA E HORA DA COLETA: *24/10/2006 às 10:20h.*

RÂMETROS: PADRÕES	UNIDADES	RESULTADOS ENCONTRADOS NA AMOSTRA	VALORES MÁX. PERMISSÍVEIS P/ QUE UMA ÁGUA SEJA CONSIDERADA POTÁVEL
ÓXIDO DE CARBONO (CO_2)	mg/L	9,68	-
CAL. EM HIDRÓXIDOS ($CaCO_3$)	mg/L	0,0	-
CAL. EM CARBONATOS ($CaCO_3$)	mg/L	0,0	-
CAL. EM BICARBONATOS ($CaCO_3$)	mg/L	77,0	-
CAL. TOTAL ($CaCO_3$)	mg/L	77,0	-
GÊNIO CONSUMIDO (0_2)- MEIO ÁCIDO	mg/L	3,5	-
PECTO	-	Claro	LÍMPIDO
SOR	-	-	NÃO OBJETÁVEL
OR, A FRIO	-	Ausente	IDEM
OR, A QUENTE	-	Ausente	IDEM
R APARENTE	HAZEN (em Pt-Co/L)-UH	14,3	15 (PORT. MS Nº 518/2004)
RBIDEZ	NEFELOMÉTRICA-UNT	0,77	5 (PORT. MS Nº 518/2004)
	-	7,1	6,0 a 9,5 (PORT. MS Nº518/2004)
MPERATURA	°C	25,3	
NDUTIVIDADE	µS/cm	247,1	-
IDOS TOTAIS DISSOLVIDOS	mg/L	226,0	1.000 (PORT. MS Nº518/2004)
INIDADE	‰	0,2	≤0,5 ÁGUA DOCE, >0,5 e <30 ÁGUA SALOBRA CONAMA-Resolução nº 357/2005
ÔNIA (como NH_3)	mg/L	Ausente	1,5 (PORT. MS Nº518/2004)
RATO (como N)	mg/L	Ausente	10 (PORT. MS Nº518/2004)
RITO (como N)	mg/L	-	1 (PORT. MS Nº518/2004)
FATO	mg/L	Lev. Presente	250 (PORT. MS Nº518/2004)
RETO	mg/L	81,2	250 (PORT. MS Nº518/2004)
CIO ($CaCO_3$)	mg/L	56,8	-
SNÉSIO ($CaCO_3$)	mg/L	58,7	-
EZA ($CaCO_3$)	mg/L	115,5	500 (PORT. MS Nº518/2004)
RO	mg/L	N.F.	0,3 (PORT. MS Nº518/2004)
RO LIVRE	mg/L	N.F	5 (PORT. MS Nº518/2004)

ECER:

Não foi feito.

RESPONSÁVEL:

CAGEPA-Cia. de Água e Esgotos da Paraíba
UNIDADE DE NEGÓCIO DA BORBOREMA
Evanisa Maria Trigueiro Dantas
Química Industrial - CRQ 19.2.00077

BOLETIM DE ANÁLISE BACTERIOLÓGICA

BOLETIM DE ANÁLISE BACTERIOLÓGICA
CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba)
Gerência da Divisão de Tratamento e Controle de Qualidade
LABORATÓRIO DE BACTERIOLOGIA

HISTÓRICO — Análise nº 1789 3/2006

Remetente: ETA de Gravatá
Procedência: Gravatá
Município: Queimadas – PB
Manancial: Açude Epitácio Pessoa
Natureza da Amostra: Água decantada
Ponto de Coleta: Reunião das águas decantadas
Apresentação: Recipiente de plástico para amostragem
Data e Hora da Coleta: 24/10/2006 às 10:20 horas
Cloro Residual: ------
Coletador: Wellington
Data e Hora da Análise: 24/10/2006 às 14:00 horas
Bacteriologista: Maria do Desterro

RESULTADO DAS ANÁLISES BACTERIOLÓGICAS

MÉTODO: COLILERT			MÉTODO: LMX plus		
N.M.P./100ml	18H	24H	N.M.P./100ml	18H	24H
C.TOTAL	-	-	C.TOTAL	-	P
E.COLI	-	-	E.COLI	-	P

Químico Responsável: CAGEPA-Cia. de Água e Esgotos da Paraíba UNIDADE DE NEGÓCIO DA BORBOREMA Evanisa Maria Trigueiro Dantas Química Industrial - CRQ 19.2.00077

Data: 27.10.2006

OBS: Presença de Coliformes totais e Escherichia coli.

ANEXO A4

Planilha orçamentária para a implantação do sistema de tratamento de água de lavagem da ETA de Gravatá/PB.

Obra: Projeto-piloto de sistema de tratamento de água de lavagem de ETA – SEDIMENTADOR
Cliente: Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - CAGEPA
Local: Estação de Tratamento de Água de Gravatá – Paraíba

ITEM	DESCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANT.	PREÇO UNIT. R$	PREÇO TOTAL R$
1.0	Serviços topográfico				
1.1	Limpeza do terreno	m^2	308,00	1,16	327,28
1.2	Locação da obra	m^2	308,00	4,39	1.352,13
1.3	Locação e nivelamento de adutora	m	250,00	0,61	152,50
2.0	Movimento de terra	m^3			
2.1	Escavação em terra	m^3	277,00	14,17	3.925,09
2.2	Escavação em piçarra	m^3	215,50	23,40	5.042,70
2.3	Escavação rocha branda	m^3	74,00	72,00	5.328,00
2.4	Escavação em terra dura	m^3	49,00	82,00	4.018,00
2.5	Reaterro c/ reaproveitamento	m^3	103,00	9,92	1.021,76
2.6	Empréstimo	m^3	33,00	25,95	856,35
2.7	Colchão de areia	m^3	12,00	29,24	350,88
3.0	Parede e piso				
3.1	Conc. estrutural com aditivo FCK 20 MPA	m^3	11,00	1.485,38	16.339,18
3.2	Concreto simples	m^3	12,00	332,54	3.990.48
3.3	Calçada de proteção	m^2	35,00	29,67	1.034,45
4.0	Tubulação PVC	m	103,00	22,82	2.350,46
5.0	Acessórios e conexões				
5.1	Corrimão	m	64,00	74,47	4.766,08
5.2	Escada	m	1,50	64,77	97,16
	Total			R$	**50.800,00**

Obra: Projeto-piloto de sistema de tratamento de água de lavagem de ETA - LEITO DE SECAGEM
Cliente: Companhia de Água e Esgoto da Paraíba - CAGEPA
Local da obra: ETA de Gravatá – Paraíba

		Unid	Quant.	Preço unit. R$	Preço total R$
1.1	Limpeza do terreno	m^3	2.442,0	1,16	2.832,72
1.2	Locação de obra	m^3	2.442,0	4,39	10.720,38
1.3	Locação e Nivelamento de adutora	m	250,0	0,62	155,00
2.0	Movimento de terra	m^3			
2.1	Escavação de terra	m^3	1.648,35	14,17	23.357,12
2.2	Escavação piçarra	m^3	1.282,05	23,40	29.999,97
2.3	Escavação em rocha branda	m^3	439,56	72,00	31.648,32
2.4	Escavação em rocha dura	m^3	293,04	85,00	24.908,40
2.5	Reaterro c/ reaproveitamento	m^3	350,00	9,92	3.472,00
2.6	Empréstimo	m^3	108,00	25,95	2.802,60
3.0	Parede e piso	m^2			
3.1	Concreto estrutural FCK 20 MPA com aditivo	m^3	50,00	1.485,38	74.269,00
3.2	Concreto simples	m^3	112,00	332,54	37.244,48
3.3	Camada de areia	m^3	344,00	29,24	10.058,56
3.4	Camada de brita	m^3	490,00	97,34	47.696,60
3.5	Lastro de tijolo maciço	m^2	2.240,00	11,24	25.177,60
4.0	Tubulação	ml			
4.1	Aquisição e aplicação de tubos de tubos 0,60 m	ml	205,00	109,43	22.433,15
4.2	Tubos perfurados PVC (150 mm)	m^3	180,0	29,25	5.265,00
5.0	Acessórios e conexão	Vb*	-	-	1.500,00
6.0	Calçada de proteção	ml	120,00	29,66	3.559,20
	Total			**R$**	**357.100,00**

* vb - verba

Obra: Projeto-piloto de um sistema de tratamento de água de lavagem de ETA - Duas lagoas de lodo.
Cliente: Companhia de Água e Esgoto da Paraíba - CAGEPA
Local da obra: ETA de Gravatá – Paraíba

	Descriminação	Unid.	Quant.	Preço Unit. R$	Preço Total R$
1.0	Serviços Preliminares				
1.1	Limpeza do terreno	m^2	4.240,0	1,16	4.918,40
1.2	Locação de obra	m^2	4.240,00	4,39	18.613,60
1.3	Locação e Nivelamento de adutora	m	250,00	0,62	155,00
2,0	Movimento de terra				
2.1	*Escavação em terra*	m^3	2.840,40	14,17	40.248,47
2.2	Escavação em piçarra	m^3	2.209,20	23,40	51.695,28
2.3	Escavação em rocha branda	m^3	757,44	72,00	54.535,68
2.4	Escavação em rocha dura	m^3	504,96	85,00	42.921,60
2.5	Reaterro c/ reaproveitamento	m^3	*440,0*	*9,92*	*4.364,80*
2.6	Empréstimo	m^3	150,0	25,94	3.891,00
2.7	Colchão de areia	m^3	122,00	29,24	3.567,28
3.0	Fundo e Taludes				
3.1	Concreto simples (preparo e lançamento)	m^3	122,4	332,54	40.702,90
4.0	Tubulação	m			
4.1	Aquisição e aplicação de tubos (conc. 0,60 m)600mm	m	200,00	109,43	21.886,00
4.2	Acessórios e conexões	vb*	-	-	3.000,00
	Cerca c/6 fios arame farp. C/ est. Conc. C. 1,0 m	m	250,00	26,00	6.500,00
	Total			**R$**	**297.000,00**

*vb - verba

Obra: Projeto-piloto de um sistema de tratamento de água de lavagem de ETA – Conjunto de três lagoas de lodo
Cliente: Companhia de Água e Esgoto da Paraíba - CAGEPA
Local da obra: ETA de Gravatá – Paraíba

Item	Descriminação	Unid.	Quant.	Preço Unit. R$	Preço Total R$
1.1	Limpeza do terreno	m^2	4.623,0	1,16	5.362,70
1.2	Locação de obra	m^2	4.623,0	4,39	20.295,00
1.3	Locação e Nivelamento de adutora	m	270,00	0,62	167,50
2,0	Movimento de terra				
2.1	Escavação em terra	m^3	3.963,6	14,17	56.164,20
2.2	Escavação em piçarra	m^3	3.082,8	23,40	72.137,52
2.3	Escavação em rocha branda	m^3	1.056,96	72,00	76.101,22
2.4	Escavação em rocha dura	m^3	704,64	85,00	59.894,40
2.5	Reaterro c/ reaproveitamento	m^3	594,0	9,92	5.892,56
2.6	Empréstimo	m^3	180,0	25,94	4.669,30
2.7	Colchão de areia	m^3	161,00	29,24	4.707,65
3.0	Fundo e Taludes				
3.1	Concreto simples (preparo e lançamento)	m^3	161,00	332,54	53.538,95
4.0	Tubulação				
4.1	Aquisição e aplicação de tubos (conc. 0,60 m) 600mm	m	300,00	109,43	32.829,00
4.2	Acessórios e conexões	vb			3.000,00
5.0	Cerca c/6 fios arame farp. C/ est. Conc. C. 1,0 m	m	290,00	26,00	7.540,00
	Total			**R$**	**402.300,00**

ANEXO A5

Despesa total com o consumo de energia elétrica no bombeamento de água bruta do açude de Epitácio Pessoa (Boqueirão).

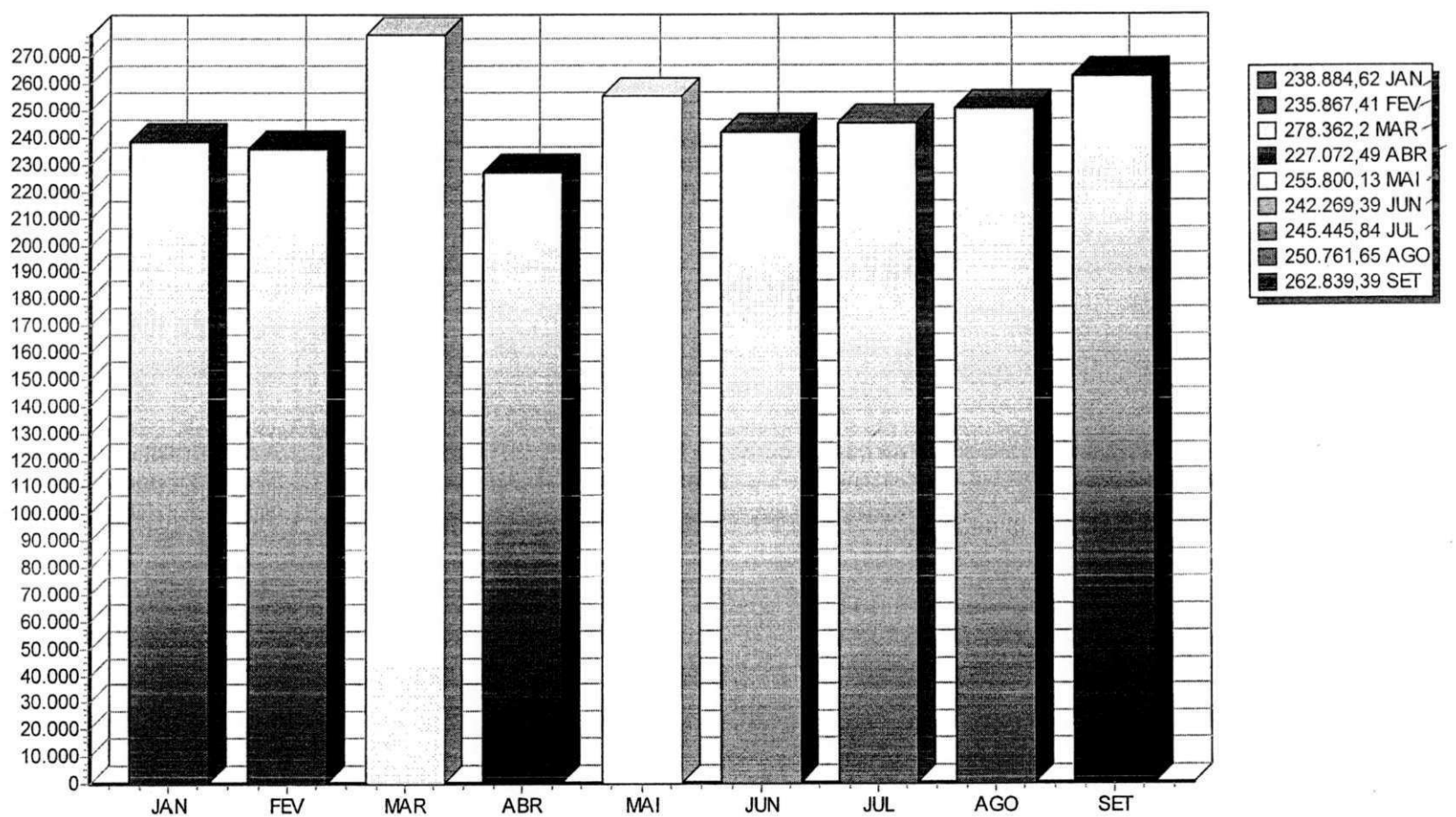
CAGEPA - Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

Diretoria de Operação / Departamento de Eficiência Operacional - DEO

Despesa Total por CDC (R$) : 9998012

Boqueirão

Data: 06/11/2006
Hora: 10:17:41

Período: JAN a OUT/2006

R$