

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO – SANEAMENTO AMBIENTAL**

Francisco Preto Rodrigues

**UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DA BIORREMEDIÇÃO EM SISTEMAS DE
ESGOTAMENTO SANITÁRIO. APLICAÇÃO NA CIDADE DE JUAZEIRO DO NORTE,
CEARÁ.**

**Fortaleza – Ceará
2005**

FRANCISCO PRETO RODRIGUES

UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DA BIORREMEDIAÇÃO EM SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO. APLICAÇÃO NA CIDADE DE JUAZEIRO DO NORTE, CEARÁ.

Tese submetida à Coordenação do Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Saneamento Ambiental, da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador. Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota

FORTALEZA

2005

FRANCISCO PRETO RODRIGUES

UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DA BIORREMEDIACÃO EM SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO. APLICAÇÃO NA CIDADE DE JUAZEIRO DO NORTE, CEARÁ.

Esta dissertação foi submetida à coordenação do Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Saneamento Ambiental, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em ____/____/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof. Dr. Antônio Idivan Vieira Nunes
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Adeildo Cabral da Silva (Examinador Externo)
Centro Federal de Ensino Tecnológico – CEFET/Ce

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a DEUS, por ter me dado forças para trilhar mais um passo na minha vida profissional.

Ao professor Suetônio Mota, por sua paciência e compreensão nas dificuldades em realizar o trabalho.

A minha esposa Núbia Maria Marques, pela ajuda na digitação e por sua constante e paciente preocupação com a minha pessoa.

Aos meus amigos, Adriana e Paulo, pelo auxílio na coleta de dados.

A Bio Ambiental Sistema de Saneamento Ltda, na pessoa do Engº. Esupério Aguilar, por sua confiança, amizade, companheirismo, e sobretudo, por incluir-me neste processo.

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo suporte financeiro concedido.

A CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará, em especial ao Engº. Expedito Galba Batista (gerente da UNSBA) e aos colegas Robervânia e Renato (técnicos Industriais), por ceder informações privativas da companhia.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Caracterização do Problema	14
1.2 Objetivos	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Lagoas de Estabilização	16
2.1.1 Definições e Princípios	16
2.1.2 Histórico	18
2.1.3 Generalidades	19
2.1.4 Descrição e Caracterização	20
2.1.5 Lagoas Anaeróbias	21
2.1.5.1 Digestão Anaeróbia	22
2.1.6 Lagoas Facultativas	25
2.1.7 Lagoas de Maturação	29
2.1.8 Lagoas de Alta Taxa de Degradação	31
2.2 Legislação Brasileira para Corpos Aquáticos e Padrões de Lançamento de Efluentes	32
2.3 Biorremediação	35
2.3.1 Definições e Aplicabilidade	35
2.3.2 Biorremediação no Brasil	37
2.3.3 Ação e Controle	38
2.4 Estação de Tratamento de Esgoto de Juazeiro do Norte/CE	41
2.4.1 Descrição do Projeto	41
2.4.2 Características do Sistema	42
2.4.3 Problemas Operacionais nas Lagoas Anaeróbias do Sistema ETE Malvas	48
3 MATERIAL E MÉTODOS	51
3.1 Caracterização da Área em Estudo	52
3.2 Alimentação do Sistema de Lagoas	53
3.3 Equipamentos Utilizados	54
3.4 Aditivo biológico	55
3.4.1 Especificações	55
3.4.2 Precauções	55
3.4.3 Preparo do aditivo biológico	56
3.4.4 Aplicação do aditivo biológico	58
3.5 Monitoramento do sistema de lagoas durante o tratamento com aditivo biológico	63
3.5.1 Alterações ocorridas nas Lagoas Facultativas após as aplicações	63
3.6 Coletas de amostras das lagoas de estabilização ETE Malvas	65
3.7 Variáveis analisadas e métodos analíticos	65
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
4.1 Análises Físico-químicas e Bacteriológicas	67
5 CONCLUSÕES	83

6 RECOMENDAÇÕES.....	84
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Percentagem de redução da DBO₅ afluente em função da temperatura da água e tempo de detenção hidráulica (Td)	22
Tabela 2.2 - Influência dos principais fatores ambientais externos em Lagoas de Estabilização	28
Tabela 2.3 - Produções de Proteínas de Culturas Agrícolas comparadas com produção de algas em lagoa de alta taxa de degradação	32
Tabela 2.4 - Padrões de qualidade a serem mantidos em corpos d'água de classe 2	33
Tabela 2.5 - Padrões de lançamento de efluentes. Portaria 154/02 – SEMACE	34
Tabela 2.6 - Geometria e tempos de detenção hidráulica das unidades de tratamento da série de lagoas de Juazeiro do Norte.....	43
Tabela 3.1 - Mudanças na quantidade e local de aplicação do aditivo biológico. Juazeiro do Norte/CE. 2005	62
Tabela 3.2 - Variáveis, métodos e referências analisados	66
Tabela 4.1 - Valores de análises físico-químicas e bacteriológicas antes da aplicação do aditivo. ETE Malvas, Juazeiro do Norte- Ceará (JUL/04 a JAN/05).....	67
Tabela 4.2 - Valores de análises físico-químicas e bacteriológicas durante a aplicação do aditivo. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará (FEV/05 a JUN/05)	68
Tabela 4.3 - Valores de análises de gás sulfídrico e sulfeto antes da aplicação do aditivo. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará (JUL/04 a JAN/05).....	68
Tabela 4.4 - Valores de análises de gás sulfídrico, sulfeto e temperatura durante a aplicação do aditivo. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará (FEV/05 a JUN/05)	68

LISTAS DE FIGURAS

Figura 2.1 - Seqüência metabólica e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.....	23
Figura 2.2 - Variação das zonas aeróbias e anaeróbias de uma lagoa facultativa.....	25
Figura 2.3 - Simbiose de algas e bactérias em lagoas de estabilização.....	27
Figura 2.4 - Esquema simplificado do funcionamento de uma lagoa facultativa.....	27
Figura 2.5 - Denominações usualmente empregadas para biorremediação.....	36
Figura 2.6 - Sistemas biológicos e funções específicas.....	41
Figura 2.7 - Lay-out geral da ETE Malvas e estações elevatórias, em Juazeiro do Norte, Ceará.....	44
Figura 2.8- Projeto da Estação Elevatória do Bairro Salesiano em Juazeiro do Norte – Ceará	45
Figura 2.9 - Projeto da Estação Elevatória do Bairro das Malvas em Juazeiro do Norte – Ceará	46
Figura 2.10 - Projeto da Estação Elevatória do Bairro Vila Fátima em Juazeiro do Norte – Ceará	47
Figura 2.11 - Batimetria das lagoas anaeróbias do Sistema ETE Malvas, Juazeiro do Norte-Ceará. 2005.....	48
Figura 2.12 - Esquema da batimetria da primeira lagoa anaeróbia. ETE de Juazeiro do Norte, Ceará. 2005	49
Figura 2.13 - Esquema da batimetria da segunda lagoa anaeróbia. ETE de Juazeiro do Norte, Ceará. 2005.....	49
Figura 3.0 - Mapa de Localização do Município de Juazeiro do Norte – CE.....	51
Figura 3.1 - Vista aérea da ETE Malvas, Juazeiro do Norte – CE	53
Figura 3.2 - Produto biológico usado como aditivo no tratamento de esgoto	56
Figura 3.3 - Recipiente para preparo do aditivo biológico, constando de tambor e aerador	57
Figura 3.4 - Aditivo biológico no momento da aeração	57
Figura 3.5 - Transporte e acondicionamento do aditivo biológico	58
Figura 3.6 - PV I: Rua das Dores / bairro Salesiano. Juazeiro do Norte, Ceará, 2005	61
Figura 3.7 - ETE Malvas, Ponto V: Entrada das lagoas facultativas. ETE de Juazeiro do Norte. Ceará, 2005	61

Figura 3.8 -	Ponto V, entrada das lagoas anaeróbias.	
	ETE de Juazeiro do Norte, Ceará. 2005	62
Figura 3.9 -	Lagoa facultativa I. ETE de Juazeiro do Norte, Ceará. Fev/05	63
Figura 3.10 -	Lagoa facultativa II. ETE de Juazeiro do Norte, Ceará. Fev/05	63
Figura 3.11 -	Comportamento das algas após as aplicações do aditivo biológico	64
Figura 4.1 -	Valores médios mensais do pH. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005.	69
Figura 4.2 -	Valores médios mensais da Condutividade Elétrica. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005	70
Figura 4.3 -	Valores médios mensais de Sólidos Sedimentáveis. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005	71
Figura 4.4 -	Valores médios mensais de Sólidos Suspensos Totais. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005	72
Figura 4.5 -	Valores médios mensais de DBO₅. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005	73
Figura 4.6 -	Valores médios mensais de DQO. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005	74
Figura 4.7 -	Valores médios mensais de Coliformes Totais no Esgoto Bruto. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005	75
Figura 4.8 -	Valores médios mensais de Coliformes Totais no Esgoto Tratado. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005	76
Figura 4.9 -	Valores médios mensais de Coliformes Termotolerantes no Esgoto Bruto. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005	77
Figura 4.10 -	Valores médios mensais de Coliformes Termotolerantes no Esgoto Tratado. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005	77
Figura 4.11 -	Valores médios mensais de Oxigênio Dissolvido. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005	79
Figura 4.12 -	Valores médios mensais de Gás Sulfídrico e Sulfeto na Lagoa A1. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005	80
Figura 4.13 -	Valores médios mensais de Gás Sulfídrico e Sulfeto na Lagoa A2. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005	81
Figura 4.14 -	Valores médios mensais de Temperatura. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2005	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A1	- Anaeróbia 1
A2	- Anaeróbia 2
CAGECE	- Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CENTEC	- Centro de Ensino Tecnológico
CETESB	- Companhia de tecnologia de Saneamento Ambiental
CF	- Coliformes Fecais
CH₄	- Gás Metano
CO₂	- Gás Carbônico
CONAMA	- Conselho Nacional de Meio Ambiente
CNPQ-g	- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CT	- Coliformes Totais
CTT	- Coliformes Termotolerantes
DBO	- Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
ETE	- Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	- Estados Unidos da América
FEA	- Faculdade de Engenharia de Alimentos
FUNASA	-Fundação Nacional de Saúde
ha	- Unidade de Área (hectare): 1ha = 10 ⁴ m ²
H₂	- Gás Hidrogênio
H₂S	- Gás Sulfídrico
Ls	- Taxa de aplicação superficial
O₂	- Gás Oxigênio
OD	- Oxigênio Dissolvido
NA	- Nível de Água
NMP	- Número mais Provável
pH	- Potencial Hidrogeniônico
PVs	- Poços de Visitas
PVC	- Cloreto de Polivinila

SEMACE	- Superintendência Estadual de Meio Ambiente do Ceará
SS	- Sólidos Sedimentáveis
SST	- Sólidos Suspensos Totais
T	- Temperatura
Td	- Tempo de detenção
UFC	- Unidades Formadoras de Colônias
UNBSA	- Unidade de Negócio da Bacia do Salgado
US-EPA	- Agência de Proteção Ambiental Americana
VMP	- Valor Máximo Permitido

RESUMO

RODRIGUES, F. P. Utilização da técnica da biorremediação em sistemas de esgotamento sanitário: aplicação na cidade de Juazeiro do Norte, Ceará.

Este trabalho procurou avaliar o uso da técnica de biorremediação, através da aplicação de microrganismos selecionados (aditivos biológicos), que aceleram o processo de degradação da matéria orgânica, para incrementar a população microbiana no sistema de tratamento, recuperando e/ ou aumentando a eficiência do processo biológico em lagoas de estabilização. O trabalho desenvolveu-se a partir dos resultados de análises laboratoriais de amostras de esgotos coletadas na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE - Malvas), operada pela Companhia de Água e Esgotos do Ceará (CAGECE) em Juazeiro do Norte, Ceará. Durante um período de 5(cinco) meses foi verificado o comportamento da série de lagoas, através da análise dos seguintes parâmetros: DBO e DQO, Coliformes Totais e Termotolerantes, Sólidos Sedimentáveis, Sólidos Suspensos Totais, Condutividade Elétrica, Temperatura, Oxigênio Dissolvido, Gás Sulfídrico e Sulfeto. As remoções totais de DBO e DQO foram, respectivamente, de 84 e 80%. As remoções de gás sulfídrico, nas lagoas 1 e 2 foram, respectivamente, de 43 e 38%. A taxa de oxigênio dissolvido, durante a aplicação do aditivo, teve um crescimento gradual mês a mês. O efluente da lagoa de maturação pode ser aproveitado para irrigação irrestrita, uma vez que CTT < 1000/100 mL. O processo utilizado de biorremediação in situ (no local) teve como finalidade utilizar a ciência para ajudar a natureza, através da recolocação de microrganismos fortalecendo a ação dos mesmos no processo de biodegradação.

Palavras-chave: Biorremediação, Aditivo Biológico, Lagoas de Estabilização, Tratamento de Esgoto, Águas Residuárias.

ABSTRACT

This work evaluated the use of the bioremediation technique by the application of selected microorganisms (biological additives), that accelerate the organic matter degradation, to increase the microbial population in the treatment system, recovering or improving the biological process efficiency in stabilization ponds. The work was developed in the basis of the results from the wastewater samples analysis collected in Malvas wastewater treatment plant, operated by the Company of Water and Wastewater of Ceará (CAGECE) in Juazeiro do Norte, Ceará State. During a 5 (five) month period, it was verified the behavior of the ponds by the analysis of the following parameters: BOD, COD, total and fecal coliforms, settable solids, total suspended solids, electric conductivity, temperature, dissolved oxygen, sulphhydric gas and sulfide. The total BOD and COD removals were, respectively, 84 and 80%. The sulphhydric gas removal in ponds 1 and 2 were, respectively, 43 and 38%. The dissolved oxygen rate, during the additive application, increased gradually month by month. The maturation pond effluent can be used for unrestricted irrigation, since $TFC < 1000/100$ mL. The *in situ* bioremediation process had the objective of applying the technology to help the environment, by reintroducing microorganisms, improving their activity in the biodegradation process.

Keywords: bioremediation, biological additive, stabilization ponds, sewage treatment, wastewater.

1.0 INTRODUÇÃO

1.1 Caracterização do Problema

A grande vantagem das lagoas de estabilização é o fato de serem meios relativamente baratos e muitos eficientes para tratamento de resíduos orgânicos. São de fácil construção, mínimo de manutenção e nenhuma mecanização. Portanto, constituem uma das soluções aplicáveis às condições sócio-econômicas e climáticas dos países em desenvolvimento, como o Brasil.

Grande parte dos profissionais de engenharia sanitária continua a recomendar a construção de tais unidades de tratamento de águas residuárias; entretanto, os mais renomados membros de sua profissão consideram que lagoas de estabilização são os mais desejáveis métodos para países em desenvolvimento, para pequenas e médias populações – se a terra é disponível (MARA, 1976).

Segundo Silva & Mara (1979), lagoas de estabilização são, sem dúvida alguma, o mais importante processo de tratamento de águas residuárias nos climas tropicais, onde normalmente se dispõe de terrenos a custos relativamente baixos e onde a temperatura e luminosidade são favoráveis ao seu desempenho. O reduzido custo de construção e operação das lagoas de estabilização, comparado àqueles dos métodos convencionais de tratamento, é a principal razão de sua aceitação, principalmente nas pequenas comunidades.

Os sistemas de tratamento de águas residuárias mais comumente propostos pelos engenheiros sanitários são unidades de lodo ativado, lagoas aeradas e outros sistemas convencionais. Enquanto que, as exigências de espaço para tais sistemas são relativamente baixos, eles necessitam de muito capital para sua construção (compra de material, equipamentos, etc.) e são caros para operar e manter, devido ao custo da eletricidade e com necessidade de supervisão por especialistas.

Portanto, as lagoas de estabilização, por serem comprovadamente eficientes e possuírem as vantagens citadas, devem ser mais intensamente estudadas a fim de serem otimizadas.

Uma das perspectivas é a utilização da técnica de biorremediação, que usa de forma controlada processos microbiológicos que ocorrem normalmente na natureza para remover poluentes. Especificamente, a biorremediação atua através da introdução de processos biológicos adicionais para a decomposição dos resíduos que favorecem e incrementam a velocidade do processo natural de degradação. A grande maioria dos compostos orgânicos conhecidos, de origem animal ou vegetal, bem como muitos agentes químicos tóxicos, pode ser biodegradável através de técnicas de biorremediação. (BRANCO, 2002).

A utilização de microrganismos em estações de tratamento de esgoto já vem sendo praticada desde os primórdios do desenvolvimento dos processos biológicos de tratamento. A biorremediação é uma tecnologia bastante utilizada em reatores biológicos, propondo a recuperação e adequação dos mesmos através da utilização de culturas de microrganismos selecionados que, adicionados ao esgoto bruto, podem degradar a matéria orgânica presente com mais rapidez e eficiência.

1.2 Objetivos

O objetivo deste trabalho foi verificar a possibilidade de melhoria do funcionamento das estações de tratamento de esgotos com ênfase na redução de odores, utilizando aditivos biológicos com o intuito de aumentar a eficiência dos processos biológicos envolvidos no tratamento dos efluentes, bem como, propiciar uma elevada tratabilidade das águas residuárias e sua adequabilidade de lançamento e descarte ao meio ambiente e até mesmo ao reúso.

Como objetivo específico, buscou-se verificar, aplicando-se um aditivo biológico no sistema de esgotamento sanitário da cidade de Juazeiro do Norte-Ceará, qual seu efeito sobre algumas características físico-químicas e bacteriológicas do efluente da estação de tratamento de esgoto, constituída de lagoas de estabilização em série.

2.0 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Lagoas de Estabilização

2.1.1 Definições e Princípios

As lagoas de estabilização, genericamente falando, são sistemas dos mais simples de tratamento de esgotos, principalmente devido à simplicidade na construção, operação, manutenção, controle e eficiência na remoção de organismos patogênicos. (ANDRADE NETO, 1997, p. 136).

Conforme o ponto de vista de alguns autores especialistas no ramo da engenharia sanitária mundial, os conceitos estabelecidos para lagoa de estabilização resumem-se em: eficiência, simplicidade, operacionalidade e controle; de acordo com as seguintes definições:

“As lagoas de estabilização são grandes reservatórios de pequena profundidade, delimitados por diques de terra, onde as águas residuárias são tratadas por processos inteiramente naturais, envolvendo algas e bactérias.” (MARA, 1976)

Lagoa de estabilização é um reator biológico dimensionado dentro de critérios técnicos, e que recebe águas residuárias brutas, as quais são submetidas à degradação biológica, de maneira a estabilizar, ou seja, mineralizar o máximo possível de sua carga orgânica e reduzir o número de microrganismos patogênicos nelas existentes. (SILVA e MARA, 1979).

“[...] sistema de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou redução fotossintética das algas.” (PESSOA & JORDÃO, 1982).

“Lagunas de estabilización el término o denominación que incluye todos los tipos de lagunas y a la vez describe mejor los processos que se desarrollan durante el tratamiento de las aguas residuales.”¹(CUBILLUS, 1986).

“As lagoas de estabilização são corpos de água lênticos, construídos pelo homem e destinados a armazenar resíduos líquidos de natureza orgânica, esgoto sanitário bruto e sedimentado, despejos industriais orgânicos e oxidáveis ou águas residuárias oxidadas.” (UEHARA e VIDAL, 1989).

“Uma lagoa de estabilização é uma depressão no terreno que permite que o esgoto seja retido por um período de tempo, antes de atingir o corpo receptor, e em que fenômenos de natureza física, biológica e química ocorrerão, acarretando uma atenuação do impacto poluente original.” (MANUAL DE OPERAÇÃO, 1992).

“[...] waste stabilization ponds are impoundments into which wastewater relies solely on the natural processes of biological purification that occur in any natural water body. No external energy, other than derived from sunlight, is required for their operation.”²(MARA et al., 1992).

“As lagoas de estabilização constituem um processo biológico de tratamento de águas residuárias que se caracterizam pela simplicidade, eficiência e baixo custo.” (MATSUSHITA, S.D. *apud* KELLNER e PIRES, 1998).

¹ “Lagoas de estabilização é o termo ou denominação que inclui todos os tipos de lagoas ao mesmo tempo, que descreve melhor os processos que se desenvolvem durante o tratamento das águas residuárias.”

² “[...] lagoas de estabilização são açudes dentro dos quais o esgoto flui, entrando e saindo após em período de retenção definido. O tratamento conta apenas com os processos naturais de purificação biológica que ocorrem em qualquer corpo natural de água. Nenhuma energia externa, além daquela originada da luz solar, é requerida para a operação.”

2.1.2 Histórico

O tratamento de esgotos em lagoas surgiu, em vários lugares do mundo, de maneira mais ou menos “casual”, ao lançar-se esgotos em lagoas pré-existentes e verificando que esses esgotos, em geral eram estabilizados, sem a esperada produção de mau cheiro, ao mesmo tempo que as águas da lagoa se tornavam esverdeadas, graças à proliferação de algas microscópicas estimulada pelos esgotos como se tratasse de um adubo. (BRANCO, S. M., 2002).

Nos EUA, provavelmente em 1901, uma lagoa de armazenamento de esgotos foi construída na cidade de San Antonio, Texas, com a finalidade de utilizar a água na irrigação. Verificou-se, posteriormente, que os efluente possuíam melhor qualidade que os afluentes, ou seja, ocorreu um tratamento do esgoto. (VICTORETTI, 1964 ; SILVA e MARA, 1979).

A Califórnia iniciou o uso de lagoas de estabilização a partir de 1911, quando Betterweet, no Condado de San Benito, construiu uma lagoa para receber águas residuárias de estações de bombeamento de petróleo, de unidades geradoras de vapor e águas residuárias domésticas.(OSWALD, 1961 *apud* SILVA e MARA, 1979).

Em 1924, na cidade de Santa Rosa, Califórnia, lançaram-se os esgotos sobre um leito natural de pedras, imaginando-se que este funcionaria como um filtro natural, antes do despejo final no poluído córrego Santa Rosa. Em pouco tempo, o esgoto bruto colmatou o leito de pedra formando uma lagoa de 90cm de profundidade, sem apresentar odores desagradáveis. (KELLNER e PIRES, 1998).

Em meados de 1940, foram iniciadas pesquisas para a depuração do esgoto bruto de Melbourne, empregando-se lagoas de estabilização (PARKER *et al.*, 1950; VICTORETTI, 1964).

A primeira lagoa de estabilização a ser construída nos Estados Unidos, seguindo os princípios técnicos até então disponíveis, foi a da cidade de Maddock, na Dakota do Norte, em 1948. (SVORE, 1961 *apud* SILVA e MARA, 1979).

Em fins da década de 50, principalmente durante a década de 60, as lagoas de estabilização despertaram mais interesse, passando a ser usadas largamente, não só como processo de tratamento das águas residuárias domésticas, mas também daquelas industriais, e chamaram a atenção dos estudiosos em várias partes do mundo, os quais passaram a aprofundar, através de pesquisas, o conhecimento sobre o processo em questão. (SILVA e MARA, 1979).

Pode-se concluir, do que foi exposto, que inicialmente as lagoas de estabilização foram utilizadas sem nenhum critério técnico e, em diversos casos, completamente por acaso.

No Brasil, a primeira lagoa de estabilização a ser construída dentro de critérios técnicos foi a da cidade de São José dos Campos, no Estado de São Paulo, cujo idealizador foi o Engº. Benoit Almeida Victoretti, no ano de 1960. Essa lagoa, tendo caráter experimental, tipo australiano, serviu para o levantamento de dados iniciais sobre rendimento, associações biológicas entre algas e bactérias, tempos de detenção e muitos outros parâmetros importantes para projeto. (KELLNER e PIRES, 1998).

No Estado do Ceará, o primeiro sistema de lagoa foi implantado em 1974, no maior conjunto habitacional da cidade de Fortaleza, o Conjunto Ceará. (DA SILVA *et al.*, 1999).

Existem pelo menos 40 ETE's do tipo lagoas de estabilização no Ceará, das quais 21 estão na Região Metropolitana de Fortaleza. Encontram-se em fase de projeto ou execução mais 60 ETE's deste tipo. (DA SILVA e ARAÚJO, 2004).

2.1.3 Generalidades

A partir de 1950, quando houve uma maior ascensão aos estudos técnicos, trazendo dados que permitiam um melhor dimensionamento das lagoas, principalmente em termos de tempos de detenção, dois sistemas logo se diferenciaram pelo tratamento prévio dado aos esgotos antes de seu lançamento à lagoa:

a) O “sistema americano”, em que o esgoto era submetido previamente a um tratamento primário, em decantadores primários, visando não só reduzir a carga de sólidos mas, principalmente, “clarificar” os esgotos, permitindo maior penetração da luz, essencial à fotossíntese;

b) O “sistema australiano”, em que não só a sedimentação, mas uma depuração prévia era realizada em uma lagoa primária, com menor tempo de detenção, onde se realizava uma digestão anaeróbia, metânica, a céu aberto. (BRANCO, 2002).

2.1.4 Descrição e Caracterização

Nas lagoas de estabilização os esgotos são lançados e mantidos durante vários dias (período de detenção), necessários para que a matéria orgânica sofra, convenientemente, a ação de processos naturais de tratamento físico, bioquímico e biológico, denominados “auto-depuração” ou “estabilização”. (DACCACH, 1984).

Estes processos naturais, sob condições parcialmente controladas, são responsáveis pela transformação de compostos orgânicos putrescíveis em compostos minerais ou orgânicos mais estáveis, daí a denominação restritiva de “estabilização”. (BRANCO, 2002).

Conforme Von Sperling (1996), as lagoas de estabilização são indicadas para as condições brasileiras, devido aos seguintes aspectos:

- Vasta disponibilidade de área;
- Condições climáticas favoráveis (temperatura e insolação altas);
- Simplicidade operacional;
- Necessidade de poucos ou nenhum equipamento.

As lagoas de estabilização são classificadas em quatro (04) tipos, segundo o ponto de vista do processo de degradação biológica da matéria orgânica. (POVINELLI, 1977; HAMMER, 1979; ANDRADE NETO, 1997).

2.1.5 Lagoas Anaeróbias

As lagoas anaeróbias funcionam de modo semelhante a uma fossa séptica desprovida de cobertura. Seus principais inconvenientes são os maus odores e necessidade de remoção periódica do lodo. (DACCACH, 1984).

O processo de depuração que é desenvolvido nestas lagoas não necessita da presença de luz solar na massa líquida, permitindo assim, a total negligência quanto a turbidez, e com isso, possibilita a entrada no sistema de altas cargas orgânicas. (ANDRADE NETO, 1997).

Conforme Silva e Mara (1979), a operação ótima dessa lagoa depende do equilíbrio entre as bactérias formadoras de ácido e as formadoras de metano. Com este equilíbrio estabilizado, a temperatura será maior que 15°C e seu pH deve ser mantido acima de 6. Mantidos estes parâmetros, a acumulação de lodo é mínima e sua remoção ocorrerá a cada 3 a 5 anos.

Segundo Von Sperling (1996b), a profundidade dessas lagoas é da ordem de 4 a 5m, o que permite reduzir a possibilidade da penetração do oxigênio produzido na superfície, para as camadas mais profundas.

A eficiência provável na remoção de DBO nas lagoas anaeróbias está intimamente relacionada à detenção e à temperatura do líquido (ver Tabela 2.1).

Tabela 2.1 – Percentagem de redução da DBO₅ afluente em função da temperatura da água e do tempo de detenção hidráulica (Td).

Temperatura Lagoas Anaeróbia (°C)	Tempo de Detenção (dias)	Remoção de DBO ₅ (%)
10 – 15	4 – 5	30 – 40
15 – 20	2 – 3	40 – 50
20 – 25	1 – 2	50 – 60
25 – 30	1 - 2	60 – 80

Fonte: ARCEIVALA citado em YANEZ (1993)

Conforme Mendonça (1990) *apud* Von Sperling (1996b): “A taxa de acúmulo de lodo nas lagoas anaeróbias é da ordem de 0,03 a 0,04m³/hab.ano”. Este autor cita que essas lagoas devem ser limpas quando a camada de lodo atingir aproximadamente a metade da altura útil.

O tratamento de esgoto afluente se dá pela atuação de dois processos que são a sedimentação e a digestão anaeróbia.

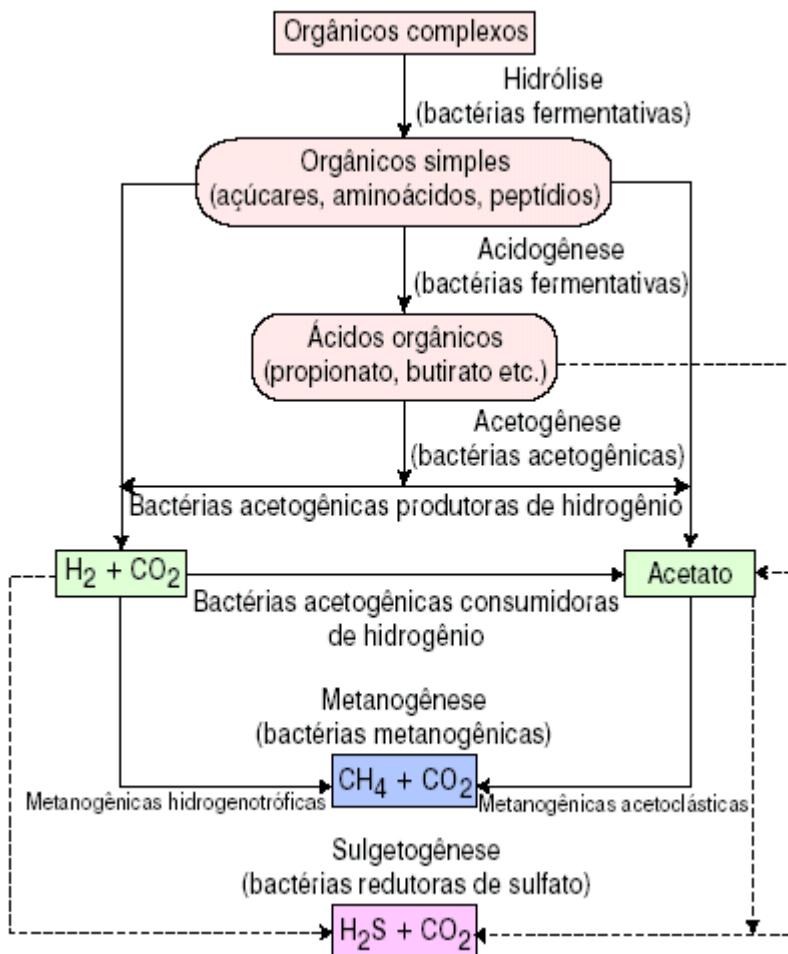
2.1.5.1 Digestão Anaeróbia

De forma simplificada, a digestão anaeróbia é um processo que ocorre em duas fases. Este processo depende do delicado equilíbrio entre as bactérias formadoras de ácidos, denominadas acidogênicas, e aquelas formadoras de metano, as metanogênicas. (SILVA e MARA, 1979).

Segundo Braile e Cavalcanti (1993), os microrganismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica são comumente divididos em dois grupos: o primeiro, hidroliza e fermenta compostos orgânicos complexos para ácidos orgânicos simples; o segundo grupo, converte os ácidos orgânicos formados pelo primeiro grupo em gás metano e gás carbônico. As bactérias responsáveis por esta transformação são estritamente anaeróbias.

A digestão anaeróbia que ocorre neste tipo de lagoa é um processo biológico natural que acontece na ausência de oxigênio molecular, resultando, como principais produtos gasosos, o metano e o gás carbônico. (ZAIAT, 2002).

Embora o processo de digestão anaeróbia seja simplificadamente considerado como de duas fases, este pode ser subdividido em quatro fases principais, como: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese. A Figura 2.1 representa esquematicamente os grupos bacterianos e as fases da digestão anaeróbia.



Fonte: Adaptado de Chernicharo, 1997.

Figura 2.1 – Seqüências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.

Em cada fase da digestão anaeróbia pode ser verificado o seguinte:

Hidrólise: Nessa fase se dá a liquefação da matéria sólida insolúvel em substâncias solúveis. Essa etapa é realizada graças à ação de enzimas exógenas, as quais, uma vez produzidas pelas bactérias, são liberadas no meio onde vão exercer sua atividade catalizadora sobre o material sólido de forma a que, uma vez solúveis, possam ser absorvidos através das paredes celulares dos microrganismos bacterianos (BRANCO, 1986).

Acidogênese: Os açucares e aminoácidos são absorvidos pelos organismos acidogênicos e fermentados intracelularmente a ácidos graxos de cadeias mais curtas, como ácido propiônico, butírico, além de CO_2 , H_2 e acetato.

Acetogênese: As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas. Dessa forma, as bactérias acetogênicas fazem parte de um grupo metabólico intermediário que produz substrato para as metanogênicas (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1996).

Metanogênese: A etapa final no processo global de degradação anaeróbia dos compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono é efetuada pelas bactérias metanogênicas. Metano é o produto final da mineralização da digestão anaeróbia.

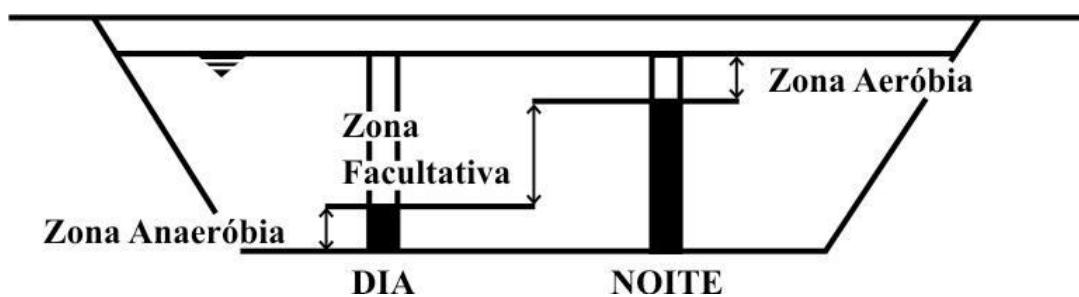
Os principais problemas operacionais das lagoas anaeróbias são os seguintes (CETESB, 1989; JORDÃO e PESSOA, 1995).

- aparecimento de maus odores
- proliferação de insetos
- crescimento de vegetais
- manchas verdes no encontro do nível de água com o talude
- entupimento das tubulações de entrada
- superfície da lagoa coberta por uma camada de escuma.

2.3.6 Lagoas Facultativas

As lagoas facultativas são aquelas em que ocorrem, simultaneamente, processos de fermentação anaeróbia, oxidação aeróbia, e reação fotossintética. Uma zona de atividade anaeróbia é sobreposta por uma zona de atividade biológica aeróbia, próxima à superfície (KELLNER e PIRES, 1998).

O termo facultativa refere-se à dualidade ambiental característica desse tipo de lagoa: aeróbia na superfície e anaeróbia no fundo. Durante a maior parte do dia, prevalecem as condições aeróbias na maior parte da coluna líquida, devido principalmente à produção de oxigênio fotossintético e a reaeração superficial. Ao anoitecer, cessada a incidência da luz solar sobre a lagoa, a produção de oxigênio, a partir da fotossíntese é interrompida. Com isso, passa a prevalecer a condição anaeróbia na maior parte da coluna líquida. Essa região em que ora aparece como aeróbia, ora como anaeróbia, caracteriza esse tipo de lagoa como facultativa. A Figura 2.2 ilustra a ocorrência das três zonas presentes nas lagoas facultativas.



Fonte: Adaptado de Kellner e Pires (1998)

Figura 2.2 – Variação das zonas aeróbias e anaeróbias de uma lagoa facultativa

O trabalho de degradação da matéria orgânica em lagoas facultativas dá-se pelas bactérias e algas através de dois princípios básicos, respectivamente: respiração e fotossíntese. O primeiro constitui um processo pelo qual os organismos liberam dos alimentos ingeridos ou acumulados as energias necessárias para suas atividades vitais, inclusive locomotoras. A fotossíntese é um processo contrário da respiração, na qual, determinados organismos conseguem sintetizar a matéria orgânica, portanto acumular energia, utilizando como fonte de energia a luz solar. Esses dois processos podem ocorrer com alta, baixa ou nenhuma intensidade, dependendo

da profundidade e do horário de ocorrência em diferentes pontos da lagoa definidos por zona anaeróbia, aeróbia e zona facultativa.

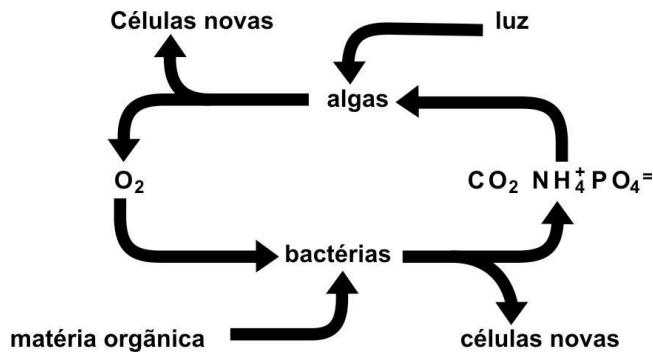
Na zona anaeróbia não ocorre fotossíntese devido à falta de luz solar, portanto, não há oxigênio. O que ocorre é um processo de respiração anaeróbia, onde o lodo de fundo formado pela sedimentação da matéria orgânica em suspensão (DBO particulada) é decomposto pelas bactérias anaeróbias e convertido a gás carbônico, metano, água, gás sulfídrico e outros.

Andrade Neto (1997), diz que compostos mal cheirosos como gás sulfídrico, por exemplo, formado na camada de lodo do fundo são oxidados no meio aeróbio não chegando a alcançar a superfície e por consequência não gera problema de mau odor, salvo esporádicos problemas de sobrecarga ou variações bruscas de temperatura.

Na zona aeróbia, camada mais superficial da lagoa, a fotossíntese é bastante intensa devido à incidência direta de luz solar sobre a mesma. Nessa zona, o processo de oxidação da matéria orgânica suspensa, que não sedimentou, ocorre por meio de respiração aeróbia.

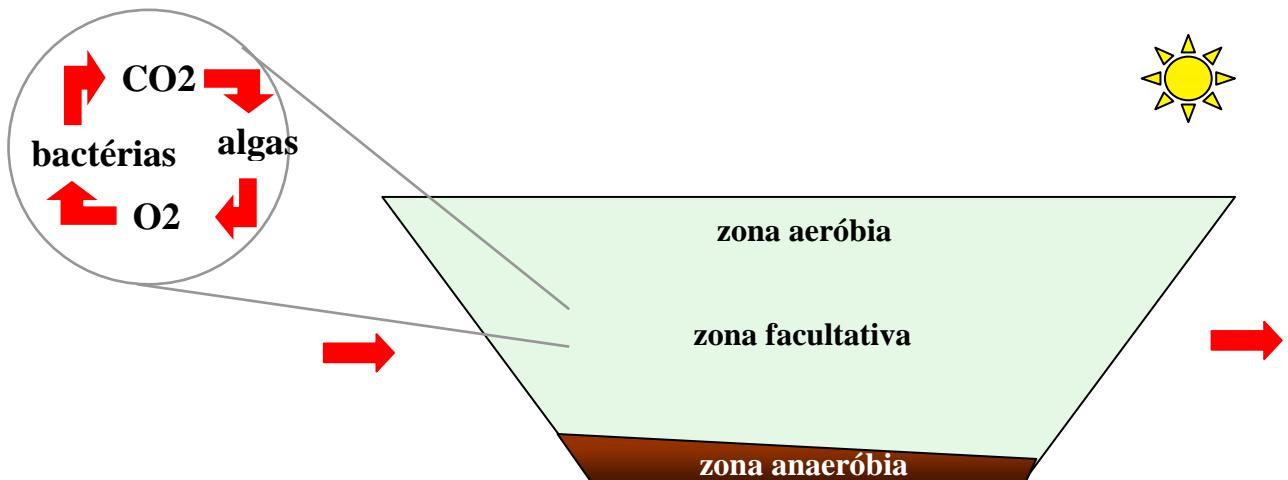
Com a profundidade, tem-se a zona facultativa, que é o intermediário entre as zonas anaeróbias e aeróbias. Nesta zona, o processo fotossintético é menor e, por consequência, o oxigênio dissolvido também. As bactérias presentes são as facultativas, que sobrevivem tanto na presença como na ausência de oxigênio.

De acordo com Von Sperling (1996b), o comportamento das algas e bactérias, portanto, está relacionado ao balanço do consumo e produção de oxigênio e gás carbônico através dos processos de fotossíntese e respiração, onde na fotossíntese as algas consomem o gás carbônico produzido pelas bactérias para produzir oxigênio e na respiração as bactérias consomem este oxigênio para produzir gás carbônico e vice-versa. Existe, portanto, uma associação de mútuo benefício (symbiose) entre as algas e bactérias em uma lagoa. As Figuras 2.3 e 2.4 apresentam a ocorrência da symbiose e o funcionamento de uma lagoa facultativa, respectivamente.



Fonte: Silva e Mara (1979)

Figura 2.3 – Simbiose de algas e bactérias em lagoas de estabilização



Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996b)

Figura 2.4 – Esquema simplificado do funcionamento de uma lagoa facultativa

Para que ocorra a fotossíntese é necessário energia luminosa. Como a mesma só acontece durante o dia, no período da noite pode ocorrer uma mistura, e como não há fotossíntese o consumo de oxigênio prevalece sobre a produção. Apenas na superfície da lagoa é que se encontra oxigênio dissolvido devido a reaeração atmosférica. Von Sperling (1996b) explica que, com a profundidade, na lagoa existe um ponto chamado *oxipausa* onde a produção de oxigênio pelas algas se iguala ao consumo de oxigênio pelas próprias bactérias e pelos microrganismos decompositores.

As condições ambientais exercem também grande influência nas lagoas de estabilização, sendo as principais: radiação solar, temperatura e vento, os quais são comentados na Tabela 2.2 (Jordão e Pessoa, 1995 *apud* Von Sperling, 1996b).

Tabela 2.2 – Influência dos principais fatores ambientais externos em lagoas de estabilização

Fator	Influência
<i>Radiação solar</i>	- Velocidade de fotossíntese
<i>Temperatura</i>	- Velocidade de fotossíntese - Taxa de decomposição bacteriana - Solubilidade e transferência de gases - Condições de mistura
<i>Vento</i>	- Condições de mistura - Reaeração atmosférica (*)

(*) mecanismo de menor importância no balanço de OD

Fonte: Von Sperling (1996b)

Silva e Mara (1979) relatam que a mistura realiza algumas funções vitais numa lagoa, tais como: minimiza a possibilidade de ocorrência de curtos circuitos hidráulicos, reduz a formação de zonas estagnadas, distribui uniformemente no sentido vertical da DBO (algas e oxigênio), transporta as algas não motoras para a zona fótica superficial, que tendem a sedimentar, e transporta oxigênio produzido na zona fótica para as camadas inferiores, podendo assim, aumentar a carga de DBO que pode ser tratada em uma lagoa.

Quando numa lagoa não há mistura, a mesma fica sujeita a ocorrência de um processo chamado *estratificação térmica*, a qual provoca a separação da camada superficial (quente) da inferior (fria) por uma fina camada de mudança de temperatura chamada *termoclima*. Quando isso acontece, há redução na produção de oxigênio e na estabilização da matéria orgânica, ocasionando, assim, a redução na eficiência do tratamento.

O efluente de uma lagoa facultativa possui as seguintes características principais (CETESB, 1989):

- cor verde devida às algas;

- elevado teor de oxigênio dissolvido;
- sólidos em suspensão, embora praticamente estes não sejam sedimentáveis (as algas não sedimentam no teste de cone Imhoff).

Assim como nas lagoas anaeróbias, para as lagoas facultativas adotam-se alguns critérios de projeto durante sua implantação. A taxa de aplicação superficial é um dos mais importantes itens de projeto, e fundamenta-se na necessidade de uma área extensa à exposição da luz solar e sua taxa é expressa em termos de carga de DBO (Ls, expressa em KgDBO₅/ha.d). Von Sperling (1996b) adota taxas de aplicação superficial variando de acordo com cada região:

- Regiões com inverno quente e elevada insolação: Ls = 240 a 350 KgDBO₅/ha.d
- Regiões com inverno e insolação moderados: Ls = 120 a 240 KgDBO₅/ha.d
- Regiões com inverno frio e baixa insolação: Ls = 100 a 180 KgDBO₅/ha.d

A profundidade é outro item importante e exerce influência em aspectos físicos, biológicos e hidrodinâmicos da lagoa. Von Sperling (1996b) adota uma faixa que varia de 1,5m a 2m. Silva e Mara (1979) e Kellner e Pires (1998) adotam profundidades para as lagoas facultativas de 1m a 1,5m.

O tempo de detenção hidráulico é um critério que se refere ao tempo necessário de ocorrência da estabilização da matéria orgânica, e está associado ao volume e à vazão de projeto. As faixas adotadas por Von Sperling (1996b) variam de 15 a 45 dias. Já Kellner e Pires (1998) dizem que podem variar próximas a 20 dias. Quanto à geometria da lagoa (relação comprimento/largura) pode variar de L/B = 2 a 4 (VON SPERLING, 1996b).

2.3.7 Lagoas de Maturação

As lagoas de maturação, também conhecidas como lagoas de polimento, funcionam como segundo estágio de tratamento após as lagoas facultativas. As mesmas são projetadas para receber o efluente das lagoas facultativas, ou de outros processos de tratamento, objetivando

melhorar a qualidade do efluente. Dentre os mais diversos tipos de tratamento de esgoto, as lagoas de maturação são as mais eficientes na remoção de organismos patogênicos.

A remoção de patogênicos em uma lagoa de estabilização é devida ao tempo de exposição destes microrganismos a condições adversas de sobrevivência, dependentes de: temperatura elevada; radiação ultravioleta; condições aeróbias, principalmente em níveis de saturação de O₂; redução do substrato (nutrientes orgânicos); competição vital; pH elevado; e a combinação de vários destes fatores (ANDRADE NETO, 1998).

Von Sperling (1996a) diz que entre os organismos a serem removidos, incluem-se bactérias, vírus, cistos de protozoários e ovos de helmintos. As bactérias e vírus são representados pelos *coliformes* como indicadores. A remoção de bactérias e vírus é influenciada pelas condições adversas; já os cistos de protozoários e ovos de helmintos são removidos através da sedimentação.

Segundo Silva e Mara (1979), as lagoas de maturação, quando bem dimensionadas, chegam a remover até 99,99% ou mais de coliformes fecais presentes no esgoto bruto, não apresentando, assim, problemas para obter efluentes que exijam menos de 5000 CF/100mL.

Além de remover patógenos, as lagoas de maturação são bastante eficientes na remoção de nutrientes, principalmente, nitrogênio e fósforo. Uma das formas de remoção de nitrogênio se dá através da volatilização da amônia e a remoção de fósforo, através da precipitação de fosfatos, principalmente na forma de hidroxiapatita. Estes dois tipos de remoção ocorrem devido às condições de baixa profundidade, a qual permite a ocorrência total da fotossíntese em toda a lagoa, e por consequência, elevados valores de pH, portanto fatores característicos das lagoas de maturação (SILVA e MARA, 1979).

De acordo com Von Sperling (1996b), em termos de projeto de implantação, as lagoas de maturação são usualmente projetadas com baixas profundidades, de forma a maximizar os efeitos bactericidas da luz solar, bem como da fotossíntese, resultando na elevação do pH. Valores comumente adotados são de 0,8 a 1,5m.

2.1.8 Lagoas de Alta Taxa de Degradação

São lagoas de estabilização pouco profundas, projetadas para o tratamento de águas resíduárias decantadas, visando uma produção máxima de algas (SILVA e MARA, 1979). Constituem um poderoso método para produção de proteínas, sendo de 100 a 1000 vezes mais produtivas que a agricultura convencional (Ver Tabela 2.3). É aconselhável o seu uso, para tratamento de esgoto, quando houver a viabilidade do reaproveitamento da produção das algas. A sua operação exige pessoal capaz e o seu uso é restrito. A profundidade média é de 0,3m a 0,5m (FUNASA, 2004).

Segundo Andrade Neto (1997), essas lagoas, mesmo sem ter a massa líquida clara como as de maturação, aproveitam ao máximo a energia da luz solar porque são ainda mais rasas (± 50 cm) e, consequentemente, têm alta produção de oxigênio fotossintético e mantêm condições aeróbias predominantes mesmo sob altas cargas orgânicas, resultando uma alta taxa de degradação.

A biomassa de algas produzida, após certificação da ausência de algas toxigênicas, pode ser empregada como alimento peletizado, fertilizante, na produção de biogás e como fonte de produtos químicos. Apesar de potencialmente promissora, a produção de algas em lagoas de alta taxa tem aceitação pública limitada e custo elevado (ARAÚJO, 1999).

O dimensionamento de lagoas de alta taxa baseia-se na taxa de fotossíntese pretendida para a lagoa, dependendo, portanto, de condições climáticas (luz e temperatura) que favoreçam a atividade fotossintética. Normalmente, o efluente deste tipo de lagoa, após a remoção das algas, apresenta uma DBO_5 de 20 mg/L e OD em torno de 0,5 mg/L .

Tabela 2.3 – Produções de Proteínas de Culturas Agrícolas comparadas com a produção de algas em lagoa de Alta Taxa de Degradação

Produção de Proteínas de Culturas Agrícolas e Aquaculturas	
Cultura	Produção de Proteínas (kg/ha.ano)
Soja	650
Milho	270
Trigo	150
Arroz	55
Algás	82.000+

+ Produção de uma lagoa de Alta Taxa de Degradação.

Fonte: Adaptado de McGarry (1971)

2.2 Legislação Brasileira para Corpos Aquáticos e Padrões de Lançamento de Efluentes

A legislação federal que determina os padrões e critérios de qualidade das águas a serem mantidos no território nacional é a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, a qual estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas em treze classes e os parâmetros físicos, químicos e biológicos que as definem, estabelecendo as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Segundo Bezerra (2004), o Estado do Ceará, assim como outros estados brasileiros, ainda não dispõem de um enquadramento dos seus vários corpos d'água, portanto se os mesmos forem de água doce são automaticamente classificados como sendo de Classe 2. A Tabela 2.4 mostra os padrões de qualidade a serem mantidos nos corpos d'água de Classe 2, de acordo com a resolução CONAMA 357/05.

Tabela 2.4 – Padrões de qualidade a serem mantidos em corpos d’água de classe 2

Parâmetro	Valor limite no corpo d’água
Potencial Hidrogeniônico	6 a 9
Demandas Bioquímicas de Oxigênio	$\leq 5 \text{ mg/L}$
Oxigênio Dissolvido	$\geq 5 \text{ mg/L}$
Nitrogênio amoniacal	3,7 mg/L N, para $\text{pH} \leq 7,5$ 2,0 mg/L N, para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$ 1,0 mg/L N, para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$ 0,5 mg/L N, para $\text{pH} > 8,5$
Nitrato	10 mg/L
Fósforo total	Até 0,030 mg/L em ambientes lênticos Até 0,050 mg/L em ambientes intermediários
Coliformes fecais	$\leq 1000 \text{ CF/100mL}$

Fonte: Resolução CONAMA 357/05

Além dos padrões de qualidade estabelecidos para os corpos d’água, a legislação determina os padrões de lançamento nos mesmos, para efluentes de qualquer fonte poluidora.

Vários estados brasileiros dispõem de legislação própria para o controle de efluentes. No Estado do Ceará, a Superintendência Estadual de Meio Ambiente – SEMACE estabelece a legislação que regulamenta os padrões de lançamento de efluentes através da Portaria nº 154, de Julho de 2002, a qual dispõe sobre os padrões e condições para o lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras.

O artigo 4º da Portaria 154/02 diz que as indústrias ou qualquer fonte poluidora localizada em áreas não dotadas de rede pública provida de sistema de tratamento, deverão possuir estação de tratamento própria, de maneira a atender aos padrões de qualidade dos cursos de água estabelecidos em função de sua classe, segundo seus usos preponderantes, bem como a enquadrar seus despejos líquidos aos padrões estabelecidos.

A Portaria 154/02 determina, no § 2º, que, devido às características específicas, os efluentes provenientes de sistemas de lagoa de estabilização deverão obedecer aos mesmos padrões estabelecidos pelo art. 4º, com exceção de alguns parâmetros. A Tabela 2.5 mostra os

parâmetros com seus respectivos valores estabelecidos pela Portaria 154/02, para qualquer estação de tratamento, e menciona os valores em particular para sistemas de lagoas de estabilização.

Tabela 2.5 – Padrões de lançamento de efluentes. Portaria 154/02, do Estado do Ceará.

Parâmetro	Portaria 154/02	Portaria 154/02 – Lagoas de Estabilização
pH	Entre 5 – 9	Entre 7,5 – 10
Temperatura (°C)	Inferior a 40	Inferior a 40 *
Materiais Sedimentáveis (mL/L)	Até 1	Até 1 (1)
Óleos e graxas (mg/L)	Minerais até 20 Vegetais e gorduras animais até 50	Minerais até 20 Vegetais e gorduras animais até 50
Materiais flutuantes	Ausentes	Ausentes
Amônia total (mg N/L)	5	5
Oxigênio dissolvido (mg/L)	-	> 3
DBO ₅ (mg/L)	-	60 amostra filtrada
DQO (mg/L)	200	200 amostra filtrada
Sólidos em Suspensão Total (mg/L)	Efluentes industriais 100 Efluentes domésticos 50	150
Coliformes Fecais	5000	5000

*sendo que a elevação da temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C

(1) em teste de 1 hora em Cone Imhoff

Fonte: SEMACE – Portaria 154/02

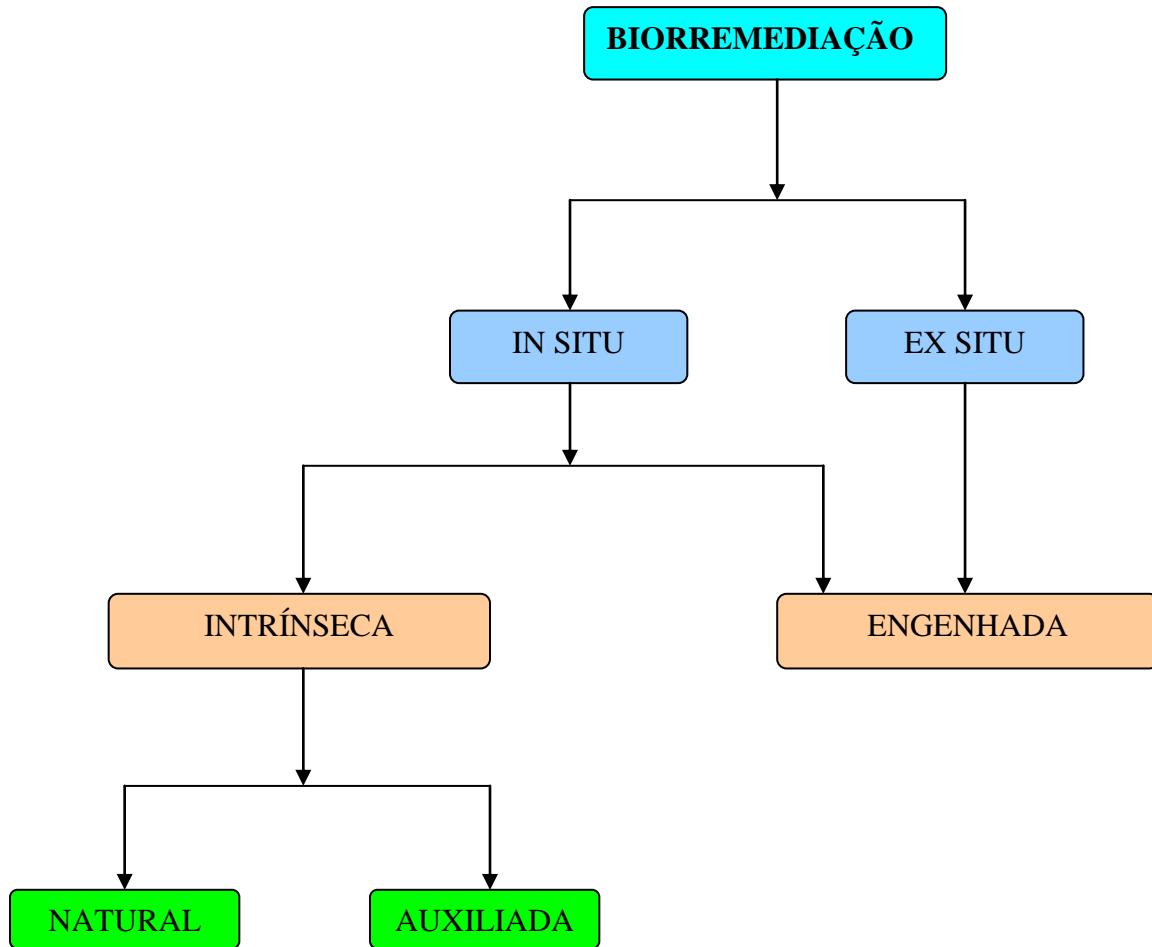
2.3 Biorremediação

2.3.1 Definições e Aplicabilidade

A biorremediação tem sido definida de muitas formas pelos principais organismos e centros de pesquisa. A Agência de Proteção Ambiental Americana (US-EPA) apresenta uma definição genérica à informação sobre a prática da biorremediação: “Biorremediação é o processo de tratamento que utiliza a ocorrência natural de microrganismos para degradar substâncias toxicamente perigosas transformando-as em substâncias menos ou não tóxicas”.

Cookson Jr. (1995) define biorremediação como sendo uma tecnologia de utilização de microrganismos na recuperação de áreas degradadas pela disposição de resíduos, particularmente químicos tóxicos. Branco (2002) explica essa tecnologia dizendo que consiste na intensificação da atividade decompositora, mediante seleção dos microrganismos envolvidos, adição de nutrientes ou modificação das características ambientais, de modo a torná-las mais favoráveis à ação dos microrganismos envolvidos no processo e, eventualmente, adaptação de espécies de microrganismos decompositores para que exerçam mais eficazmente a ação decompositora sobre compostos mais resistentes a biodegradação.

A Figura 2.5 apresenta um resumo das principais denominações que a biorremediação pode assumir segundo a localização onde ela praticada e as ações aplicadas.



Fonte PELEGRINI *et al.*, 2003.

Figura 2.5 Denominações usualmente empregadas para biorremediação

O processo de biorremediação que se dá no local contaminado é denominado biorremediação *in situ* (no local). Este processo, por ocorrer de forma intrínseca, no qual a ciência pouco interfere, acontece se valendo dos microrganismos existentes no local para a biodegradação. Quando há total ausência de interferência da ciência no processo, ela é denominada intrínseca-natural e, quando, em que pese à existência dos microrganismos necessários a biodegradação, ela não é em quantidade ou na localização exata para efeito efetivo sobre os contaminantes, a ciência dá uma mãozinha à natureza, através da recolocação de microrganismos e outros processos muito próximos dos utilizados pela própria natureza para fortalecer a ação dos microrganismos no processo de biodegradação. Esta segunda forma é denominada intrínseca-auxiliada (PELEGRINI *et al.*, 2003).

A biorremediação intrínseca é sempre *in situ*, ou seja, ela é, conceitualmente, sempre realizada no local da ocorrência contaminadora.

Há casos, entretanto, em que um simples auxílio não é suficiente à remediação por biodegradação natural (a biorremediação é possível, porém é necessária uma série muito maior de providências do que o simples auxílio ao meio ambiente natural). A tais casos são aplicadas verdadeiras técnicas de engenharia, que vão desde a modificação topográfica do local, implantação de novos microrganismos (organismos alóctones), implantação de bioreatores, aplicação de nutrientes. As técnicas que alocam grande quantidade de recursos tecnológicos, aliadas a um planejamento meticuloso e extenso, são chamadas biorremediação engenhada.

A biorremediação engenhada, dependendo das circunstâncias, pode ser realizada *in situ*, o que inicialmente é sempre recomendável por questões econômicas e de menor agressão ao meio ambiente.

Casos existem, entretanto, em que o material ou parte do ambiente, normalmente quando se trata de solo, há de ser removido para se evitar riscos de alastramento da área contaminada. Também, quando a remoção do ambiente contaminado é de pouca monta, vale a pena ser removida a parte contaminada a fim de evitar-se um alastramento de contaminação. Neste caso, a biorremediação é denominada *ex-situ*.

2.3.2 Biorremediação no Brasil

No mundo desenvolvido, é crescente o uso de biorremediadores no tratamento de esgotos domésticos e industriais com o propósito de preservar o meio ambiente e a saúde da população.

No Brasil, atualmente, os esforços desenvolvidos para elucidação da microbiologia ambiental são incipientes se comparados àqueles nos países desenvolvidos. Os estudos se concentram em maior intensidade na microbiologia de águas de abastecimento, portanto controle

de qualidade de mananciais e avaliação da biodegradação de compostos poluentes, do que na microbiologia dos processos de tratamento de resíduos. Porém, nota-se o aparecimento de grande interesse às linhas de pesquisa que contemplam a avaliação da microbiologia de bioreatores aplicados ao tratamento de resíduos, não somente pela sua importância intrínseca, mas também devido ao melhor conhecimento da biodiversidade microbiana existente nos ecossistemas brasileiros.

Nos laboratórios da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) da Unicamp, tem-se realizado pesquisas nessa área. O objetivo principal dos estudos conduzidos na FEA, é combater a contaminação do ambiente (mar, solo, rios e lençol freático), evitando desse modo prejuízos à cadeia alimentar e, consequentemente, ao homem.

Pesquisadores da Embrapa-Meio Ambiente em Jaguariúna, SP desenvolveram meios para multiplicar microrganismos (fungos, bactérias e actinomicetos) em laboratório, utilizando fermentadores, para depois inoculá-los em áreas contaminadas, acelerando assim o processo de biodegradação.

Uma das técnicas da biotecnologia é a biolixiviação, similar à bioventilação, nela, os microrganismos são recirculados nas pilhas de resíduos sólidos industriais até baixar a concentração do poluente alvo. Essa técnica vem sendo utilizada em Minas Gerais com sucesso na indústria de mineração.

Segundo técnicos da empresa LMS Meio Ambiente S/C Ltda., a tendência no Brasil é o desenvolvimento de processos biológicos de tratamento de baixo custo, que permitam a sua utilização em larga escala, atendendo às necessidades inerentes a qualidade ambiental e de saúde pública, além da preservação dos recursos naturais, notadamente os ecossistemas aquáticos.

2.3.3 Ação e Controle

As bactérias utilizadas na biorremediação se encontram abundantemente na natureza; são microrganismos facultativos selecionados por sua grande capacidade de produzir as enzimas

necessárias para quebrar as estruturas dos componentes orgânicos e especializados em digerir de forma mais rápida, segura e principalmente a baixo custo, todo o lixo orgânico produzido pelo homem, ou seja: gorduras, óleos, excretas, detergentes, restos de alimentação, papéis e outros, transformando-os em dióxido de carbono, sais, água, energia e outros dejetos inócuos ao meio ambiente.³

A biorremediação tem sido utilizada desde o final da década de 70 no processo de degradação de produtos derivados de petróleo e hidrocarbonetos, e que ao longo dos anos vem se aperfeiçoando no tratamento de várias naturezas no meio ambiente, tais como: no tratamento de resíduos sólidos em aterros sanitários, estações de tratamento de esgoto doméstico e industrial, despoluição de rios, lagos e oceanos.

De acordo com Tortora *et al.* (2000), a biorremediação pode ser utilizada para remover poluentes químicos e naturais, e as bactérias utilizadas podem ser naturais ou geneticamente modificadas, ou ainda complementadas com fertilizantes de vegetais comuns de nitrogênio e fósforo (biofertilizantes) dependendo do tipo de poluente que se deseja remover. Este último é um modo muito simples de acelerar o processo de limpeza e não necessita de engenharia genética, além do que, cientistas têm comprovado sua eficiência na remoção de petróleo, através do aumento da velocidade de degradação do mesmo.

Segundo Pedersen *et al.* (1992), as atividades de correção do ambiente, empregando microrganismos adaptados podem ser desenvolvidas *in situ*, isto é, no próprio campo, ou local afetado pelo lançamento continuado de um produto orgânico nocivo, ou, ao contrário, mediante a transferência do material poluente para um local apropriado – eventualmente um *bioreactor* – onde será feita a biorremediação em condições mais controladas.

³ <http://www.sanear01.ubbi.com.br/index.html> (07/07/05)

Os bioreatores são sistemas biológicos de tratamento, em especial ao tratamento de águas residuárias, e que podem ser aeróbios ou anaeróbios, onde, se operados sob determinadas condições, resulta na estabilização da matéria orgânica poluente. Nestes bioreatores ocorre o tratamento biológico ou biotratamento, que é uma outra tecnologia, a qual emprega a ação conjunta de espécies diferentes de microrganismos. Se neste é aplicado aditivo biológico à base de microrganismos selecionados, irá ocorrer a biorremediação, através da ação única e exclusiva de bactérias e enzimas produzidas por elas. A Figura 2.6 lista alguns sistemas biológicos empregados como bioreatores, bem como algumas de suas funções.

Para melhor distingui-las, Griffiths (1992) dá as definições das tecnologias citadas no tratamento de águas residuárias, a saber: Biotratamento, os poluentes são tratados em bioreatores, geralmente instalados junto às fontes de emissão; Biorremediação é a recuperação pelo tratamento *in situ* de ambientes danificados pela disposição de enormes quantidades de materiais poluentes tóxicos; pode ser necessário o uso de bioreatores.

Portanto, a biorremediação requer o controle e a manipulação de processos biológicos microbianos tanto na área degradada, com introdução de microrganismos específicos no local poluído, e, quando imprescindível, em reatores operados no local de disposição do material poluente. Neste último caso ocorre a interface com as tecnologias de biotratamento. Porém, na biorremediação, o objetivo principal é a obtenção de culturas bacterianas altamente especializadas na degradação de determinados poluentes.

Sistemas biológicos	Funções
Lagoas de estabilização	Fornecimento natural de oxigênio pelo desenvolvimento de algas em lagoas construídas para a degradação microbiana de compostos orgânicos poluentes, e conversão a dióxido de carbono e água.
Lodos Ativados, Filtros Biológicos, Lagoas Aeradas e Valos de Oxidação	Degradação microbiana de compostos orgânicos poluentes através do metabolismo aeróbio, facilitado pela disponibilidade artificial de oxigênio em reatores ou em lagos, e conversão a dióxido de carbono e água.
Sistema de nitrificação	Conversão de compostos orgânicos nitrogenados e amônia a nitratos
Sistemas de desnitrificação	Conversão de nitratos a nitrogênio gasoso
Sistema alterado anóxico e aeróbio para remoção de nutrientes	Remoção de nutrientes, particularmente de fosfatos
Biodigestão anaeróbia	Degradação microbiana de compostos orgânicos a ácidos orgânicos, álcoois, hidrogênio, dióxido de carbono e metano.

Fonte: Baseado em COOKSON JR. (1995).

Figura 2.6 – Sistemas biológicos e funções específicas.

2.4 Estação de tratamento de esgoto de Juazeiro do Norte/CE

2.4.1 Descrição do Projeto

O sistema de tratamento de esgoto de Juazeiro do Norte é composto de duas lagoas anaeróbias em paralelo, seguidas de duas lagoas facultativas, também em paralelo, com polimento final em uma lagoa de maturação. O sistema de lagoas é precedido de tratamento preliminar composto de duas caixas de areia dispostas em paralelo e de gradeamento através de cestas que retiram o material mais grosso do esgoto bruto. (Ver Figura 2.7 e 2.9).

O sistema de lagoas é operado sempre com uma divisão eqüitativa dos efluentes para os dois pares de lagoas anaeróbias e facultativas.

A relação comprimento/largura de cerca de 5 : 1 assegura uma maior proximidade do tempo de detenção teórico, garantindo assim as eficiências “desejadas”.

A lagoa de maturação confere ao efluente das lagoas facultativas um polimento final, reduzindo principalmente o número de organismos patogênicos e tendo como benefícios adicionais a redução do número de algas e da DBO do efluente tratado.

As lagoas anaeróbias foram projetadas para uma carga volumétrica de menos de 200 gDBO₅/m³.d, o que praticamente assegura a inexistência de maus odores durante o seu funcionamento. Entretanto, a partir da caixa de saída da lagoa de maturação foi projetada uma linha de recirculação cujo objetivo é retornar o efluente supersaturado de oxigênio para a lagoa anaeróbia sempre que houver a ocorrência de odores fortes.

A vazão média de projeto é de 204,7 l/s (vazão calculada em função do Td).

Nas Figuras 2.8 a 2.10 estão indicados esquemas de estações elevatórias do sistema de esgotamento de Juazeiro do Norte: do bairro Salesiano (Figura 2.8); do bairro Malvas (Figura 2.9); do bairro Vila Fátima (Figura 2.10).

2.4.2 Características do Sistema

O tratamento preliminar é constituído de grade de barras, caixas de areia e calha Parshall, executado em uma caixa de concreto armado, com os seus componentes modelados em paredes secundárias de concreto.

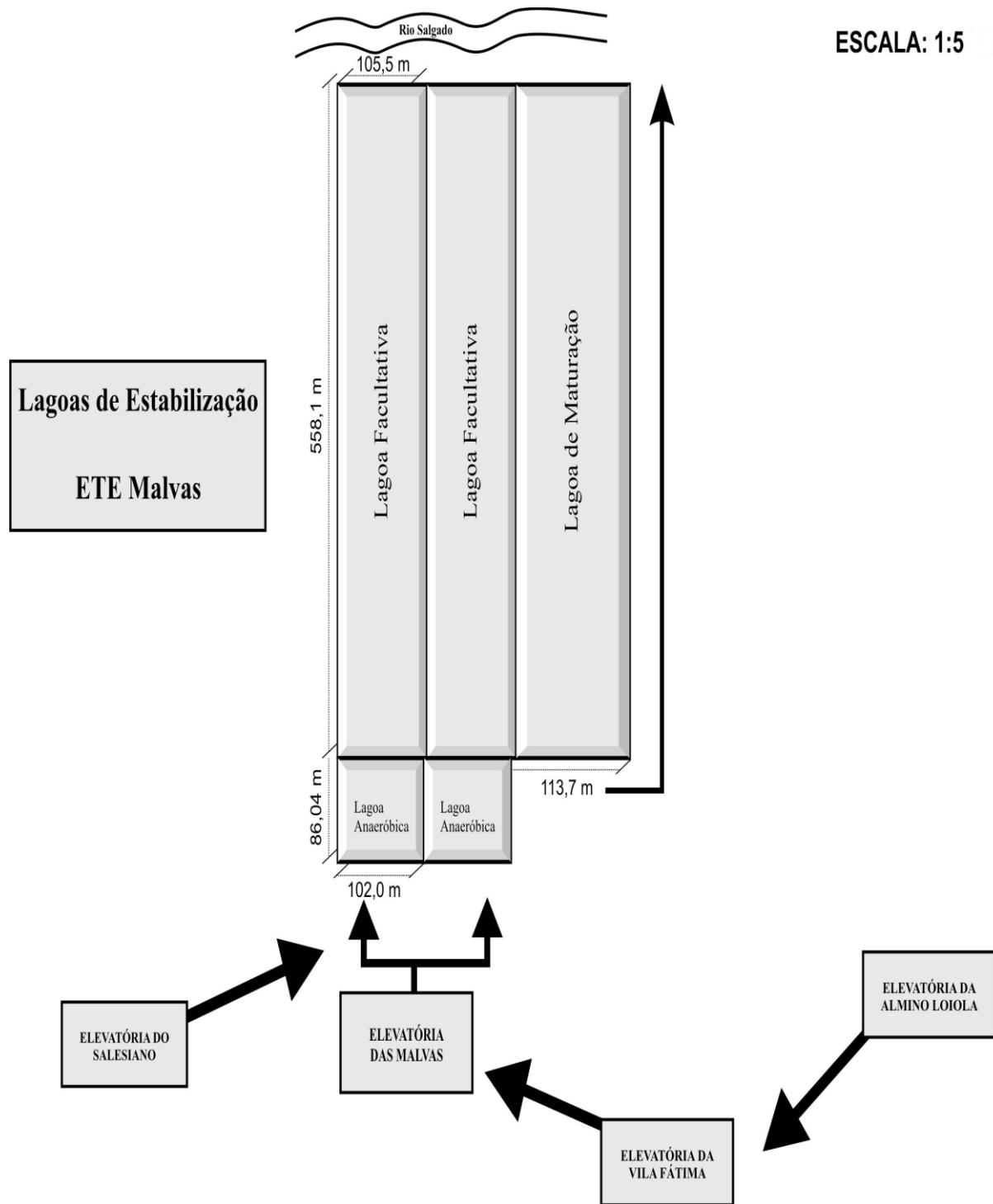
A geometria das lagoas e os tempos de detenção hidráulica da ETE são mostrados na Tabela 2.6. O tempo de detenção hidráulica (Td) total previsto para o sistema é de 22,8 dias.

Tabela 2.6 – Geometria e tempos de detenção hidráulica das unidades de tratamento da série de lagoas de Juazeiro do Norte

Lagoa	Largura x Comprimento à Meia profundidade (m)	Profundidade (m)	Tempo de Detenção Hidráulica (dias)*
Anaeróbia 1 Anaeróbia 2	86,04 x 102,0 (cada)	3,2	2,4
Facultativa 1 Facultativa 2	105,5 x 558,1 (cada)	1,5	10,0
Maturação	113,7 x 558,1	1,5	10,4

*Com base em elementos de projeto da CAGECE.

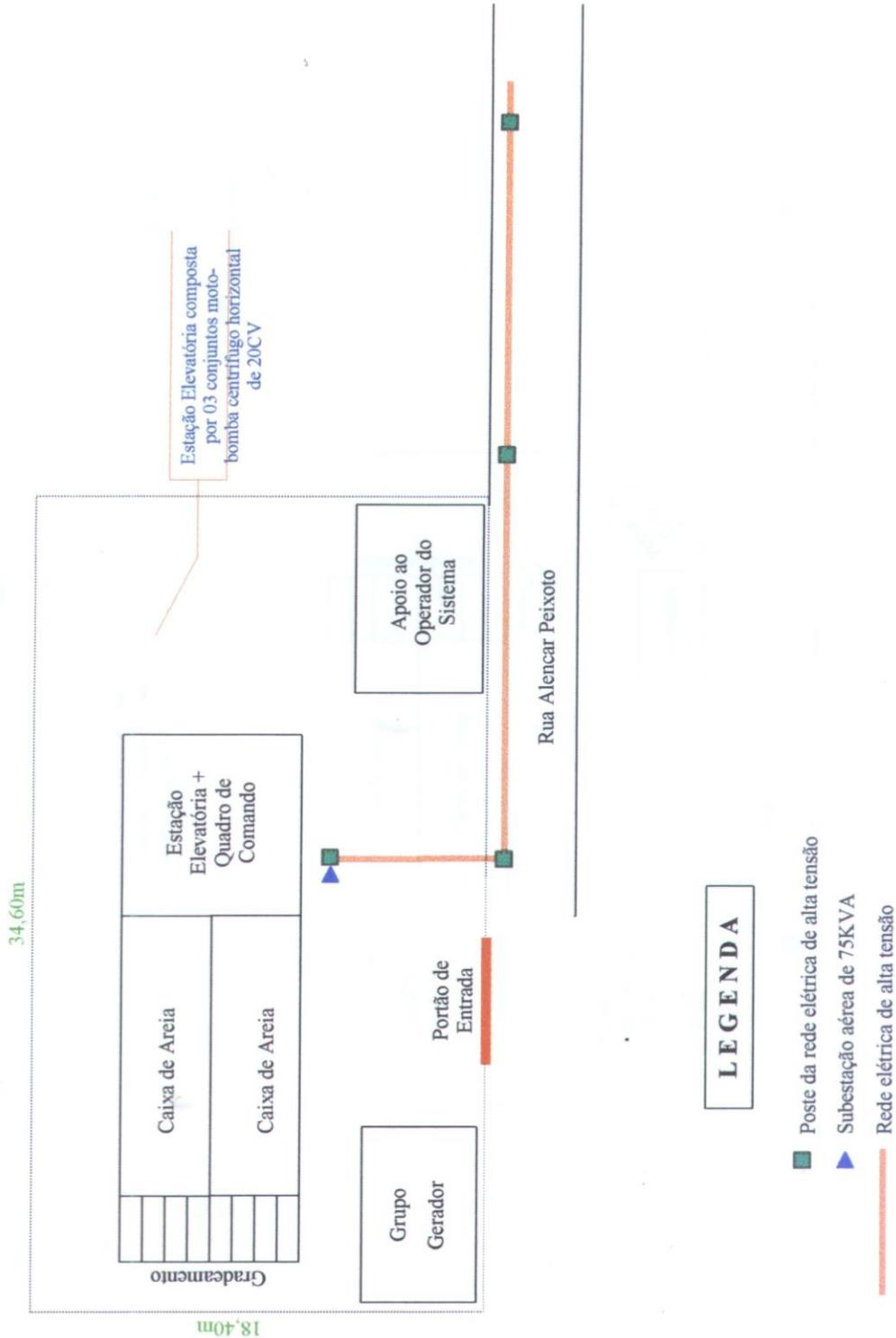
As lagoas anaeróbias da E.T.E de Juazeiro do Norte/CE foram submetidas a processo de batimetria, como mostra a Figura 2.11.



Fonte: CAGECE de Juazeiro do Norte - Ceará

Figura 2.7 – Lay-out geral da ETE Malvas e estações elevatórias, em Juazeiro do Norte, Ceará

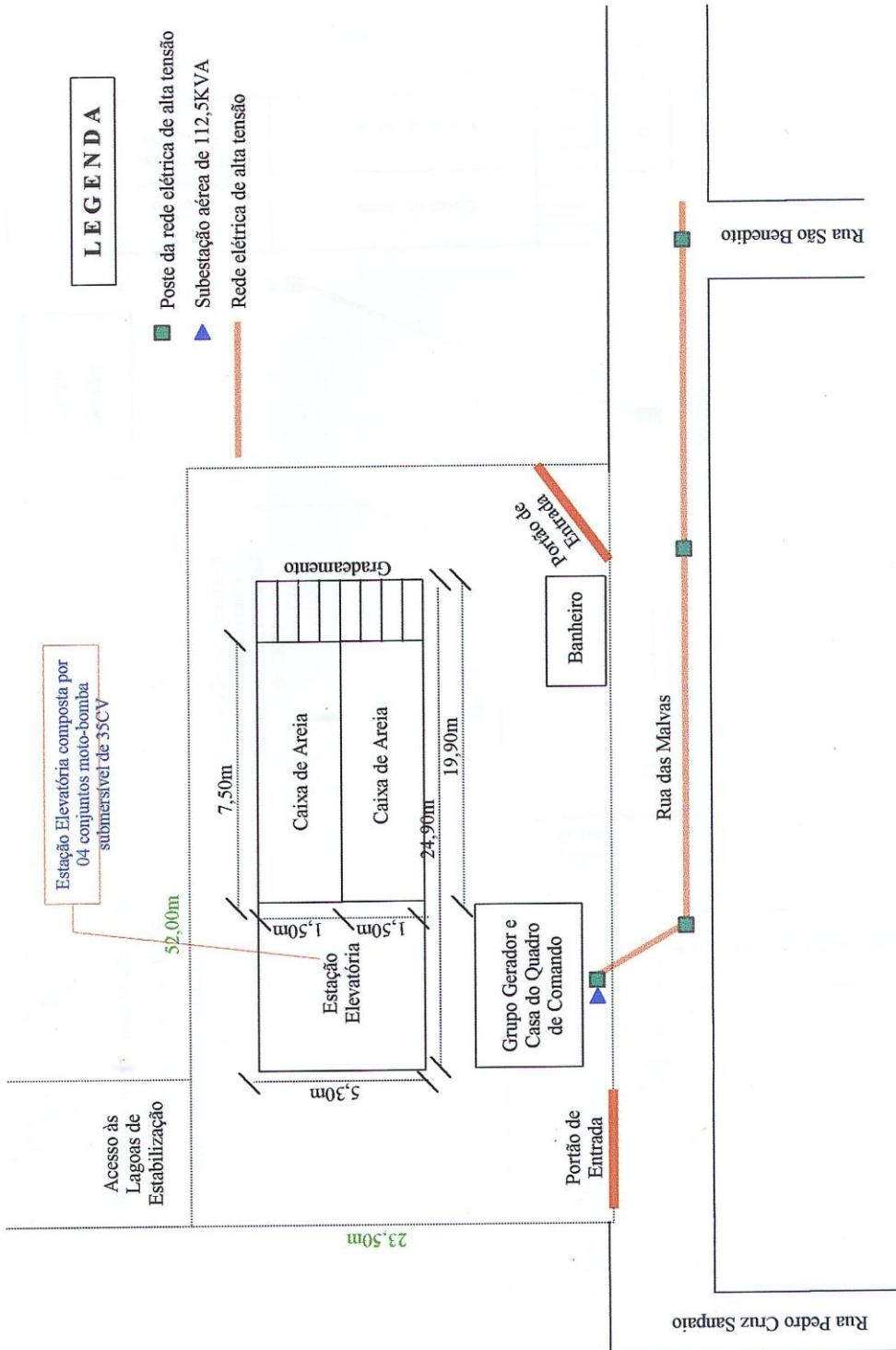
Estação Elevatória de Esgoto do Salesiano



Fonte: CAGECE de Juazeiro do Norte - Ceará

Figura 2.8 – Projeto da Estação Elevatória do Bairro Salesiano em Juazeiro do Norte - Ceará

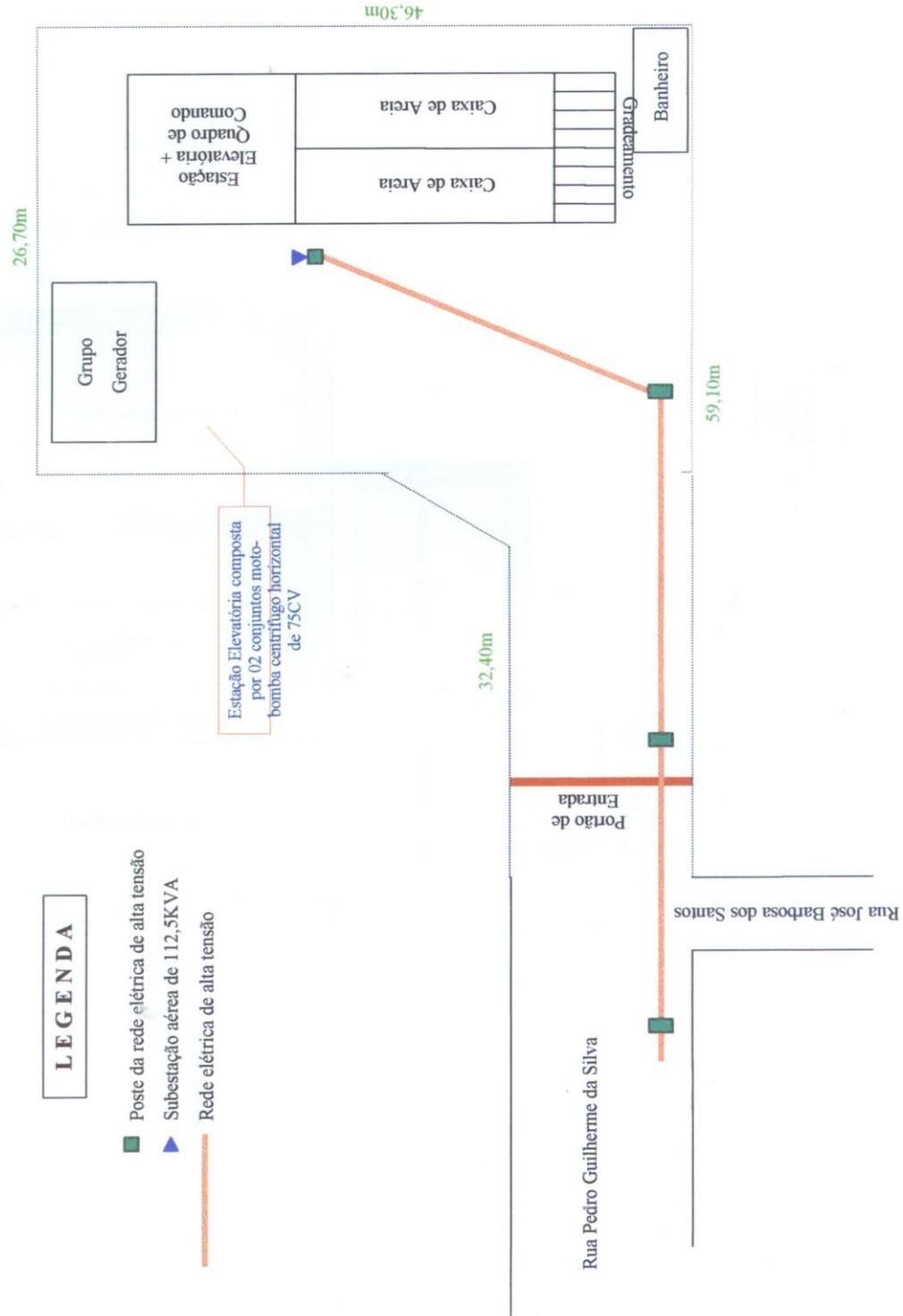
Estação Elevatória de Esgoto das Malvas



Fonte: CAGECE de Juazeiro do Norte - Ceará

Figura 2.9 – Projeto da Estação Elevatória do Bairro das Malvas em Juazeiro do Norte - Ceará

Estação Elevatória de Esgoto da Vila Fátima



Fonte: CAGECE de Juazeiro do Norte - Ceará

Figura 2.10 – Projeto da Estação Elevatória do Bairro Vila Fátima em Juazeiro do Norte - Ceará

2.4.3 Problemas Operacionais nas Lagoas Anaeróbias do Sistema ETE Malvas

Para iniciar o tratamento com aplicações de microrganismos foi necessário verificar a carga de sólidos acumulada no fundo das lagoas anaeróbias. Para isso, a equipe da CAGECE realizou um trabalho de batimetria técnica, que determina a altura da biomassa (lodo) sedimentada na lagoa. A Figura 2.11 ilustra o momento da realização da batimetria nas lagoas anaeróbias do Sistema ETE Malvas.



Figura 2.11 – Batimetria das lagoas anaeróbias do Sistema ETE Malvas, Juazeiro do Norte-Ceará. 2005.

Esse trabalho foi realizado no mês de fevereiro de 2005, logo após o início das aplicações dos microrganismos. Dados da batimetria constataram que as lagoas encontram-se assoreadas. As Figuras 2.12 e 2.13 mostram o esquema detalhado dos valores encontrados da batimetria na primeira e na segunda lagoa anaeróbia.

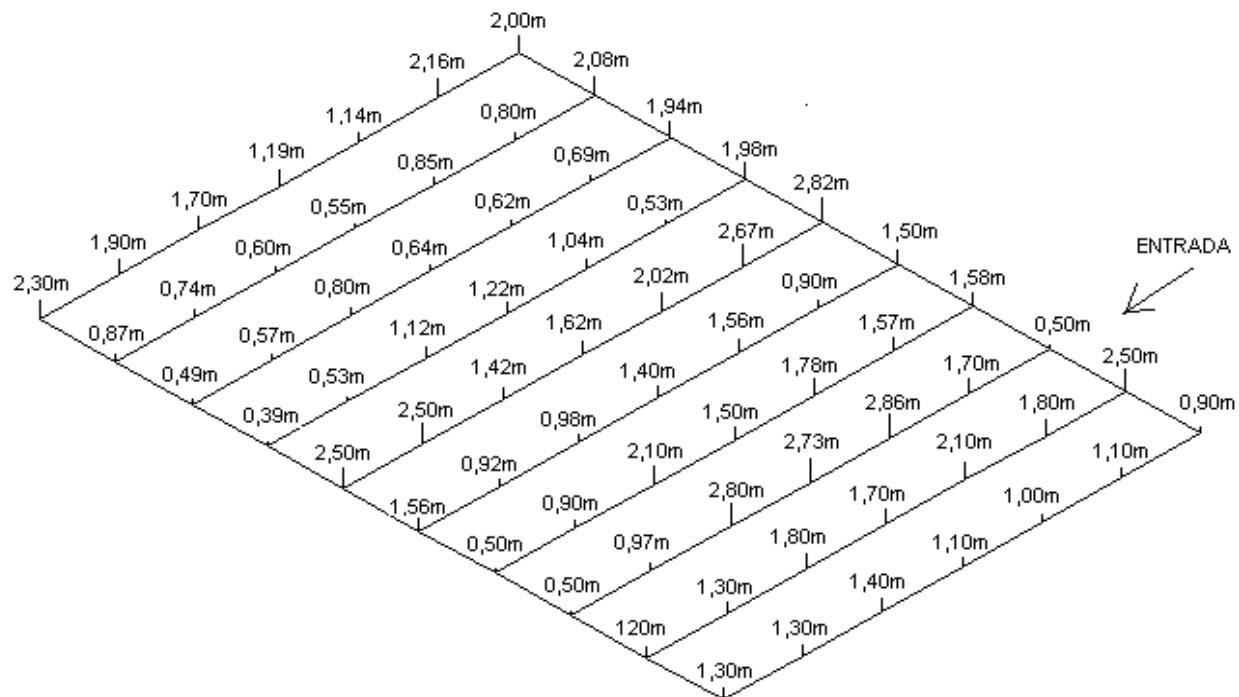


Figura 2.12 – Esquema da batimetria da primeira lagoa anaeróbia. ETE de Juazeiro do Norte, Ceará. 2005.
Fonte: CAGECE

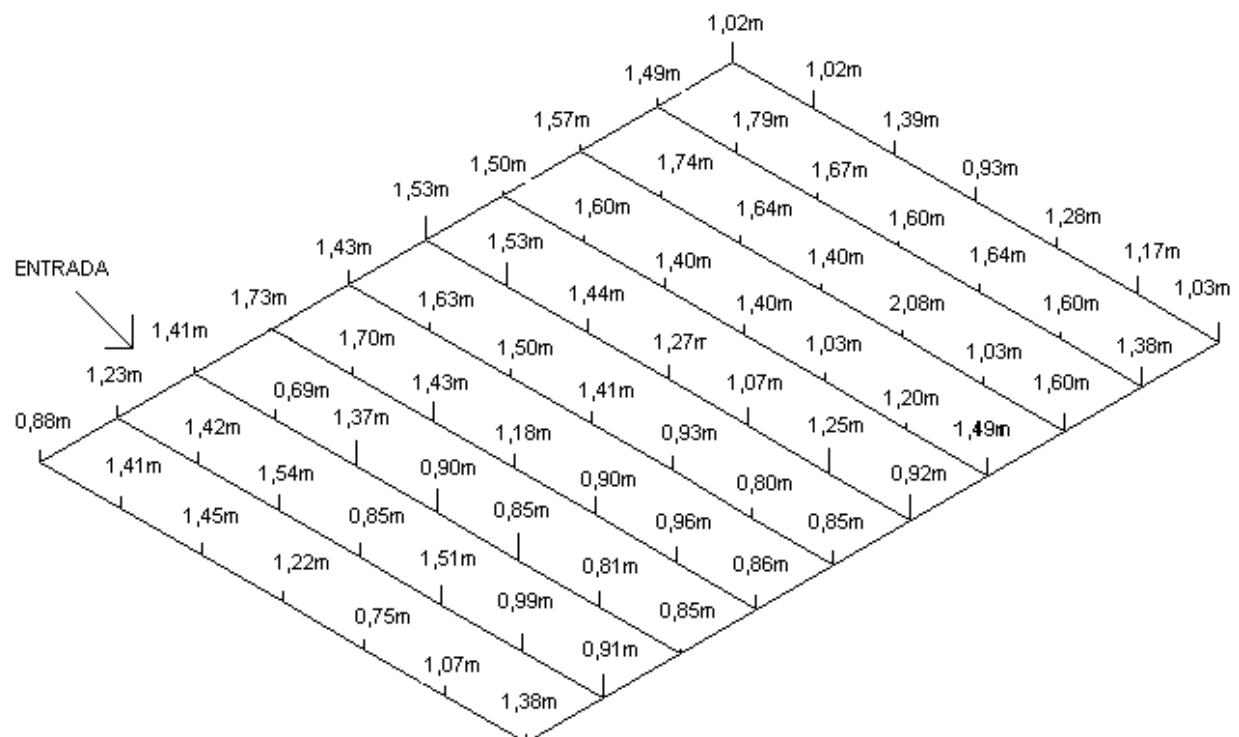


Figura 2.13 – Esquema da batimetria da segunda lagoa anaeróbia . ETE de Juazeiro do Norte, Ceará. 2005.
Fonte : CAGECE

As lagoas anaeróbias encontram-se sobrecarregadas com sólidos sedimentáveis. As mesmas não estão se comportando como anaeróbias devido à baixa profundidade decorrente do acúmulo de lodo, o que vem prejudicando o funcionamento normal das lagoas.

Lodos de esgotos, mesmo parcialmente digeridos, exercem uma grande demanda de oxigênio. Além do incremento de matéria orgânica, os lodos contêm grande quantidade de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e microrganismos patogênicos (METCALF & EDDY, 1991).

Sistemas de tratamento de efluentes com desequilíbrios no processo biológico refletem em consequências negativas como: baixa eficiência do tratamento, exalação de odores desagradáveis, acúmulo de sólidos, depósito de gorduras, etc. Os fatores que levam a esse desequilíbrio podem ser devidos a sobrecarga, alterações bruscas de pH, concentrações excessivas de agentes de limpeza, detergentes, branqueadores, produtos químicos, pesticidas e fertilizantes sintéticos, causando reduções nas populações microbianas e queda da atividade biológica.⁴

A CAGECE substituiu o nitrato de amônio $\text{NH}_4(\text{NO}_3)$ por nitrato de sódio (NaNO_3) como auxiliar para a diminuição de emissão de sulfeto gasoso para atmosfera, a partir da unidade de tratamento preliminar e das lagoas anaeróbias. A quantidade de NaNO_3 consumido é de cerca de 144 Kg por dia (101 a 225 Kg/dia), considerando as informações oferecidas pelos técnicos da empresa. Tal substituição se deu em razão da necessidade de diminuir a carga total de amônia entrando no sistema. Este proceder diz mais respeito ao impacto sobre o corpo receptor do que propriamente ao controle de odor.

As lagoas anaeróbias encontravam-se com grandes camadas de sobrenadantes, os quais são fonte de mau cheiro, e também com presença de zonas mortas que diminuem a eficiência, provoca fluxo preferencial e também causa mau cheiro.

⁴ http://www.uenf.br/uenf/centros/cct/qambiental/ef_biorremediacao.html (06/07/05)

3.0 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no município de Juazeiro do Norte no Estado do Ceará.
(Ver Figura 3.0).

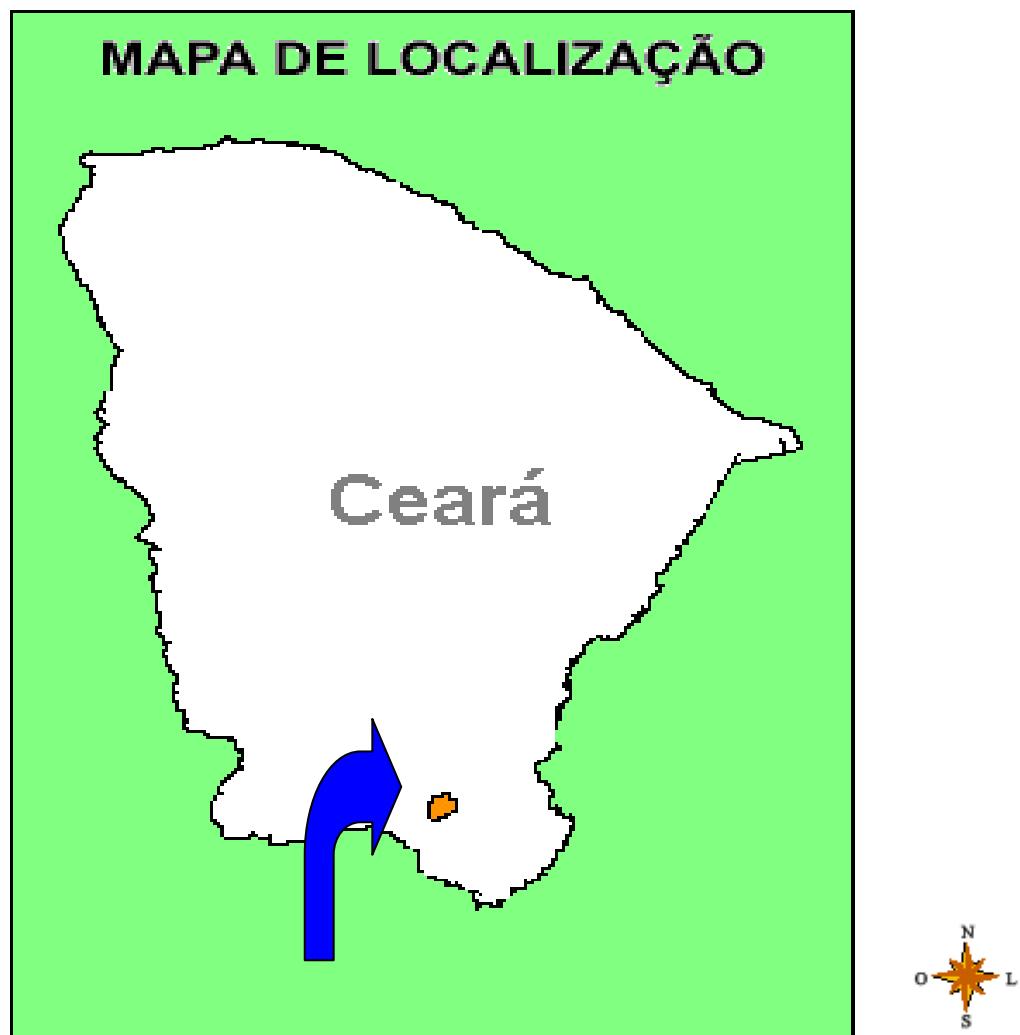


Figura 3.0 – Mapa de Localização do Município de Juazeiro do Norte – CE.

3.1 Caracterização da Área em Estudo

O município de Juazeiro do Norte está localizada no extremo sul do Estado do Ceará, no chamado Vale do Cariri, distante cerca de 563 Km de Fortaleza, com uma área de aproximadamente 235 Km²; limitando-se, ao norte, com Caririaçú; ao sul, com Barbalha; a leste, com Missão Velha e a oeste, com Crato. Apresenta latitude (S) 7° 12' 47", longitude (W) 39° 18' 55"; altitude de 377m em relação ao nível do mar. A temperatura média máxima é de 33,7°C e a média mínima é de 18,3°C.

Segundo dados do IBGE 2003, a população de Juazeiro do Norte é de 224.014 habitantes, sendo que a maior parte se concentra na zona urbana. A população de Juazeiro do Norte é bastante heterogênea. Há praticamente pessoas de todos os estados nordestinos, muitos dos quais romeiros, que para aqui vieram atraídos pela fama do Padre Cícero.

O clima é temperado. De junho a agosto faz um pouco de frio. A época chuvosa geralmente vai de janeiro a abril. O município é banhado pelo Rio Salgadinho, que nasce na vizinha cidade do Crato.

Conforme a etimologia, o topônimo Juazeiro deve-se a uma árvore, muito comum na região Nordeste, que resiste à seca mais inclemente, permanecendo sempre viçosa, chamada cientificamente *Ziziphus* *Juazeiro*. A palavra é híbrida, tupi-portuguesa: juá ou iuá(fruto de espinho) + o sufixo eiro.

A estação de tratamento de esgotos denominada ETE – MALVAS está localizada no bairro Malvas do referido município e tem como responsável pela operação e manutenção a Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE. (ver Figura 3.1).



Figura 3.1 – Vista aérea da ETE Malvas, Juazeiro do Norte - CE (Cortesia da CAGECE)

3.2 Alimentação do Sistema de Lagoas

O sistema é alimentado com águas residuárias brutas domésticas e industriais provenientes de vários bairros da cidade de Juazeiro do Norte, as quais, da rede coletora são encaminhadas para quatro elevatórias, a saber: elevatória Almino Loiola, Vila Fátima, Malvas e Salesiano, e destinadas até as lagoas, tendo a divisão de fluxo de acordo com a proximidade entre os bairros.

A elevatória Almino Loiola contribui para a vazão da elevatória Vila Fátima, que em seguida encaminha o esgoto para outra elevatória, a das Malvas, que por fim encaminha o esgoto até as lagoas. A elevatória do Salesiano, está ligada diretamente na entrada das lagoas anaeróbias. Portanto, existem duas entradas no sistema de lagoas, a das Malvas, cuja vazão é em média 100 L/s, na qual ocorre a junção das elevatórias Almino Loiola e Vila Fátima e uma outra entrada, a da elevatória individual do Salesiano, cuja vazão situa-se em média de 25 L/s totalizando,

portanto, uma vazão atual de 125 L/s, sendo que, de acordo com a CAGECE, a vazão de projeto é de 204,7 L/s. (ver Figura 2.6).

Todas as elevatórias são constituídas de tratamento preliminar contendo gradeamento para reter os materiais mais grosseiros, duas caixas de areia, medidor de vazão e poço de sucção. Os bairros atendidos por esses sistemas são: Centro, Salesianos, Santa Tereza, Pirajá, Franciscanos, Pio XII, Limoeiro, Vila Fátima, Leandro Bezerra e Romeirão.

Os esgotos são coletados através de ramais prediais, inclusive com caixa de inspeção nas calçadas e a rede, cuja extensão é de 225.881m, com diâmetros das tubulações variando de 100 a 700mm e encaminhados por gravidade até as elevatórias. A partir destas, o esgoto é bombeado para a entrada do sistema de lagoas (lagoas anaeróbias). Na entrada das lagoas anaeróbias e facultativas, como existe em número de duas em cada sistema, há uma caixa de eqüipartição para dividir o fluxo de efluente para as subsequentes lagoas. Os efluentes das lagoas são conduzidos por gravidade nas linhas de recirculação, e o efluente final é lançado também por gravidade no corpo receptor (Rio Salgado).

Segundo dados da CAGECE, a estação de tratamento de esgotos ETE Malvas está atendendo, em 2005, cerca de 36,84% da população de Juazeiro do Norte, sendo que, tem cobertura para atender até cerca de 39,17% da população.

3.3 Equipamentos Utilizados

No desenvolvimento dos trabalhos foi usado os seguintes materiais:

- 01 tambor com capacidade de 238L
- 01 compressor para aquário (HP – 400) capacidade 3,5 L/min.
- 01 funil grande com abertura de 25mm (mínimo)
- 01 cano de PVC rígido para hidráulica, 1,5m de cano Ø 25mm
- 01 mangueira cristal 1x 2,0mm (4m de mangueira)
- 12 bumboas de plástico com capacidade de 10 e 20L
- 01 veículo utilitário tipo Fiorino (fechada)

- Equipamentos de proteção individual (EPI)

3.4 Aditivo biológico

Na pesquisa foi utilizado o aditivo biológico a seguir especificado.

3.4.1 Especificações

- Nome: Biomix E/G
- Conteúdo: Cultura de microrganismos (concent. > ou = $1,0 \times 10^9/\text{cm}^3$)
- Taxa de evaporação: 0,0% Líquido com baixo conteúdo de mistura
- Polimerização: não ocorre
- Toxicidade: não tóxico
- pH: 6,0 a 7,0
- Densidade: 0,6 a 0,8 g/cc
- Reatividade: Estável
- Responsável técnico: Sáudio Peixoto – CRF-5 nº 973
- Fabricação : Bio Ambiental Sistemas de Saneamento Ltda
CGC – 02.031.905/001-54 i.e.: 10.297.508-6
End.: Av. Mutirão, nº 2451, Setor Marista – Goiânia/GO
CEP.: 74.150-340 Fone: (0XX62) 3274.1775

3.4.2 Precauções

- Não congelar
- Evitar exposições a temperaturas superiores a 40°C
- Manter estocado em lugar fresco e seco
- Exposição na pele: vermelhão na pele em pessoas alérgicas; nos olhos: pode causar irritação não patogênica.

3.4.3 Preparo do aditivo biológico

O produto utilizado como aditivo biológico foi um composto em pó a base de microrganismos selecionados, não tóxicos e não patogênicos, e nutrientes (farinha de trigo), necessitando, antes de sua aplicação, de um preparo para adequá-los as condições de inoculação no esgoto (Figura 3.2).

O aditivo biológico foi preparado diariamente em um tambor com capacidade para 238 litros, sendo usado um aerador com duas saídas de oxigênio cada uma com pedra porosa, objetivando aumentar as bolhas de oxigênio para assim poder proporcionar melhores condições aos microrganismos no seu processo de ativação que começa neste período (Figura 3.3).

No primeiro momento a água de diluição passou por algumas horas aerando para reter o cloro residual que foi usado na etapa de desinfecção do seu tratamento. Isso se faz necessário porque o cloro é um bactericida, então sua presença eliminaria os microrganismos inoculados. Após a água ser oxigenada, o produto é adicionado e homogeneizado e permanece de 2 a 4 horas aerando; passado esse tempo o mesmo está pronto para ser aplicado. Nesse período, os microrganismos já estão se ativando e, como há nutrientes, eles se alimentam e começam a se multiplicar. A Figura 3.4 mostra o processo de aeração.



Figura 3.2 – Produto biológico usado como aditivo no tratamento de esgoto.



Figura 3.3 – Recipiente para preparo do aditivo biológico, constando de tambor e aerador.

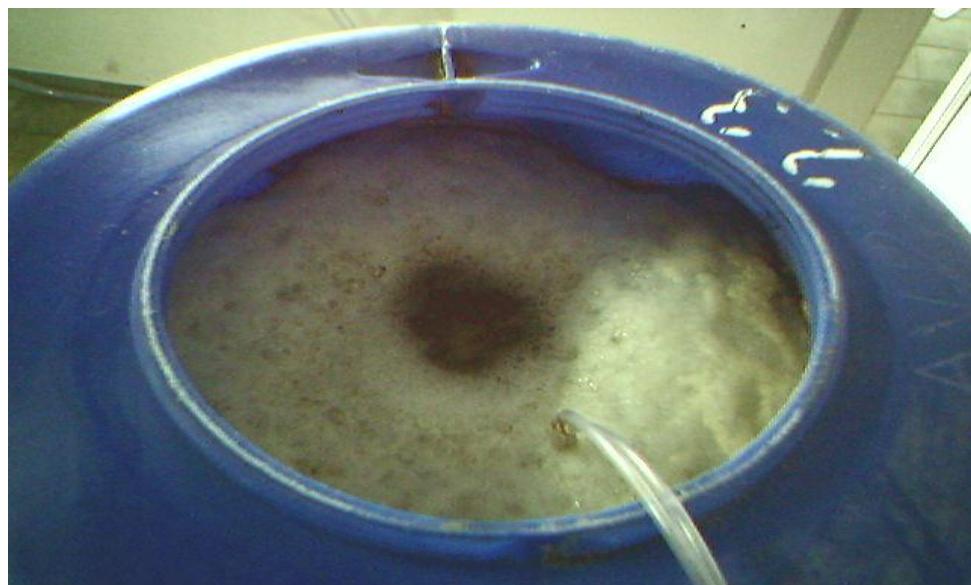


Figura 3.4 – Aditivo biológico no momento da aeração

Depois de pronto, o aditivo biológico foi transportado por sifonação e acondicionado em tambores de 10 e 20 litros e em seguida aplicado nos pontos de dosagens mencionados a seguir (Figura 3.5).



Figura 3.5 – Transporte e acondicionamento do aditivo biológico.

3.4.4 Aplicação do aditivo biológico

As aplicações com o aditivo biológico iniciaram-se no dia 10 de fevereiro de 2005 e foram efetuadas em quatro poços de visita (PVs) localizados na rede coletora da CAGECE, antes das estações elevatórias, e em um único ponto da Estação de Tratamento de Esgoto ETE Malvas, nos horários de 10:30h às 11:30h da manhã.

O tratamento biológico desenvolveu-se através da aplicação de microrganismos não patogênicos, inoculados, com capacidade de alta taxa de degradação da matéria orgânica presente no esgoto.

A aplicação ocorreu em duas fases:

- 1^a. Fase - Tratamento de Choque
- 2^a. Fase - Tratamento de Manutenção

O tratamento de choque se faz necessário para facilitar os processos de degradação dos compostos orgânicos, para se obter a chamada “estabilização da matéria orgânica” e eliminar a maior parte dos compostos instáveis presentes no esgoto da E.T.E. O controle biológico deverá atingir a estabilização completa, bem como a eliminação do mau cheiro proveniente da mesma,

através da utilização de aditivos biológicos inoculados, numa quantidade 3 vezes maior que o período subseqüente.

O tempo determinado para o tratamento de choque normalmente varia de duas a quatro semanas de aplicação, dependendo das características do esgoto e do funcionamento do sistema. No caso da ETE Malvas o tratamento de choque ocorreu durante mais de quatro meses, isto devido a problemas operacionais do sistema e elevada descarga de efluentes industriais advindos de indústrias de banhos metálicos, curtumes e outros, que lançam seus esgotos na rede coletora da CAGECE. Os esgotos industriais podem conter em sua composição elevados teores de metais pesados, trazendo prejuízos assim ao processo normal do sistema de tratamento com aditivos biológicos. Portanto, todo este trabalho foi desenvolvido na fase de choque.

O tratamento de manutenção visa manter o sistema ativo como um todo, evitando, assim, a redução da atividade biológica dos microrganismos inoculados dentro da E.T.E. Nesta fase, com uma dosagem bem menor de aditivos biológicos, a tendência é da matéria orgânica ir se apresentando cada vez mais oxidada, graças à ação de enzimas específicas produzidas pelos microrganismos intervenientes. Essa oxidação leva à produção de subprodutos suscetíveis ao ataque de outras enzimas, alcançando uma simplificação química, perda de energia e mineralização final do esgoto.

Primeiramente, foi colocada num recipiente de plástico, 200L de água proveniente da CAGECE; depois, foi colocado em contato com a água um compressor (HP-400) com capacidade de 3.5L/min., com a finalidade de reduzir a quantidade de cloro residual contido na água, pois o mesmo inibe a ação dos microrganismos. Esse compressor atuou num período de 8 horas seguidas, sendo então dissolvida a cultura de microrganismos, que ficou no recipiente por mais 4 horas, com o compressor ligado.

Após este tempo, a solução fica pronta para ser utilizada no esgoto sanitário.

A distribuição é feita em bamboas com capacidade de 10 e 20L.

Na rede coletora, os PVs definidos para a aplicação do aditivo foram os seguintes:

- PV I: Rua das Dores, Bairro Salesiano
- PV II: Av. Paraná com Rua Capitão Coimbra, Bairro Pirajá
- PV III: Rua Cícera Patrícia da Costa com Geraldo Rocha, Bairro Leandro Bezerra.
- PV IV: Rua Pedro Guilherme, Bairro Vila Fátima

Na ETE Malvas, para o início do tratamento com aditivo biológico, foi definido como ponto de aplicação a saída das lagoas anaeróbias, ponto este, onde há uma caixa de eqüipartição que divide os efluentes das duas lagoas anaeróbias e que alimenta, em seguida, as lagoas facultativas.

Foi definido fazer a dosagem primeiro nas lagoas facultativas porque é aconselhável iniciar o tratamento da saída para a entrada do sistema para que não haja acúmulo de resíduos nas unidades subseqüentes e também porque as lagoas anaeróbias já recebem contribuição do aditivo advindo das aplicações na rede coletora, além do que, se tem uma expectativa de limpeza mecânica nas lagoas anaeróbicas. A Figura 3.6 ilustra o ponto de aplicação na rede coletora. A Figura 3.7 mostra o ponto de aplicação na entrada das lagoas facultativas.

Os pontos de aplicação foram selecionados juntamente com o pessoal técnico da CAGECE, considerando a distância das elevatórias, o fluxo dentro dos PVs e o logradouro, no sentido de viabilizar a mobilidade do produto e roteiro das aplicações.



Figura 3.6 - PV I: Rua das Dores / bairro Salesiano.
Juazeiro do Norte, Ceará, 2005.



Figura 3.7 - ETE Malvas, PV V: Entrada das lagoas facultativas.
ETE de Juazeiro do Norte, Ceará, 2005.

A partir do dia 21 de abril de 2005, foram feitas algumas alterações na quantidade de aditivo aplicado e no local de aplicação. O PV V (entrada das lagoas facultativas) foi mudado para a entrada das lagoas anaeróbias, ponto este onde realmente se deveria ter iniciado as aplicações, mas não foi possível devido a problemas operacionais, como a baixa profundidade resultado da sobrecarga de sólidos sedimentáveis no fundo das lagoas anaeróbias, provocando seu assoreamento. Essa sobrecarga gerou odores desagradáveis nas lagoas, o que motivou a mudança de aplicação. Nos PVs não houve mudanças de locais, apenas nas quantidades aplicadas. A Tabela 3.1 mostra o esquema das aplicações antes e depois da mudança nos pontos de aplicação.

Tabela 3.1 – Mudanças na quantidade e local de aplicação do aditivo biológico.
Juazeiro do Norte/CE. 2005.

Local de aplicação	Antes (entr. das lag. Facultativ.)	Depois (entr. das lag. Anaer.)
PV I	30 litros/dia	20 litros/dia
PV II	20 litros/dia	10 litros/dia
PV III	10 litros/dia	10 litros/dia
PV IV	50 litros/dia	20 litros/dia
PV V	100 litros/dia	150 litros/dia

Quando se iniciou a adição do aditivo biológico nas lagoas anaeróbias observou-se o aumento de degradação da matéria orgânica pelos microrganismos inoculados, já que os mesmos entraram em contato direto com o efluente, e por consequência houve a redução de maus odores. A Figura 3.8 ilustra o PV V na entrada das lagoas anaeróbias.



Figura 3.8 – PV V, entrada das lagoas anaeróbias.
ETE de Juazeiro do Norte, Ceará. 2005

3.5 Monitoramento do sistema de lagoas durante o tratamento com aditivo biológico

O monitoramento do sistema de lagoas ETE Malvas teve início no dia 10/02/05, quando se iniciaram as aplicações com aditivo biológico, indo até junho de 2005. Foram observados, visualmente, nesse período, os comportamentos entre algas e bactérias junto com os microrganismos inoculados. Para avaliar o desempenho do sistema foram feitas coletas de amostras pontuais dos afluentes/efluentes das lagoas.

3.5.1 Alterações ocorridas nas Lagoas Facultativas após as aplicações

A partir do dia 16/02/05, foram observadas algumas alterações no aspecto físico das lagoas facultativas, tais como, o aparecimento de camada sobrenadante de algas mortas em suas superfícies e maior clarificação do efluente das lagoas facultativas.

Este processo de flotação aumentou gradativamente devido à interrupção das dosagens de nitrato de sódio nas elevatórias, o qual cortou o fornecimento de nutrientes às algas e também pela desnitrificação do nitrogênio residual promovido pelos microrganismos adicionados. Isto caracteriza um processo de estabilização do sistema (Figuras 3.9 e 3.10).



Figura 3.9 Lagoa Facultativa I.
ETE Juazeiro do Norte, Ceará. 2005.



Figura 3.10 Lagoa Facultativa II.
ETE Juazeiro do Norte, Ceará. 2005.

O processo de desnitrificação indica uma maior atividade biológica dos microrganismos, dentro da tecnologia utilizada, demonstrada pela mortandade das algas, o que é normal para limpeza e adequação do sistema, onde, neste caso, ocorria um excedente de nutrientes devido às dosagens feitas anteriormente com nitrato de sódio.

A Figura 3.11 mostra a lagoa facultativa I após a aplicação do aditivo biológico. A presença de algas flotando na superfície das lagoas facultativas e de maturação, observadas após a aplicação, deve ser em função da competitividade por nutrientes entre algas e os microrganismos inoculados, que, por degradarem a matéria orgânica com mais rapidez, acabam consumindo também os nutrientes necessários à sobrevivência das algas; que acabam morrendo, até chegar a um ponto em que esse comportamento fica estável.



Figura 3.11 – Comportamento das algas após as aplicações do aditivo biológico, Lagoa Facultativa I.

3.6 Coletas de amostras nas lagoas de estabilização ETE Malvas

Foram feitas coletas quinzenalmente de amostras de esgoto bruto e tratado, bem como das lagoas anaeróbias I e II, pelos laboratoristas do Centro de Ensino Tecnológico CENTEC e encaminhadas para realização de análises nos laboratórios de físico-química e microbiológicas da própria instituição. As metodologias de análises foram baseadas no Standard Methods. Os pontos de coleta foram os seguintes:

- P1 – Amostra de esgoto bruto na entrada das lagoas anaeróbias;
- P3 – Amostra coletada na parede lateral da lagoa anaeróbia I;
- P4 – Amostra coletada na parede lateral da lagoa anaeróbia II;
- P2 – Amostra coletada na caixa de saída da lagoa de maturação.

As coletas de amostras feitas nos meses anteriores à aplicação do aditivo (Jul/04 a Jan/05) foram realizadas nos mesmos pontos de coleta citados acima. Essas análises foram realizadas pela CAGECE, através do seu Laboratório Central de Análises, em Fortaleza, de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

3.7 Variáveis analisadas e métodos analíticos

Os parâmetros quantificados foram definidos em função de sua importância para os aspectos de caracterização da qualidade física, química e sanitária dos sistemas de tratamento estudados, a saber: Temperatura, Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica, Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Sedimentáveis (SS), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Coliformes Totais (CT) e Coliformes Termotolerantes (CTT), Oxigênio Dissolvido (OD), Gás Sulfídrico e Sulfeto. Todas as análises foram realizadas de acordo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. A Tabela 3.2 apresenta os parâmetros analisados, métodos e referências.

Tabela 3.2 – Variáveis, métodos e referências analisados

Variáveis analisadas	Metodologia	Referência
Temperatura (°C)	Eletrométrico	APHA et al (1995)
pH	Eletrométrico	APHA et al (1995)
Condutividade Elétrica (uS/cm)	Eletrométrico	APHA et al (1995)
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	Gravimétrico	APHA et al (1995)
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	Gravimétrico	APHA et al (1995)
DBO ₅ (mg/L)	Refluxação fechada	APHA et al (1995)
DQO (mg/L)	Frascos Padrões	APHA et al (1995)
Oxigênio Dissolvido (mgO ₂ /L)	Winkler	APHA et al (1995)
Coliformes Totais (NMP/100ml)	Número Mais Provável	APHA et al (1995)
Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml)	Número Mais Provável	APHA et al (1995)
Gás Sulfídrico (mgH ₂ S/L)	Titulométrico	APHA et al (1995)
Sulfeto (mgS ²⁻ /L)	Titulométrico	APHA et al (1995)

4.0 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análises Físico-Químicas e Bacteriológicas

Durante os 05 (cinco) meses de monitoramento, após a aplicação do aditivo em fevereiro de 2005, as lagoas de estabilização estiveram sob operação regular, com exceção do mês de Abril, tratando integralmente o fluxo de esgoto afluente. Nas tabelas 4.1 e 4.2 encontra-se a média mensal dos 9 (nove) parâmetros observados durante o levantamento, para os 02 (dois) pontos de amostragem P1 e P2.

Tabela 4.1 – Valores de análises físico-químicas e bacteriológicas antes da aplicação do aditivo. ETE Malvas, Juazeiro do Norte- Ceará (JUL/04 a JAN/05).

Parâmetros	Antes do Aditivo								
	Bruto (P1)				Tratado (P2)				Percentual
	Mín.	Máx.	Média	n	Mín.	Máx.	Média	n	
pH	6,70	8,00	7,18	12	7,77	8,80	8,24	12	+14,76
Condutividade Elétrica (µS/cm)	650,00	1006,00	838,36	11	988,00	1520,00	1257,80	11	+50,03
Sól. Sedimentáveis (mL/L)	4,50	12,00	7,50	12	0,00	0,20	0,12	12	-98,40
Sól. Susp. Totais (mg/L)	250,00	646,00	358,33	12	14,00	464,00	93,83	12	-73,81
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	395,70	727,00	564,36	11	47,00	138,70	83,62	11	-88,73
DQO (mgO ₂ /L)	451,00	1120,30	834,45	12	99,00	231,20	165,50	12	-80,17
Coliformes Totais /100ml (N.M.P.)	4x10 ⁶	1,6x10 ⁸	4,09x10 ⁸	11	1x10 ²	2,4x10 ⁷	2,73x10 ⁶	11	-33,2518
Colif. Termotolerante /100ml (N.M.P.)	2x10 ⁶	2,2x10 ⁸	9,36x10 ⁷	12	1x10 ²	1,9x10 ⁶	1,7x10 ⁵	12	-81,8376
Oxigênio Dissolvido (mgO ₂ /L)	-	-	-	-	2,90	13,70	8,36	11	

P1 – Esgoto Bruto P2 – Esgoto Tratado (+) Aumento de percentagem

(-) Diminuição de percentagem

n – número de amostras

Nas tabelas 4.3 e 4.4 são apresentados as médias mensais de mais alguns parâmetros nos pontos de amostragem P3 e P4.

Tabela 4.2 – Valores de análises físico-químicas e bacteriológicas durante a aplicação do aditivo.
ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará (FEV/05 a JUN/05)

Parâmetros	Depois do Aditivo								
	Bruto (P1)				Tratado (P2)				
	Mín.	Máx.	Média	n	Mín.	Máx.	Média	n	
pH	7,20	8,30	7,90	15	8,00	9,40	8,71	12	+10,25
Condutividade Elétrica (µS/cm)	594,00	1960,00	1021,10	14	733,00	1298,00	1036,40	14	+1,5
Sól. Sedimentáveis (mL/L)	2,00	28,00	0,93	15	0,00	0,50	0,13	15	-86,02
Sól. Susp. Totais (mg/L)	236,00	2796,00	579,29	14	24,00	188,00	66,07	14	-88,59
DBO ₅ (mgO ₂ /L)	229,50	748,50	465,68	11	24,37	141,89	76,28	11	-83,62
DQO (mgO ₂ /L)	583,30	3719,51	1210,17	12	86,95	642,85	238,66	12	-80,28
Coliformes Totais /100ml (N.M.P.)	2x10 ⁶	3,5x10 ⁸	1,21x10 ⁸	15	2,3x10 ²	2,8x10 ⁵	1,29x10 ⁵	15	-89,34
Colif. Termotolerante /100ml (N.M.P.)	2x10 ⁶	2,7x10 ⁸	7,47x10 ⁷	13	1x10 ²	1,6x10 ⁵	1,35x10 ⁴	15	-99,99
OD (mgO ₂ /L)	x	x	x	x	0,60	8,70	3,71	13	

P1 – Esgoto Bruto P2 – Esgoto Tratado (+) Aumento de percentagem (-) Diminuição de percentagem
n – número de amostras

Tabela 4.3 – Valores de análises de gás sulfídrico e sulfeto antes da aplicação do aditivo.
ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará (JUL/04 a JAN/05).

Parâmetros	Antes do Aditivo							
	Lagoa A1 (P3)				Lagoa A2 (P4)			
	Mín.	Máx.	Média	n	Mín.	Máx.	Média	n
Gás Sulfídrico (mgH ₂ S/L)	0,10	1,60	0,40	47	0,10	1,60	0,21	40
Sulfeto (mgS ²⁻ /L)	0,20	5,90	1,89	49	0,10	3,10	0,74	49

P3 – Lagoa Anaeróbia 1 P4 – Lagoa Anaeróbia 2 (+) Aumento de percentagem (-) Diminuição de percentagem
n – número de amostras

Tabela 4.4 – Valores de análises de gás sulfídrico, sulfeto e temperatura durante a aplicação do aditivo.
ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará (FEV/05 a JUN/05).

Parâmetros	Depois do Aditivo							
	Lagoa A1 (P3)				Lagoa A2 (P4)			
	Mín.	Máx.	Média	n	Mín.	Máx.	Média	n
Gás Sulfídrico (mgH ₂ S/L)	0,10	0,70	0,23	26	0,10	0,40	0,13	26
Sulfeto (mgS ²⁻ /L)	0,10	4,30	1,79	27	0,10	3,90	0,76	26
Temperatura (°C)	27,00	33,00	29,78	16	27,00	33,00	30,11	18

P3 – Lagoa Anaeróbia 1 P4 – Lagoa Anaeróbia 2 (+) Aumento de percentagem (-) Diminuição de percentagem
n – número de amostras

A seguir, são feitas algumas considerações sobre cada uma das variáveis estudadas. Observe-se que a aplicação do aditivo ocorreu a partir de fevereiro de 2005.

a) pH

- Antes do tratamento, o pH apresentava-se com valores crescentes, tanto no esgoto “bruto” quanto no “tratado”, com média de 7,18 no bruto e de 8,24 no tratado, como se pode observar na Figura 4.1.

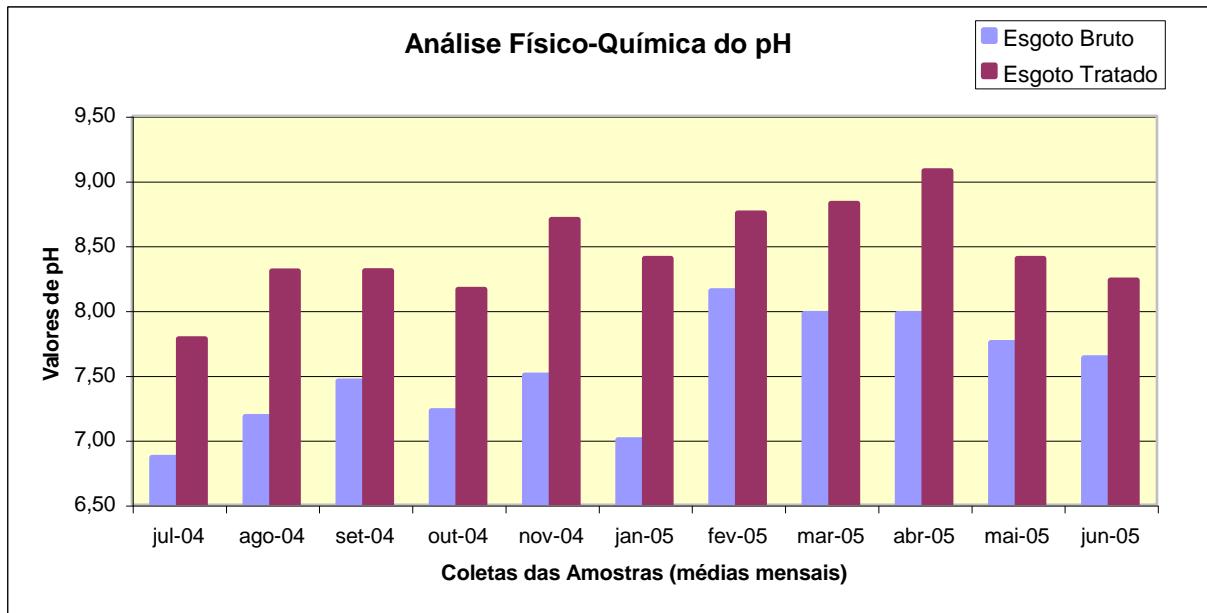


Figura 4.1 – Valores médios mensais do pH. ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005.

- Durante aplicação do aditivo observaram-se valores descendentes, tanto no esgoto “bruto” quanto no “tratado”, com média de 7,90 e 8,71, respectivamente. No mês de abril houve um pico devido a alta descarga de esgoto industrial, que elevou o pH do esgoto tratado para o máximo de 9.40, fora dos padrões estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05. (ver Tabela 2.4). Segundo Von Sperling (1995), a faixa típica para esgoto bruto é pH entre 6,7 e 7,5.

b) Condutividade Elétrica

- A condutividade elétrica depende da quantidade de sais dissolvidos.
- Antes da aplicação do aditivo, o esgoto bruto apresentava um valor médio de condutividade elétrica de 838,36 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As lagoas promoveram um aumento de 50,03%, sendo descarregado no corpo receptor um efluente com condutividade média igual a 1.257,80 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Durante a aplicação do aditivo, o esgoto bruto apresentou um valor médio de condutividade elétrica de 1.021,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As lagoas promoveram um pequeno aumento de 1,5%, sendo descarregado no corpo receptor um valor médio de 1.036,40 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Ver Figura 4.2)

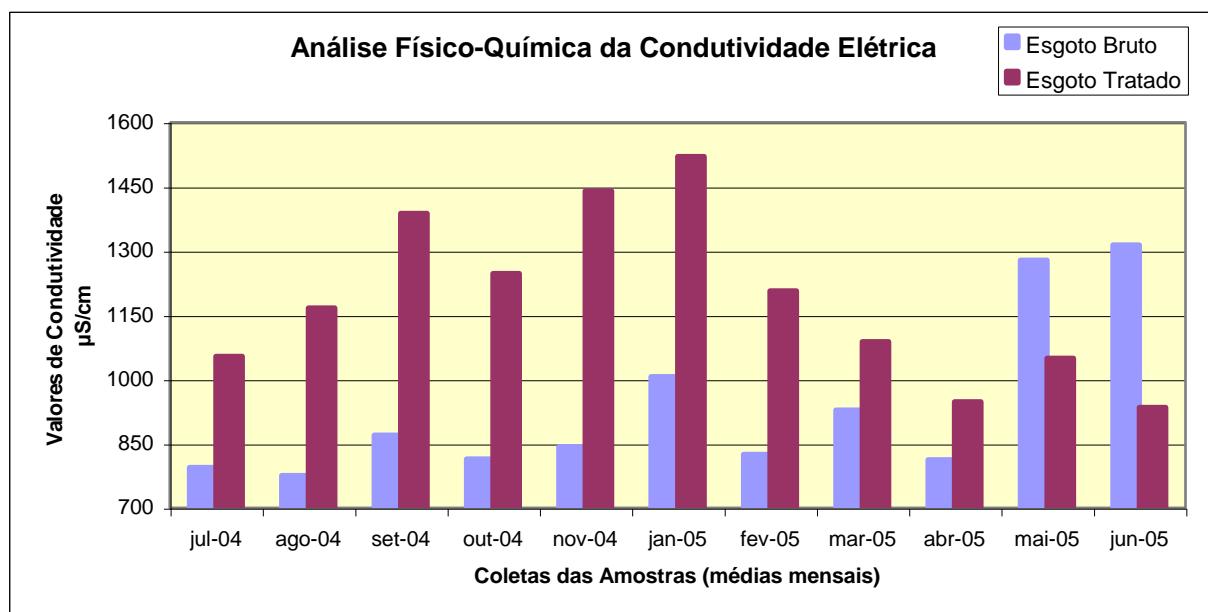


Figura 4.2 – Valores médios mensais da Condutividade Elétrica.
ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005.

c) Sólidos Sedimentáveis

- Antes da aplicação do aditivo, as lagoas apresentavam uma redução de sólidos sedimentáveis de 98,40%. Durante a aplicação do aditivo, esta redução foi de 86%, provavelmente devido a alta mortandade de algas logo após a aplicação. (Ver Figuras 3.9 e 3.10).
- O processo de flotação aumentou gradativamente devido a interrupção das dosagens de nitrato de sódio nas elevatórias, resultando no não fornecimento de nutrientes às algas, e também pela desnitrificação do nitrogênio residual promovido pelos microrganismos adicionados. (Ver Figura 4.3).

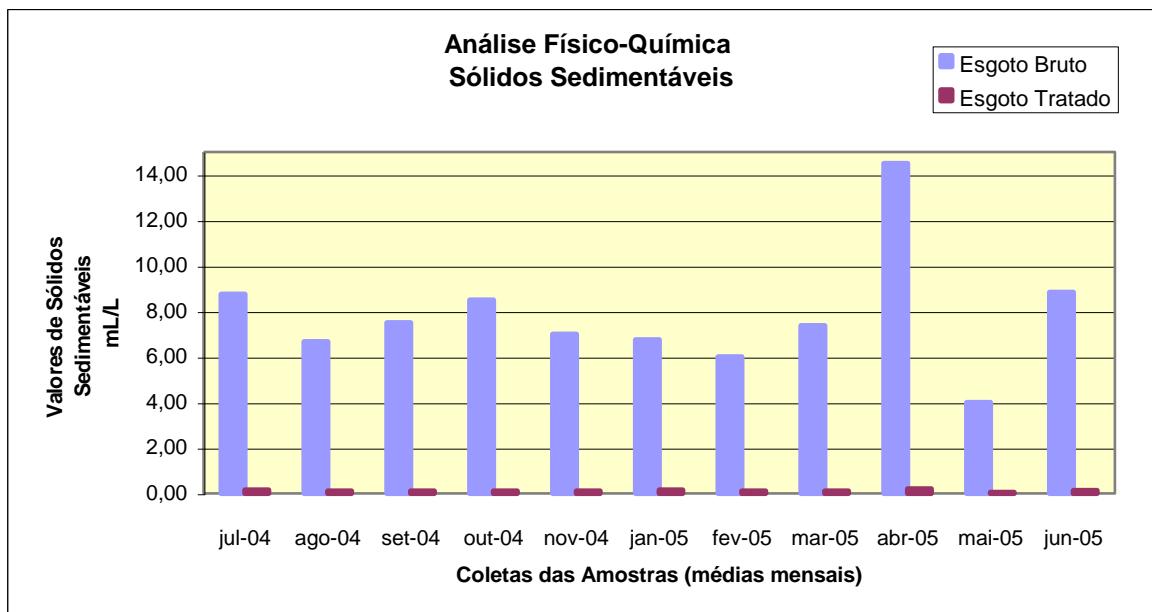


Figura 4.3 – Valores médios mensais de Sólidos Sedimentáveis.
ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005.

d) Sólidos Suspensos Totais

- Conforme se observa nas Tabelas 4.1 e 4.2, antes da aplicação do aditivo houve uma redução de 73,81%, enquanto que, durante a aplicação, esta redução foi de 88,59%. A alta descarga no mês de abril, de 2.796 mg/L, afetou significativamente o equilíbrio do sistema (Ver Figura 4.4)

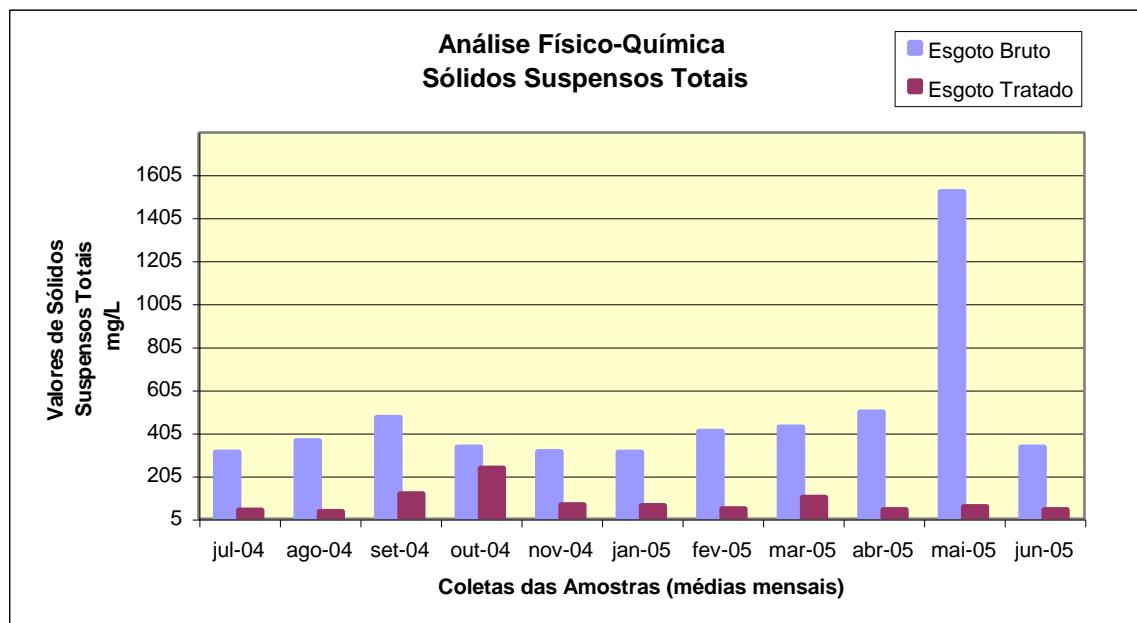


Figura 4.4 – Valores médios mensais de Sólidos Suspensos Totais.
ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005.

e) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

- Antes da aplicação do aditivo, a redução de DBO₅ era de 88,73% e, durante a aplicação foi de 83,62%. Pode-se observar na Figura 4.5 que, mesmo com a descarga elevada no mês de abril, o sistema permaneceu estável, com média de 76,28 mgO₂/L para o esgoto tratado.
- Pearson e Mara *apud* Carvalho (1997) citam a faixa de remoção de DBO₅ entre 70% e 80% para sistemas australianos.

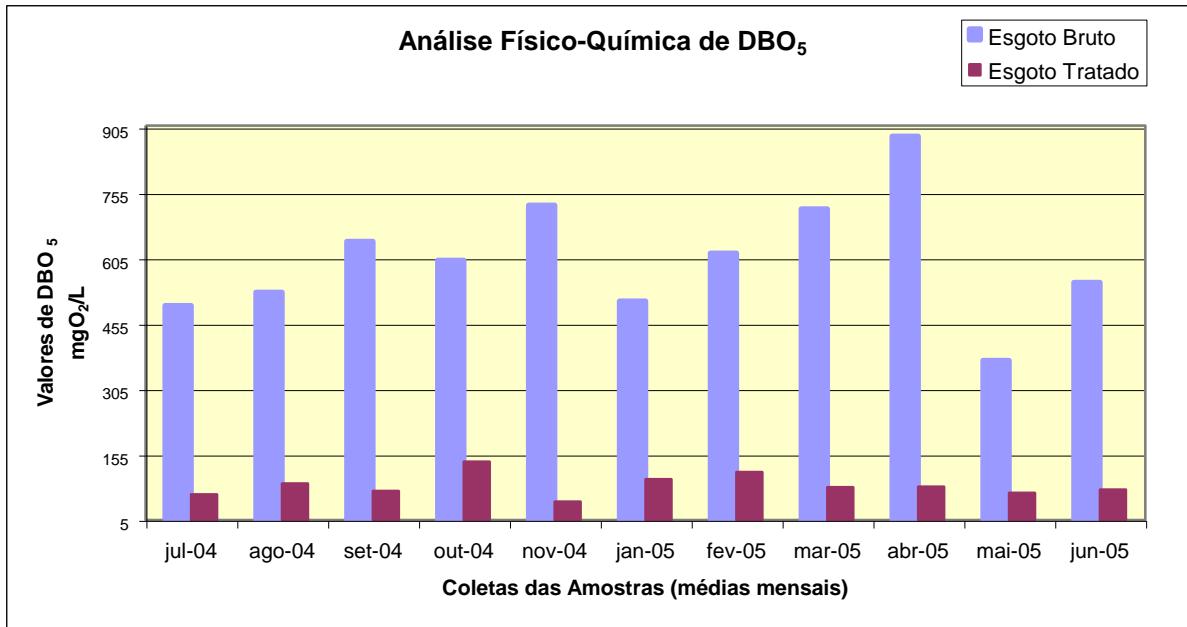


Figura 4.5 – Valores médios mensais de DBO₅.
ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005

f) Demanda Química de Oxigênio (DQO)

- A Figura 4.6 mostra os valores médios mensais de DQO.
- Com relação à DQO, o sistema apresentava, antes da aplicação do aditivo, uma eficiência de remoção de 80,17%. Durante a aplicação, esta eficiência foi de 80,28%.
- A relação DQO/DBO₅ para o esgoto bruto, antes da aplicação do aditivo, era de 1,48; durante a aplicação, foi de 2.60, considerando os valores médios obtidos.
- Braile & Cavalcanti (1993) consideram um resíduo facilmente biodegradável aquele cujas DQO e DBO₅ apresentam uma relação DQO/DBO₅ < 2. Nesse caso, a DQO/DBO₅ do afluente é semelhante à DQO/DBO₅ do efluente, recomendando-se o tratamento biológico convencional. Entretanto, quando a relação DQO/DBO₅ > 2, a DQO/DBO₅ do afluente é menor que a DQO/DBO₅ do efluente, indicando a existência de matéria orgânica não

biodegradável; Yanez (1993) diz que quando esta relação encontra-se entre 1,7 e 2,0, indica pequena presença de afluentes de origem industrial.

- A relação DQO/DBO₅ para os efluentes, antes e durante a aplicação do aditivo, respectivamente, foram de 1,98 e 3,13. Considerando os valores médios obtidos.
- Von Sperling (1995) afirma que a relação DQO/DBO₅, nos efluentes de tratamentos de esgotos biológicos é usualmente superior a 3,0. Conforme Braile & Cavalcanti (1993), os valores de DQO/DBO₅ alcançados pela E.T.E. – Malvas, durante a aplicação do aditivo, de 2,60 e 3,13, esgoto bruto e tratado respectivamente, significa que ela recebe influência de esgotos industriais.

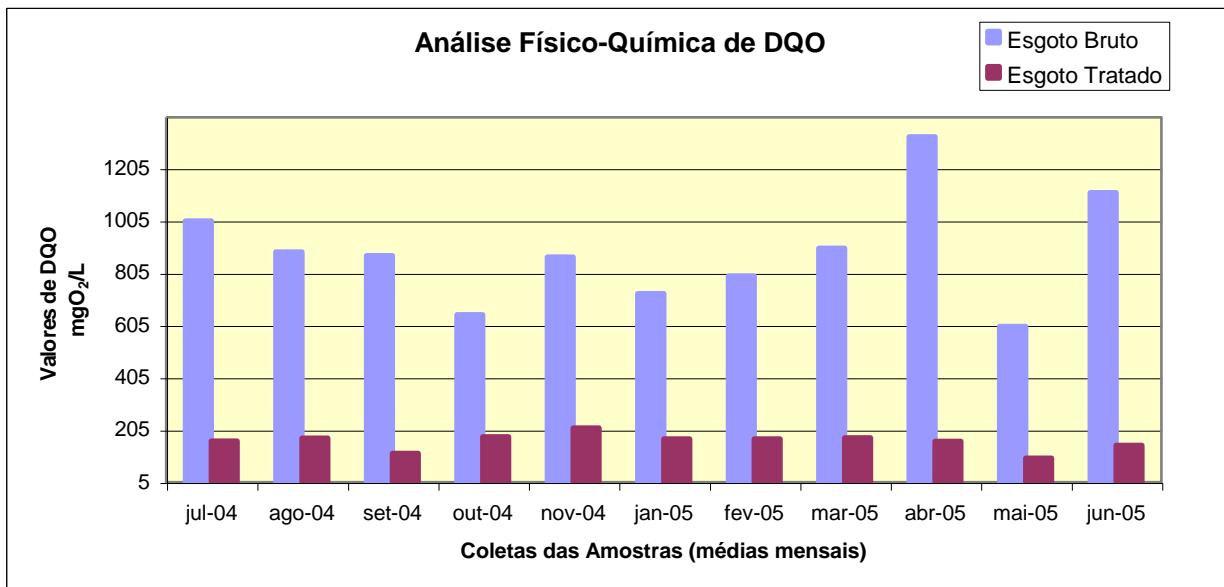


Figura 4.6 – Valores médios mensais de DQO.
ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005.

g) Coliformes Totais

- Os organismos do grupo coliforme são utilizados como índice de poluição por matéria fecal. Sob o ponto de vista sanitário é da maior importância que a concentração desses indicadores se mantenha dentro dos padrões permissíveis para os diversos usos da água.
- A eficiência do sistema, de remoção de coliformes totais, antes da aplicação do aditivo, foi de 33%, enquanto que, durante a aplicação, esta eficiência aumentou para 89%. (Ver Figuras 4.7 e 4.8).

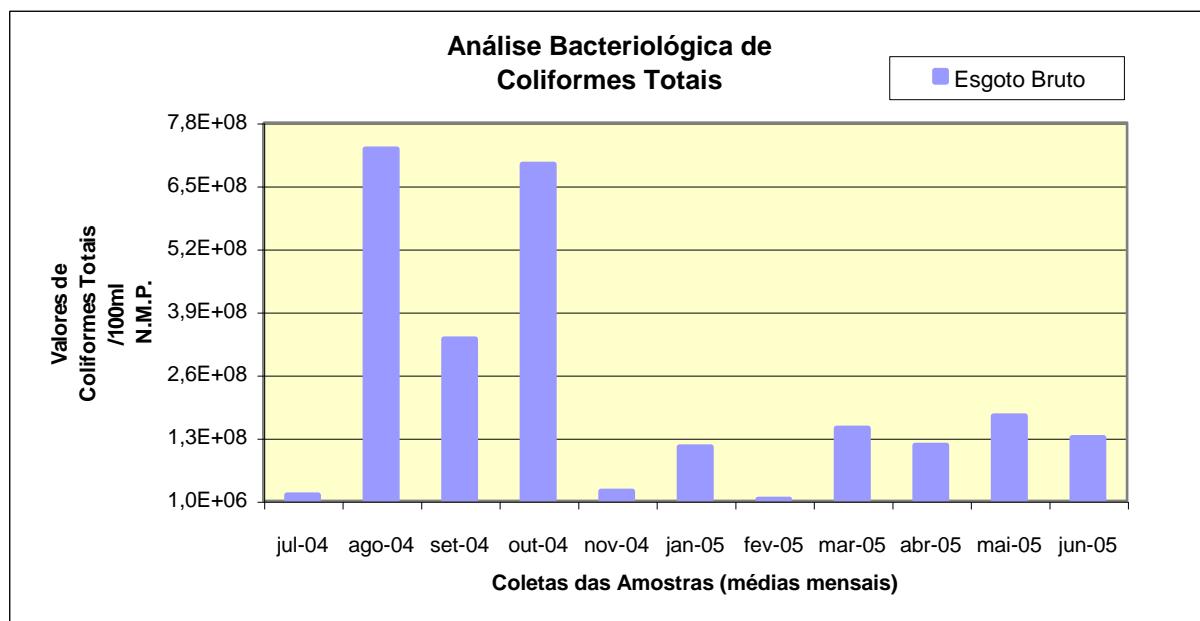


Figura 4.7 – Valores médios mensais de Coliformes Totais no Esgoto Bruto.
ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005.

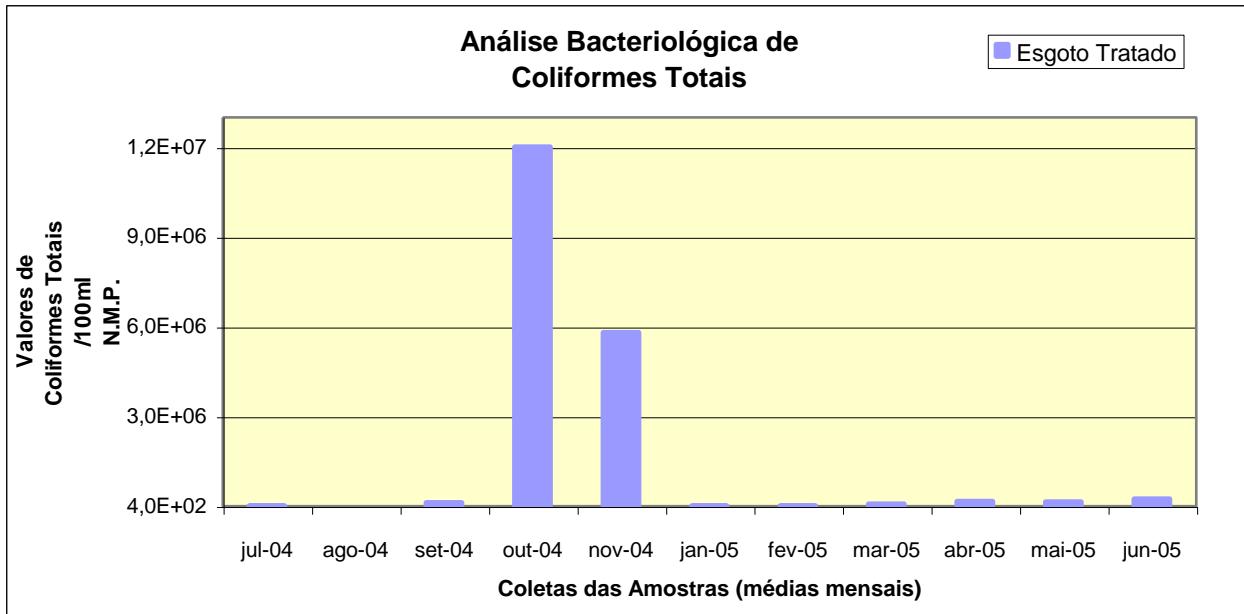


Figura 4.8 – Valores médios mensais de Coliformes Totais no Esgoto Tratado.
ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005.

h) Coliformes Termotolerantes

- Coliformes termotolerantes - subgrupo das bactérias do grupo coliforme que fermentam a lactose a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em 24 horas; tendo como principal representante a *Escherichia Coli*, de origem exclusivamente fecal.
- A eficiência do sistema, antes da aplicação do aditivo, foi de 82%, enquanto que, durante a aplicação, observou-se uma eficiência de 99,99%. (Ver Figura 4.9 e 4.10).

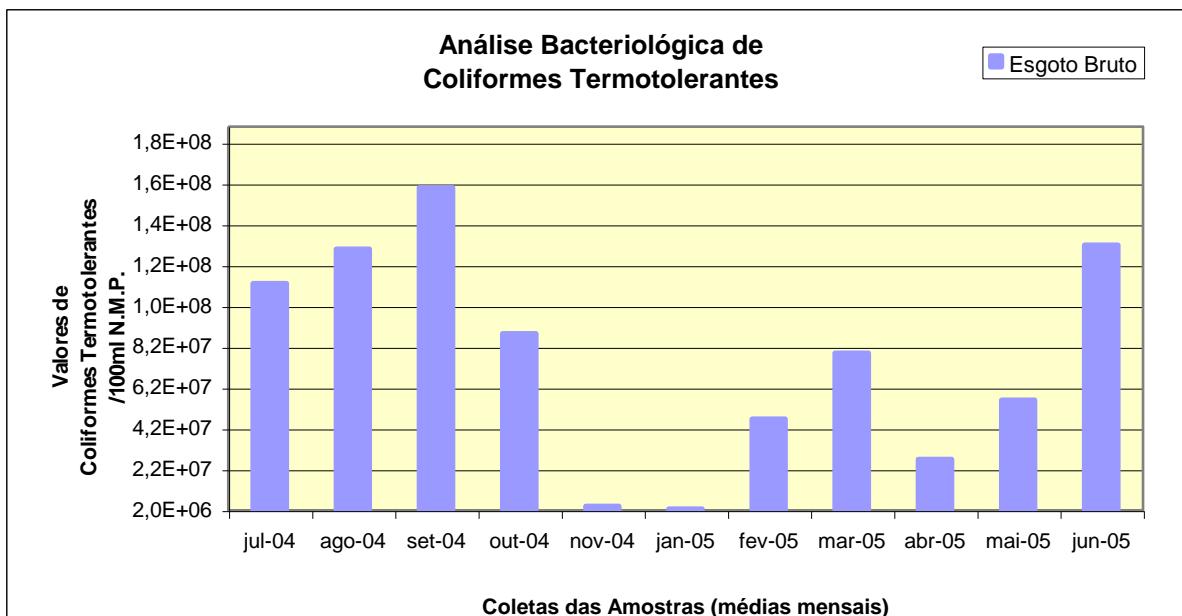


Figura 4.9 – Valores médios mensais de Coliformes Termotolerantes no Esgoto Bruto.
ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005.

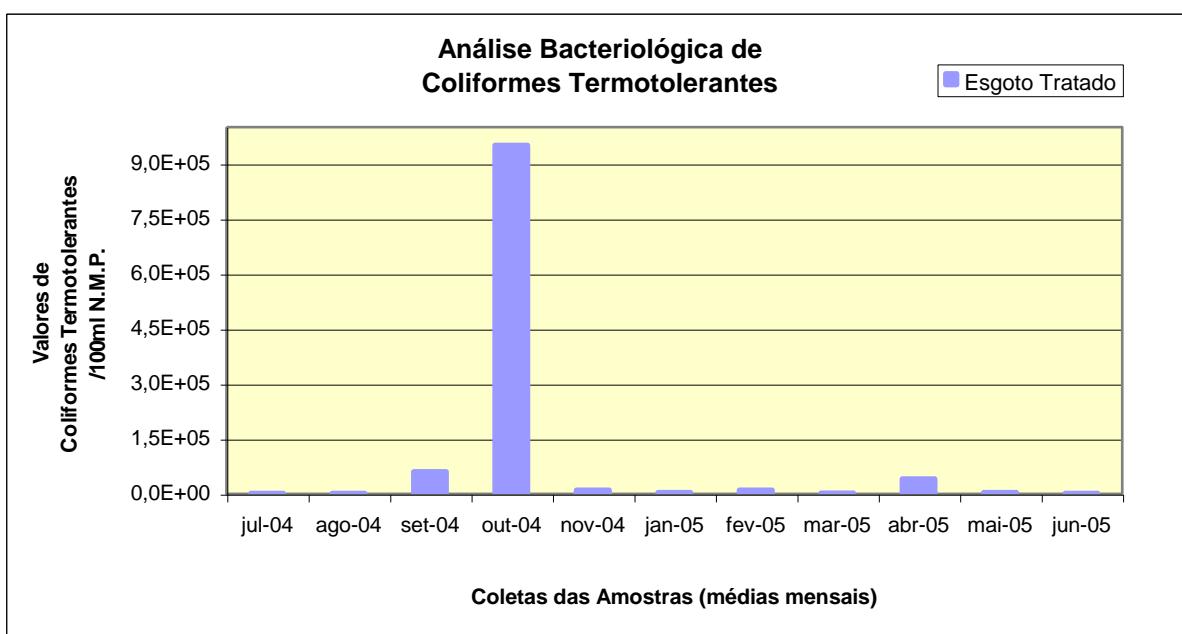


Figura 4.10 – Valores médios mensais de Coliformes Termotolerantes no Esgoto Tratado.
ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005.

i) Oxigênio Dissolvido

- O oxigênio dissolvido é um fator muito importante para o funcionamento de lagoas de estabilização facultativas e aeróbias. Este gás é indispensável para os microrganismos responsáveis pelos processos aeróbios de degradação dos resíduos orgânicos.
- Quando do lançamento de carga num curso d'água a matéria orgânica tende a ser mineralizada naturalmente pelos microrganismos aeróbios existentes, consumindo oxigênio da água. Quando a carga poluídora é expressiva, o OD se esgota e passam a predominar os organismos anaeróbios, até que mais oxigênio se dissolva na água. Assim, o balanço de oxigênio nas águas, obtido através da determinação do OD e da DBO₅, tem se mostrado como um bom indicador de poluição.
- Antes da aplicação do aditivo, o valor médio mensal de OD do efluente final era de 8,36 mgO₂/L, o que obedece a Portaria 154/02 da SEMACE (Tabela 2.5) para padrões de lançamento de efluentes. Durante a aplicação do aditivo temos um valor médio de 3,71 mgO₂/L.
- De acordo com a Figura 4.11, pode-se verificar que a partir de fevereiro/95 a média mensal de OD aumentou gradativamente após aplicação do aditivo. Antes, o sistema apresentava-se completamente desordenado em relação ao teor de OD.

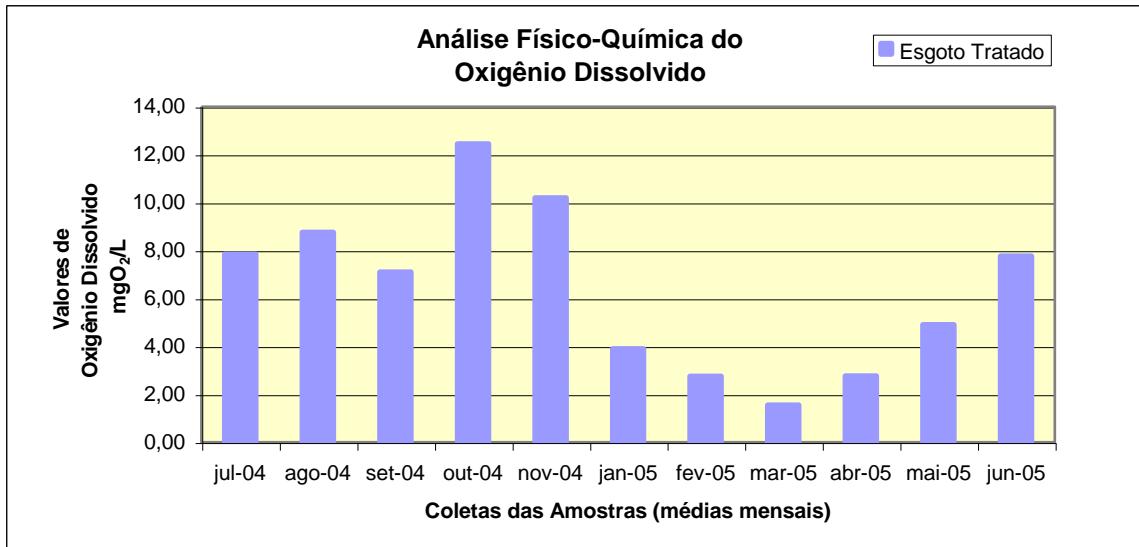


Figura 4.11 – Valores médios mensais de Oxigênio Dissolvido.
ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005.

j) Gás Sulfídrico e Sulfetos

- Os maus odores formados pelo gás sulfídrico desprendido afetavam toda a região em torno da ETE, gerando constantes reclamações da população que reside nessa região, além de ser potencialmente perigoso para os operadores das ETEs, devido a seu grau de toxicidade.
- A formação de gás sulfídrico traz dois sérios inconvenientes ao sistema: a formação de maus odores e a destruição parcial das algas, uma vez que estas são sensíveis à toxicidade do gás sulfídrico, que age, pois, como um inibidor da fotossíntese (BRANCO, 1986).
- Conforme pode-se observar nas Figuras 4.12 e 4.13, desde o início da aplicação do aditivo, vem-se reduzindo o parâmetro gás sulfídrico a valores cada vez mais baixos, nas lagoas anaeróbias 1 e 2.

- Durante a aplicação do aditivo, o percentual de redução de gás sulfídrico, na lagoa anaeróbia 1, foi de 43%, em relação ao valor médio, anterior à aplicação do aditivo. Na lagoa anaeróbia 2, este percentual de redução foi de 38%.
- Os sulfetos são substâncias que produzem maus odores. Na ausência de oxigênio os sulfatos são quimicamente reduzidos a sulfetos através de bactérias. Além disso, em condições ambientais favoráveis, complexos processos biológicos transformam o sulfeto de hidrogênio em ácido sulfúrico, causando sérios danos às tubulações de concreto, devido a corrosão.
- Durante a aplicação do aditivo, o percentual de redução de sulfeto, na lagoa anaeróbia 1, foi de 5%, em relação ao valor médio, anterior à aplicação do aditivo. Na lagoa anaeróbia 2, houve um aumento de 3%. (Ver Tabela 4.3 e 4.4).

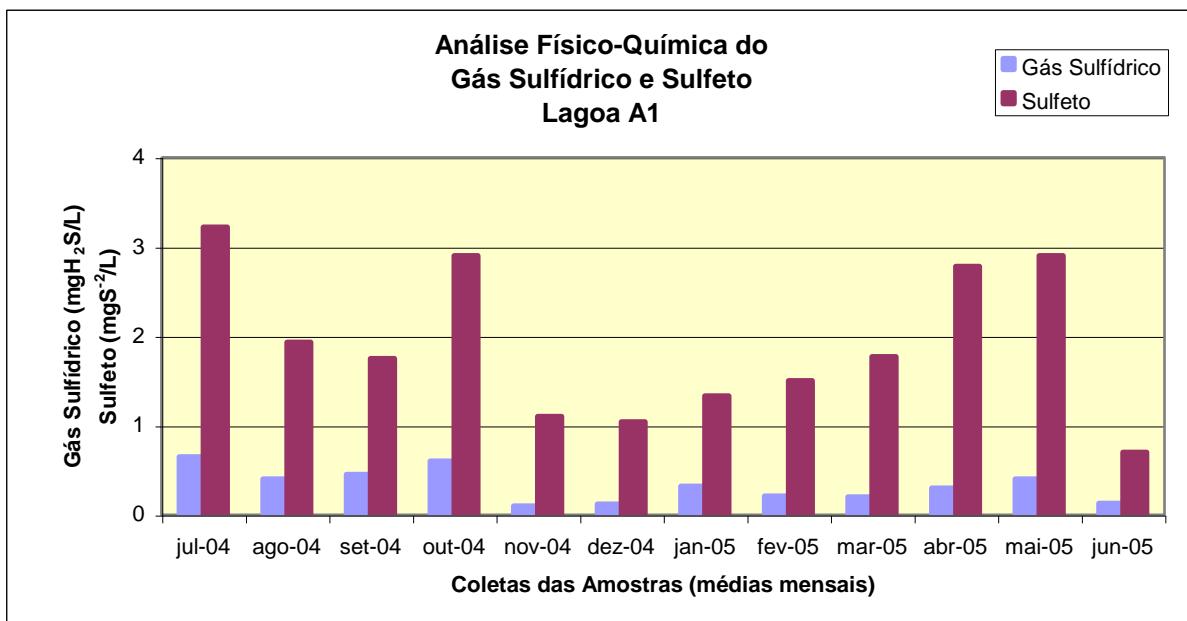


Figura 4.12 – Valores médios mensais de Gás Sulfídrico e Sulfeto na Lagoa A1.
ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005.

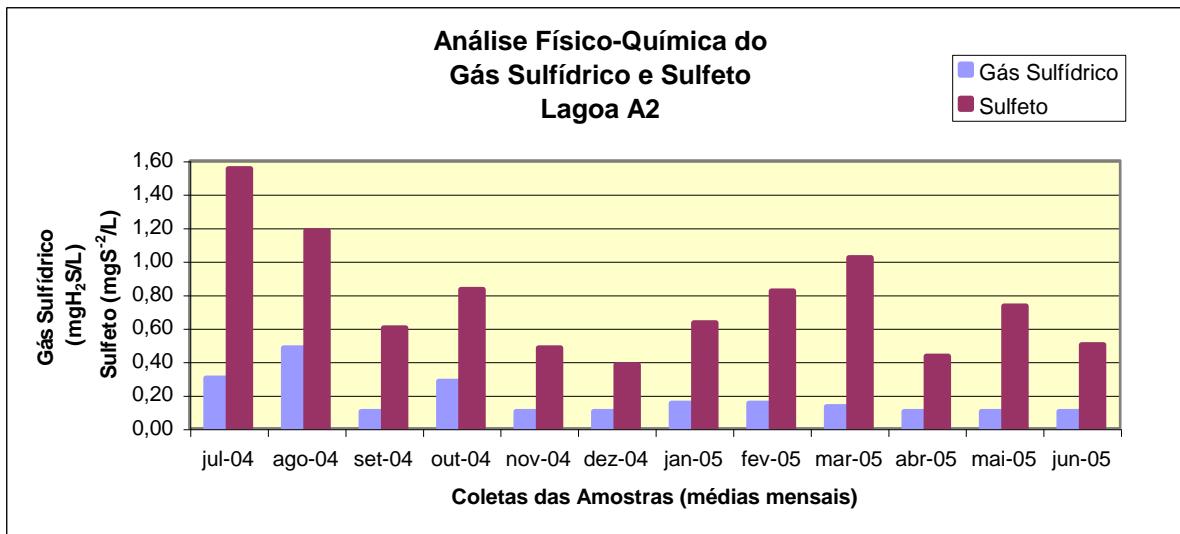


Figura 4.13 – Valores médios mensais de Gás Sulfídrico e Sulfeto na Lagoa A2.
ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2004/2005.

k) Temperatura

- Infelizmente, não se dispõe de dados de temperatura anteriores à aplicação do aditivo, para se comparar com os dados obtidos posteriormente.
- As temperaturas nas lagoas anaeróbias 1 e 2, referentes a valores mín., máx., e médio, respectivamente, são:
 - ✓ Anaeróbia 1 – 27°C (mín.), 33°C (máx.), e 29,7°C médio
 - ✓ Anaeróbia 2 – 27°C (mín.), 33°C (máx.) e 30,1°C médio.
- Os valores de temperatura foram determinados usando-se um termômetro com sensibilidade de 0,5°C. As medidas foram realizadas pela manhã – (11:00h) e no período da tarde – (16:00h), na superfície das lagoas A1 e A2.
- A temperatura do meio tem uma grande influência nas taxas de reprodução e estabilização, o que faz com que locais de clima favorável (temperatura elevada), como

no Brasil, se tornem propícios para lagoas anaeróbias (VON SPERLING, 1996b). (Ver Figura 4.14).

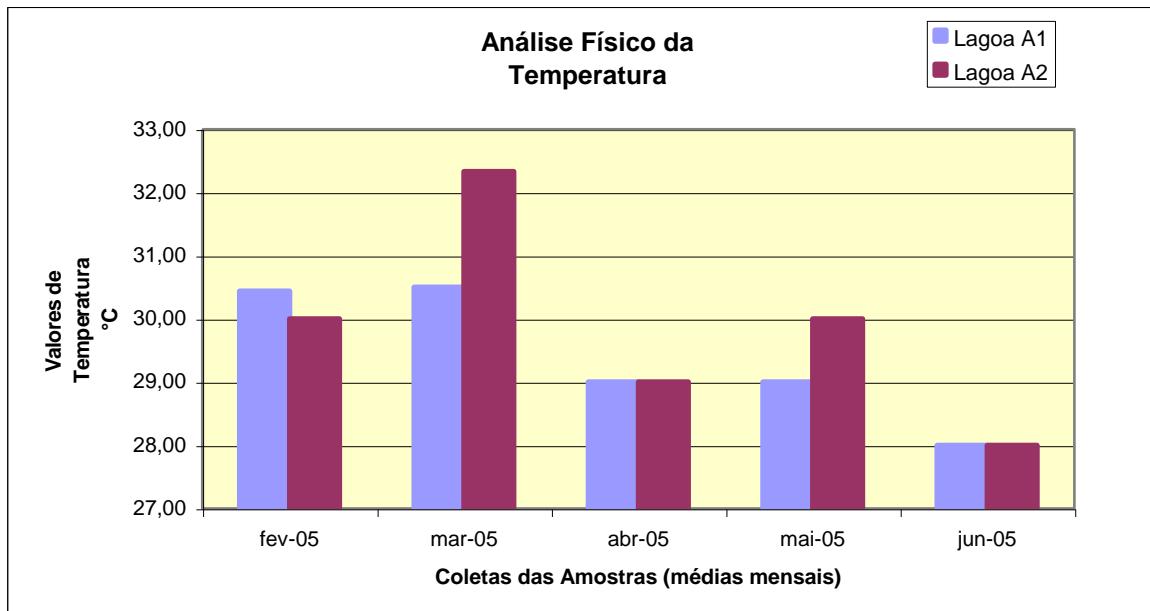


Figura 4.14 – Valores médios mensais de Temperatura.
ETE Malvas, Juazeiro do Norte – Ceará. 2005.

5.0 CONCLUSÕES

Os dados obtidos permitem concluir o seguinte:

- a) O problema do mau cheiro presente na área da ETE é consequência do assoreamento das lagoas anaeróbias 1 e 2, o qual foi constatado na batimetria realizada em fevereiro/05. Com a diminuição da profundidade útil da lagoa, houve um aumento da transferência de gás sulfídrico para a atmosfera. Durante a aplicação do aditivo, o mau cheiro foi sendo reduzido gradativamente, devido a alta taxa de microrganismos presentes, que passaram a utilizar outro acceptor de elétrons, no lugar do sulfato.
- b) Com relação à redução de coliformes termotolerantes, a eficiência das lagoas, após o uso dos aditivos biológicos, foi de 99,99%.
- c) As reduções de DBO_5 e DQO permaneceram praticamente as mesmas nos dois períodos, com um pequeno aumento na redução da DQO, durante a aplicação do aditivo.
- d) Uma descarga não controlada de esgotos industriais no sistema de esgotamento sanitário da cidade, ocorrida no mês de abril/2005, resultou na elevação de vários parâmetros, alterando, assim, os valores médios dos mesmos no período de aplicação do aditivo.
- e) Desde o início da aplicação do aditivo, vem-se reduzindo os maus odores provocados pelo gás sulfídrico oriundos das lagoas. Com isto, as reclamações da população que reside próxima as lagoas, tem-se reduzido significativamente.
- f) Embora tenham ocorrido alguns resultados positivos como consequência da aplicação dos aditivos biológicos, o curto período da pesquisa não é suficiente para

chegar-se a conclusões definitivas sobre a sua eficiência, havendo necessidade de mais estudos, por períodos mais longos, sobre sua utilização.

6.0 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se, para trabalhos futuros:

- a) Estudar o uso conjunto da aplicação de aditivos biológicos nas lagoas anaeróbias, com a criação de peixes na lagoa de maturação;
- b) Realizar pesquisas envolvendo a produção de proteínas e/ou polissacarídeos através da remoção (por flotação) das algas produzidas;
- c) Estudar uma modificação na entrada das lagoas anaeróbias, a fim de evitar as zonas mortas existentes.
- d) Estudar, por um período mais longo, a melhoria do tratamento de esgotos em lagoas de estabilização, com o uso de aditivos biológicos.
- e) Verificar o potencial de poluição ambiental, da carga de esgoto industrial, lançada diariamente no sistema de lagoas de estabilização.
- f) Avaliar a possibilidade do reúso das águas residuárias tratadas, provenientes do sistema de lagoas de estabilização de Juazeiro do Norte/Ceará.
- g) Estudar os possíveis impactos ambientais causados pela aplicação de aditivos biológicos em corpos hídricos. (entorno).

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE NETO, C. O. de. **Sistemas Simples para tratamento de esgotos sanitários: Experiência Brasileira**, Rio de Janeiro: ABES, 1997. 301p.

ARAÚJO, G.M. **Avaliação do possível Reúso das Águas Residuárias Tratadas provenientes do Sistema de Lagoas de Estabilização de Ponta Negra em Natal – RN**. Monografia (Especialização em Planejamento Urbano e Gestão Ambiental) - CEFET. Juazeiro do Norte – Ceará, 2004. 58p.

ARAÚJO, L de F. P. **Lagoas de Estabilização na Região Metropolitana de Fortaleza – RMF: Qualidade e Potencialidade de Reúso do Efluente Final**. Dissertação de Mestrado - UFC. Fortaleza – Ceará, 1999. 88p.

ARAÚJO, L de F. P. **Reúso com Lagoas de Estabilização: Potencialidade no Ceará – Fortaleza**: SEMACE, 2000. 132p.

ARCE – Agência Reguladora de Serviços Públicos Delegados do Estado do Ceará. **Relatório Técnico sobre a ETE de Juazeiro do Norte**. Fortaleza – Ceará, Fevereiro de 2004. 58p.

ARCEIVALA,S.J. **Wastewater Treatment and Disposal**. Marcel Dekker, New York, 1981.

BEZERRA, M. E. E. **Cenário do Tratamento de Esgoto através de Tanque Séptico + Filtro anaeróbio em Fortaleza**. Dissertação de Mestrado – UFC: Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Fortaleza – Ceará, 2004. 110p.

BRAILE, Pedro M.; CAVALCANTI, José Eduardo W.A., **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**. São Paulo:CETESB, 1993. 764p.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária**. 3 ed. São Paulo: CETESB. 1986. 640p.

BRANCO, S. M. **Manual de esgotos: Origem, Tratamento, Biorremediação.** Consórcio Biológico/Bio ambiental. Goiânia, 2002. 89p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. CONAMA. Resolução 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível na Internet: <http://www.assemae.org.br/res35705.pdf> (05/06/05)

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**, 3.ed. rev. Brasília, 2004. 408p.

CAGECE. **Sistema de Esgotamento Sanitário de Juazeiro do Norte: Estação de Tratamento de Esgoto**, Juazeiro do Norte – Ceará, CAGECE, 1992. 90p.

CARVALHO, M. E. de.– **Tratamento de águas residuárias combinadas (despejos domésticos e efluentes industriais) utilizando lagoas de estabilização em escala real.** In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária. Fortaleza-CE: ABES, 1997, 250p.

CETESB. **Operação e Manutenção de lagoas Anaeróbias e facultativas.** São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental., 1989. 91p.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios.** 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG, 1997. v.5, 246p.

COOKSON Jr, J. T. **Bioremediation engineering - Design and application.** McGraw-Hill Inc. EUA, 1995. 524p.

CUBILLOS, Armando. **Critérios para dimensionar lagunas de estabilização.** CEPIS, 1986. 86p.

DA SILVA, F. J. A.; ARAÚJO, L. F. P.; MARA, D. D.; PEARSON, H. W. AND SILVA, S. A. **Ponds in Fortaleza Northeast Brazil – scenario for effluent reuse** IN: **4th International Specialist Conference on Waste Stabilisation Ponds: Technology and Environment.** Marrakesh. April, 1999.

DA SILVA, F. J. A.; ARAÚJO, L. F. P. **Trinta anos de Lagoas de Estabilização no Ceará.** In: **XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental -SI-LUBESA,** 2005.

DACACH, N. G. **Saneamento Básico.** 2.ed. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editor S.A.; 1984. 293p.

EPA. **Design Manual. Municipal Wastewater Stabilization Ponds.** United States Environmental Protection Agency. 1983. 327p.

FERNANDES, C. **Esgotos Sanitários,** Ed. Univ./UFPB, João Pessoa, 1997. 435p.

FUNASA.– **Manual de Saneamento,** 3.ed. rev. Brasília, 2004, 408p.

GRIFFITHS, M. **Biotechnology for a clean environment.** Mike Griffiths Associates, The Pantilles, Ivy Lane, Woking. Inglaterra, 1992. 19p.

HAMMER, Mark J. **Sistemas de Abastecimento de Água e Esgotos.** Tradução de Sérgio A. S. de Almeida. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1974. 563p.

IBGE. **Brasil em síntese,** 2003. Disponível na internet: <www.ibge.gov.br>. (10/03/05).

JORDÃO, E. P. & PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** 3.ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 683p.

KELLNER, E; PIRES, E. C. **Lagoas de Estabilização – Projeto e Operação:** Departamento de Hidráulica e Saneamento; Escola de Engenharia de São Carlos. São Paulo: ABES, 1998. 241p.

MARA, David Duncan. **Sewage Treatment in Hot Climates.** New York: John Wiley & Sons Ltda. 1976. 167p.

MARA, D.D.; MILLS, S.W.; PEARSON, H.W.; ALABASTER, G.P. **Waste stabilization ponds:** a viable alternative for small community treatment systems. J.JWEM, 1992. v-6. p.72-78.

MATHEUS, C. E. **Utilização de peixes para melhorar o desempenho de lagoas de estabilização.** Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, USP. Revista DAE nº. 144, São Paulo, v.1. p.87-101, março, 1986.

MATSUSHITA, Augusto Tetsuji. **Estudo sobre Lagoa de estabilização para Esgoto Sanitário.** São Paulo. 58p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1972.

MCGARRY, M.G. **Water Reclamation and Protein Production through Sewage Treatment.** In: Proceedings of a Seminar on Water Supply and Wastewater Disposal in Developing Countries, Asian Institute of Technology, Bangkok, 1971, pp. 234-242.

METCALF, & EDDY, Inc. **Wastewater engineering. Tratament, disposal, reuse.** 3.ed. New York: Mc Graw-Hill. 1991.

OSWALD, W. J.; **“Research and Installation Experiences”.** In **“Waste Stabilization Lagoons”**, Proceeding of a Symporium, Kansas City, Mo.; Aug. 1-5 (1960) USPHS publ. No. 872, 33 (1961).

PARKER, C. D.; JONES, H. L.; TAYLOR, W. S. **Purification of Sewage in Lagoas Sew.** Ind. Wst. V.22, No. 6 (June 1950).

PEDERSEN, H; MUTHARASAN, R; DI BIASI, D. **Biochemical Engineering VII.** Annals of New York Academy of Sciences, vol 665. 1992.

PELEGRINI. et al. **Biorremediação.** Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET) – UNICAMP/ Laboratório de Pesquisas Ambientais – LAPA, São Paulo, 2003. 10p.

PESSOA, Constatino Arruda; JORDÃO, Eduardo Pacheco. **Tratamento de Esgotos Domésticos: Concepção Clássica de Tratamento de Esgotos.** 2.ed. Rio de Janeiro, ABES, 1982. 531p.

Portaria nº 154, de 22 de Julho de 2002. Dispõe sobre os padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Disponível na Internet: http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislação/conteudo_legislação.asp?cd=95 (16/05/05)

POVINELLI, Jurandir. **Sistemas de Esgotos Sanitário.** 2.ed. Cap. 25. São Paulo: CETESB, 1977. 467p.

Revista Sul Ambiental . Aditivos Biológicos – Usados com sucesso no tratamento de efluentes. Ano 7, n.7. maio, 2003. Disponível na Internet: http://www.sulambiental.com.br/edicao_07/prproj_07aditivos.htm (26/06/05)

SILVA, S. A; MARA, D. D. **Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lagoas de Estabilização,** 1.ed. Rio de Janeiro: ABES, 1979. 140p.

STANDARD Methods for the Examination of Water and Wastewater – **APHA** – 19. ed. Washington DC, 1995.

SVORE, J. H. “**History of Raw Sewage Lagoons in the Midwest**”. In “**Waste Stabilization Lagoons**”, Proceeding of a Symposium Kansas City, Mo.; Aug. 1-5 (1960) USPHS Publ. No. 872, 33 (1961).

TORTORA, G. J; FUNKE, B. R; CASE, C. L. – **Microbiologia**, 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2000.

UEHARA, Michele Y.; VIDAL, W. L. **Operação e Manutenção de Lagoas Anaeróbias e Facultativas**. São Paulo, CETESB. (Série Manuais). 1989. 89p.

VAN HAANDEL, Adrianus C.; LETTINGA, Gatze. **Tratamento Anaeróbio de Esgotos**. Um Manual para Regiões de Clima Quente. S1. S.ed, 1996.

VICTORETTI, Benoit Almeida. **Contribuição ao Emprego de Lagoas de Estabilização como Processo para Depuração dos Esgotos Domésticos**. São Paulo. 157p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1964.

VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.1. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 4.ed., 1995. 240p.

_____. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.2. **Princípios Básicos do Tratamento de Esgoto**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 1996a. 211p.

_____. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.3. **Lagoas de Estabilização**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996b. 134 p.

YÁNEZ, F. **Lagunas de Estabilization**. Teoria, Diseño y Mantenimiento. ETPA., Cuenca, Ecuador, 1993.

ZAIAT, M. **Tratamento Anaeróbio de Águas Residuárias**. São Paulo, SP: Escola de Engenharia de São Carlos/ Departamento de Hidráulica e Saneamento, 2002. 68p. (Notas de aulas).