



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA**

PEDRO ALVES DA SILVA FILHO

DIAGNÓSTICO OPERACIONAL DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

**Natal-RN
2007**

PEDRO ALVES DA SILVA FILHO

**DIAGNÓSTICO OPERACIONAL DE
LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. André Luis Calado Araújo

Co-Orientador: Prof.Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto

Natal - RN
2007

Catálogo da Publicação na Fonte. UFRN/Biblioteca Central Zila Mamede
Divisão de Serviços Técnicos

Silva Filho, Pedro Alves da.

Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização / Pedro Alves da Silva Filho.-
Natal, RN, 2007.

169 f.

Orientador: André Luis Calado Araújo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de
Tecnologia. Programa Regional de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária..

1. Lagoas de estabilização – Rio Grande do Norte - Dissertação. 2. Tratamento de
esgoto – Rio Grande do Norte - Dissertação. 3. Lagoas de estabilização – Diagnóstico
operacional – Dissertação. 4. Engenharia Sanitária - Dissertação. I. Araújo, André Luis
Calado. II. Título.

RN/UF/BCZM

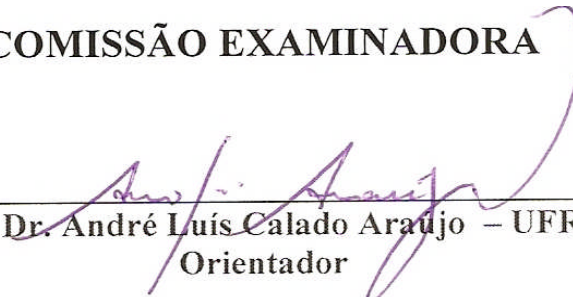
CDU 328.357(813.2)(043.3)

PEDRO ALVES DA SILVA FILHO

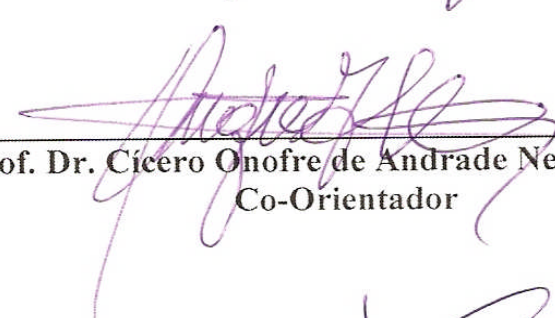
**DIAGNÓSTICO OPERACIONAL DE
LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

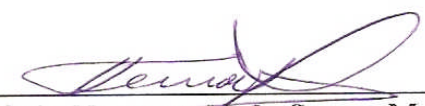
COMISSÃO EXAMINADORA



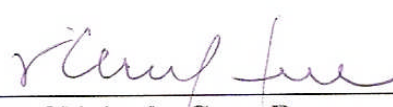
Prof. Dr. André Luís Calado Araújo – UFRN
Orientador



Prof. Dr. Cicero Onofre de Andrade Neto – UFRN
Co-Orientador



Prof. Dr. Hênio Normando de Souza Melo – UFRN
Examinador Interno



Prof. Dr. Odir Clécio da Cruz Roque – FIOCRUZ/RJ
Examinador Externo

Natal, 07 de Maio de 2007.

A meus pais Ermínia e Pedro e a todos os meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Ao meu Orientador, Prof. **Dr. André Luís Calado Araújo** e ao **Co-Orientador Prof. Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto**, pela atenção e empenho no processo de construção deste trabalho, bem como pela interlocução crítica e animadora.

À Fundação Nacional de Saúde – (FUNASA)-, com destaque para a Coordenação Regional do Rio Grande do Norte, pelo apoio fundamental para a realização desta pesquisa, na pessoa dos amigos Eng. Henrique Cruz, Cláudio Farache, José Anchieta, Erivaldo Mesquita, Alexandre Godeiro e todos os amigos que direta ou indiretamente compartilharam o desenvolvimento da minha pesquisa.

À Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte – (CAERN)-, em especial a Bióloga Fátima Bezerra Barbosa de Medeiros, pelo apoio indispensável nas visitas *in loco* às ETEs do Estado e na realização das análises laboratoriais, juntamente com as colegas Liana Cristina da Silva Pinheiro, Margarida Maria Mendes, Elza Bezerra Pinheiro de Freitas e todo o pessoal do Laboratório, pela contribuição significativa nesta etapa da pesquisa. Também merecem créditos de muitos agradecimentos os Engenheiros Marco Antônio Calazans Duarte e Paula Ângela Melo Liberato, que viabilizaram o acesso e o apoio logístico nesta Instituição e depositaram confiança no desenvolvimento da pesquisa.

Ao amigo Sérgio Luiz Lopes, pelo companheirismo, pelas análises críticas e indispensáveis no decorrer de toda a pesquisa.

Aos amigos do Mestrado Ednilson, Alfredo Osvaldo, Carlos Magno, Vera Lucas, Eulina, Thaise Emanuele e todos que fazem parte do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da UFRN, pela parceria nos bons e mais difíceis momentos do Curso.

Aos Professores Arthur Matos, Antonio M. Righetto, Ada C. Scudelari, Josette Lourdes, Luiz Pereira, Howard Pearson, Maria del Pilar e outros, pelo apoio na construção do referencial teórico das aulas do Programa. À professora Maria Emília pela revisão gramatical e textual do trabalho e a Margareth Régia L. Menezes pela revisão bibliográfica.

Aos amigos de Roraima: Maria Consolata, Vânia Nascimento, Rosa Maria, Gerson Lima, Angealdo, Edilene, James e muitos outros, à minha família pelo apoio incondicional às dificuldades superadas para a realização desta jornada. A Deus razão maior da vida.

“Tudo que acontece com a Terra, acontece com os filhos dela. O homem não tece a teia da vida; ele é um fio dela. Tudo que ele faz à teia faz a si mesmo”.
(CAPRA, 1997).

RESUMO

Este trabalho se propõe a desenvolver uma abordagem fundamentada através de critérios científicos no diagnóstico operacional de lagoas de estabilização, a partir de análises realizadas *in loco* e em laboratório de 78 sistemas de tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização no Estado do Rio Grande do Norte. Os objetivos da pesquisa são: mapear, avaliar e diagnosticar o desempenho operacional das lagoas de estabilização do estado do Rio Grande do Norte, através de visitas *in loco* e análises laboratoriais; construir um SIG, através do mapa hidrográfico, localizar os pontos de lançamentos de efluentes dos sistemas de lagoas existentes no Rio Grande do Norte, como também dados operacionais e seu respectivo diagnóstico de eficiência na remoção de DBO e Coliformes Termotolerantes; avaliar, em escala real, três sistemas de lagoas de estabilização do RN na eficiência operacional para os parâmetros DBO₅, DQO, pH, Temperatura, OD e Coliformes Termotolerantes. Das 78 ETEs do RN avaliadas apenas, 7 lagoas correspondente a 9%, tiveram conceito: Bom, que concerne a remoção de DBO e Coliformes Termotolerantes e 32 lagoas correspondente a 41%, tiveram conceito: Ruim, em termo de eficiência operacional, para os parâmetros de DBO e Coliformes Termotolerantes. As concentrações médias afluentes as ETEs do RN de DBO e Coliformes foram de 410mg/L e $2,50 \times 10^7$ UFC/100ml, a configuração predominante é do tipo F₁+M₁+M₂ (Facultativa primária, seguida por duas lagoas de maturação, uma primária e outra secundária), a relação DBO/DQO revelou para o esgoto afluente características biodegradáveis. Para o estudo de caso, envolvendo as 3 ETEs, uma para cada órgão de gestão, as melhores eficiências operacionais em ordem decrescente foram: Cidade (Município), Roça (Estado) e São Miguel (SAAE). As remoções de DBO final foram 51,6mg/L; 108,27mg/L e 62,6mg/L, tendo eficiência de 82%; 74% e 81%, respectivamente. Em termo de remoção de coliformes nos efluentes das ETEs foram $1,90 \times 10^3$ UFC/100ml; $1,50 \times 10^4$ UFC/100ml e $3,10 \times 10^4$ UFC/100ml, tendo eficiências de 99,99%; 99,95% e 99,90%. No que concerne a prática de reúso de culturas consumidas cruas, nenhuma das 3 ETEs atenderam aos parâmetros da Resolução CONAMA 357/05, para outras práticas de reúso, todas atenderam as categorias B e C da OMS. Para lançamento em corpo receptor hídrico apenas a ETE Cidade, atende as exigências da resolução do CONAMA 357/05, mediante estudo de autodepuração do corpo receptor. A falta de manutenção e operação; operador exclusivos nas ETEs e conhecimento de operação foram os fatores contribuintes para o diminuto quadro de eficiência no que concerne a remoção final de DBO e Coliformes Termotolerantes nas ETEs avaliadas do RN.

Palavras-chaves: Diagnóstico operacional. Lagoa de estabilização. Operação e monitoramento de lagoas estabilização.

ABSTRACT

This work intends to develop an approach based through scientific criteria in the operational diagnosis of ponds of stabilization, starting from analyses accomplished in loco and in laboratory of 78 systems of sewer treatment through ponds of stabilization in the State of Rio Grande do Norte. The objectives of the research are: to map, to evaluate and to diagnose the operational acting of the ponds of stabilization of the state of Rio Grande do Norte, through visits in loco and analyses laboratory; to build a SIG, through the map rain, locate the points of releases of sewages of the systems of existent ponds in Rio Grande do Norte, as well as operational data and his/her respective efficiency diagnosis in the removal of BOD and Coliforms Termotolerantes; to evaluate, in real scale, three systems of ponds of stabilization of RN in the operational efficiency for the parameters BOD5, COD, pH, Temperature, OD and Coliforms Termotolerantes. Of 78 ETEs of appraised RN just, 9% or 7 had maximum concepts in what concerns the removal of BOD and Coliforms Termotolerantes and 41% or 32, they had the worst concepts in term of operational efficiency. The flowing concentrations ETEs of RN of BOD and Coliforms were of 410mg/L and 2,50x10⁷UFC/100ml, the predominant configuration is of the type F1+M1+M2, the relationship BOD/COD revealed for the sewer tributary characteristic biodegradable high. For the study of case of 3 ETEs, the best operational efficiencies in decreasing order were: Cidade (Municipal district), it Roça (State) and São Miguel (SAAE). The removals of final BOD were 51,6mg/L; 108,27mg/L and 62,6mg/L, tends efficiency of 82%; 74% and 81%. In term of coliforms removal in the final effluentes were 1,90x10³UFC/100ml; 1,50x10⁴UFC/100ml and 3,10x10⁴UFC/100ml, tends efficiencies of 99,99%; 99,95% and 99,90%. In what it concerns the practice of agricultural reúso of cultures consumed raw, none of 3 ETEs assisted the parameters of the Resolution CONAMA 357/05, for other reúso practices, all assisted the categories B and C of OMS. For release in body receiving ETE Cidade just, they assist the demands of the resolution of CONAMA 357/05, by study of purification solemnity of the receiving body. The maintenance lack and operation; exclusive operator in ETEs and operation knowledge was the contributory factors for the operational fall in appraised ETEs of RN.

Keys-Word: Operational diagnosis. Pond of stabilization. Operation and monitoring of ponds stabilization.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01	- Percentual de distritos que possuem tratamento de esgoto no Brasil, por tipos de sistemas de tratamentos existentes	23
FIGURA 02	- Antiga Lagoa de Estabilização de Santa Cruz (não existe mais).....	29
FIGURA 03	- Dimensões do fundo e da parte superior da lagoa.....	43
FIGURA 04	- Detalhes e elementos constituintes de um dique de lagoa de estabilização.....	45
FIGURA 05	- Configuração em paralelo	48
FIGURA 06	- Configuração em série.....	49
FIGURA 07	- Configuração em paralelo e série com recirculação.....	49
FIGURA 08a	- Modelos de dispositivo de conexão entre lagoas	55
FIGURA 08b	- Modelos de dispositivo de conexão entre lagoas e disposição final	56
FIGURA 09	- Detalhes de procedimento de construção deficitário e carregamento errado	60
FIGURA 10	- Pontos de coleta de amostragem em lagoas de estabilização	80
FIGURA 11	- Fluxograma da metodologia da pesquisa	88
FIGURA 12	- Locação e materiais usados na medição da altura de lâmina d'água	90
FIGURA 13	- Plataforma elaborada utilizando o <i>software</i> ArcGIS 9.0	95
FIGURA 14	- Acesso do banco de dados através do GIS	95
FIGURA 15	- Croqui esquemático sem escala da cidade de Pedro Velho/RN	97
FIGURA 16	- Croqui da ETE “Cidade” - Pedro Velho/RN	99
FIGURA 17	- Detalhes da ETE “Cidade” – Pedro Velho/RN	100
FIGURA 18	- Croqui da ETE “Roça” – Pedro Velho/RN	101
FIGURA 19	- Detalhe da ETE “Roça” – Pedro Velho/RN	102
FIGURA 20	- Croqui da Planta Baixa da ETE “São Miguel” – Santa Cruz/RN ...	104
FIGURA 21	- Croqui da ETE “São Miguel ” – Santa Cruz/RN	105

FIGURA 22	- Detalhe da ETE “São Miguel” – Santa Cruz/RN	106
FIGURA 23	- Crescimento das lagoas de estabilização no RN.....	107
FIGURA 24	- Lagoas de estabilização do RN e suas configurações	108
FIGURA 25	- Perfil dos operadores de lagoas de estabilização do RN	110
FIGURA 26	- Operadores de ETEs sem uso de EPIs e com vestimenta inadequada ao trabalho.....	111
FIGURA 27	- Quadro de operadores de lagoas de estabilização por regionais	112
FIGURA 28	- ETEs com tratamento preliminar	113
FIGURA 29	- Lagoas de estabilização com remoção de sólidos no RN	115
FIGURA 30	- Destino final dos efluentes tratados nas lagoas de estabilização	116
FIGURA 31	- Reúso de esgoto para a prática de reúso. (A e B) efluentes coletados direto da lagoa; (C) efluente sendo desviado	117
FIGURA 32	- Diagnóstico de eficiências na remoção de DBO e Coliformes nas ETEs do RN	120
FIGURA 33	- Processo de carregamento incorreto em lagoas	123
FIGURA 34	- Comportamento médio das concentrações afluentes e efluentes de pH, OD e T por Regionais no RN	128
FIGURA 35	- Relação DBO_5/DQO nas concentrações afluentes e efluentes: Estado, Regionais, Modalidade de tratamento e Órgão de Gerenciamento Ambiental no RN	134
FIGURA 36	- Banco de dados visualizados através da ferramenta do ArcGIS 9.0	136
FIGURA 37	- Resultados do monitoramento de vazão nos três sistemas avaliados ETE “São Miguel”, “Cidade” e “Roça”	137
FIGURA 38	- Variação da Temperatura nas ETEs São Miguel, Cidade e Roça	141
FIGURA 39	- Variação do pH nas ETEs São Miguel, Cidade e Roça	143
FIGURA 40	- Variação do OD nas ETEs São Miguel, Cidade e Roça	144
FIGURA 41	- Variação e eficiência das ETEs na remoção de DBO	146

FIGURA 42	- Variação e eficiência das ETEs na remoção de DQO	147
FIGURA 43	- Gráfico da relação DBO/DQO nas ETEs monitoradas	148
FIGURA 44	- Variação e eficiência das ETEs na remoção de Coliformes Termotolerantes	150
FIGURA 45	- Aspectos dos sistemas antes e durante o monitoramento	151

LISTA DE TABELAS

TABELA 01	-	Concessão (Esgoto) no Rio Grande do Norte	23
TABELA 02	-	Dados do saneamento básico do Rio Grande do Norte.....	24
TABELA 03	-	Concentrações médias efluentes e eficiências típicas de remoção dos principais poluentes de interesse nos esgotos.....	34
TABELA 04	-	Coeficiente de permeabilidade e suas interpretações para lagoas de estabilização.....	40
TABELA 05	-	Taxa de acumulação média de lodo em lagoas de estabilização	63
TABELA 06	-	Dimensionamento de equipes de trabalho em sistema de lagoas de estabilização.....	66
TABELA 07	-	Parâmetros físico - químico e bacteriológico, métodos usados e referências	92
TABELA 08	-	Conceitos atribuídos aos diagnósticos de eficiência das ETEs	93
TABELA 09	-	Características físicas de projeto da ETE “Cidade” – Pedro Velho/RN	98
TABELA 10	-	Características físicas de projeto da ETE “Roça” – Pedro Velho/RN	103
TABELA 11	-	Características físicas de projeto da ETE “São Miguel” – Santa Cruz/RN	103
TABELA 12	-	Periodicidade na remoção de sólidos nas ETEs avaliadas	114
TABELA 13	-	Destino dos efluentes tratados por regionais no Rio Grande do Norte	117
TABELA 14	-	Situação de eficiência de remoção de DBO e Coliformes Termotolerantes para as ETEs avaliadas	118
TABELA 15	-	Diagnóstico de eficiência na remoção DBO e Coliformes por Regional	121
TABELA 16	-	Estatísticas descritivas referentes às concentrações afluentes dos esgotos nas ETEs do Rio Grande do Norte	124
TABELA 17	-	Comparação entre concentrações afluentes usuais e reais nas ETEs	

	do RN	125
TABELA 18	- Concentrações médias afluentes e efluentes e eficiência de remoção nas ETEs por modalidades no RN	126
TABELA 19	- Concentrações médias afluentes e efluentes por Regionais no Estado do Rio Grande do Norte	130
TABELA 20	- Estatísticas descritivas referentes às concentrações afluentes e efluentes dos esgotos nas ETEs do Rio Grande do Norte por órgão de gerenciamento ambiental	131
TABELA 21	- Características operacionais das ETEs monitoradas	138
TABELA 22	- Resultados da estatística descritiva das 3 ETEs no período monitorado	140
TABELA 23	- Diagnóstico operacional dos órgãos de gerenciamento ambiental: Estado, Município e SAAE	152

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01	- Características e principais parâmetros de projetos de lagoas de estabilização: anaeróbia	31
QUADRO 02	- Características e principais parâmetros de projetos de lagoas de estabilização: facultativa	32
QUADRO 03	- Características e principais parâmetros de projetos de lagoas de estabilização: maturação	33
QUADRO 04	- Aspectos a serem analisados no ato da construção do sistema de lagoas	36
QUADRO 05	- Detalhamento sucinto de aspectos construtivos dos taludes de lagoas de estabilização	46
QUADRO 06	- Tipos de entradas de tubulações em lagoas de estabilização	51
QUADRO 07	- Dispositivos de saída de efluentes em lagoas de estabilização	53
QUADRO 08	- Procedimento para carregamento de sistema de lagoas de estabilização	61
QUADRO 09	- Procedimento de operação de lagoas de estabilização	62
QUADRO 10	- Processos de limpeza de sistemas de lagoas de estabilização	64
QUADRO 11	- Funções de Pessoal em sistema de lagoas de estabilização	67
QUADRO 12	- Atividades rotineiras do operador no Pré-tratamento para Lagoas de Estabilização	69
QUADRO 13	- Atividades rotineiras do operador de lagoas de estabilização	70
QUADRO 14	- Programa de medição e amostragem	71
QUADRO 15	- Principais problemas operacionais na etapa preliminar	72
QUADRO 16	- Principais problemas operacionais em lagoas anaeróbias	73
QUADRO 17	- Principais problemas operacionais encontrados em lagoas facultativas	75
QUADRO 18	- Caracterização das Regionais propostos pela CAERN na cobertura de esgotamento sanitário do RN	83

QUADRO 19 - Sistemas de Lagoas de Estabilização existente no Rio Grande do Norte	84
QUADRO 20 - ETEs escolhidas para o estudo de caso	96
QUADRO 21 - Quadro de operadores das ETEs do RN	109
QUADRO 23 - Faixa de valores das relações DBO_5/DQO para o esgoto doméstico	133

LISTA DE ABREVIATURAS

CT/CF	- Coliformes Termotolerantes/Fecal
EB	- Esgoto Bruto
ELF	- Efluente lagoa facultativa
ELM	- Efluente lagoa de maturação
EF	- Efluente final
EPI	- Equipamento de Proteção Individual
F_{aer}	- Lagoa facultativa aerada
F₁	- Lagoa facultativa primária
F₂	- Lagoa facultativa secundária
hab	- Habitantes
LA	- Lagoa Anaeróbia
L_D	- Lagoa de decantação
L/O	- Longitude Oeste
L_s	- Taxa de aplicação superficial
LF	- Lagoa Facultativa
LM	- Lagoa de Maturação
L/S	- Latitude sul
L_v	- Taxa de aplicação volumétrica
M₁	- Lagoa de maturação primária
M₂	- Lagoa de maturação secundária
NA	- Nível água
NMP	- Número Mais Provável
OD	- Oxigênio Dissolvido
OH⁻	- Hidroxila
pH	- Potencial Hidrogeniônico
Q_{afluente}	- Vazão Afluente
Q_{te}	- Quantidade
TS	- Tanque Séptico
V	- Volume
UFC	- Unidade Formadora de Colônia
UASB	- Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors

LISTA DE SIGLAS

APHA	- American Public Health Association
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAERN	- Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
ETE	- Estação de Tratamento de Esgoto
EXTRABES	- Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários
EMPARN	- Empresa de Pesquisa Agropecuária do RN
FEAM	- Fundação Estadual do Meio Ambiente
NSA	- Secretária Nacional de Saneamento Ambiental
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
RN	- Rio Grande do Norte
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEMA	- Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente
DBO₅	- Demanda Bioquímica de Oxigênio em cinco dias a 20°C
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
PERH	- Plano Estadual de Recursos Hídricos
PCOD	- Planilha de Controle Operacional Diário
SAAE	- Sistema Autônomo de Água e Esgoto
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
TDH	- Tempo de Detenção Hidráulica
OMS	- Organização Mundial de Saúde
OPS	- Organização Panamericana de Saúde
UFRN	- Universidade Federal do Rio Grande do Norte

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	Objetivos Geral e Específico	26
1.2	Estrutura do Trabalho	27
2	REVISÃO DE LITERATURA	28
2.1	Histórico das Lagoas de Estabilização	28
2.2	Definições e Classificação	30
2.2.1	Classificação das Lagoas de Estabilização	30
2.3	Construção e Operação de Lagoas de Estabilização	35
2.3.1	Construção de Lagoas de Estabilização.....	35
2.3.2	Operação de Lagoas de Estabilização.....	57
2.4	Sistema de Informação Geográfica.....	80
3	MATERIAIS E MÉTODOS	82
3.1	Caracterização da Área de Estudo	82
3.2	Delineamento da Pesquisa.....	87
3.2.1	1ª ETAPA: Diagnóstico Operacional de Lagoas de Estabilização do RN ...	87
3.2.2	2ª ETAPA: Construção e alimentação do banco de dados do SIG	94
3.2.3	3ª ETAPA: Estudo de Caso	96
3.2.3.1	Descrição dos Sistemas Experimentais	97
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	107
4.1	Resultados Quantitativos da Pesquisa: Diagnóstico e Caracterização	
	Física dos Sistemas Existentes	107
4.1.2	Características Operacionais	109
4.1.3	Destino do Efluente Final	115
4.1.4	Diagnóstico de Avaliação de Eficiência e Operação	118
4.1.5	Características dos esgotos afluentes e efluentes as 78 ETEs em Operação	
	no Rio Grande do Norte	122
4.1.5.1	Avaliação de Eficiência: por Modalidade de Tecnologia de Tratamento	125
4.1.5.2	Caracterização dos esgotos: para as sete Regionais do RN	126
4.1.5.3	Avaliação de Eficiência: por Órgãos de Gerenciamento Ambiental no RN	129
4.1.6	Relação DBO/DQO: Estado do RN, Modalidade de Tratamento, por	

	Regionais e por Órgão de Gerenciamento Ambiental	132
4.2	Sistema de Informação Georreferenciado das ETes do RN	135
4.3	Resultados Qualitativo da Pesquisa : Estudo de Caso.....	137
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	154
6	REFERÊNCIAS	157
	ANEXOS	
	Anexo A – Planilha de Controle Operacional Diário –PCOD	163
	Anexo B – Planilha Parâmetros de projetos e Diagnóstico de Eficiência Operacional para Lagoas de Estabilização	165
	Anexo C – Planilha para realização do perfil de 14 horas	166
	Anexo D – Mapa das Regionais e localização das ETes existente no RN ..	167
	Anexo E – Mapa das ETes com lançamento de efluentes tratados em corpos receptores hídricos	168
	Anexo F – Mapa de diagnóstico de eficiência operacional das ETes do RN no que concerne a remoção de DBO e Coliformes Termotolerantes	169

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico é considerado hoje o marco principal nas políticas públicas de um país e o mais essencial de todos os serviços públicos, sob qualquer ângulo que se queira analisar. É através do saneamento que se verificam diversas mudanças no índice de qualidade de vida de uma população. Como exemplo disto, podemos citar o nosso País, que, devido a um incipiente crescimento nas ações preventivas, ainda é afetado por dores sociais na área da saúde pública. A ineficácia no fornecimento e no tratamento de água potável tem desencadeado várias doenças, sendo a população de baixo nível socioeconômico a mais atingida. Atualmente, temos números alarmantes de contaminação por geohelmintoses, que poderia ser sanada com políticas preventivas de saúde pública. Essa precariedade no serviço de saneamento encontra-se mais acentuada nas regiões mais pobres do Brasil: a Norte e a Nordeste.

Historicamente, os modelos de desenvolvimento adotados no Brasil resultaram em impactos sociais, econômicos e ambientais, provocando excessiva concentração de riquezas e renda, com exclusão social latente e aumento das desigualdades regionais. A inadequação desses modelos tem gerado um verdadeiro descompasso entre a demanda e a oferta dos serviços. As mudanças nos padrões de consumo resultaram em uma maior necessidade por recursos naturais, bem como uma maior produção de resíduos sólidos e líquidos e uma alteração nas características físico-químicas decorrente dos avanços tecnológicos, com um conseqüente aumento potencial de poluição e contaminação dos corpos hídricos, do ar e do solo, exigindo, assim, tecnologias novas de tratamento.

O saneamento brasileiro não é uniforme, corroborando para tal situação as dimensões continentais do país e as grandes disparidades regionais em termos socioeconômicos. Embora as regiões Norte e Nordeste sejam as maiores beneficiárias de recursos federais para esse setor segundo dados da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – (SNSA), as mudanças são pequenas, quando comparadas com as regiões Sul e Sudeste (BRASIL, 2006). O crescimento naquelas Regiões é quase imperceptível, devido as regiões Sul e Sudeste terem as melhores

condições socioeconômicas para arcar com os custos dos financiamentos, através de recursos onerosos. Além deste fator, o predomínio na aplicação de recursos onerosos nessas regiões, principalmente a Sudeste, é decorrente das restrições ao endividamento público interpostas pela legislação fiscal vigente, que atinge de forma mais intensa os municípios e estados localizados nas regiões mais pobres do País. Em contrapartida as regiões mais pobres são beneficiadas através dos recursos não onerosos, ou seja, o financiamento de recursos não exige retorno.

Embora o tratamento de efluentes doméstico e industrial, no Brasil, seja previsto pelas leis 357/05 e 9433/97, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – (CONAMA), que estabelecem, respectivamente, o enquadramento dos corpos d'água em classes e os padrões de lançamentos, bem como a POLÍTICA NACIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS, ainda são diminutas as ações de saneamento básico no País. Apenas uma pequena porcentagem do esgoto coletado é tratado, sendo que muitas regiões ainda não têm coleta de esgoto nem abastecimento de água. Segundo IBGE (2000), dos 5.507 municípios existentes no ano da pesquisa, somente 52% e 33,5% dos domicílios brasileiros, são atendidos por rede geral de esgoto. Do volume de esgoto urbano coletado, apenas 35,5% é submetido a tratamento para remoção de poluentes e 84,6% do esgoto não tratado é despejado nos rios. Onde não há coleta de esgoto, 48% dos dejetos vão para fossa séptica e 42%, para valas abertas. Quanto ao tipo de tratamento adotado no Brasil, a Figura 01, elaborado a partir dos dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000, mostra o percentual de distritos que possuem cada um dos sistemas de tratamento listados. Observa-se que o tratamento por lagoas de estabilização, mais especificamente do tipo facultativa, é o processo de tratamento mais utilizado, ultrapassando 27%.

Na região Nordeste, a proporção de municípios com serviço de esgotamento sanitário é de 42,9%, sendo 14,7% a proporção dos domicílios atendidos por rede geral de esgoto. Do volume de esgoto urbano coletado, apenas 13,3% é submetido a tratamento para remoção de poluentes e 65,8% do esgoto não tratado é despejado nos rios. Onde não há coleta de esgoto, 47,9% dos dejetos vão para fossa séptica e 40,21%, para fossas secas (IBGE, 2000).

Em relação ao Saneamento Básico do Estado do Rio Grande do Norte, a exploração dos sistemas de água e esgoto é feita pela Companhia de Água e Esgoto do Rio Grande do Norte - (CAERN), em forma de concessão.

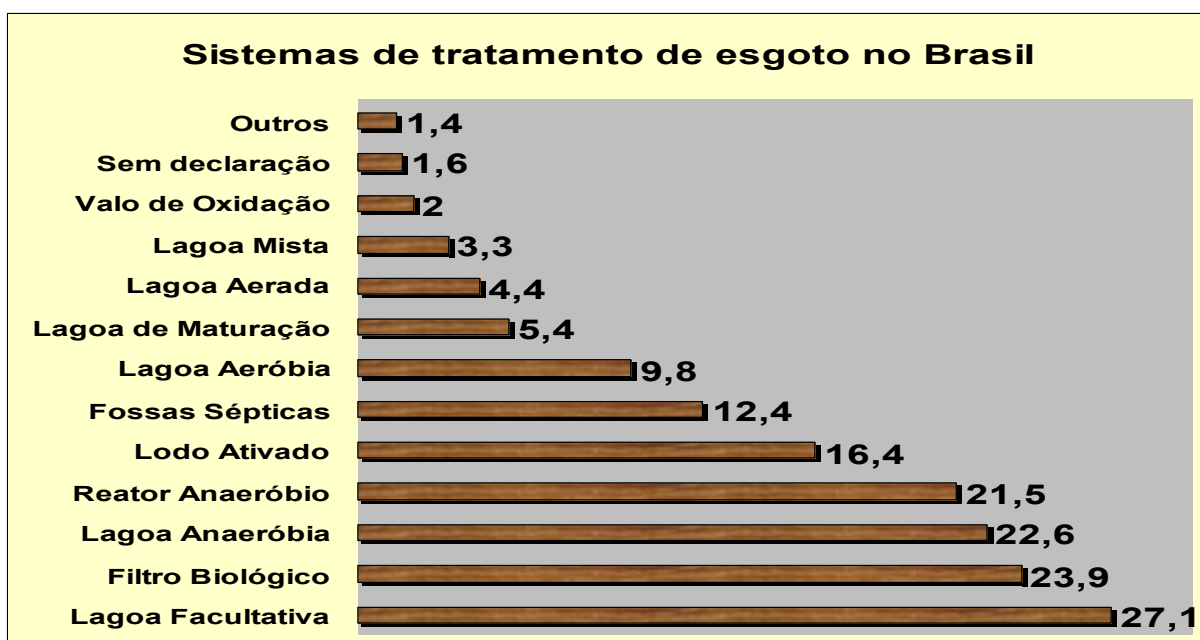


Figura 01 – Percentual de distritos que possuem tratamento de esgoto no Brasil, por tipos de sistemas de tratamentos existentes (IBGE, 2000).

Essa Companhia detém 87% de concessão, na cobertura dos serviços de esgotos, ou seja, 146 municípios; deste total, apenas 41 municípios, ou 28%, tratam os esgotos gerados, por meio de lagoas de estabilização. No entanto, considerando os três órgãos de gerenciamento do saneamento básico no estado do RN, apenas 51 municípios coletam e tratam seus esgotos por meio de lagoas de estabilização, conforme detalha a Tabela 01.

Tabela 01 - Concessão (Esgoto) no Rio Grande do Norte.

GERENCIAMENTO – CONCESSÃO (ESGOTO) NO ESTADO DO RIO G. NORTE					
ESTADO(CAERN)		MUNICÍPIO		SAAE	
Nº Município	%	Nº Município	%	Nº Município	%
146	87	07	04	14	09
COM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO(%)		COM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO(%)		COM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO(%)	
Quantidade ^(a)	%	Quantidade	%	Quantidade	%
40	28	07	100	04	29

(a) Em Pedro Velho/RN, a concessão é Estado e Município.

Conforme é mostrado na Tabela 02, o volume de esgoto coletado pela CAERN, em todo o Estado, corresponde a 1.534.257,50m³/mês. Deste total, apenas 65,11 % recebem tratamento

antes de serem lançados diretamente nos rios ou serem utilizados para alguma prática de reúso agrícola. Desse percentual tratado, uma pequena parcela encontra-se adequado, tanto ambientalmente, quanto juridicamente, para ser lançado em corpos receptores hídricos. Outro ponto que merece destaque é o percentual de cobertura de água e esgoto no Estado, correspondendo respectivamente a 76,49% para água e 16,29% para esgoto.

A consolidação do saneamento é um objetivo estratégico a ser alcançado pela sociedade brasileira, tendo em vista as reivindicações pelo equacionamento da coleta e tratamento de esgotos nas cidades e pela redução da poluição dos cursos de água urbanos e peri-urbanos, determinados pelos ainda elevados *déficits* de cobertura e tratamento de esgotos.

Tabela 02 – Dados do saneamento básico do Rio Grande do Norte.

SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	
Extensão da rede de água (m)	5.208.395,00 ^(a)
População atendida (hab.)	2.120.040,00
Volume de água produzido (m ³ /mês)	1.329.026,44
Nº de hidrômetros na rede (unid.)	373.891,00
SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	
Volume de esgoto coletado (m ³ /mês)	1.534.257,00
Volume de esgoto tratado (m ³ /mês)	995.007,67
Rede de coleta de esgoto (m)	722.475,00 ^(b)
População atendida (hab.)	451.525,00
Nº de ligações de esgoto	89.478,00

Fonte: (CAERN, 2006), (a) Dados referentes a dezembro de 2005; (b) Dados referentes a dezembro de 2005.

A discussão sobre técnicas de tratamento de efluentes tem ressaltado o tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização como uma das técnicas mais bem aceitas na maior parte dos estados brasileiros, visto contemplar economia no custo e acima de tudo simplicidade na operação. Arelados a estas características, diversos fatores socioeconômico-ambientais também fazem jus, no Brasil, à sua aceitabilidade perante os demais processos e técnicas de tratamento de efluentes, tais como: suficiente disponibilidade de área em um grande número de localidades; clima favorável (temperatura e insolação elevada), durante o ano todo, e sobretudo a necessidade de pouco ou nenhum equipamento.

Hoje, além do modelo propriamente dito, outras variantes podem fazer parte dos sistemas de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), operadas por meio de lagoas de estabilização, como: lagoas de polimento, lagoas de alta taxa, lagoas com *wetlands*, sistema australiano propriamente dito, lagoas aeradas de mistura completa, lagoas aeradas facultativas, lagoas facultativas, lagoas facultativas primárias, seguidas por lagoas de maturação etc.

A sua operacionalização, quando bem monitorada, tem mostrado elevados percentuais na eficiência, no que concerne à remoção de DBO_5 e de Coliformes Termotolerantes. Quando bem projetadas e operadas, reduz de maneira significativa a probabilidade de exalar maus odores, o que justifica a sua grande aceitabilidade onde são implantadas. Quando há intenção na prática de reúso do efluente tratado, a maioria dos parâmetros enquadra-se neste tipo de prática, seja ela agrícola, hidropônica, aquicultura ou reúso urbano.

O crescimento intenso e desordenado de vilarejos, como também das grandes capitais brasileiras, tem levado o homem a uma constante preocupação, no que concerne à produção de esgoto gerado e o seu destino final. No Rio Grande do Norte, mais de 90% do sistema de tratamento de esgoto são realizados por meio de lagoas de estabilização, (SILVA FILHO *et al*, 2006). Deste total, um pequeno percentual apresenta o conjunto operacional adequado e aceito conforme recomenda a técnica de tratamento por meio de lagoas de estabilização. Assim, os elevados volumes de efluentes tratados precisam de uma operação adequada e um monitoramento constante, uma vez que o destino final são os corpos receptores hídricos.

É conveniente salientar que a maioria dos sistemas utilizados para tratamento de esgoto no Rio Grande do Norte é construída na sua maioria baseada em critério científico de regiões alheias a nossa realidade, com operação deficiente e um total descaso com o monitoramento, apresentando, em grande parte, pequena remoção de carga orgânica (DBO), sem, entretanto, qualquer preocupação com a remoção dos nutrientes (N, P) e dos microorganismos patogênicos, o que traz conseqüentes problemas ambientais, como contaminação dos corpos de água receptores desses efluentes e maus odores.

A operacionalização, seguida de um monitoramento, são fases esquecidas não só nos sistemas de tratamento de esgoto por lagoas de estabilização, mas na maioria dos tipos existentes. A falta de pesquisas e estudos efetivos consistentes nessa área tem, inclusive, levados técnicos brasileiros a apresentarem soluções baseadas em experiências de outros países, na busca de parâmetros reais de funcionamento dos sistemas de tratamento.

No entanto, uma adequada operação e manutenção de sistemas de lagoas de estabilização é muito importante e necessária para que se venha a ter êxito no tratamento e se possa, acima de tudo, avaliar a eficiência da ETE, sobretudo aos parâmetros de remoção de matéria orgânica, de nutrientes e patógenos, quando o destino final é o corpo receptor. Hoje, a maior parte dos sistemas de lagoas de estabilização é construída como meramente depósitos de esgotos. Na maioria das cidades interioranas brasileiras, esses sistemas são conhecidos, por termos pejorativos. Isso mostra o descaso, com que o tratamento alcança. O tratamento desses efluentes, quando lançados em corpos hídricos, nas cidades de pequeno e médio porte é considerado, pelos ambientalistas e pelos órgãos de fiscalização e proteção ambiental, como uma atividade potencialmente causadora de degradação ambiental, por apresentar, devido a realizações de um “tratamento e uma operação deficitária”, grandes concentrações de DBO, que são altamente poluentes, causando sérios problemas ambientais e de saúde pública.

Os sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de esgoto têm finalidades múltiplas, podendo tratar pequenas ou médias quantidades de águas residuárias, domésticas ou industriais. O efluente tratado deve apresentar características físicas e ambientais que o tornem viável de ser lançado em um corpo receptor hídrico ou ser reaproveitado através das práticas de reúso. Estudos sobre a eficiência de tais sistemas devem, portanto, considerar as condições de cada local e a qualidade que o efluente final deve atingir. Nesse tipo de sistema o conhecimento da operação pode auxiliar no estudo desta eficiência.

1.1 Objetivos Geral e Específico

Entretanto, considerando a necessidade de maior conhecimento dos fatores envolvidos na construção e operação de lagoas de estabilização, o presente trabalho teve como objetivo geral “desenvolver uma abordagem fundamentada através de critérios científicos no diagnóstico operacional de sistemas de lagoas de estabilização”. Concomitantemente, tem como objetivos específicos:

- Mapear, avaliar e diagnosticar o desempenho operacional das lagoas de estabilização do estado do Rio Grande do Norte.
- Construir um Sistema de Informação Georreferenciado - (SIG), através do mapa hidrográfico, os pontos de lançamentos de efluentes dos sistemas de lagoas existentes no Rio Grande do Norte, como também dados operacionais e seu respectivo diagnóstico.

- Avaliar a eficiência, em escala real, de três sistemas de lagoas de estabilização do RN na remoção de DBO₅, DQO e Coliformes Termotolerantes e o comportamento dos parâmetros, pH, Temperatura e OD.

Tendo como hipótese geral no presente estudo: *"Através de uma construção e operação adequada em sistema de lagoas de estabilização, é possível atingir elevadas eficiências um efluente final em termos de remoção de matéria orgânica e Coliformes Termotolerante"*.

1.2 Estrutura do Trabalho

Este trabalho se apresenta estruturado em cinco capítulos:

O capítulo 1 apresenta os aspectos preliminares do trabalho, como: a problemática, a justificativa para o estudo, demonstrando-se a importância do trabalho, os seus objetivos e hipóteses.

No capítulo 2, é feita uma revisão de literatura relacionada com as pesquisas afins ao assunto desta dissertação, apresentando as principais características construtivas, operacionais e de monitoramento do sistema de lagoas de estabilização pertinentes a tratamentos de efluentes domésticos.

O capítulo 3 descreve, de forma detalhada, a metodologia utilizada para que os objetivos do trabalho viessem a ser alcançados.

No capítulo 4, encontram-se os resultados obtidos durante o experimento, assim como as discussões destes.

O capítulo 5 reserva para as conclusões da pesquisa a metodologia proposta e as recomendações para a eficiência do sistema. Na sequência, são apresentadas as referências utilizadas para a elaboração do trabalho.

2 REVIÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico das Lagoas de Estabilização

O uso das lagoas de estabilização teve início nos Estados Unidos, há um século. Estas serviam para receber despejos de animais, de usos domésticos de pequenas comunidades, e, acidentalmente, realizavam os fenômenos típicos e próprios de depuração dos esgotos. Tais lagoas, de origem accidental, surgiram por volta de 1901, mais precisamente na cidade de San Antonio, Texas, Kellner e Pires (1998), com a finalidade de viabilizar o uso de efluentes na irrigação.

Jordão e Pessôa (2005) afirmam que, realmente, há um século, existiam lagoas naturais ou artificiais, de origem accidental, que recebiam despejos de animais e realizavam fenômeno de depuração de esgotos. Além da lagoa de San Antonio, outras lagoas de origem accidental são citadas, “Santa Rosa”, na Califórnia, e “Fesseden”, em Dakota do Norte, originadas, respectivamente, em 1924 e 1928.

No caso de “Santa Rosa”, a lagoa foi estabelecida em cima de um leito de pedra que colmatou com a passagem do efluente, o qual apresentava características de um efluente de filtro biológico. Em “Fesseden”, o efluente, foi direcionado para uma depressão natural. Após alguns meses, a qualidade do efluente final dessa lagoa foi comparada à de um tratamento permanecendo em operação por 30 anos. No entanto, só após a II Guerra Mundial, surgiram lagoas de cujo funcionamento se passou a ter, algum controle, o que possibilitou estabelecer alguns parâmetros.

As primeiras pesquisas sobre lagoas de estabilização foram realizadas nos Estados Unidos, nos estados de Dakota do Norte e do Sul, no ano de 1948. Na América Latina, em 1958, na cidade de Cañas, na Costa Rica, foi construída a primeira lagoa experimental, destinada a tratar efluentes domésticos (TALBOYS, 1971; FORERO, 1985). Dois anos depois, em 1960, entrou em funcionamento a primeira lagoa projetada especificamente para receber e depurar esgoto bruto. Esse tipo de lagoa foi construído no Brasil primeiramente em São José dos Campos, SP,

projetado de acordo com o sistema chamado “australiano”, sendo uma anaeróbia seguida de uma facultativa, com a finalidade de estabelecer parâmetros de projetos para outras lagoas, crédito cedido aos engenheiros Benoit Almeida Victoretti e Carlos Philipowsky. Esse projeto foi fruto de um convênio entre o Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo, a Fundação Serviço Especial de Saúde Pública - (SESP) e a Prefeitura de São José dos Campos.

Em seguida vieram as de Cidade de Deus, no Rio de Janeiro. Já na década de 70, do século XX, ocorre, segundo Andrade Neto (1997, p. 145), a difusão das lagoas de estabilização em vários estados, tendo-se firmado como processo de tratamento de esgoto, devido à simplicidade e eficiência do processo, ao baixo custo de construção e operação e às condições climáticas extremamente favoráveis.

A partir da década de 70, conforme citado anteriormente, muitos estados adotaram definitivamente esse tipo tratamento, e grande número de pesquisas e resultados operacionais passaram a ser publicados. Dentre as instituições que mais contribuíram para o desenvolvimento técnico-científico das lagoas de estabilização no Brasil, tem-se a Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários da Universidade Federal da Paraíba – (EXTRABES/UFPB) e a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo – (CETESB/SP). No Rio Grande do Norte, conforme dados da CAERN, o primeiro sistema de tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização foi a ETE de Santa Cruz, no bairro “Cônego Monte”, no início da década de 1980, conforme mostra a Figura 02.



Figura 02 – Antiga Lagoa de Estabilização de Santa Cruz (não existe mais).

2.2 Definições e Classificação

Muitos autores da área definiram as lagoas de estabilização como grandes tanques de pequena profundidade por dique de terra, destinadas a tratar águas residuárias brutas, por processos puramente naturais (SILVA; MARA, 1979; UEHARA; VIDAL, 1989). Hoje, esse conceito está mais abrangente. Essas lagoas são basicamente biorreatores, de águas lânticas, relativamente rasas, construídas para armazenar resíduos específicos, como os domésticos e industriais, e devem resultar na estabilização da matéria orgânica através de processos biológicos. O tratamento biológico pode ocorrer em condições anaeróbias, facultativas ou aeróbias, de acordo com a disponibilidade de oxigênio dissolvido, da atividade biológica predominante, da carga orgânica afluente, das características físicas de cada unidade destinadas a tratar águas residuárias brutas ou efluentes pré-tratados, por processos naturais e artificiais.

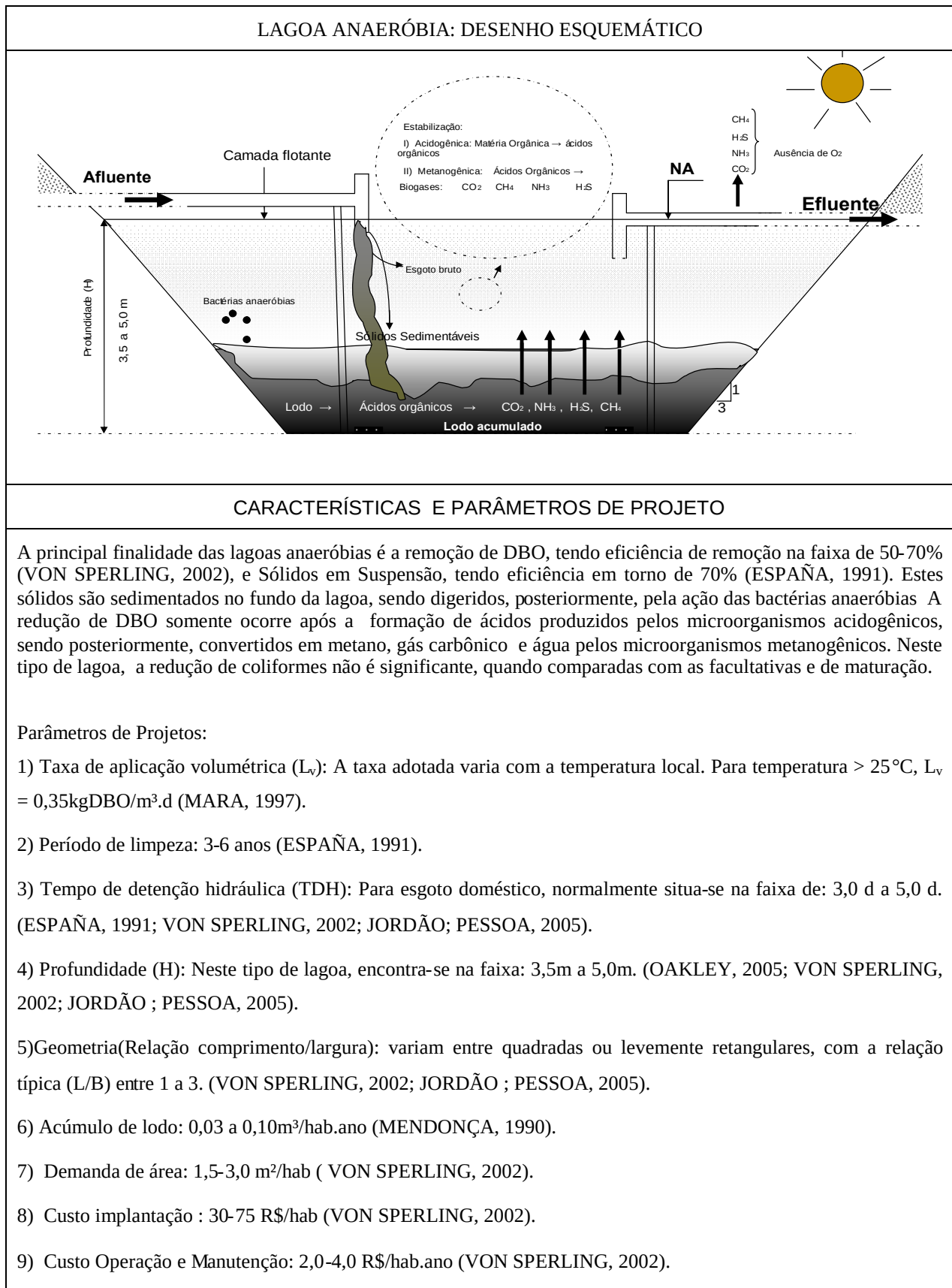
2.2.1 Classificação das Lagoas de Estabilização

As lagoas de estabilização são classificadas de acordo com a atividade metabólica predominante na degradação da matéria orgânica, tais como: anaeróbias, facultativas e de maturação ou aeróbias. A profundidade, por sua vez, determina a fração da massa líquida com maior penetração de luz e conseqüentemente, maior taxa fotossintética, conforme cita Andrade Neto (1997). Como variantes, segundo a intensificação do processo, têm-se as lagoas com plantas macrófitas (*wetlands*), aeradas, de polimento e outras.

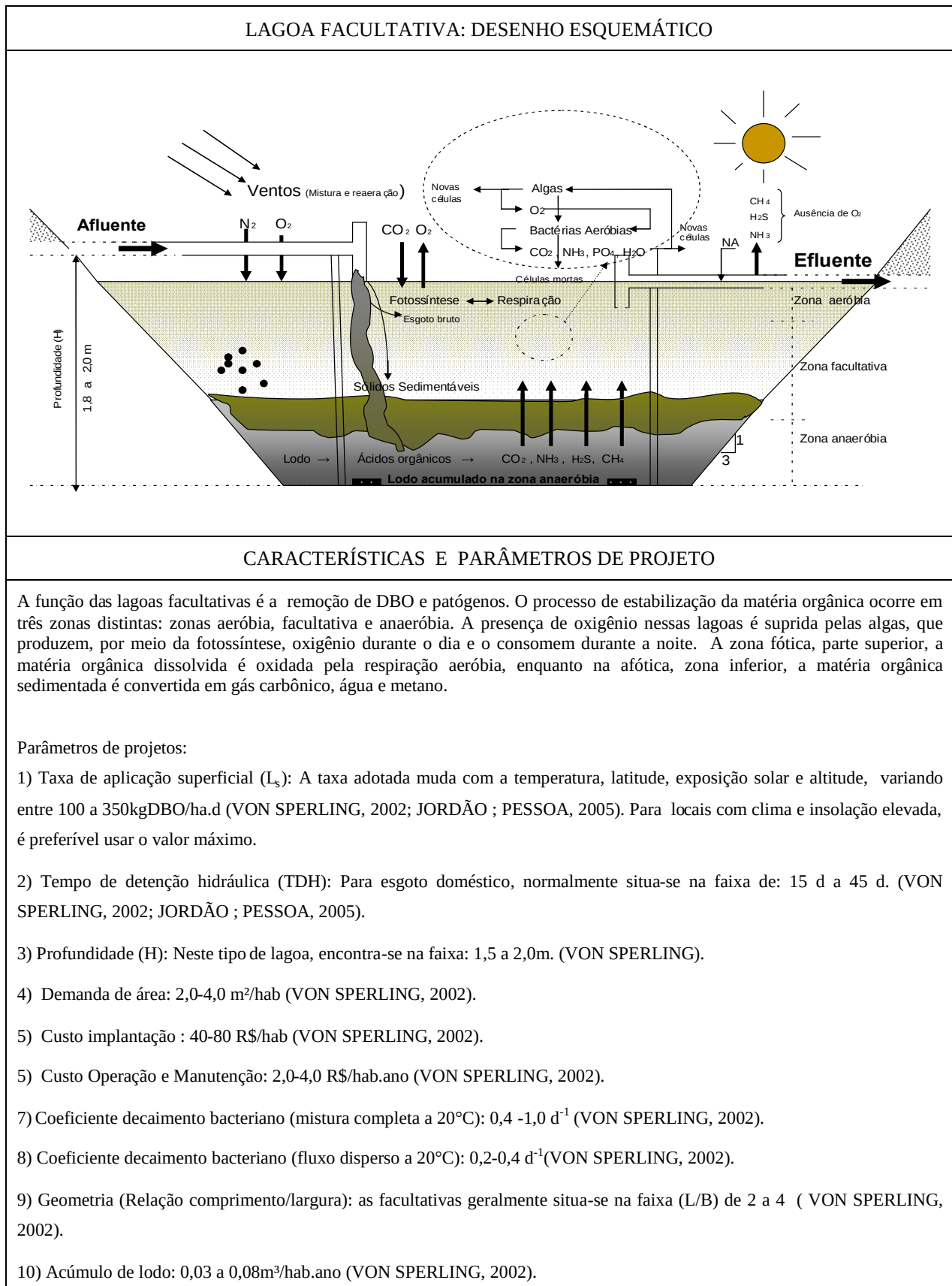
Os Quadros 01 a 03, detalham o funcionamento dos principais tipos de lagoas de estabilização usado hoje no Brasil, como também os principais parâmetros de projetos.

As lagoas de estabilização podem ser distribuídas em diferentes números e combinações, a fim de alcançar a qualidade padrão requerida, sendo as configuradas em chicanas e profundidades reduzidas com melhor eficiência, quando o objetivo é a remoção de patógenos (CAVALCANTI *et al*, 2001; TAKEUTI, 2003).

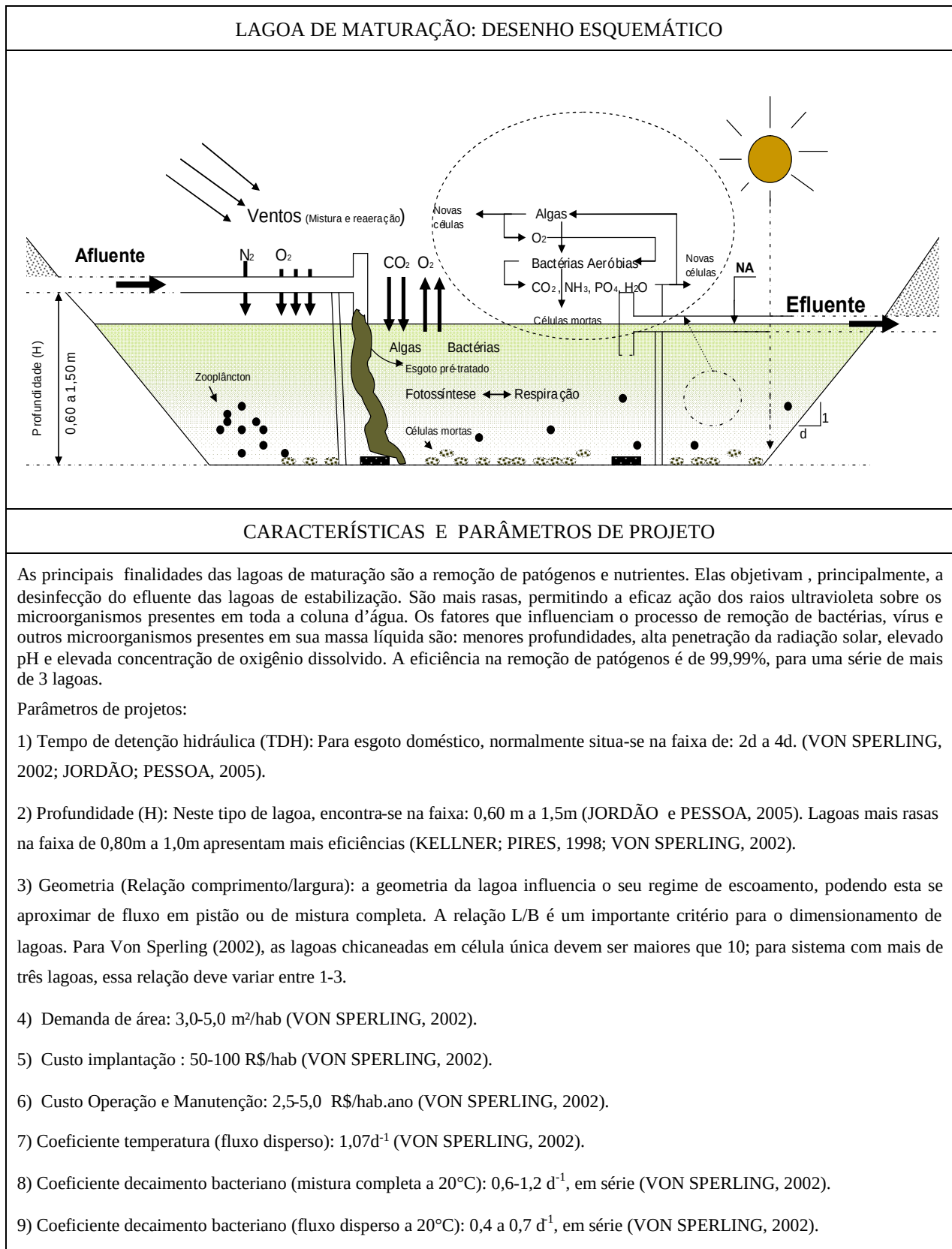
A Tabela 03 mostra características dos principais parâmetros relacionados à eficiência de sistemas de lagoas de estabilização.



Quadro 01 - Características e principais parâmetros de Projetos de Lagoas de Estabilização: Anaeróbia



Quadro 02 - Características e principais parâmetros de Projetos de Lagoas de Estabilização: Facultativa.



Quadro 03 - Características e principais parâmetros de Projetos de Lagoas de Estabilização: Maturação.

Tabela 03 – Concentrações médias efluentes e eficiências típicas de remoção dos principais poluentes de interesse nos esgotos.

SISTEMA	QUALIDADE MÉDIA DO EFLUENTE							EFICIÊNCIA MÉDIA ESPERADA						
	DBO ₅	DQO	SS	Amônia-N	P Total	N Total	CF	DBO ₅	DQO	SS	Amônia-N	P Total	N Total	CF
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(NMP/100ml)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(unid. Log)
Lagoa facultativa	50-80	120-200	60-90	>15	>4	>20	10 ⁶ - 10 ⁷	75-85	65-80	70-80	<50	<35	<60	1-2
Lagoa anaeróbia+ lagoa facultativa	50-80	120-200	60-90	>15	>4	>20	10 ⁶ - 10 ⁷	75-85	65-80	70-80	<50	<35	<60	1-2
Lagoa aerada facultativa	50-80	120-200	60-90	>20	>4	>30	10 ⁶ - 10 ⁷	75-85	65-80	70-80	<30	<35	<30	1-2
Lagoa aerada de mistura completa+Lagoa decantação	50-80	120-200	40-60	>20	>4	>30	10 ⁶ - 10 ⁷	75-85	65-80	80-87	<30	<35	<30	1-2
Lagoa anaeróbia+lagoa facultativa+lagoa maturação	40-70	100-180	50-80	10-15	<4	15-20	10 ² - 10 ⁴	80-85	70-83	73-83	50-65	>50	50-65	3-5
Lagoa facultativa + lagoa maturação	10-74	145-345	28-170	-	<8	-	<10 ³	80-85	70-83	70-80	40-80	>40	40-65	3-5
Terras úmidas construídas (wetlands)	30-70	100-150	20-40	>15	>4	>20	10 ⁴ - 10 ⁵	80-90	75-85	87-93	<50	<35	<60	3-4
UASB + Lagoas de polimento	40-70	100-180	50-80	10-15	<4	15-20	10 ² - 10 ⁴	77-87	70-83	73-83	50-65	>50	50-65	3-5

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005) ( Jordão ; Pessoa (2005) e ()Araújo *et al*, (2003 a) e Araújo *et al*, (2003b).

2.3 Construção e Operação de Lagoas de Estabilização

Antes de se projetar uma ETE, por meio de lagoas de estabilização, é necessário ter em mente o objetivo básico que se espera atingir e, a partir daí, escolher pelo melhor comportamento hidrodinâmico, ou seja, os tipos de reatores, como também o melhor modelo para o seu dimensionamento. Uma vez que a operação tem por objetivo garantir a funcionabilidade de todo o sistema, fornecendo aos operadores ou responsáveis pelo sistema dados sobre como chegar à eficiência do conjunto e à construção de qualquer obra de engenharia, deve seguir criteriosamente as etapas e procedimentos para sua execução, pois a eficácia operacional de um sistema de lagoas de estabilização depende do detalhamento do projeto e o acompanhamento em todas as etapas construtivas. Todavia, não existe *a priori* um parâmetro para a qualidade do efluente, sem associá-lo ao tipo de projeto proposto, às condições operacionais, ambientais e também aos usos a que se destinam as águas que receberão esses efluentes. Portanto, algumas recomendações deverão ser seguidas, para a construção e operação desse tipo de lagoa.

2.3.1 Construção de Sistema de Lagoas de Estabilização

A seleção de área para a construção do sistema de lagoas de estabilização deve atender aos aspectos elencados no Quadro 04. Salienta-se que não é possível atender a todos os itens, mas deve ser dado prioridade ao caso a ser estudado e projetado. Os itens de maiores relevâncias técnicas serão comentados a seguir:

a) Geometria da Lagoa

As lagoas de estabilização de forma retangular têm sido determinadas como de qualidade superior às de forma circular, quadrada e/ou de geometria irregular, no que concerne às características hidráulicas, sendo que as muito compridas e estreitas apresentam número de dispersão menor, apresentando, portanto, melhor eficiência. Em contrapartida, é aconselhável não projetar lagoas retangulares com cantos vivos ou seja formando ângulos retos, pois estes originam zonas mortas. Assim, para evitar essa pecha, é recomendável a preferência por cantos arredondados. Para Silva e Mara (1979), se a área é topograficamente favorável para a construção de uma lagoa comprida e estreita, é aconselhável um aprofundamento junto à entrada, a fim de se criar uma zona anaeróbia para deposição e digestão dos sólidos.

Aspecto	Comentários
Disponibilidade de área	A disponibilidade de área pode conduzir à seleção do tipo de lagoa a ser adotado.
Localização da área em relação ao local de geração dos esgotos	A maior proximidade reduz os custos de transporte dos esgotos.
Localização da área em relação ao corpo receptor	A maior proximidade reduz os custos de transporte dos esgotos tratados ao local de destinação final.
Localização da área em relação às residências mais próximas	As lagoas anaeróbias necessitam de um afastamento mínimo em torno de 1000m das residências mais próximas, em função da possibilidade de maus odores; outros tipos de lagoas podem ter afastamento mais reduzido.
Cotas de inundação	Deve-se verificar se o terreno é inundável, e a que nível chegam as inundações, para a definição da altura dos taludes.
Nível do lençol freático	O nível do lençol freático pode determinar o nível de assentamento das lagoas e a necessidade de impermeabilização do fundo.
Topografia da área	A topografia da área tem grande influência no movimento de terra e, em outras palavras, no custo da obra; topografia pouco íngreme é preferível.
Forma da área	A forma da área influencia o arranjo das diversas unidades em planta; podem-se aproveitar as curvas de nível, desde que de forma suave, evitando-se a criação de zonas mortas.
Características do solo	O tipo de solo tem grande influência no planejamento da compensação entre o corte e o aterro, na necessidade de material de empréstimo, na inclinação dos taludes, nos custos da obra (ex.: pedras) e na necessidade de impermeabilização do fundo.
Ventos	A localização da lagoa deve permitir o livre acesso do vento, o qual é importante para se garantir uma mistura suave na lagoa.
Legislação	Verificar legislação local, regional ou federal, com o intuito de auxiliar no grau de tratamento necessário.
Alternativas de reúso	O estudo das alternativas, em conjunto com a legislação pertinente, traz consigo respostas para aproveitamento do efluente tratado.
Condição de acesso	O acesso das equipes de obra e das futuras equipes de operação e manutenção não deve ser difícil.
Facilidade de aquisição do terreno	Dificuldade na desapropriação de áreas pode ser um elemento de inviabilização da locação da lagoa na área pretendida.
Custo do terreno	Em áreas urbanas ou próximas a áreas urbanas ou de algum elemento de importância, o custo do terreno pode ser bastante elevado, conduzindo à necessidade de se adotarem soluções mais compactas.

Quadro 04 - Aspectos a serem analisados no ato da construção do sistema de lagoas.

Adaptado de Espana (1991); Von Sperling (2002).

b) Influência de Fatores Metereológicos

Os fatores metereológicos têm elevada influência na hora de se projetar uma lagoa de estabilização, seja ela anaeróbia, facultativa ou de maturação. Eles são conhecidos, também, como fatores naturais não-controláveis.

I) Ventos: no momento de elaboração do projeto, é importante conhecer a intensidade, a direção dos ventos, os ventos dominantes, as variações sazonais, de modo a não causar problemas com a circunvizinhança, no que refere a possível risco de liberação eventual de maus odores, quando se trata de lagoas anaeróbia.

Em lagoas de estabilização com espelho d'água maior que 10 ha, é comum a formação de ondas pela ação dos ventos, podendo trazer como consequência a provocação de erosão nos taludes internos, geração de curtos-circuitos e ocorrências de ilhas, decorrente da sedimentação de material pela não execução de tratamento preliminar. Várias alternativas são recomendadas para evitar esses efeitos. Para proteção dos taludes, independente do tamanho da lâmina d'água da lagoa, estes devem ser protegidos 30cm abaixo e 30cm acima dos níveis de água mínimo e máximo de operação. O curto-circuito pode ser evitado, localizando os dispositivos de entrada e saída dos fluxos, na direção inversa ao fluxo hidráulico dos ventos predominantes, ou seja, ocorrendo de jusante para montante ou de efluente para afluente. Caso o projetista opte pela construção de lagoas com a posição dos ventos, de montante para jusante, devem-se projetar vários dispositivos de entradas e saídas, de tal forma que ocorra boa mistura inicial de efluente com a água contida na lagoa, evitando assim o curto – circuito e a saída do efluente sem que complete o tempo de detenção mínimo necessário.

Para Jordão e Pessoa (2005), o sentido do escoamento deve coincidir com o sentido dos ventos dominantes, favorecendo a acumulação da matéria flutuante ao longo de uma chicana, na parte final da lagoa. As lagoas com grandes inclinações, situadas em depressões, devem ser evitadas, pois tal característica torna a lagoa mal ventilada e gerando a formação de um gradiente térmico logo abaixo da superfície, o que impede a mistura da massa líquida da camada superior com a da inferior. Além dos principais problemas que causam, conforme citado acima, os ventos também exercem as seguintes influências nas lagoas, quais sejam:

- Contribuem para introduzir oxigênio do ar na massa líquida, quando a quantidade de oxigênio disponível nas lagoas é menor que a concentração do oxigênio dissolvido de saturação;
- Exercem importante papel na homogeneização da massa líquida;

- Auxiliam a movimentação das algas, principalmente algumas espécies não flageladas.

II) Temperaturas: constitui um parâmetro de grande importância para o funcionamento de lagoas de estabilização, uma vez que segundo Uehara e Vidal (1989) e Jordão e Pessoa (2005), suas principais características são:

- A atividade biológica diminui à medida que reduz a temperatura;
- A atividade de fermentação do lodo não ocorre significativamente em temperaturas abaixo de 17°C;
- Em lagoas com temperaturas acima de 30°C, a fermentação anaeróbia do lodo é elevada, a ponto de, em lagoas de até 2m, arrastar para a superfície placas de lodos da camada de fundo;
- A temperatura influi diretamente no predomínio de uma espécie de algas sobre outras e, em consequência, sobre o oxigênio fotossintético produzido. Como também nas bactérias, de acordo com a sua predominância em psicrófilas, mesófilas e termófilas;
- As algas se desenvolvem com êxito em temperaturas em torno de 20-25°C. Acima de 35°C, a atividade fotossintética das algas decresce;
- No que concerne à qualidade do efluente, nos meses mais frios, há um aumento na concentração de amônia e fósforo e uma diminuição dos sólidos em suspensão, todos eles decorrentes do decréscimo da atividade das algas;
- Uma boa mistura vertical em lagoas, geralmente ocorre entre 14-16 horas do dia;
- As lagoas são projetadas com base na temperatura média do líquido no mês mais frio.

Alguns problemas decorrentes de mudanças bruscas na temperatura de lagoas facultativas podem acarretar problemas de curta duração, a saber:

- **Súbita elevação de temperatura:** provocará aumento das atividades das bactérias aeróbias e facultativas, maior consumo de oxigênio decorrente da multiplicação do número dessas bactérias, surgimento de condições anaeróbias em pontos dispersos e efluentes turvos.
- **Brusca diminuição de temperatura:** provocará a interrupção das atividades das algas e conseqüentemente a sua sedimentação, bem como um clareamento na coloração esverdeada da lagoa e a diminuição de sua eficácia.

III) Precipitação Pluviométrica: a precipitação de água de chuva não provoca prejuízos mensuráveis nas lagoas. Mas, quando essa água entra em contato com a rede coletora de esgoto, provoca diversos problemas, tais como:

- Diluição das águas residuárias;
- Diminuição do tempo de detenção hidráulica;
- Mudanças bruscas de temperatura da massa líquida;
- Arrastes significativos da população de algas, por ser mais significativa nos efluentes finais;
- Redução temporária ou anulação da eficiência da lagoa.

Não sendo possível evitar a entrada dessas águas na rede de esgoto, as lagoas devem ser providas de caixas de alimentação com extravasor lateral, conhecidas como *by-pass*, a fim de desviá-las para o corpo receptor, evitando, assim, que tais contribuições excedam a capacidade de tratamento das lagoas. As enxurradas são desviadas por meios de valas divisoras de águas, que deverão ser mantidas limpas e conservadas. Em projetos, usa-se a precipitação média.

IV) Evaporação: em grau excessivo, poderá baixar a lâmina d'água a níveis que alterem a boa operação, propiciando o desenvolvimento de vegetação emergente e um menor tempo de detenção. Para o projeto, usa-se a evaporação média, em geral uma função do vento, do grau higrométrico do ar, da temperatura do ar e da água. A influência da evaporação na eficácia do funcionamento de lagoas pode ser considerada desprezível, com exceção de regiões quentes e áridas localizadas no Nordeste brasileiro.

V) Radiação Solar: é considerada um dos fatores cruciais para o funcionamento eficaz de lagoas de estabilização, uma vez que contribui para a produção de oxigênio através da fotossíntese. A velocidade desse processo, porém, não se deve exclusivamente à radiação solar. As algas têm também uma função no processo. Para Uhera e Vidal (1989), a variação da velocidade de fotossíntese, em função da temperatura e da radiação solar, é decorrente das seguintes características:

- Em tempos nublados, têm-se baixas velocidades de fotossíntese;
- Com céu limpo e sem nuvens, a velocidade de fotossíntese tende a aumentar;

- Para baixas intensidades luminosas, a luz é o fator limitante para a produção de oxigênio, enquanto, em elevada intensidade luminosa, a temperatura passa a ser o fator condicionante para a ação fotossintética;
- De uma maneira geral, as boas condições de crescimento de algas e de dispersão de oxigênio acontecem nos primeiros 0,60m de profundidade da lagoa de estabilização.

c) Investigação Geotécnica e Preparação do Fundo da lagoa

Antes da execução do fundo da lagoa, é importante que se faça uma avaliação da permeabilidade do solo por meio de sondagens. O objetivo principal de uma investigação geotécnica é garantir uma segurança, por ocasião da terraplenagem e construção dos taludes, permitindo assim determinar a permeabilidade do solo e a capacidade de infiltração dessas águas nas lagoas. Devem-se evitar solos altamente permeáveis, pois, com tal característica, a probabilidade de contaminação do lençol freático é elevada, como também a dificuldade em manter o nível do líquido na lagoa. Estudos feitos em lagoas de estabilização no Continente Africano, por Mara *et al* (1992), citam vários coeficientes de permeabilidade e suas consequências para as lagoas de estabilização, conforme mostra a Tabela 04.

Tabela 04 - Coeficiente de permeabilidade e suas interpretações para lagoas de estabilização.

Coeficiente de permeabilidade (m/s)	Interpretações para lagoas
$K > 10^{-6}$	O solo é muito permeável devendo ser protegido.
$K > 10^{-7}$	Alguma infiltração pode ocorrer, mas não o suficiente para impedir o enchimento da lagoa.
$K < 10^{-8}$	O fundo da lagoa se impermeabilizará sozinho.
$K < 10^{-9}$	Não há risco de contaminação.
$K > 10^{-9}$	Caso aconteça a utilização da água subterrânea para abastecimento doméstico, estudos hidrogeológicos devem ser efetuados.

A impermeabilização do fundo da lagoa, segundo Jordão e Pessoa (2005) e Rocha (1995), quando necessária, pode ser realizada através das seguintes técnicas construtivas:

- Camada mínima de argila de 40 cm compactada.
- Revestimento asfáltico.
- Geomembranas ou lençóis de plásticos.
- Solo-cimento.
- Soda cáustica, técnica não muito usada no meio técnico.

Quando há necessidade de impermeabilizar, deve-se analisar a técnica que trará mais viabilidade econômica, associada à praticidade e à confiabilidade construtiva.

d) Balanço Hídrico

Para que um sistema de lagoas de estabilização mantenha o nível d'água ótimo, para uma adequada operação, é necessário que se estabeleça o seguinte balanço hídrico (MARA *et al.*, 1992) :

$$Q_{\text{média}} \geq 0,001 \cdot A_T [(P - E) + I], \text{ onde:}$$

$Q_{\text{média}}$ = Vazão média afluente ao sistema (m³/dia);

A_T = Área total das lagoas (m²);

P = Precipitação média mensal convertida em média diária (mm/dia);

E = Evaporação média mensal convertida em média diária (mm/dia);

I = Taxa de infiltração (mm/dia).

O não cumprimento do balanço hídrico pode desencadear problemas futuros, no momento da operação, como perda por infiltração ou evaporação excessiva, comprometendo o nível de água na lagoa.

e) Desmatamento, Raspagem, Escavação e Escarificação do Terreno

Esta fase compreende a etapa de preparação propriamente do terreno para a construção do sistema de lagoas de estabilização, utilizando-se taludes de terra, a saber:

I) Desmatamento: compreende a derrubada e o desenraizamento das árvores existentes na área a ser ocupada pela lagoa e vias de acesso. Esse desmatamento poderá ser feito manual ou mecanicamente, devendo ser bem realizado, pois, caso contrário, trará o inconveniente de raízes mal removidas brotarem novamente. Após realizado o desmatamento, é feito o destocamento e a remoção de vegetais de pequeno porte, muitas vezes queimados no próprio local.

II) Raspagem: a raspagem é feita através de máquinas tipo motoniveladoras, tendo como objetivo remover a camada superficial considerada inadequada para o aproveitamento nas obras da lagoa, até se obter uma área isenta de qualquer entulho vegetal.

III) Escavação: esta é a fase mais importante no processo de construção de lagoas e a que exige um planejamento mais detalhado, pois é esse planejamento que acarretará grande economia na obra de movimento de terra. Numa escavação de lagoa, podem surgir duas situações: i) o material

escavado é aproveitável, procurando-se aproveitar os volumes de cortes com os volumes de aterros nos próprios diques, de maneira a minimizar o movimento de terra. ii) o material escavado não é aproveitável: é o caso de terreno com muita matéria orgânica (turfa) ou arenoso. Neste caso, o material escavado não pode ser aproveitado para a construção dos diques, devendo ser afastado do local. Para a construção dos aterros, deve ser feito empréstimo de terras o mais próximo do local. A compactação dos diques e do fundo obedece às mesmas normas adotadas nas obras de estradas e barragens de terra, consistindo de camadas sucessivas de terra com controle de umidade e adensamento. Nesta fase, caso haja ocorrência de precipitações, devem ser dadas condições de escoamento para as águas acumuladas. No Nordeste brasileiro, é comum o uso de taludes em alvenaria e concreto armado, isentando por completo esta fase de escavação e preparação de taludes de terras. O procedimento para execução em concreto armado, neste caso, é análogo ao da construção de um reservatório apoiado, sem fundo e sem a laje de cobertura.

IV) Escarificação: esta fase procede a escavação, sendo necessária no fundo da lagoa e nos taludes, de forma a se obter uma melhor aderência dos diques e da camada de fundo com o solo escavado. Nesta etapa, empregam-se tratores com arados especiais para promover a escarificação.

f) As Dimensões da Lagoa de Estabilização

No pré-dimensionamento, as dimensões determinadas da lagoa são a meia profundidade. Entretanto, as dimensões das lagoas no fundo, ao nível d'água e na crista do talude, dependem da inclinação no talude externo. A Figura 03 modificada, de Mendonça (1990), sintetiza as expressões usadas para o cálculo dessas dimensões. Antes da aplicação das expressões, deduzidas por semelhanças de triângulos, admitir-se-á que o talude externo tenha uma declividade de 1 : n (vertical/horizontal) e que essa declinação varia como foi visto de 1 para 1,5-8 e o ângulo ϕ , varia de 18° a 26°.

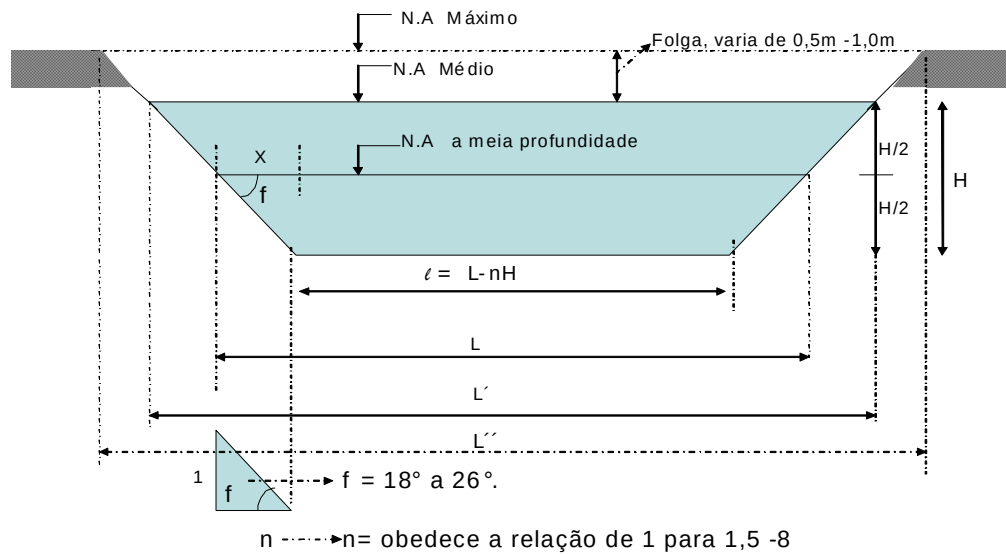


Figura 03 – Dimensões do fundo e da parte superior da lagoa.

Baseando-se na Figura 03, as expressões foram deduzidas através da semelhança de triângulo, a saber:

a) Para a largura:

- I) Largura a meia profundidade (B): esta dimensão é calculada na fase de pré-dimensionamento.
- II) Largura ou comprimento do fundo (b): é calculada pela expressão $b = B - n H$, sendo B = largura a meia profundidade; n = inclinação do talude interno; H= profundidade da lagoa.
- III) Largura ou comprimento da parte correspondente ao nível máximo da lagoa (B'): é calculada pela expressão $B' = b + 2.n.H$
- IV) Largura na crista do talude ou ao nível máximo da lagoa (B'') : é calculada pela expressão, $B'' = B' + 2.n$

b) Para o comprimento:

- I) Comprimento a meia profundidade ou ao N.A (L): esta dimensão é calculada na fase de pré-dimensionamento.
- II) Comprimento do fundo (l): é calculado pela expressão $l = L - n H$, sendo L = comprimento a meia profundidade; n = inclinação do talude interno; H= profundidade da lagoa.
- III) Comprimento da parte correspondente ao nível médio da lagoa (L'): é calculado pela expressão $L' = l + 2.n.H$

IV) Comprimento na crista do talude ou nível máximo (L'') : é calculado pela expressão a seguir, lembrando que aqui não haverá contato com a parte líquida da lagoa; $L'' = L' + 2.n$

g) Diques

Os diques são pequenas barragens, geralmente de terra, formados pelos taludes internos em contato com o líquido da lagoa e pelos taludes externos. São construídos com o objetivo de manter a capacidade de armazenamento do líquido para a lagoa de estabilização. Esses diques devem obedecer rigorosamente à forma do projeto, evitar áreas mortas, ser afastados de cursos d'água de velocidade excessiva de arraste do material das margens etc. Os elementos integrantes de um dique em lagoas de estabilização são:

I) Folga ou borda livre: corresponde à altura livre entre o nível d'água máximo e o coroamento do dique.

II) Coroamento: corresponde à pista resultante da compactação do material utilizado para a construção dos diques. Sua largura é fixada em função dos estudos econômicos e da sua utilização, ou seja, movimentação de máquina durante a construção, tráfego das equipes de operação e manutenção e possibilidade de acréscimo da altura do dique numa possível necessidade.

III) Taludes: são as partes laterais que formam os diques.

IV) Bermas: são prolongamentos dos diques externos, com a finalidade de conter a linha de infiltração, nos casos em que a infiltração atinge a parte externa dos diques. E, para o controle de infiltração, é recomendável que sejam construídos drenos-filtros, cujas finalidades são evitar a revência (que é a saída da água para o talude externo) e servir de filtro à água percolada, retendo os materiais carreados.

A Figura 04 mostra os elementos integrantes de um dique de lagoas de estabilização. O Quadro 05 sintetiza os aspectos construtivos dos taludes. É interessante salientar que a construção dos taludes exteriores deve-se dar mediante estudos de investigação geotécnica e da mecânica dos solos. É recomendável a construção de via de acesso em sistemas maiores, que permita a passagem de caminhões e máquinas, quando o sistema estiver em processo de limpeza. Como também rampas de acesso em lagoas anaeróbias ou facultativas primárias, para remoção de lodos, durante o processo de limpeza.

Erro! Não é possível criar objetos a partir de códigos de campo de edição.

Figura 04 - Detalhes e elementos constituintes de um dique de lagoa de estabilização.

h) Pré-Tratamento e Medição de Vazões

Em todo sistema de tratamento de esgoto, é indispensável a construção da etapa de pré-tratamento e medição de vazão, contendo: i) gradeamento com material inoxidável ou galvanizado; ii) desarenadores com duas câmaras em paralelo, compostas por comportas que permitam, no caso de limpezas, a sua completa vedação; iii) Calhas Parshall pré-fabricadas, tendo como finalidade a medição de vazão afluente e controladores de velocidades horizontais nas etapas anteriores: grade e desarenador.

A etapa preliminar é importante, pois, no gradeamento, faz-se a remoção dos sólidos grosseiros, evitando-se, assim, o carreamento para o interior da lagoa ou até obstruindo as tubulações de entrada. Em lagoas de pequeno e médio porte, a limpeza manual é a mais recomendada, devido à praticidade na operação. As mecanizadas geralmente são usadas em lagoas de grande porte. A caixa de areia ou desarenador tem sua importância, pois objetiva a remoção dos sólidos sedimentáveis, evitando, assim, que a areia sedimente próximo à entrada, ocasionando problemas localizados ou sendo incorporada ao volume de lodo acumulado ao longo dos anos de operação do sistema, gerando, desse modo, as ilhas de sólidos decantáveis e reduzindo a eficiência da lagoa. A medição de vazão é importante, pois afere a carga hidráulica afluente ao sistema, o TDH, o diagnóstico operacional da lagoa, a possibilidade da determinação de infiltração etc.

Item	Comentários
Inclinação do talude interno	• Inclinação usual: 1:2 a 1:3 • Inclinação mínima: 1:6 (V/H), evitar áreas com pouca profundidade, possibilitando crescimento de vegetação. • Inclinação máxima: 1:2 (função da estabilidade do terreno) • Terrenos argilosos: inclinação superior a 1:2 • Terrenos arenosos: inclinação entre 1:3 a 1:6
Inclinação do talude externo	• Inclinação usual: 1:1,5 a 1:2 • Terrenos argilosos: inclinação superior a 1:2,5 • Terrenos arenosos: inclinação entre 1:5 a 1:8
Coroamento do talude (pista na crista do talude)	• Largura superior a 1,5m; usualmente entre 2,0m e 4,0m. Esta dimensão deve permitir a movimentação das máquinas durante a construção, o tráfego das equipes de manutenção e operação e a possibilidade de acréscimo da altura do dique, se necessário.
Borda livre ou folga	• Pequenas lagoas (< 1ha de área): adotar 0,5m; entre 1-3 ha: 0,5-1,0m • Lagoas maiores, usa-se a fórmula: $\text{borda livre} = [\log(\text{Área}_{\text{nível médio lagoa}})]^{0,5} - 1$ (área em m²). • Finalidades: segurança contra aumento do nível d'água além das condições de projeto (obstrução da saída, efeito de ventos fortes, nova concepção de projeto) e segurança contra recalque do terreno devido ao eventual afundamento do próprio dique.
Impermeabilização	• Caso o material do dique seja extremamente permeável, pode ser necessária a impermeabilização do maciço do dique com a argila, geomembranas, estacas-pranchas ou lajes de concreto. • Após compactação, o coeficiente de permeabilidade deve ser $< 10^{-7}$ m/s.
Proteção dos taludes internos	• Os taludes internos, no ponto de contato com o nível da água, devem ser protegidos contra as ondas, erosão e crescimento de vegetais. • O crescimento de vegetação possibilita o desenvolvimento de mosquitos nas lagoas (ovos postos na água, na sombra causada pela vegetação). • Os tipos de proteção mais empregados são o rip-rap (pedras com tamanhos de 15-20cm), lajes de concreto (espessura entre 7-13cm, levemente armada), placas de concreto, argamassa armada, pavimentação asfáltica ou geomembrana. • Proteção descontínua com pedras possibilita o crescimento de vegetação. • A proteção deve se estender por pelo menos 0,5 m acima e 0,5m abaixo do nível d'água. • Acima da proteção deve-se colocar brita ou grama no restante do talude.
Talude externo	• O talude externo deve ser gramado, de forma a proteger contra a erosão.
Canto dos taludes	• As esquinas das lagoas devem ser ligeiramente arredondadas, visando facilitar a construção e a manutenção, e evitando pequenas zonas mortas.
Material dos taludes	• Os diques devem ser construídos de terra, de preferência do próprio local ocupado. O material deve ser denso, fino, coeso e bem granulado. • A sua constituição deve ser de (a) terra limpa, isenta de pedras e matéria orgânica e (b) de argila com um pouco de areia.
Drenagem pluvial	• Em lagoas que possuam alguma lateral constituída por um talude natural (ex: morro), deve-se efetuar a drenagem pluvial através de canaletas paralelas a esta lateral, evitando a passagem da água pluvial por cima do talude.
Bermas	• As bermas devem ser construídas nos diques externos ou internos, quando o terreno for muito permeável, evitando assim a infiltração.

Quadro 05 – Detalhamento sucinto de aspectos construtivos dos taludes de lagoas de estabilização.

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2002); Oakley (2005).

i) Configuração das Lagoas

O tratamento de esgoto em lagoas pode ser realizado em uma, duas, três ou mais lagoas, sendo o conjunto desta denominado de “sistema de lagoas de estabilização”. As configurações para esse tipo de sistema podem ser diversas, conforme mostram as Figuras 05 a 07 abaixo. Entretanto a prática tem demonstrado que o tratamento biológico em lagoas de estabilização em série é mais eficiente que em uma única lagoa com área equivalente. No Nordeste brasileiro, mas precisamente no Rio Grande do Norte, 60% dos sistemas de lagoas de estabilização têm a configuração de lagoa facultativa primária seguida por lagoa de maturação (SILVA FILHO *et al.*, 2006). Essas lagoas podem ser arranjadas em série ou paralelo, sendo:

I) Operação em série: nesta configuração, o esgoto flui de uma unidade para outra; a primeira lagoa, quando recebe esgoto bruto é denominada “lagoa primária”. Quando o esgoto já entra tratado numa segunda lagoa em série, esta recebe o nome de “secundária” e assim sucessivamente. Esta denominação, no que concerne à entrada dos esgotos, é válida para lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação.

II) Operação em paralelo: neste tipo de configuração, duas ou mais células recebem, simultaneamente, vazões e cargas orgânicas proporcionais às suas capacidades, podendo receber esgoto bruto ou efluentes pré-tratados de unidades que as antecedem, uma vez que esse arranjo proporciona melhor distribuição dos sólidos sedimentáveis e oferece a flexibilidade de retirar, provisoriamente, um ou mais célula para limpeza e redistribuir, durante essa operação, a carga nas demais unidades.

Em ambas as configurações, pode ocorrer a utilização da recirculação, pela qual, através da utilização de bombas, se faz com que o esgoto retorne de uma lagoa qualquer de uma associação em série para a entrada da própria lagoa ou para qualquer outra precedente. A recirculação, embora muitas vezes considerada uma sofisticação desnecessária e dispendiosa no tratamento de esgoto por meio de lagoa de estabilização, pode trazer alguns benefícios ou vantagens, quais sejam:

- Em lagoas facultativas primárias, é considerada indispensável, pois corrige a deficiência do oxigênio dissolvido decorrente da estratificação térmica, previne odores e evita surgimento de zonas anaeróbias no interior da lagoa.
- Propicia que certas espécies de algas não-móveis e produtora de oxigênio (Ex. *Chlorellas*) visitem a zona fótica, região de alta atividade fotossintética. Isso se dá com mais evidência quando a recirculação ocorre abaixo do termoclima.

- Quando não é possível a prática de recirculação com bombas, podem-se utilizar aeradores mecânicos, dentro da própria lagoa.
- A recirculação em lagoas em série deve ser bombeada, a partir da saída do efluente, após o vertedouro, e não diretamente da lagoa. Isto quando a taxa de recirculação for elevada, pois a recirculação em lagoas bombeadas ainda no interior da série, corre-se o risco de acontecer um declínio elevado da densidade de algas na lagoa que se beneficia das unidades com sobrecargas.
- Em sistemas australianos, a recirculação permite o emprego de lagoas anaeróbias com menores tempos de detenção e, como dito anteriormente, com grande flexibilidade operacional.
- A recirculação produz efluente com excelente qualidade, quando comparada a um sistema com um menor número de lagoas em série, sobretudo, quando o objetivo é a elevação do oxigênio no efluente.
- A recirculação pode ocorrer em qualquer sistema, tendo como objetivo principal a elevação do oxigênio no efluente.

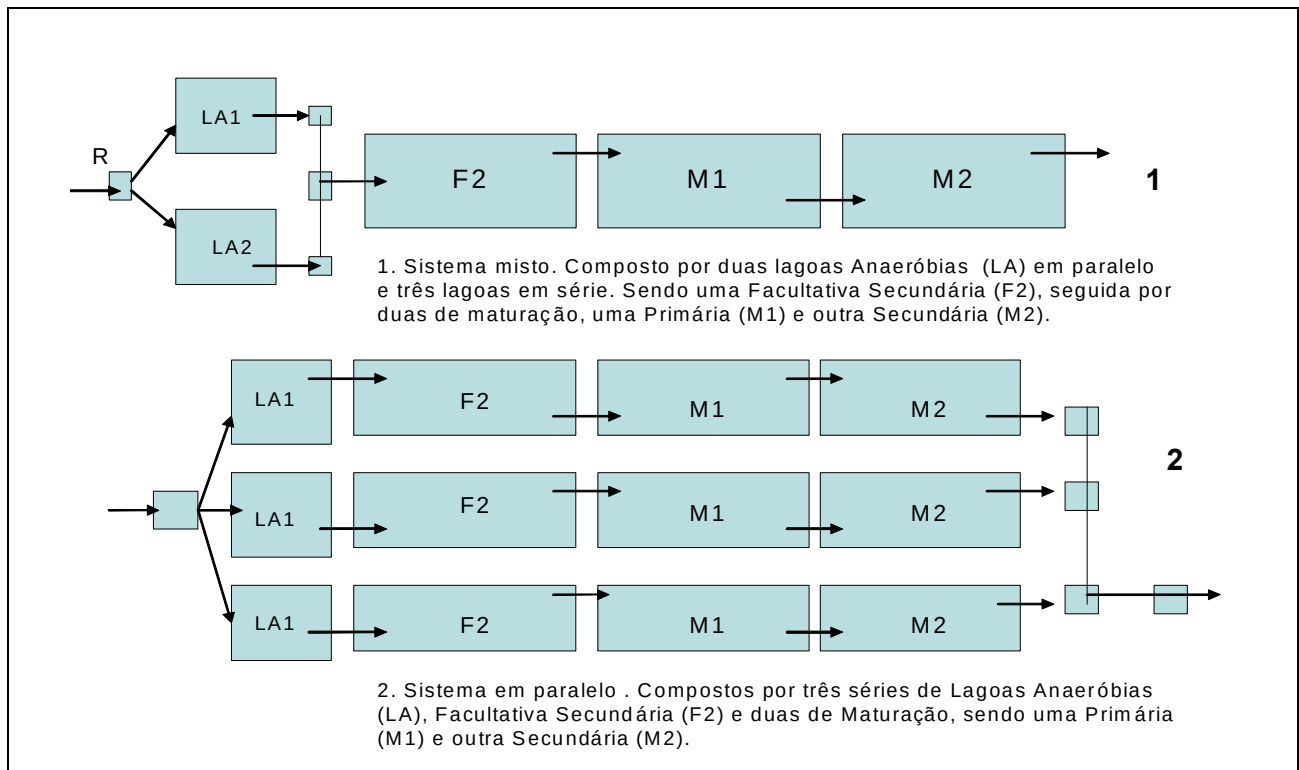


Figura 05 - Configuração em paralelo.

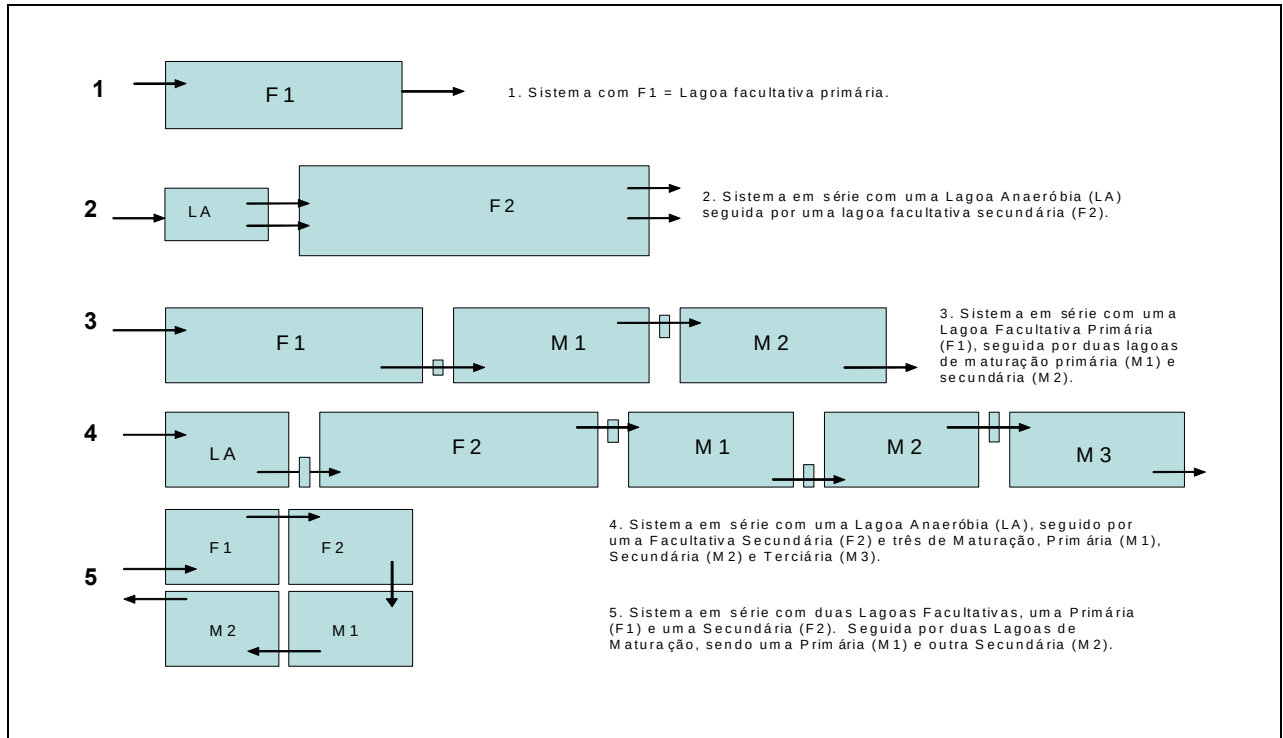


Figura 06 - Configuração em série.

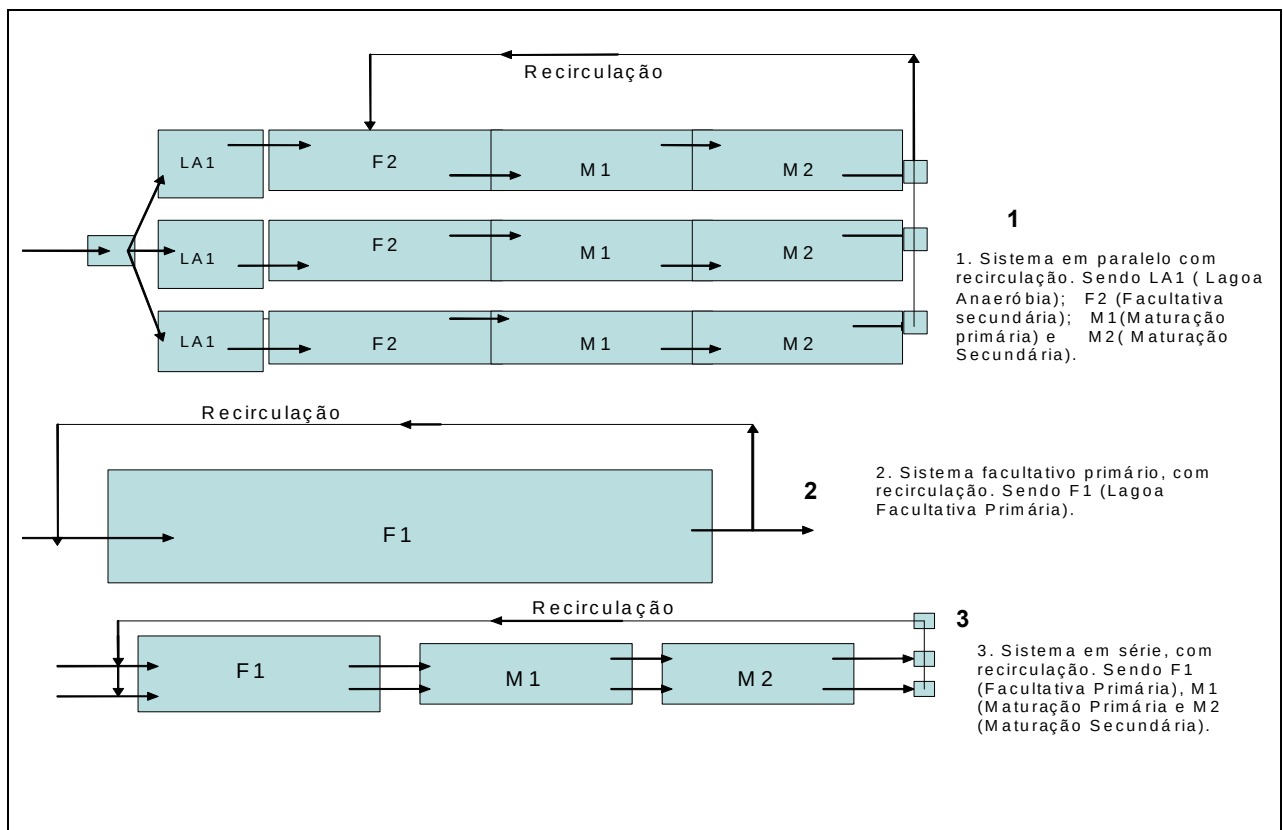


Figura 07 - Configuração em paralelo e série com recirculação.

j) Dispositivos de Entrada

Ao projetar a entrada do efluente no sistema de lagoa de estabilização, é necessário que se obedeça às seguintes recomendações:

- As tubulações de entrada devem funcionar com uma velocidade média do líquido igual ou superior a 0,50 m/s (SILVA, 1993 *apud* VON SPERLING, 2002).
- Todo sistema de lagoa de estabilização deve ter um medidor Venturi ou Parshall, para medir o efluente, e um vertedouro tipo triangular para medir o efluente final.
- Em lagoas pequenas, deve-se ter uma única entrada. Em lagoas maiores, devem-se ter duas, três ou mais entradas, com espaçamento entre as tubulações $\leq 50\text{m}$ e comprimento de tubulação $1/3$ do comprimento da lagoa (VON SPELING, 2002). Devem-se evitar dispositivos de entrada, com uma única entrada acima da superfície, pois este tipo de entrada causa zonas mortas nos cantos dos reatores (OAKLEY, 2005).
- Em lagoas facultativas devem ser utilizadas entradas e saídas múltiplas, aproximando-se do fluxo tipo “pistão”. Essas lagoas necessitam do aproveitamento da área total, objetivando a máxima insolação, para a realização da fotossíntese. Em contrapartida, as lagoas de maturação devem ter uma única entrada e saída, com chicanas para maximizar o regime hidráulico e assim propiciar as condições naturais ao tratamento.
- Para que seja evitada a geração de curtos-circuitos, zonas mortas ou caminhos preferenciais, as entradas não devem estar localizadas em frente à saída da lagoa.
- As tubulações de entradas podem aproximar a lagoa ao regime de mistura completa quando avançam de $1/4$ a $1/3$ do comprimento da lagoa ou aproximar ao fluxo em pistão. Para que isso ocorra, as tubulações devem descarregar o mais próximo da entrada.
- Devem-se projetar tubulações de *by-pass*, para facilitar operação durante uma manutenção ou reparos em alguma das lagoas anaeróbia, facultativa ou de maturação.
- Em lagoas de grande porte, também se utilizam canais abertos com entrada ao nível d’água do sistema, evitando turbulência e aproximando o fluxo do reator do tipo “pistão” (OAKLEY, 2005).

O Quadro 06 mostra alguns tipos de dispositivos de entradas em lagoas de estabilização, muito usados pelo meio técnico projetista.

TIPOS DE ENTRADAS	COMENTÁRIOS
1. Entrada suspensa com jato para baixo	
Erro! Não é possível criar objetos a partir de códigos de campo de edição.	• Esta entrada submersa reduz a formação de escumas, quando em lagoas anaeróbias ou facultativas. • Para evitar a acumulação de lodo, a extremidade de descarga da tubulação deve se localizar a uma distância suficientemente da entrada $\leq 25,0$ m. • Necessária placa de concreto no fundo, no local de descarga da tubulação, para evitar o solapamento no fundo da lagoa. • Reduz o desprendimento de gases mal cheirosos. • Garante ampla homogeneização do líquido, com entradas múltiplas. • Apresenta risco de assoreamento localizado e eventual entupimento, caso a etapa de desarenação seja precária ou inexistente.
2. Entrada submersa horizontal	
Erro! Não é possível criar objetos a partir de códigos de campo de edição.	• Apresenta risco de assoreamento localizado e eventual entupimento. • Caso a tubulação encontre-se próxima à entrada, o regime encontra-se aproximado ao fluxo em pistão. • Se prolongar a tubulação de entrada, a lagoa se aproxima do regime de mistura completa. • Necessária placa de concreto no fundo, no local de descarga da tubulação, para evitar o solapamento no fundo da lagoa. • Reduz desprendimento de gases mal cheirosos. • Garante ampla homogeneização do líquido, com entradas múltiplas.
3. Entrada submersa com jato para cima	
Erro! Não é possível criar objetos a partir de códigos de campo de edição.	• Necessária placa de concreto no fundo, no local de descarga da tubulação, para evitar o solapamento no fundo da lagoa. • Apresenta risco de assoreamento, quando a descarga da tubulação encontra-se próximo à entrada e a desarenação é precária. • Reduz desprendimento de gases mal cheirosos. • Garante ampla homogeneização do líquido, com entradas múltiplas.
5. Entrada aérea com jato para baixo.	
Erro! Não é possível criar objetos a partir de códigos de campo de edição.	• Necessária placa de concreto no fundo, no local de descarga da tubulação, para evitar o solapamento no fundo da lagoa. • Possibilita o desprendimento de gases mal cheirosos. • Permite detectar na descarga possíveis entupimentos da tubulação de entrada.

Quadro 06 - Tipos de entradas de tubulações em lagoas de estabilização

I) Dispositivo de Saída

Os dispositivos de saída do efluente das lagoas de estabilização devem levar em consideração os seguintes aspectos (SILVA; MARA, 1979; ARTHUR, 1983; FORERO, 1985; WEF, 1990; MARA *et al.*, 1992; MARA; PEARSON, 1998; VON SPERLING, 2002; JORDÃO; PESSOA, 2005; OAKLEY, 2005):

- A saída deve situar-se na extremidade oposta à da entrada, para evitar curtos-circuitos.
- Deve-se evitar o alinhamento da saída com a entrada, de forma a reduzir o fenômeno do curto-circuito.
- Os dispositivos de saída podem ser de dois tipos: nível fixo e variável, sendo os níveis variáveis mais utilizados, por permitir maior flexibilidade.
- A saída deve possuir placa defletora com alcance abaixo do NA, para reduzir a saída de material flutuante, como algas, nas lagoas facultativas, ou escumas, nas lagoas anaeróbias.
- Deve ser de fácil acesso, de forma a possibilitar medições de vazões, coleta de amostras e manobras de alteração do nível da lagoa.
- Os principais dispositivos de saída de nível fixo em lagoas de estabilização são: curva de 90° na extremidade da canalização, tê de ferro fundido e vertedor e os de níveis variáveis com dispositivos de regulação do nível d'água, são: *stop-logs* de madeiras e comportas.
- Quando a saída é feita por meio de comportas, é preferível o uso do tipo “comportas de fundo”. Este dispositivo evita a saída de material flotante e pode ser usado para controlar a profundidade de descarga, sendo que, muitas vezes, a concentração de sólidos suspensos em forma de algas é menor, a partir de 60cm, abaixo da superfície. Neste caso, quando o objetivo maior é evitar a remoção de sólidos suspensos, este dispositivo é muito adequado.

Os principais dispositivos de saída de efluentes de lagoas de estabilização são descritos a seguir no Quadro 07.

Dispositivo de saída de efluentes	Comentários
1. Saída com curva de 90° (nível fixo)	

Erro! Não é possível criar objetos a partir de códigos de campo de edição.	Dispositivo muito utilizado no Nordeste brasileiro.
2. Saída com Tê (nível fixo)	
Erro! Não é possível criar objetos a partir de códigos de campo de edição.	- Dispositivo muito usado no Brasil em sistemas de médio e grande porte. - Dispositivo muito usado no Nordeste, em especial no Rio Grande do Norte.
3. Saída com vertedor (nível fixo)	
Erro! Não é possível criar objetos a partir de códigos de campo de edição.	- É comum o uso de vertedouros simples. - Permite flexibilidade de nível.
4. Saída com stop-logs (nível variável)	
Erro! Não é possível criar objetos a partir de códigos de campo de edição.	Este dispositivo não propicia uma boa vedação; pode passar líquido por entre as pranchas.
Quadro 07 - Continuação	
5. Saída com comporta (nível variável)	

Erro! Não é possível criar objetos a partir de códigos de campo de edição.	• Permite a variação do nível d'água com eficiência estanqueidade. Pode ser de alumínio, fibra de vidro e madeira.
--	--

Quadro 07 – Dispositivos de saída de efluentes em lagoas de estabilização.

m) Conexão entre Lagoas e Dispositivos de Descarga Final

A interconexão entre lagoas deverá ser feita por meio de tubulações, dotadas de registro de manobras. Quando construída em concreto, deverá conter vertedores ajustáveis que permitirão controlar ou variar os níveis entre as lagoas e anteparos especialmente projetados para impedir que a espuma acumulada em uma lagoa passe para a lagoa seguinte. Outra maneira é o uso de caixa de passagem, localizada no centro do dique, de modo a possibilitar a coleta de amostras e a desobstrução de canalizações, quando acontecer. A altura da caixa de passagem é variável e dependerá da altura do nível de descarga da lagoa seguinte. A CAERN utiliza para a conexão entre lagoas, caixas de passagem. A profundidade da caixa é dependente do nível da lagoa a jusante.

Para o dispositivo de descarga final, é recomendável que a tubulação de descarga, para lançamento em corpo receptor hídrico, seja construída abaixo do nível d'água. Esse procedimento controla a produção de espumas, quando o efluente apresenta concentrações elevada de tensoativos. O lançamento acima do nível d'água, dependendo da quantidade de tensoativos presentes e devido à turbulência gerada, causará espumas, conforme orienta OAKLEY (2005). As Figuras 08 a e b, detalham alguns tipos de interconexões entre lagoas mais usados na prática.

Erro! Não é possível criar objetos a partir de códigos de campo de edição.

a) Conexão com uso de registro e retentor de espuma. Adaptada de JORDÃO ; PESSOA (2005).

Erro! Não é possível criar objetos a partir de códigos de campo de edição.

b) Conexão com uso caixa de passagem e retentor de espuma. Adaptada de JORDÃO ; PESSOA (2005).

Figura 08a – Modelos de dispositivo de conexão entre lagoas.

Erro! Não é possível criar objetos a partir de códigos de campo de edição.

a) Conexão com uso de caixa de passagem, modelo usado pela CAERN.

Erro! Não é possível criar objetos a partir de códigos de campo de edição.

b) Dispositivo de saída. Adaptado de OAKLEY(2005).

Figura 08b – Modelos de dispositivo de conexão entre lagoas e disposição final.

n) Dispositivos de Drenagem, Cercas e Casa do Operador

A construção de dispositivos de drenagem em sistemas de lagoas de estabilização tem grande importância, pois evita a entrada de águas pluviais no interior do reator. São utilizados comportas ou vertedores ajustáveis, para baixar o nível d'água, no período de vazão excessiva, geralmente construídos na entrada do sistema. Estes dispositivos permitem o desvio de águas pluviais em época de alta pluviosidade. A introdução de grande volume de águas pluviais pode comprometer o processo biológico no interior dos reatores, destruir as estruturas de entrada e aumentar a concentração de matéria inorgânica (sólidos arenosos) carregada durante esse evento. Estes dispositivos são pouco usados no Brasil, para essa finalidade.

Os sistemas de tratamento de esgoto devem ser cercados, de preferência, com arame farpado, com o intuito de impedir a entrada de pessoas não autorizadas e de animais. A presença de animais, como eqüinos e bovinos, pode comprometer as estruturas dos taludes e servir de focos de doenças a pessoas não autorizadas.

Outro componente importante, dentro de uma ETE, é a casa do operador. Esta tem como objetivos: i) armazenar equipamentos de trabalhos e material de primeiros socorros; ii) dispor de sanitários, banheiros e vestidores; iii) prover de material de primeiros socorros em casos de

acidentes, iv) água potável. Esta casa poderá ser usada, pela equipe de vigilância da ETE. Este item, não é comum nas ETEs de pequeno a médio porte brasileiras.

2.3.2 – Operação de Lagoas de Estabilização

A operação de lagoas de estabilização é decisiva para o bom funcionamento do sistema. A principal vantagem do tratamento de águas residuárias por meio de lagoas está na simplicidade de operação. Yanes (1992) cita que, na América Latina, há fracassos nos tratamentos por meio de lagoas de estabilização, devido a falhas nas tarefas de operação e monitoramento. Este problema, não é comum só nas lagoas, mas na maioria dos sistemas de tratamento de esgoto existente. Qualquer sistema de tratamento de esgoto, desde o mais complexo ao mais simples, fracassará se não houver uma operação adequada. Para que se tenha êxito neste sistema de tratamento de efluentes é necessário: pessoal atuando com exclusividade na ETE, pessoal qualificado na parte básica de operação, programas de monitoramento regularmente para avaliar a eficiência da ETE .

Entretanto, alguns fatores físicos contribuem de maneira significativa na eficiência operacional do sistema de tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização, a saber:

a) Fatores Físicos: são fatores controlados pelo homem numa lagoa de estabilização. Dentre eles, podemos citar:

I) Área Superficial: é a área de espelho de água adotada no projeto, sendo definida pela carga de esgoto nela aplicada, principalmente nas lagoas facultativas primárias, uma vez que as lagoas anaeróbias são dimensionadas em função da taxa volumétrica ou a partir de tempos de detenção previamente fixados. É interessante frisar que a carga orgânica afluenta varia, ao longo dos anos de operação, de uma lagoa para outra, e isso decorre em função tanto da vazão, quanto da contribuição de esgotos que ingressam no sistema.

A experiência da CETESB tem mostrado que, em cargas orgânicas superficiais, o odor chega a tornar-se incômodo, daí porque recomenda-se uma distância mínima de 1000m das habitações circunvizinhas. Esse parâmetro é importante, pois contribui para a eficácia do sistema, ou seja, lagoas em início de funcionamento, seja ela facultativa primária ou secundária etc., a contribuição é pequena. O sistema, neste caso, opera com baixas taxas de aplicação superficial e elevado tempo de detenção hidráulica, apresentando bons rendimentos para a remoção de DBO, coliformes fecais, pH elevados, mesmo durante a noite, e diversificação da microbiologia de

lagoas. Todavia, quando acontece o contrário, ou seja, a lagoa excessivamente carregada, o crescimento bacteriano é facilitado, implicando um consumo de oxigênio, que às vezes, não poderá ser suprido pelas algas ou pela ação dos ventos. Este fato pode levar a lagoa a uma condição de anaerobiose. Outro fator importante no que concerne à área superficial é a predominância de tipos de algas em condições de baixa ou elevada cargas orgânicas aplicadas. Em baixa predominância, as populações e as espécies de algas são numerosas. Em altas cargas orgânicas, ocorre a redução na diversidade de fitoplacton, favorecendo as algas mais resistentes.

II) Altura da lâmina d'água: a altura da lâmina d'água num sistema de lagoa de estabilização é definida previamente em projetos, a não ser que, por razões de pouca ou muita insolação, quando em funcionamento, ocorra alteração desta. Para Uehara e Vidal (1989), a altura da lâmina líquida varia nas seguintes condições:

- Na fase inicial de enchimento da lagoa.
- Quando a lagoa opera em sistemas sazonais, com descarga controlada, muito comum em despejos industriais, em que se recomenda uma lâmina de 0,90m.
- Quando a taxa de infiltração do solo é a principal responsável pelo controle da profundidade das lagoas de estabilização. Neste caso, além da dificuldade de se manter o nível da lagoa, existe a possibilidade de contaminação do lençol freático. Para solos altamente permeáveis, torna-se necessária, assim, uma impermeabilização do fundo da lagoa, no ato de sua construção.

A manutenção do nível mínimo de uma lagoa de estabilização é, porém, necessária para impedir a exposição de ilhas de lodos à atmosfera, com uma conseqüente emissão de odores.

III) Mistura: em lagoas facultativas, quando se têm objetivos de melhorar o tratamento, quebrar ou prevenir qualquer tendência à estratificação térmica, faz-se uso de cortinas de lonas plásticas, nas formas de canais independentes ou em formas de chicanas.

b) Início de Operação de Lagoas de Estabilização: Procedimento para carregamento

O procedimento adotado para a partida inicial de uma lagoa de estabilização dependerá das circunstâncias locais. Entretanto, o melhor período para dar início ao carregamento de um sistema de lagoa de estabilização é no verão, devido às altas temperaturas de que o sistema necessita para uma eficácia futura. No Nordeste brasileiro, é comum encontrar lagoas de

estabilização com procedimentos de carregamento errado, contribuindo, posteriormente, para o seu completo abandono. Muitas vezes, a contribuição de esgoto gerado pela cidade é tão pequena, que o efluente que chega até a lagoa é imediatamente infiltrado no solo. Isso decorre de uma impermeabilização mal executada. Segundo Andrade Neto (1997), o grau de permeabilidade do terreno vai decrescendo com o decorrer do tempo, podendo até anular-se. Não se pode contar com a infiltração indefinidamente (sob pena do tempo de detenção decair com a impermeabilização crescente), mas, por outro lado, não se pode permitir que no início do funcionamento a lagoa não atinja sua lâmina mínima em tempo razoável.

No Rio Grande do Norte, a substituição dos diques de terra por muros de contenção em alvenaria de pedra é muito comum, principalmente em solos encharcados, apesar de esta técnica apresentar inúmeras vantagens, tais como:

- Em terrenos com ocorrência de rochas ou de lençol freático aflorante;
- Manutenção e conservação;
- Facilidade na execução e economia no custo;
- Requer pessoal menos qualificado para a construção;
- Dispensa o uso de máquinas e conhecimentos geotécnicos;
- Menor área ocupada e possibilidade de execução próximo a cursos d'água.

A sua execução, quando não segue um acompanhamento devido à facilidade construtiva e economia no custo, pode corroborar no surgimento de diversas pechas construtivas, tendo como vilã principal a ruptura, decorrente da não verificação das condições de estabilidade dos muros. A Figura 09 ilustra as informações citadas.

Os fatores citados anteriormente têm interferência diretamente na eficácia da ETE. Segundo Uhera e Vidal (1989), no momento em que for dado o início de carregamento de lagoas, alguns procedimentos devem ser evitados e outros devem ser adotados, conforme detalha o Quadro 08.

A) No Nordeste brasileiro, é comum executar os diques de lagoas de estabilização em alvenaria de pedra, principalmente em locais onde a presença do lençol freático é elevada. É uma técnica que traz diversas vantagens, embora a economia no custo e a negligência na verificação das condições de estabilidade dos muros, traga consequências desabonadoras, como a ruptura e problemas de infiltrações.



B) Problema ocasionado pela má construção dos diques em alvenaria de pedra, decorrente da não verificação estabilidade dos muros e deficiência nos traços de argamassa empregada.

Figura 09 – Detalhes de procedimento de construção deficitário e carregamento errado.

CARREGAMENTO DE SISTEMAS DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO		
Procedimentos errados		Comentários
1.	Receber a carga de esgoto previsto em projetos, antes que se estabeleça, na lagoa, uma comunidade microbológica, principalmente algas e bactérias.	- As lagoas passarão por processos de decomposição anaeróbia, com predomínio de fermentação ácida e emissão de odores insuportáveis à base de enxofre e nitrogênio: mercaptanas, ácidos tioglicólicos e cadaverino. - Medidas para minimizar esse efeito são dispendiosas e demoram meses (1-2), dependendo do tamanho do sistema.
2.	Carregar as lagoas com pequenas e contínuas contribuições de esgotos, procedimento habitual em localidades de pequeno porte.	- Até que ocorra a colmatação do terreno, todo o líquido ou parte dele poderá percolar pelos taludes e pelo lastro. - Acontecerá a acumulação de material putrescível e/ou o estabelecimento da anaerobiose e putrefação com exalação de maus odores.

3.	Demora ascensional da lâmina d'água no interior da lagoa.	Poderá ocorrer a fertilização rápida do fundo da lagoa e da saia dos diques internos (taludes), possibilitando o desenvolvimento de uma vegetação incontrollável. Esta, se não removida em tempo hábil, trará inconveniências futuras na operação e manutenção do sistema.
CARREGAMENTO DE SISTEMAS DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO		
Procedimentos corretos		Comentários
1.	Encher as lagoas com água bombeada de córrego ou proveniente de sistema público de abastecimento de água, até alcançar uma lâmina mínima de 1,0m.	- Estabelecida essa etapa, a introdução de esgoto pode ser iniciada, até que se alcance a lâmina prevista em projeto. - Este procedimento impede o crescimento de vegetação, testa a estanqueidade do conjunto (lastro e taludes), possibilita a correção de eventuais deficiências no sistema de compactação.
2.	Encher as lagoas com uma mistura de água bombeada e do esgoto a ser tratado, numa diluição de < 5:1, até atingir uma lâmina mínima de 40cm.	- Estabelecida esta etapa, aguardam-se alguns dias, até verificar visualmente o surgimento de algas. Após essa constatação, mais esgoto deve ser diluído na mistura água/esgoto, até desenvolver uma floração de algas, período mínimo de 7-14 dias de paralisação. - Ocorridas as duas interrupções para o crescimento de algas, o enchimento da lagoa deve ser realizado até o nível de operação e mais uma vez interrompido, num período mínimo de 7-14 dias. A partir daí, o sistema passa a receber esgoto normalmente. É necessário um período de 60 dias.

Quadro 08 - Procedimento para carregamento de sistema de lagoas de estabilização

Os procedimentos de início de operação para as lagoas anaeróbias, facultativas e de maturação são sintetizadas no Quadro 09.

INÍCIO DE OPERAÇÃO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO		
Item	Tipo de lagoas	Procedimentos
1.	Lagoa Anaeróbia	- Iniciar a introdução de esgoto, conforme procedimento para carregamento. - O pH deve ser mantido alcalino na faixa de (7,2 – 7,5). - O valor do pH deve ser mantido alcalino, durante os 30 primeiros dias de operação. Esta faixa é obtida com mais facilidade se for adicionado pó calcário, cinza vegetal ou bicarbonato de sódio.
2.	Lagoa Facultativa	- Iniciar a introdução de esgoto, conforme procedimento para carregamento. - Manter o pH > 7,5. O pH será mantido se o procedimento para carregamento for executado integralmente, uma vez que a comunidade biológica de algas e bactérias é esperada somente após os 60 dias de operação.

3.	Lagoa de Maturação	• Iniciar a introdução de esgoto pré-tratado, conforme procedimento para carregamento. • Manter o pH > 7,5. O pH será mantido se o procedimento para carregamento for executado integralmente, uma vez que a comunidade biológica de algas e bactérias é esperada somente após os 60 dias de operação. • Manter o nível da lâmina mínima necessária para operação nessa lagoa.
4.	Lagoas em Série	• A partida inicial da célula-primária, seja ela anaeróbia ou facultativa, deve obedecer aos procedimentos para carregamento. • A partida inicial das outras células deve ser cheia com água, quando a célula-primária atingir a lâmina mínima de 1,0m. • A adição de água bombeada nas demais lagoas em série, deve atingir uma lâmina mínima de 1,0m. • Quando a célula primária atingir a lâmina mínima de projeto, geralmente > 1,0m, seus efluentes podem ser transferidos para as células subseqüentes, obedecendo a diversas precauções: evitar que a lâmina d'água, quando da abertura dos stop-logs, caia abaixo de 1,0m; não efetuar operações de descarga de fundo da célula primária para que se acelere a equalização dos níveis de água nas demais lagoas. • Evitar atingir a lâmina de operação em projeto, quando a célula-primária tiver profundidade maior que as células subseqüentes, embora os fundos estejam na mesma cota. Caso isso ocorra, haverá a possibilidade de rompimento ou percolação de água através do divisório das duas células.

Quadro 09 – Procedimento de operação de lagoas de estabilização.

Fonte: Adaptado de Uehara e Vidal, (1989) ; Kellner e Pires (1998); Von Sperling (2002).

c) Limpeza de Sistemas de Lagoas de Estabilização

A limpeza num sistema de lagoas de estabilização não constitui, a médio prazo, um problema operacional, pois, teoricamente, a quantidade de lodo acumulado no sistema de lagoas é muito pequena. No Brasil, mesmo no inverno, a taxa de degradação da matéria orgânica é baixa, tendo assim um equilíbrio para a DBO na lagoa); no verão, em temperaturas acima de 22°C, a evolução do metano é muito rápida para carrear as partículas de lodo para a superfície da lagoa, onde se forma uma crosta de lodos flutuantes, devendo, de acordo com a rotina operacional, ser retirada; etc. A literatura mostra que a acumulação de lodo ao longo dos anos é muito pequena em sistemas de lagoas de estabilização, sendo maior nas lagoas anaeróbias, devido ao seu menor volume e à magnitude da carga de DBO introduzida. A Tabela 05 mostra alguns valores encontrados na literatura técnica.

Tabela 05 - Taxa de acumulação média de lodo em lagoas de estabilização.

Tipo de lagoa	Taxa de acúmulo de lodo	Autores
Anaeróbia	0,03 a 0,10 m ³ /hab.ano	(MENDONÇA, 1990)
	2 a 8 cm/ano	(CETESB, 1989)
Facultativa	0,03 a 0,08m ³ /hab.ano	(ARCEIVALA, 1981)
	1 a 3 cm/ano	(GONÇALVES, 1999)
	1,8 cm/ano	(SAQQAR e PESCOD, 1995)
	0,064m ³ /hab.ano ou 1,85cm/ano	(PICOT <i>et al</i> , 2004)
	1,8cm/ano	(NELSON e YANG, 2004)

Essa acumulação de lodo no interior das lagoas ao longo dos anos é decorrente do acúmulo de areia, quando a operação, na etapa preliminar, é deficitária, bem como da degradação da matéria orgânica por bactérias anaeróbias e facultativas. Dessa porção de lodo depositada no interior das lagoas, 50% são constituídos de areia, segundo Arceivala (1981). Raramente a remoção de lodo se justifica antes de 15-20 anos ininterruptos de funcionamento, exceto nas lagoas anaeróbias, cuja limpeza é recomendada no período de 3 - 6 anos (ESPAÑA, 1991). Cabe registrar que, em lagoas onde existem zonas mortas, pode ocorrer uma sedimentação elevada de algas mortas, corroborando para um diagnóstico errado por parte da operação, por se pensar que se trata de um assoreamento prematuro da lagoa.

O procedimento de limpeza num sistema de lagoa de estabilização deve ser realizado quando sua espessura atingir a metade da lâmina d'água de operação, devendo obedecer a dois processos, segundo Uehara e Vidal (1989): 1) processo natural; 2) processo mecânico, dependendo do momento e da situação em que esta se submeterá a limpeza, constantes no Quadro 10.

PROCESSOS DE LIMPEZAS DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	
1. Processo Natural	• A lagoa que deverá passar por limpeza, ou melhor, retirada do lodo, deverá ficar temporariamente sem funcionamento, desviando o esgoto para outra lagoa. • Os <i>stop-logs</i> ou outros dispositivos das caixas de saídas devem ser removidos sequencialmente e de forma gradativa. Os líquidos, encaminhados para a lagoa em uso. Conseqüentemente, a lâmina d'água deve ser rebaixada até que alcance a camada de lodo. • O lodo deverá secar naturalmente até apresentar rachaduras, devendo ser retirado e aproveitado, se possível, para a prática de reúso. • Essa operação de limpeza exala pouco maus odores ou outros inconvenientes no lodo removido.

2. Processo mecânico	• Esse processo será aplicado quando as águas do lençol freático forem aflorantes e existirem interferências dessas águas nas lagoas de estabilização. • Construir temporariamente, próximo à lagoa a ser limpa, uma pequena lagoa com fundo em cota superior ao nível da lagoa em operação de limpeza, dotada de drenos a 0,40m do fundo e tubos extravasores. • Passados alguns dias, interromper temporariamente a alimentação de esgoto, colocando na lagoa em operação de limpeza uma draga para a retirada do lodo. Essa draga, circulando ordenadamente, succionará e bombeará o lodo para a lagoa temporária, até o nível máximo de extravasão, quando deverá interromper, por algumas horas, o seu funcionamento. • No momento em que está sendo diminuído o nível da lagoa temporária, o nível da lagoa em operação de limpeza deve ser elevado para assegurar o calado da draga. • Em seguida, faz-se o reenchimento da lagoa em operação de limpeza, com água bombeada de córrego ou sistema de abastecimento de água, ou, dependendo do porte de contribuição de esgoto do sistema, poderá ser reenchida também com os efluentes das outras lagoas. • Essa operação cíclica e associada, entre a lagoa em operação de limpeza e a lagoa temporária, será repetida até se ter a certeza de que todo o lodo foi removido da lagoa em operação de limpeza. • Finalmente, o lodo acumulado na lagoa temporária perderá sua água intersticial e secará ao ar livre. • Essa operação de limpeza não exala maus odores ou outros inconvenientes no lodo removido.
----------------------	--

Quadro 10 - Processos de limpeza de sistemas de lagoas de estabilização.

d) Manutenção e Avaliação de Sistema de Lagoas de Estabilização

Num sistema de tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização, as atividades de inspeção, operação e manutenção refletem exatamente o que chamamos de “diagnóstico operacional do sistema”. Assim, para que sejam alcançados os objetivos do tratamento de esgoto, o conhecimento operacional das lagoas faz-se necessário, atrelado às atividades de manutenção, avaliação, inspeção e operação. O conhecimento dessas atividades permite ao operador ou profissional técnico qualificado dominar o sistema, de forma a tornar possível o seu manejo, tanto em condições normais quanto em situações especiais, como também prever os problemas que poderão ocorrer. Esse conhecimento, porém, só será obtido através do controle operacional rotineiro do sistema e seu elo intrínseco com a teoria do tratamento.

Com o controle operacional ou manutenção propriamente dita, é possível diagnosticar a boa ou má funcionabilidade do sistema, embora essa prática rotineira apresente insuficiência de dados para viabilizar uma análise mais racional do problema. Neste caso, a ferramenta que poderá mostrar exatamente essa problemática é a avaliação de desempenho. A inspeção diária é uma tarefa levada a efeito pelo operador do sistema, a qual permitirá aos responsáveis pelo controle constatar as principais ocorrências, as condições meteorológicas e os parâmetros físicos básicos que podem interferir no bom desempenho de um sistema de lagoa de estabilização, apesar de poder haver determinações que exigirão técnicas e equipamentos específicos. Serão as amostras do afluente e efluente de cada unidade que compõem o sistema, para análise em laboratório, dos principais parâmetros, que permitirão avaliar o comportamento da operação do sistema de tratamento.

Outro item importante, num sistema de tratamento de esgoto por meio de lagoa de estabilização, mesmo em sistema de pequeno e médio porte, é a presença de técnicos de nível médio e engenheiros sanitaristas e supervisores à disposição de laboratórios para a aferição dos parâmetros básicos de tratamento de esgoto. Todavia, quando esse quadro técnico não for possível, o responsável - municípios ou SAAEs - deverá solicitar a participação do órgão estadual de meio ambiente, em conjunto, para executar o funcionamento e o desempenho do sistema de tratamento de esgoto. É indispensável que o projeto de lagoa de estabilização inclua um Manual de Operação, que forneça as principais diretrizes para a operação do sistema projetado. Esse Manual servirá de material de consultas, para o operador, em caso de pequena experiência com o tratamento.

e) Dimensionamento da Equipe de Trabalho

Não existem regras para o cálculo, apenas são feitas estimativas acerca da operação do sistema como um todo. O número de pessoas necessárias para realizar um controle adequado das lagoas de estabilização depende, fundamentalmente, do porte da instalação e do número de lagoas que compõem o sistema. Como se trata de sistema de lagoas de estabilização, a necessidade de pessoal técnico qualificado é baixa, pois a maior parte do pessoal está associada às atividades de manutenção, como corte de gramas, limpeza e outros.

Von Sperling (2002) compôs as seguintes equipes de trabalho, para sistemas de lagoas de estabilização, mostradas na Tabela 06.

Tabela 06 - Dimensionamento de equipes de trabalho em sistema de lagoas de estabilização.

Pessoal	Pop. ≤ 10.000 habitantes		Pop. = 20.000 a 50.000 habitantes		Pop. > 50.000 habitantes	
	Lagoa facultativa	Lagoa aerada	Lagoa facultativa	Lagoa aerada	Lagoa facultativa	Lagoa aerada
Administração						
Engenheiro	-	-				
Superintendente			1/2	1/2	1	1
Secretária	-	-	1/2	1/2	1	1
Auxiliar	-	-	1	1	1	1
Motorista	-	-	1	1	1	1
Operação/Manutenção						
Engenheiro chefe	1/4	1/4	1/2	1/2	1	1
Químico	-	-	1/4	1/4	1/2	1/2
Laboratorista	-	-	1/2	1/2	1	1
Mecânico-eletricista	-	-	-	1/2	-	1
Operador: 8h-16h	1	1	1	1	1	1
Operador: 16h- 24h	-	-	-	1	1	1
Operador: 24h- 8h	-	-	-	1	-	1
Trabalhadores braçais	2	2	2-5	2-7	6-10	7-12

Fonte: Von Sperling (2002).

Essa equipe de pessoal desenvolve dentro do sistema de tratamento de esgoto, por meio de lagoas de estabilização as seguintes atividades, sintetizadas no Quadro 11:

Equipe de pessoal proposta para sistema de lagoas de estabilização		
	Pessoal	Funções do Pessoal
Administração	Engenheiro Superintendente	- Responsável pelo sistema de tratamento de esgoto como um todo. - Habilitado na área de Engenharia Sanitária e Controle Ambiental. - Deverá possuir conhecimentos sobre a operação, manutenção e acerca de administração.
	Secretária	- Pessoal mais próximo do Engenheiro Superintendente. - Noções de administração e gerência.
	Auxiliar	Pessoal auxiliar nas atividades administrativas, gerência e correlatas.
	Motorista	Responsável pela entrega de correspondências externas e atividades correlatas.

Operação/Manutenção	Engenheiro Chefe	• Responsável pelo sistema de lagoas de estabilização. • Habilitado na área de engenharia sanitária e controle ambiental. • Deverá possuir conhecimentos sobre a operação, manutenção e avaliação de desempenho em lagoa de estabilização. • Ter autoridade suficiente sobre o pessoal de manutenção, instruindo-os sobre suas atividades. • Interlocutor responsável pelo sistema sobre o funcionamento e o estado geral das lagoas de estabilização. • Realizar os controles operacionais necessários à operação normal do sistema, sendo: controles meteorológicos, físico-químicos e coletas de amostras para exames de fitoplacton e zooplâncton. • Registrar os dados obtidos, processar as informações, enviando-as ao responsável pelo sistema geral.
	Químico	• Responsável pelas análises laboratoriais de parâmetros físico-químico e bacteriológico.
	Laboratorista	• Responsável pelas análises laboratoriais de parâmetros físico-químico e bacteriológico. • Responsável pela coleta de amostras para análises laboratoriais do sistema de lagoas de estabilização.
	Mecânico- eletricitista	• Responsável pela manutenção elétrica e operação em lagoas aeradas.
	Operador	• Percorrer diariamente o perímetro do sistema de lagoas de estabilização, verificando: condições da cerca ou muro, o estado de conservação dos gramados de proteção nos taludes internos e externos, vazamentos de líquido pelos taludes, estado de conservação e limpeza das calhas de águas pluviais; pintura, quando necessário, de cercas e placas de aviso; a distribuição de vazão, no caso de entradas múltiplas, é equitativa pelos diversos ramais; e verificando também se os níveis de operação estão adequados. • Aplicar diariamente, de segunda a sábado, a Ficha de Controle Operacional para lagoas de estabilização e, após entregar ao engenheiro- chefe esta Ficha, analisará a normalidade do sistema.
	Trabalhadores braçais	• São responsáveis, fundamentalmente, pela manutenção dos taludes, limpeza das grades, caixa de areia, vertedores, dispositivos de alimentação, pela saída e regulação dos fluxos, por medir as vazões horárias, cuidar do paisagismo e urbanismo de toda a área de tratamento.

Quadro 11 - Funções de Pessoal em sistema de lagoas de estabilização.

f) Controle Operacional: Unidades de Pré-Tratamento

O controle operacional do sistema de tratamento de esgoto depende da correta operação das unidades que compõem o pré-tratamento, a saber: da grade, da caixa de areia e da calha Parshall. Para assegurar uma efetiva remoção dos sólidos grosseiros e da areia, presente na água residuária, deve-se estabelecer uma rotina operacional que possibilite a limpeza das grades e da caixa de areia e também a medição da vazão afluente, conforme apresentado no Quadro 12.

A operação de pré-tratamento inclui ainda a remoção de quaisquer entupimentos que possam prejudicar a distribuição uniforme do afluente no sistema de tratamento.

As atividades rotineiras para sistemas de lagoas de estabilização poderão ser efetuadas *in loco*, através de Planilha de Controle Operacional Diário – PCOD, para Lagoas de Estabilização, conforme detalha o Anexo A. Esta ficha permite constatar as principais ocorrências, as condições meteorológicas locais e os parâmetros físicos básicos obtidos *in situ*, que podem interferir diretamente no bom desempenho operacional desse sistema, e, assim evitar problemas maiores, através das informações obtidas, diagnosticando diariamente a sua operacionalidade no sistema de lagoa de estabilização.

PRÉ-TRATAMENTO PARA LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO		
UNID	ATIVIDADES ROTINEIRAS DO OPERADOR	FREQ.
GRADEAMENTO	1. Limpeza nas grades	Diária
	2. Remover o material retido, de modo a evitar que o aumento da perda de carga localizada nas barras cause represamento dos esgotos no canal a montante e aumento demasiado na velocidade do líquido entre as barras, arrastando alguns materiais que deveriam ser retidos nessa unidade.	Diária
	3. Passar o material gradeado para um crivo, construído sobre o canal a jusante da grade, a intervalos de no máximo 3 horas. Nesse local, com esguicho de mangueira, o material poderá ser lavado, livrando-o de toda a sua matéria orgânica não grosseira, reduzindo assim o seu volume.	Diária

	4. O material retido na grade, já lavado, deverá ser depositado em valas apropriadas e recoberto com pequena camada de terra, para que seja digerido fora do acesso de insetos, especialmente moscas, ou enviar para um aterro sanitário licenciado.	Diária
CAIXA DE AREIA	1. Agitar a caixa de areia no sentido do fluxo dos esgotos, forçando, desse modo, a matéria orgânica que porventura tenha sedimentado, nas horas de menor vazão, a voltar ao meio líquido e a ser transportada até às lagoas de estabilização.	Diária
	2. Realizar a descarga ou limpeza da caixa de areia sempre que o material acumulado ocupar a metade da altura da câmara de armazenamento ou 2/3 de todo o seu comprimento. O ideal é revezar as limpezas, ou seja, isolar a câmara que estiver sendo limpa, enquanto a outra é colocada em operação.	Quinzenal
	3. A areia, depois de retirada por meio de pás ou enxadas, deve ser transportada e, depois, convenientemente enterradas ou enviada para um aterro sanitário licenciado.	Quinzenal
CALHA PARSHALL OU VERTEDOR	1. Registrar as vazões afluentes, de preferência medições nos horários da manhã entre 7h-12h, do meio-dia 12h-13h e da tarde 14h-17h. Estes devem ser anotados na Ficha de Controle Operacional.	Diária
	2. Limpar, no final de cada medição, as calhas vertedoras e/ou o canal afluente do dispositivo de medição, impedindo qualquer interferência no fluxo que possa prejudicar as leituras.	Diária
	3. Através da regulação de fluxo num sistema de lagoas, o operador pode controlar a vegetação nos taludes internos.	Semanal/ Bimestral
	4. Quando o sistema possui múltiplas lagoas em série ou em paralelo, poderá transferir o líquido de uma para outra, para correção de um problema.	Eventual
	5. Limpar, periodicamente, os vertedores e encaixes de tábuas dos dispositivos de saída das lagoas, com auxílio de escovão, para evitar que se formem crostas de escumas e/ou algas.	Periodicamente

Quadro 12 - Atividades rotineiras do operador no Pré-tratamento para Lagoas de Estabilização. Adaptado de CETESB (1989).

g) Controle Operacional: Sistema de Lagoas de Estabilização

As atividades rotineiras do operador e servidores braçais, num sistema de lagoa de estabilização, são sintetizadas, conforme Kellner e Pires (1998) no Quadro 13.

SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO		
Lagoa	Atividades Rotineiras do Operador	Freq.
A E R	1. Medir a temperatura do esgoto bruto e na lagoa anaeróbia.	Diária
	2. Medir o nível da lâmina d'água da lagoa e o seu pH.	Diária

	3. Retirar dos sobrenadantes as pequenas partes que ficam ao alcance, próxima das margens e enterrá-las em valas apropriadas ou encaminhá-las a um aterro sanitário licenciado.	Diária
	4. Combater qualquer indício de erosão dos taludes.	Diária
	5. Manter as margens isentas de qualquer vegetação.	Diária
	6. Não permitir a ocorrência de porejamento nos taludes e, caso ocorra, obstruí-los com argila.	Diária
	7. Manter limpos os dispositivos de entrada de esgoto, principalmente quando são submersos.	Diária
	8. Não permitir a passagem de material flutuante para a lagoa subsequente.	Diária
	9. Realizar análises laboratoriais para o controle operacional rotineiro da lagoa, nos parâmetros de DBO, DQO, coliformes, sólidos totais, suspensos e fixos, alcalinidade, nitrogênio total, fósforo total etc.	Quinzenal
	10. Verificar nas estações de inverno e verão a provável espessura da camada de lodo da lagoa.	Semestral
	11. Verificar a coloração do efluente escuro	Diário
FACULTATIVA	1. Medir a temperatura do esgoto na lagoa facultativa e anotar na ficha de controle operacional.	Diária
	2. Medir o nível da lâmina d'água da lagoa e o pH. Anotar na Ficha de Controle Operacional.	Diária
	3. Retirar dos sobrenadantes as pequenas partes que ficam ao alcance, próxima das margens e enterrá-las em valas apropriadas.	Diária
	4. Medir OD, conforme recomendado na Ficha de Controle Operacional e, posteriormente, anotá-los nesta Ficha.	Diária
	5. Combater qualquer indício de erosão dos taludes.	Diária
	6. Manter as margens isentas de qualquer vegetação.	Diária
	7. Não permitir a ocorrência de porejamento nos taludes e, caso ocorra, obstruí-los com argila.	Diária
	8. Manter limpos os dispositivos de entrada de esgoto, principalmente quando são submersos. Isso é conseguido introduzindo-se arame ou vara de aço dentro destes, de modo a deixar livre a boca de descarga.	Diária
	9. Não permitir a passagem de material flutuante para a lagoa subsequente.	Diária
	10. Realizar análises laboratoriais para o controle operacional rotineiro da lagoa, nos parâmetros de DBO, DQO, coliformes, sólidos totais e fixos, alcalinidade, nitrogênio total, fósforo total etc.	Quinzenal
	11. Controlar o nível de água, de acordo com a insolação e eficiência do processo, mantendo níveis mais baixos no verão e níveis mais altos no inverno.	Diária
	12. Verificar coloração verde - claro do efluente	Diário
MATURAÇÃO	1. Os mesmos procedimentos rotineiros usados para a lagoa facultativa deverão ser aplicados para a lagoa de maturação.	Diária
	2. Realizar análises laboratoriais para o controle operacional rotineiro da lagoa, nos parâmetros de DBO, DQO, coliformes, sólidos totais, suspensos e fixos, alcalinidade, nitrogênio total, fósforo total, clorofila a, etc.	Quinzenal
	3. Se o destino final do efluente é a prática de reúso ou corpo d'água receptor qualquer, deve ser realizada análise laboratorial com todos os parâmetros do item 2, consultando a legislação pertinente e verificando a coerência para lançamento ou aproveitamento para reúso.	Semanal

Quadro 13 – Atividades rotineiras do operador de lagoas de estabilização.

Para Von Sperling (2002), o Programa de Monitoramento tem fundamental importância, pois se relaciona com o real aproveitamento dos dados levantados. Não há sentido em se obterem dados, se estes não forem posteriormente consistentes e interpretados, bem como com gráficos de acompanhamento do desempenho da lagoa, com ampla participação do operador no seu acompanhamento. O Quadro 14 abaixo, detalha os parâmetros comumente usados nos Programas de Monitoramento, como a sua frequência e locais de determinação.

Parâmetro	Unidade	Freq.	Determinação	Afluente	L. Facult.	Efluente
Vazão	(m³/d)	DIÁRIA	<i>In situ</i>	X	-	X
Temperatura do ar	(°C)		<i>In situ</i>	-	-	
Temperatura do líquido	(°C)		<i>In situ</i>	X	X	X
pH	-		<i>In situ</i>	X	X	X
Sólidos Sedimentáveis	(ml/L)		<i>In situ</i>	X	-	X
Oxigênio dissolvido	(mg/L)		<i>In situ</i>	-	X	-
DBO total	(mg/L)	SEMANTAL	Laboratório	X	-	X
DQO total	(mg/L)		Laboratório	X	-	X
DBO ou DQO filtrada	(mg/L)		Laboratório	-	-	X
Coliformes Termotolerantes	(NMP/100ml)		Laboratório	X	-	X
Sólidos em suspensão totais	(mg/L)		Laboratório	X	-	X
Sólidos em suspensão voláteis	(mg/L)		Laboratório	X	-	X
Nitrogênio orgânico	(mg/L)	MENSAL	Laboratório	X	-	X
Nitrogênio amoniacal	(mg/L)		Laboratório	X	-	X
Nitratos	(mg/L)		Laboratório	-	-	X
Fósforo	(mg/L)		Laboratório	X	-	X
Sulfatos	(mg/L)		Laboratório	X	-	X
Sulfetos	(mg/L)		Laboratório	X	-	X
Alcalinidade	(mg/L)		Laboratório	X	-	-
Óleos e graxas	(mg/L)		Laboratório	X	-	X
Contagem de zooplâncton	-	EVENTUAL	Laboratório	-	X	-
Contagem de fitoplâncton	-		Laboratório	-	X	-
Principais gêneros de algas	-		Laboratório	-	X	-
Vazão horária	(m³/h) (24h de h/h)		<i>In situ</i>	X	-	-
OD horário	(mg/L) (24h de h/h)		<i>In situ</i>	-	X	-
pH horário	-		<i>In situ</i>	X	X	X
Temperatura horária	(°C) (24h de h/h)		<i>In situ</i>	X	X	X

Quadro 14 - Programa de medição e amostragem.

Fonte: Adaptado de CETESB (1989); WEF (1990); Jordão e Pessoa (2005); Von Sperling (2002).

Notas: a) Lagoas Anaeróbias: a programação pode ser similar à lagoa facultativa (incluindo esgoto bruto), excluindo na determinação de gêneros de algas, OD e penetração de luz.

b) Lagoas de Maturação: a programação pode ser similar à de lagoas facultativas.

Os perfis de 24 horas são interessantes, pois mostram o verdadeiro raio-x operacional da lagoa, ao longo do processo de funcionamento e observação, principalmente quando se tem a necessidade de analisar o comportamento de parâmetros físicos, tais como OD, pH e temperatura ao longo do período estudado.

h) Controle Operacional: Problemas e Soluções em Sistemas de Lagoas de Estabilização

O tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização é uma das alternativas mais econômicas e de fácil operacionalidade, quando é bem projetada, bem construída, bem operada e,

sobretudo, cuidadosamente mantida. Para que o sistema opere com eficiência em todas as etapas, é imprescindível que siga rotina operacional e de manutenção, pois a falta de interesse no controle operacional tem levado ao total descaso na manutenção e ao completo abandono da maioria dos sistemas de lagoas de estabilização.

Os principais problemas e soluções operacionais para sistemas de lagoas de estabilização encontram-se sintetizados nos Quadros 15-17, e foram extraídos de fontes especializadas na área (CUBILLOS, 1986; CETESB, 1989; SILVA ; MARA, 1989; MENDONÇA, 1990; ESPAÑA, 1991; KELLNER ; PIRES, 1998; VON SPERLING, 2002; FEAM, 2005; JORDÃO ; PESSOA, 2005; OAKLEY, 2005;). Para melhor compreensão, serão citados os problemas-soluções na seguinte ordem: problemas/soluções no sistema preliminar, problemas/soluções em lagoas anaeróbias, problemas/soluções em lagoas facultativas e problemas/soluções em lagoas de maturação.

PROBLEMAS/SOLUÇÕES		
Unidade	TRATAMENTO PRELIMINAR	
Problema	Causa	Solução
1. Excesso de matéria orgânica no material removido dos depósitos de acumulação de areia.	• Velocidade de escoamento demasiadamente baixa. • Tempo de retenção muito longo.	• Reduzir a área da seção transversal do canal da caixa de areia, adicionando material ao longo das paredes do canal (enchimento com tijolos rejuntados com cimento e areia, massa etc.). • Diminuir o número de câmaras usadas. • Reajustar, quando possível, o vertedouro de saída, de maneira a diminuir a profundidade da lâmina d'água durante o período de vazões normais.
Continuação Quadro 15		
2. Arraste da areia no efluente das caixas de desarenação.	• Velocidade dos fluxos muito alta. • Tempo de retenção na câmara muito curto.	• Remover com maior frequência a areia acumulada nos depósitos dos desarenadores. • Colocar em funcionamento duas unidades de desarenadores. • Ampliar a área da seção transversal dos desarenadores. • Revolver, no mínimo três vezes ao dia, o material acumulado nos depósitos das caixas de areia, no sentido contrário ao do fluxo.

Quadro 15 - Principais problemas operacionais na etapa preliminar.

Os principais problemas/soluções comumente encontrados em lagoas anaeróbias estão descritos no Quadro 16.

PROBLEMAS/SOLUÇÕES		
UNIDADE:	LAGOAS ANAERÓBIAS	
PROBLEMA	CAUSA	SOLUÇÃO
1. Maus odores	• Procedimentos incorretos na partida da lagoa. • Projeto das lagoas com carga orgânica volumétrica acima do permissível ou tempo de detenção muito curto. • Tratamento de despejos com altas concentrações de sulfetos ou presença de substância tóxicas que inibem a fermentação metânica. • Queda repentina ou persistência da baixa temperatura no efluente da lagoa. • Admissão de despejos industriais que tendem a diminuir o pH dos esgotos abaixo de 6,5. • Carga baixa e TDH elevado. A lagoa se comporta como facultativa com OD na massa líquida.	• Iniciar a operação de carregamento da lagoa no verão. • Carregar a lagoa de maneira progressiva, conforme recomendação de procedimento para carregamento de lagoas. • Ajustar o pH da lagoa, com o emprego de calcário em pó, bicarbonato de sódio, até obter a neutralização. Só é recomendável tal procedimento, quando a lagoa adquire lâmina d'água suficiente para que a camada bentônica do lodo não seja afetada. • Não projetar lagoas com cargas orgânicas volumétricas elevadas sem a prévia avaliação do comportamento das unidades experimentais. • Recircular parte do efluente de uma lagoa facultativa para a entrada da lagoa anaeróbia, na razão de ¼ ou 1/6. • Adicionar porções de nitrato de sódio (salitre do Chile) ou cinza vegetal em vários pontos até que ocorra a neutralização. • Evitar a adição de cloro, pois este causará problemas posteriores para o reinício das atividades biológicas necessárias ao tratamento.

Continuação Quadro 16

1.Maus odores		• Iniciar a operação de carregamento da lagoa no verão. • Carregar a lagoa de maneira progressiva, conforme recomendação de procedimento para carregamento de lagoas. • Plantação de fileiras de eucalipto tipo <i>Citrodora</i>, circundando o sistema, a uma distância >20m e espaçamento entre as árvores de uma mesma fileira, bem como a distância das fileiras entre si de 3 a 5 m. • Evitar entrada de efluentes industriais e tóxicos, como metais pesados, praguicidas, resíduos de fábricas, antibióticos. Quando lançados sem a prévia autorização, notificar os órgãos estaduais de controle de poluição. • No caso de sobrecarga, eventual <i>by-pass</i> parcial para a lagoa facultativa, caso esta suporte elevação de carga.
2. Vegetação	• A vegetação aquática está sempre associada a um ciclo de problemas decorrentes: vegetação→insetos e larvas→sapos→cobras. Crescem geralmente no talude interno da lagoa. • A vegetação terrestre que corresponde aos arbustos, ervas, capim, é decorrente da de deficiência na operação e na manutenção do sistema. • Operação inicial inadequada da lagoa. • Falta de conservação e manutenção dos taludes internos.	• Para evitar o crescimento de vegetação aquática, é recomendável que se siga criteriosamente o procedimento de carregamento de lagos. • Em lagoas com vegetação aquática excessiva, decorrente do carregamento negligenciado, deve-se esvaziar a lagoa, para que esses vegetais possam ser arrancados pela raiz. • Plantas aquáticas, como aguapé, devem ser retiradas com o auxílio de barcos, cordas ou dragas. • Vegetais que crescem nos taludes internos, na altura da lâmina d'água, devem ser removidos pela raiz tão logo ocorra o seu aparecimento, repetindo-se várias vezes essa operação até o seu total extermínio. • Para prevenir o surgimento de vegetação, a técnica mais recomendada é a colocação de lajotas de concreto numa faixa de variação do nível da água, em todo o perímetro da lagoa. • A vegetação nos taludes externos, próximo à lâmina d'água, deve ser retirada o mais cedo possível, pois a sua sombra interfere na eficiência do sistema, diminuindo a insolação e a ação dos ventos.

3. Proliferação de insetos	• Material gradeado ou areia removida não disposta adequadamente. • Crescimento de vegetais no encontro entre NA e talude interno. • Camada de espuma e óleo sempre presente nas lagoas. • Circulação e manutenção fraca.	• Aterrar o material removido das grades e caixas de areia em valas ou encaminhá-lo a um aterro sanitário licenciado. • Cortar os vegetais desenvolvidos. • Revolver, com rastelo ou jato d'água, a camada de material flutuante que cobre as lagoas. • Aplicar cuidadosamente inseticidas ou larvicidas na camada de espuma.
4. Manchas verdes no encontro do NA com o talude	• Proliferação de algas, devido à pequena profundidade no trecho NA - talude.	• Remover as colunas de algas.
5. Entupimento das tubulações de entrada.	• Tubulação de entrada obstruída.	• Limpar as tubulações com vara ou arame de aço.
6. Superfície coberta por camada de espuma..	• Decorrente de escumas, óleos e plásticos.	• Não há com que se preocupar, pois a camada de espuma é benéfica em lagoas anaeróbias, por evitar o desprendimento de gases mal cheirosos.
7. Animais roedores.	• Sistemas construídos próximo a lixões ou aterro construídos inadequadamente. • Adensamento populacional próximo à ETE e a coleta de lixo é inadequada.	• Evitar construir lagoas próximas a lixões. • Exigir uma coleta regular dos lixos gerados. • Caso haja túneis nos taludes internos, elevar o nível da lâmina d'água por uns dias ou semanas.

Quadro 16 - Principais problemas operacionais em lagoas anaeróbias

PROBLEMAS/SOLUÇÕES		
UNIDADE	LAGOAS FACULTATIVAS	
PROBLEMAS	CAUSAS	SOLUÇÕES
1. Espuma, graxas e flutuantes.	• Placas de lodos depreendidas do fundo. • Pouca circulação, atuação do vento. • Lançamento de material estranho (ex. lixo diversos). • Superfloração de algas (formando nata esverdeada).	• Eliminar a espuma com jatos d'água ou com rastelo, pois ela, quebrada, tende a afundar. • Remover as escumas com peneiras de pano, enterrando-as depois. • Desagregar ou remover placa de lodo. • Remover obstáculos para a maior penetração do vento, se possível.

2. Maus odores decorrentes da sobrecarga	Sobrecarga de esgoto, causando baixamento do pH, queda na concentração de OD, mudança na cor do efluente. Predominância de rotíferos e crustáceos, que se alimentam de algas; aparecimento de zonas cinzentas junto ao afluente e maus odores.	- Transformar a operação de série para paralelo. - Caso haja mais de uma lagoa, retirar temporariamente a lagoa com esse problema. - Caso haja somente uma lagoa, pode-se fazer a recirculação, através de bombas e mangotes, do efluente para o afluente, na razão de ¼ ou 1/6. - Recircular o efluente na razão de 1/6. - Considerar entradas múltiplas do efluente, evitando caminhos preferenciais. - No caso de sobrecarga persistente, considerar a inclusão de aeradores superficiais, junto à entrada do afluente, com o intuito de elevar a produção de oxigênio realizado pelas algas.
3. Maus odores causados: a) Más condições atmosféricas; b) substâncias tóxicas; c) curtos-circuitos hidráulicos; d) massas de algas flutuantes.	- Longos períodos com tempo nublado e temperatura baixa; - Substâncias tóxicas vindas de descargas industriais, gerando repentinas condições anaeróbias; - Má distribuição do afluente; - Zonas mortas advindas de excessivo aproveitamento de curvas de nível; - Presença de vegetais aquáticos no interior da lagoa; - Superfloração de algas, impedindo a penetração de luz solar e causando a mortandade de população em excesso.	- Diminuir a altura da lâmina d'água. - Caso exista mais de uma lagoa, colocar uma em paralelo em operação. - Instalar aeradores superficiais próximos à entrada do afluente. - Efetuar análise físico-química completa do afluente, de forma a identificar o possível composto tóxico. - Identificar na bacia de contribuição a indústria causadora da descarga, tomando algumas providências dentro da legislação pertinente. - Isolar a lagoa afetada. - Coletar amostras em vários pontos para análises de OD, com o intuito de verificar se há significativas diferenças. - Regularizar a distribuição uniforme da vazão afluente por todas as entradas, no caso de entradas múltiplas. - Em entrada simples, construir novas entradas. - Cortar e remover vegetais aquáticos. - No caso de zonas mortas, introduzir aeração para causar pequena mistura na massa líquida. - Jateamento com mangueira d'água. - Destruição com rastelo. - Remoção com peneiras.

4. Elevadas concentrações de algas (SS) no efluente	• Condições atmosféricas que favorecem o crescimento de certas populações de algas.	• Retirar o efluente submerso, após passar por defletores, que retêm as algas. • Usar múltiplas células em série, com reduzido TDH em cada uma. • Efetuar pós-tratamento de efluente da lagoa, para remover excesso de SS.
5. Presença de cianobactérias ou algas azuis	• Tratamento incompleto. • Sobrecarga de esgotos. • Desbalanço de nutrientes. • pH < 6,5 e OD > 1mg/L	• Quebrar as florações de algas, no caso, as cianobactérias ou algas azuis. • Adicionar criteriosamente sulfato de cobre. Se Alcalinidade Total > 50mg/l, adicionar 1g de sulfato de cobre/m³ da lagoa; caso contrário, adicionar 0,5 g de sulfato de cobre/m³.
6. Presença de algas filamentosas e musgo que limitam a penetração da radiação solar.	• Lagoas superdimensionadas. • Carga afluenta sazonalmente reduzida.	• Aumentar a carga unitária, através da redução do número de lagoas em operação. • Usar operação em série.
7. OD com tendência progressiva de decréscimo (OD < 3mg/l nos meses quentes)	• Baixa penetração da luz solar. • Baixo TDH. • Alta carga de DBO. • Despejos industriais tóxicos.	• Remover vegetais flutuantes. • Reduzir a carga na lagoa primária através da operação em paralelo. • Introduzir aeração complementar. • Recircular o efluente final.
8. pH com tendência progressiva de decréscimo (pH > 8), com mortandade de algas verdes.	• Sobrecarga • Longos períodos com condições atmosféricas adversas. • Organismos se alimentando de algas, como exemplo a <i>Daphnia</i>.	• As medidas citadas no item 7 e para prevenção de odores decorrente de sobrecargas são válidas para essa anomalia física. • Ou desativar temporariamente a célula e deixá-la restabelecer.
9. Proliferação de insetos	• Presença de vegetais nas margens dos taludes internos das lagoas.	• Reduzir o NA, fazendo com que as larvas presas aos vegetais nos taludes desapareçam, quando a área secar. • Operar a lagoa com variação do NA. • Proteger o talude interno com placas de concreto. • Colocação de peixes na lagoa, como tilápia e carpas. • Destruir as escumas. • Aplicar criteriosamente produtos químicos.

Continuação Quadro 17.

10. Vegetação	• Baixo nível operacional da lagoa. • Infiltração excessiva. • Baixa contribuição de esgoto.	• Operar a lagoa com nível operacional mínimo > 90cm. • Cortar periodicamente os vegetais nas margens dos taludes internos, evitando que estes caiam no interior da lagoa. • Proteger o talude interno com placas de concreto. • Aplicar criteriosamente herbicida. • Reduzir a permeabilidade da lagoa com uma camada de argila, caso possível.
11. Lagoa com coloração cinza escuro, marrom ou vermelho claro.	• A lagoa está recebendo supercarga. • A funcionalidade predominantemente é anaeróbia.	• Desvio do fluxo de esgoto. • Aumento da área da lagoa.

Quadro 17 – Principais problemas operacionais encontrados em lagoas facultativas.

Obs.: A mesma problemática/soluções dependendo da situação em que ocorrer é aplicável para as lagoas de maturação e, variantes do sistema de lagoas de estabilização

i) Avaliação de Sistema de Lagoas de Estabilização

A avaliação de desempenho é uma das etapas que tem por objetivo o sistema de tratamento como um todo, conforme mostra o Anexo B. Os parâmetros avaliados num sistema de lagoas de estabilização são os demonstrados no Quadro 14, referente ao Programa de Medição e Amostragem. Esses parâmetros, quando aferidos em laboratórios, revelarão a situação atual de eficácia em que o sistema foi projetado. A metodologia avaliativa levará em conta dois aspectos fundamentais:

- a) Aspectos quantitativos, que se refere à vazão e ao tempo de detenção na lagoa e
- b) Aspecto qualitativos, que se refere às características físicas, químicas e biológicas do esgoto bruto e tratado.

Já o desempenho é um indicador do comportamento ou do trabalho efetivamente realizado pela ETE e inclui, para a obtenção do resultado final, três unidades:

- a) Unidade absoluta, que indicará a capacidade de tratamento em um valor final desejado, seja no que diz respeito à capacidade de vazão, seja referente à capacidade de redução da carga de esgoto;

- b) Unidade relativa, indicadora da eficiência, em termos percentuais, na remoção da carga de esgoto, ou da redução da carga de esgoto por unidade de volume ou de área da lagoa.
- c) Unidade econômica, indicadora do custo de operação e de manutenção, referente à vazão ou carga unitária de esgoto.

Outro item importante para o desenvolvimento da avaliação é a amostragem. Esta tem por objetivo coletar uma determinada porção do esgoto em volume tal que permita uma boa caracterização em laboratório e que seja representativa quanto à determinação da sua qualidade. Esse procedimento, juntamente com a medição da vazão, permite acompanhar as cargas em tratamento, podendo ser de dois tipos:

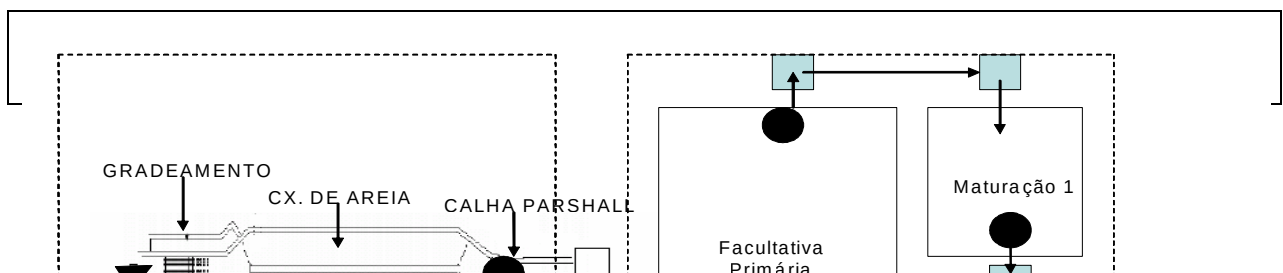
- a) simples: uma única amostra no ponto de coleta;
- b) composta: várias amostras coletadas no mesmo ponto, em horários diferentes.

O planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores e os procedimentos para a preservação de amostras e técnicas de amostragem são descritos pelas normas NBR 9897/87 e NBR 9898/87 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1987a; 1987b).

A FEAM (2005); todavia, cita alguns cuidados a serem tomados, por ocasião da coleta:

- O ponto de coleta deve ser, sempre que possível, um ponto de turbulência, de modo a obter-se boa mistura;
- A coleta de uma amostra deve ser feita a alguns centímetros abaixo do nível da água, evitando-se, assim, a influência dos sólidos flutuantes, que tornariam a amostra não significativa;
- As amostras nem sempre poderão ser rapidamente analisadas, sendo, nesses casos, necessário preservá-las em recipientes com gelo, até o momento da análise, de tal forma que as características do esgoto não sejam alteradas;
- Os pontos de amostragem deverão ser locais de fácil acesso, simples de serem identificados e selecionados de modo que caracterizem a evolução do tratamento;
- É essencial a utilização dos EPIs para coletar as amostras.

A Figura 10 mostra os pontos principais de amostragem, num sistema de lagoas de estabilização, recomendados para coleta de análise, monitoramento e avaliação de parâmetros.



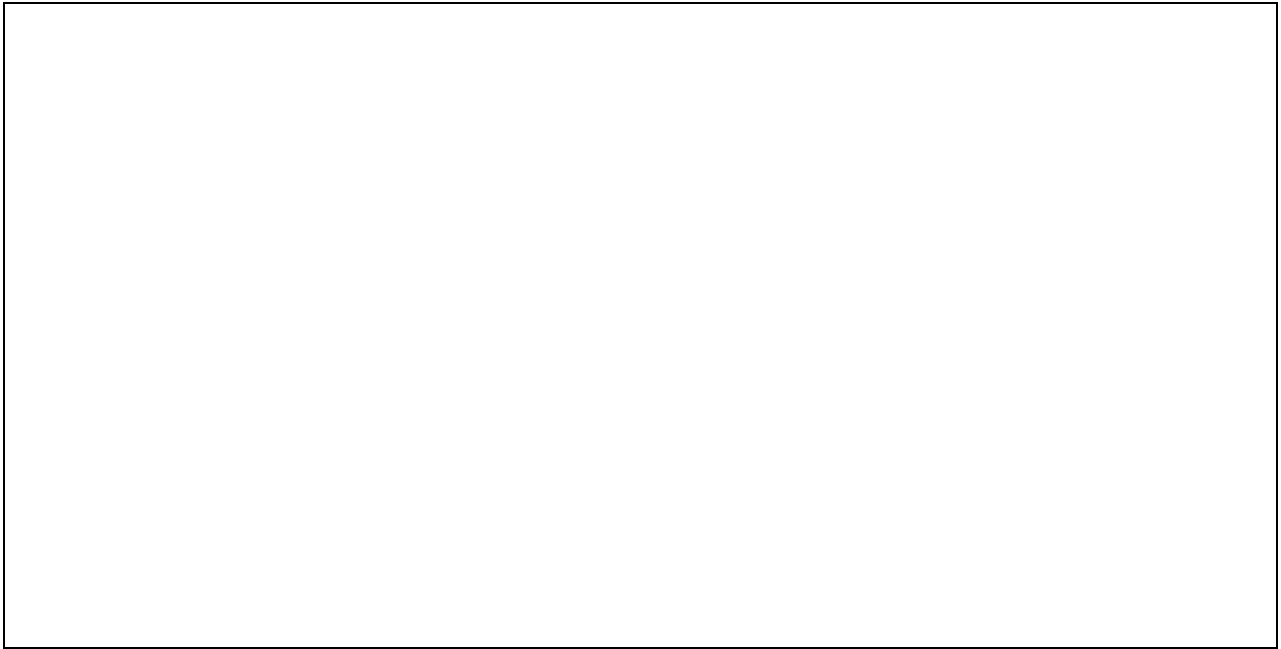


Figura 10 – Pontos de coleta de amostragem em lagoas de estabilização.

2.4 Sistema de Informação Georreferenciado – SIG

O geoprocessamento é uma forma de raciocínio espacial, tendo como melhor instrumento para expressar esse raciocínio o Sistema de Informação Geográfica - SIG, onde dados que possuam um componente espacial, uma localização determinável, podem ser manuseados, armazenados e analisados por um programa de computação gráfica. Tecnicamente falando, pode-se dizer que um SIG é uma caixa de ferramentas digitais para coleta, busca, transformação e exposição de dados espaciais (dados com uma posição x , y e z).

Para Silveira (2006), a aplicação de técnicas de geoprocessamento em sistemas de tratamento de esgotos permite uma maior eficácia na execução de planos de operação e manutenção dos sistemas. De acordo com Cunha (2001), o SIG é destinado ao processamento de dados georreferenciados desde a sua coleta até à geração de produtos como mapas, relatórios e arquivos digitais, oferecendo recursos para armazenamento, gerenciamento, manipulação e análise dos dados.

Ivo (2001) expõe que a localização é o principal atributo para a relação objeto/espço geográfico, sem o qual uma ferramenta SIG perde sua função, pois esse elemento é que torna possível o objeto ser cartografado. Daí o termo 'georreferenciado', que relaciona a posição geográfica de cada geo-objeto.

O que caracteriza um SIG é a integração, numa única base de dados de informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno, entre outros, oferecendo mecanismos para combinar essas informações através de módulos de manipulação e análise, que permitem consultas, recuperação e visualização do conteúdo da base de dados, além da geração de mapas”.

Os sistemas de informação georreferenciado, por se tratarem de sistemas que interligam informações contidas em banco de dados específico a uma base cartográfica, vêm se consolidando como uma ferramenta de gerenciamento do espaço geográfico, dando subsídios para a tomada de decisões quando se trata de gestão de recursos espacializados. A sua aplicação voltada para o meio ambiente contempla estudos centrados em análises de impactados ambientais, planejamento urbanos, delimitação de área de proteção ambiental etc.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo compreende o estado do Rio Grande do Norte, cujas coordenadas geográficas são: Extremo Norte: 4°49'53''S e 37°15'11''W; Extremo Sul: 6°58'57''S e 36°43'01''W; Extremo Leste: 6°29'18''S e 35°58'03''W e Extremo Oeste: 6°23'23''S e 38°36'12''W , apresentando uma distância de leste/oeste de 403km e norte/sul de 233km. Essa área está situada na porção nordeste do Brasil, abrangendo uma superfície de 53.306 km², o que corresponde a 0,62% do território nacional e 3,41% da Região Nordeste.

O Estado é composto por 167 municípios, com uma população de 2.771.538 habitantes (ATLAS, 2004). A pesquisa abrange 51 municípios que coletam e tratam seus esgotos por meio de lagoas de estabilização. No entanto, devido ao número elevado de municípios, a caracterização das condições ambientais (climáticas e regionais) não foi feita individualmente, mas conforme a divisão de sete regionais, proposta pela CAERN, dos sistemas de tratamento de esgoto, com as suas características sintetizadas no Quadro 18, conforme dados extraídos de ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE, 1998; IBGE, 2000; ATLAS, 2004; EMPARN, 2006 e CAERN, 2006, uma vez que, considerando os três órgãos de gerenciamento do saneamento básico no Estado do RN, atualmente, há um total de 78 sistemas, operados com essa modalidade de tratamento de esgoto, conforme detalha o Quadro 19.

Item	Caracterização da área	REGIONAIS						
		ASSU	CAICÓ	L.NORTE	L.SUL	MOSSORO	NATAL	P.FERROS
01	Nº Municípios	18	24	29	43	13	02	38
02	Município com lagoas estabilização/Quantidade de ETES	08/09	10/17	09/10	13/20	01/03	02/11	08/08
2.1	Municípios c/ sistemas estáticos	10	14	20	30	12	02	30
3.0	Clima	Muito quente e semi-árido : BSw'h' (Koppen)	Muito quente e semi-árido : BSw'h' (Koppen)	Sub-úmido seco/tropical chuvoso: BSw'h'e As' (Koppen)	Úmido a sub-úmido: As' (Koppen)	Sub-úmido seco: BSw'h' (Koppen)	Sub-úmido: BSw'h' (Koppen)	Sub-úmido: BSw'h' (Koppen)
4.0	Regime Pluviométrico(mm)	500-600	500-600	600 - 800	800 – 1500	600 – 800	800 – 1200	800 – 1200
5.0	T (°C) : mínima, média e máxima	22; 28 e 34	22; 28 e 36	22; 26 e 34	20; 26 e 34	24; 28 e 36	22; 26 e 34	22; 28 e 36
6.0	Umidade relativa do ar (%)	60 – 70	60	70 - 80	70 - 80	60 - 70	70 - 80	60 - 70
7.0	Característica topográfica	Depressão sertaneja e relevo tabular	Depressão sertaneja/Planalto da Borborema	Tabuleiros costeiros/chapadas da serra verde.	Tabuleiros costeiros e planície costeira	Chapada do Apodi	Planície costeira	Depressão sertaneja /Planalto da Borborema
8.0	Características dos ventos	Nulos a médios	Nulos a médio	Nulos a médios.	Nulos a médios	Nulo a moderados	Nulos a médios	Nulos a médios
9.0	Taxa Evapotranspiração(mm/ano)	1600 – 1800	1600 - 1800	1400 - 1600	1200 - 1400	1800 - 2000	1400 - 1600	1600 - 1800
10.0	Crescimento populacional anual (%)	1,99 A 5,99	1,99 a 5,99	1,99 a 7,99	1,99% a 9,99%	1,99 a 3,99	Até 1,99	1,99 a 3,99

Quadro 18 – Caracterização das Regionais propostos pela CAERN na cobertura de esgotamento sanitário do RN.

Item	Regional	ETE	Configuração	ZONA	LONGITUDE	LATITUDE	Município	Operação	Gerenciamento
01	ASSU	São Rafael	$1F_1+1M_1+1M_2$	24	733607	9357905	São Rafael	1989	CAERN
02	ASSU	Afonso Bezerra	$1F_1+1M_1$	24	776119	9392213	Afonso Bezerra	1996	CAERN
03	ASSU	Pedro Avelino	$1F_1+1M_1$	24	788684	9389772	Pedro Avelino	1997	CAERN
04	ASSU	Santana do Matos	$1F_1$	24	758945	9340402	S. do Matos	2002	MUNICÍPIO
05	ASSU	Alto do Rodrigues	$1F_1+1M_1$	24	748331	9414341	A . Rodrigues	1998	CAERN
06	ASSU	Alagado	$1F_1+1M_1+1M_2$	24	740505	9409240	Carnaubais	2004	CAERN
07	ASSU	Alto da Alegria	$1F_1+1F_1$	24	765236	9374126	Angicos	1991	MUNICIPIO
08	ASSU	Ilha de Santana	$1F_1+1M_1+1M_2$	24	762153	9433319	Macau	1996	CAERN
09	ASSU	Macauzinho/COAB	$1F_1$	24	769981	9430339	Macau	1995	CAERN
10	CAICÓ	Jucurutu	$1F_1+1M_1+1M_2$	24	719878	9332520	Jucurutu	1996	CAERN
11	CAICÓ	Açude do Café	$1F_1+1M_1+1M_2$	24	740982	9321823	Florânia	1987	CAERN
12	CAICÓ	Jesus Menino	$1F_1+1M_1$	24	780547	9325122	Lagoa Nova	1998	CAERN
13	CAICÓ	Aécio Batista	$1F_1+1M_1+1M_2$	24	677508	9263309	Serra N. Norte	1994	MUNICIPIO
14	CAICÓ	Castelo Branco	$1F_1$	24	712342	9283619	Caicó	1985	CAERN
15	CAICÓ	Vila do Príncipe	$1F_1+1M_1$	24	710211	9286445	Caicó	1982	CAERN
16	CAICÓ	Cemitério	$1F_1+1M_1+1M_2$	24	750750	9249706	S. do Seridó	2002	CAERN
17	CAICÓ	Sítio Santana	$1F_1+1M_1+1M_2$	24	749895	9250982	S. do Seridó	2002	CAERN
18	CAICÓ	Dinarte Mariz	$1F_1$	24	758765	9260612	Parelhas	1995	CAERN
19	CAICÓ	Bacia 2	$1TS + 1F_2$	24	758887	9260540	Parelhas	1987	CAERN
20	CAICÓ	Bacia 3	$1TS + 1F_2$	24	758329	9260835	Parelhas	1986	CAERN
21	CAICÓ	São José do Seridó	$1TS + 1F_2$	24	734758	9286274	São J. do Seridó	1988	CAERN
22	CAICÓ	Bulhões	$1F_1+1M_1$	24	760453	9285792	Acari	2003	CAERN
23	CAICÓ	Agrícola	$1TS + 1F_2$	24	773534	9308303	Currais Novos	1983	CAERN
24	CAICÓ	Belota	$1TS + 1F_2$	24	773618	9307777	Currais Novos	1985	CAERN
25	CAICÓ	Agenor Maria	$1F_1$	24	775032	9305671	Currais Novos	1986	CAERN
26	CAICÓ	Mane Mago	$1F_1$	24	775072	9305652	Currais Novos	1998	CAERN
27	L.NORTE	Lajes	$1F_1+1M_1$	24	805819	9370247	Lajes	2005	CAERN
28	L.NORTE	São Tomé	$1F_1$	24	824421	9338871	São Tomé	2003	CAERN
29	L.NORTE	Parazinho	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	185543	9422347	Parazinho	2001	CAERN
30	L.NORTE	Riachuelo	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	187091	9355954	Riachuelo	1996	CAERN
31	L.NORTE	Caiçara	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	168205	9362661	C. Rio Ventos	2002	CAERN

Quadro 19 – Continuação.

32	L.NORTE	Juremal	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	193978	9349213	S. Paulo Potengi	2002	CAERN
33	L.NORTE	Touros	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	227593	9424306	Touros	2000	SAAE
34	L.NORTE	Jaçanã	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	233405	9375998	Ceará-Mirim	1999	SAAE
35	L.NORTE	Ielmo Marinho	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	217231	9355916	Ielmo Marinho	2006	MUNICÍPIO
36	L.NORTE	Do Aterro	$1L_D+1A+1F_2+1F_3$	25	235856	9368325	Ceará-Mirim	2004	MUNICÍPIO
37	L.SUL	Santo Antonio	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	226224	9301577	Santo Antônio	2004	CAERN
38	L.SUL	São Miguel	$1F_1+1F_2+1M_1$	24	830415	9309047	Santa Cruz	2005	SAAE
39	L.SUL	Boa Saúde	$1F_1+1M_1$	25	212331	9318664	Boa Saúde	1990	MUNICÍPIO
40	L.SUL	Novo Horizonte	$1F_1+1M_1$	25	241237	9328755	Monte Alegre	1995	CAERN
41	L.SUL	Lages Pintadas	$1F_1+1M_1$	24	819350	9319104	Lajes Pintadas	2000	CAERN
42	L.SUL	Campo I	$1F_1$	24	812045	9309806	Campo Redondo	1987	CAERN
43	L.SUL	Campo II	$1F_1$	24	811939	9309591	Campo Redondo	1989	CAERN
44	L.SUL	Campestre	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	199990	9300321	S. J. Campestre	2001	CAERN
45	L.SUL	Passa e Fica	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	206661	9289532	Passa e Fica	2002	CAERN
46	L.SUL	Mipibu	$1F_1+1M_1$	25	252499	9327238	S. J. de Mipibu	2000	CAERN
47	L.SUL	Pipa	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	271298	9310097	Timbaú do Sul	2003	CAERN
48	L.SUL	Roça	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	254902	9287088	Pedro Velho	2005	CAERN
49	L.SUL	Cidade	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	253900	9287716	Pedro Velho	2002	MUNICÍPIO
50	L.SUL	Capim	$1F_1+1M_1$	25	190041	9313242	Tangará	1997	MUNICÍPIO
51	L.SUL	Estrada Campestre	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	190428	9313385	Tangará	1998	MUNICÍPIO
52	L.SUL	Morro	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	190428	9313385	Tangará	2005	MUNICÍPIO
53	L.SUL	Antiga	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	190517	9313976	Tangará	1990	MUNICÍPIO
54	L.SUL	Catolé I	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	194181	9319510	Tangará	2006	MUNICÍPIO
55	L.SUL	Catolé II	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	193475	9319633	Tangará	2005	MUNICÍPIO
56	L.SUL	São Bento Traíri	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	844035	9349086	São Bento Traíri	2001	SAAE
57	MOSSORÓ	Malvinas	$1TS + 1F_2 + 1M_2$	24	686184	9421796	Mossoró	1997	CAERN
58	MOSSORÓ	Cajazeiras	$2F_1+2M_1$	24	686174	9429623	Mossoró	1995	CAERN
59	MOSSORÓ	Vix-Sept Rosado	$1F_1+1M_1$	24	686972	9425102	Mossoró	1999	CAERN
60	NATAL	Ponta Negra	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	255332	9358978	Natal	2001	CAERN
61	NATAL	Quintas I	$1F_1$	25	252645	9358823	Natal	1998	CAERN
62	NATAL	Quintas II	$1F_1$	25	253187	9358936	Natal	1999	CAERN

Quadro 19 – Continuação									
63	NATAL	Aerada Km 6	$1F_{aer}$	25	251552	9357559	Natal	1999	CAERN
64	NATAL	Jardim Lola I	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	250330	9360587	Natal	1998	CAERN
65	NATAL	Jardim Lola II	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	249628	9360679	Natal	1998	CAERN
66	NATAL	Beira Rio (Igapó)	$1F_1+1M_1+1M_2$	25	251042	9361066	Natal	1995	CAERN
67	NATAL	Distrito Industrial	$1F_{aer\ 1}+1Faer_2+1M_1$	25	246924	9364273	Natal	2006	CAERN
68	NATAL	Bairro Nordeste	$1F_1+1M_1$	25	252530	9358068	Natal	1997	CAERN
69	NATAL	Felipe Camarão	$1A_1+1A_2+1F_2+M_1$	25	253044	9358068	Natal	1998	CAERN
70	NATAL	Guarapes	$1A_1+1F_2+M_1$	25	252024	9358068	Natal	2001	CAERN
71	P.FERROS	Severiano	$1F_1+1M_1+1M_2$	24	569302	9325975	Dr. Severiano	2005	CAERN
72	P.FERROS	Rafael Fernandes	$1F_1+1M_1+1M_2$	24	585613	9314100	R. Fernandes	2006	CAERN
73	P.FERROS	P. Oeste	$1F_1$	24	591462	9319987	Pau dos Ferros	1998	CAERN
74	P.FERROS	Riacho da Cruz	$1F_1+1M_1+1M_2$	24	616732	9344359	Riacho da Cruz	2003	CAERN
75	P.FERROS	Antônio Martins	$1F_1+1M_1+1M_2$	24	622741	9313082	Antônio Martins	2006	CAERN
76	P.FERROS	Zé da Penha	$1F_1+1M_1$	24	570847	9302337	José da Penha	2000	CAERN
77	P.FERROS	Lucrécia	$1A+1F_2+1M_1$	24	631479	9324058	Lucrécia	1993	CAERN
78	P.FERROS	Severiano Melo	$1F_1+1M_1+1M_2$	24	625752	9346559	Severiano Melo	2006	CAERN

Legenda: F_1 = Lagoa facultativa primária; F_1+M_1 = (Lagoa facultativa primária seguida por uma lagoa de maturação); $F_1+M_1+M_2$ = (Lagoa facultativa primária, seguida por duas lagoas de maturação, sendo uma primária e outra secundária); $1A +F_2+M_1$ = (Lagoa anaeróbia, seguida por uma lagoa facultativa secundária e uma maturação primária); $Ts+F_2$ = (Tanque séptico seguido por uma lagoa facultativa secundária); $1F_{aer\ 1}+1Faer_2+1M_2$ = (Lagoa facultativa aerada primária, seguida por uma facultativa aerada secundária e uma maturação primária); $1A_1+1A_2+1F_2+M_1$ = (Lagoa anaeróbia primária, seguida por três lagoas, sendo uma anaeróbia secundária, uma facultativa secundária e uma maturação primária); $1L_D+1A+1F_2+1F_3$ = (Lagoa de decantação, seguida por uma lagoa anaeróbia e duas lagoas facultativa uma secundária e outra terciária); $1F_{aer}$ = (Lagoa facultativa aerada).

Quadro 19 – Sistemas de Lagoas de Estabilização existente no Rio Grande do Norte.

3.2 – Delineamento da Pesquisa

O trabalho está alicerçado na identificação de todos os sistemas de tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização, em operação no Rio Grande do Norte. A identificação servirá para diagnosticar a eficiência operacional, através de dados quantitativos e qualitativos da operação de lagoas de estabilização, conforme o seguinte roteiro sucinto, mostrado na Figura 11.

Para as análises quantitativas, foi elaborado e aplicado um questionário/planilha referente a essa modalidade de sistema de tratamento de esgoto, por ocasião da visita, *in loco*, aos 78 sistemas de lagoas de estabilização no RN, com a finalidade de quantificar o número de ETEs com funcionabilidade adequada, diagnosticando a eficiência operacional no que concerne a remoção de DBO e Coliformes Termotolerantes. Através da construção do SIG, foi alimentado e manipulado o banco de dados desta ferramenta.

Para as análises qualitativas, após diagnósticos dos sistemas de tratamentos de esgotos estudados, fez-se um estudo de caso, em escala real, de três ETEs, uma para cada esfera de gerenciamento: Estado (CAERN), Município e SAAE, onde foram realizadas as coletas de amostras de esgotos, num período de 03(três) meses de monitoramento: agosto/2006 a outubro/2006.

A realização da pesquisa deu-se em três etapas:

- 1ª ETAPA: Diagnóstico Operacional de lagoas de estabilização do RN;
- 2ª ETAPA: Construção e alimentação do banco de dados do SIG;
- 3ª ETAPA: Estudo de Caso.

3.2.1 – 1ª ETAPA: Diagnóstico Operacional de Lagoas de Estabilização do RN

A realização do diagnóstico operacional das lagoas de estabilização do Rio Grande do Norte deu-se em cinco momentos:

Inicialmente, foi realizado um levantamento, junto à Divisão de Arquivos e de Laboratório da CAERN e a alguns SAAEs, de todos os dados de projetos e de operação das ETEs, por meio de Lagoas de Estabilização em operação no Rio Grande do Norte. Esses dados possibilitaram a elaboração da relação de lagoas de estabilização, existentes no Estado e, a partir desse ponto, a efetivação do cronograma de viagens a todas elas.

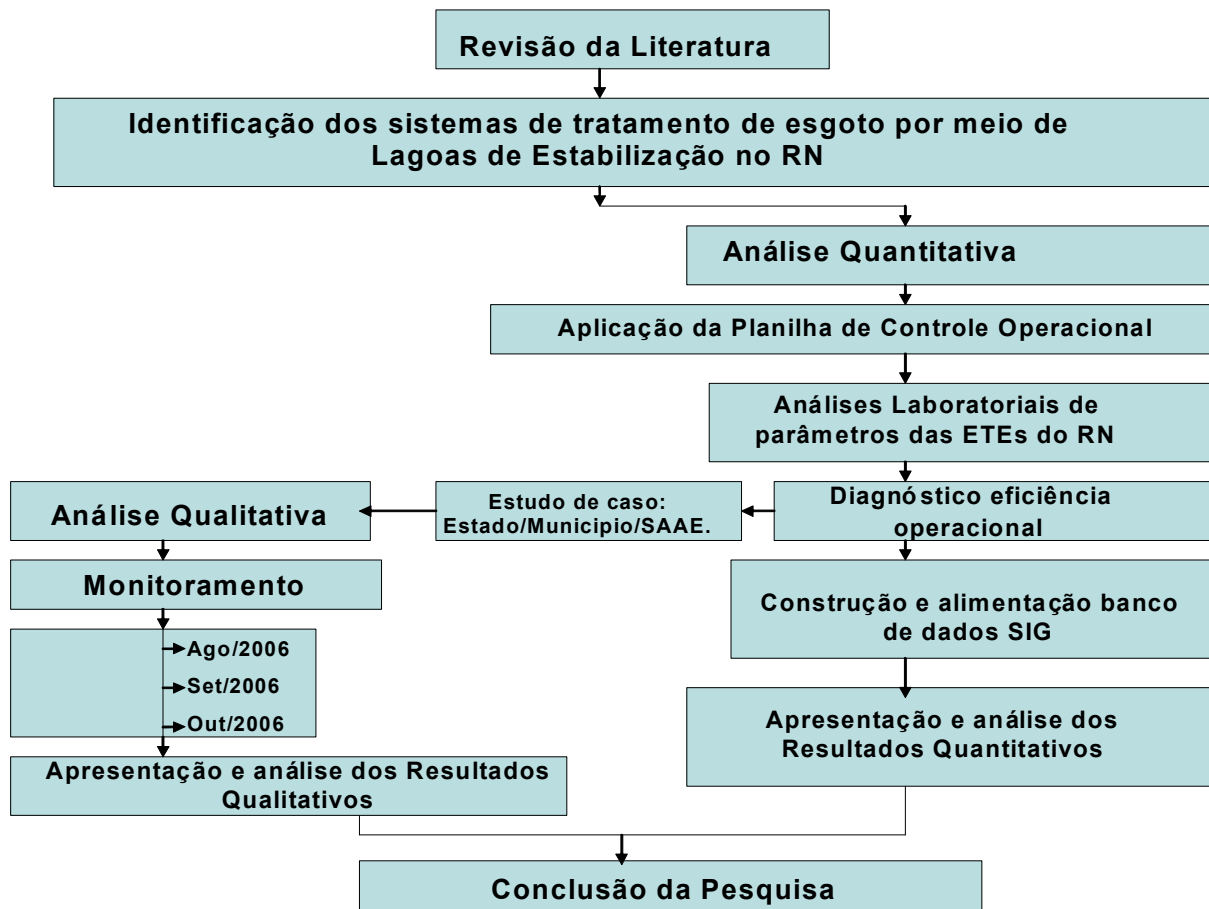


Figura 11 – Fluxograma da metodologia da pesquisa.

O segundo momento foi a realização da visita *in loco*, em todas as 78 lagoas existente no Estado, presentes em 51 municípios. Todas as visitas foram realizadas, em transporte terrestre da Fundação Nacional de Saúde da Coordenação Regional do Rio Grande do Norte – (FUNASA/CORE/RN)-, no período de dezembro de 2005 a julho de 2006. A equipe era composta por um motorista, uma bióloga e o pesquisador. Durante as visitas, foi aplicada de forma direta, a Planilha de Controle Operacional Diário – (PCOD)-, para sistemas de lagoas de estabilização, conforme detalha o Anexo A. Esse anexo mostra um modelo de questionário utilizado para a realização do diagnóstico operacional das 78 ETes. O horário de aplicação do questionário ficou compreendido no intervalo das 7 às 17 h. O tempo gasto para aplicação em cada sistema, foi em média de 1 hora . Vale aqui frisar que todos os sistemas constam de registro fotográfico. Os procedimentos para a aplicação da PCOD são descritos abaixo:

I) Dados Gerais do Sistema

Neste item da PCOD, foram colhidas *in loco* as coordenadas GPS do sistema, nome da ETE, data de aplicação do questionário, como também os nomes dos responsáveis pela operação e aplicação do questionário. Aqui também foi feito um croqui do sistema com suas respectivas dimensões reais.

II) Levantamento de Campo

Aqui foi observado como estava se comportando em termos de operação e funcionalidade do sistema. Também foi possível detectar o destino final do efluente tratado, a periodicidade de operação e manutenção da ETE, o uso de equipamentos de proteção individual do operador, a exclusividade do operador na ETE e o conhecimento em operá-la. Também foi averiguada e medida a distância da ETE em relação à residência mais próxima.

III) Parâmetros Físico-químico de detecção *in loco*

Este item compreende as análises de: altura da lâmina d'água no medidor de vazão, temperatura do esgoto bruto e tratado, níveis da lâmina d'água nas lagoas, medição do pH no esgoto bruto e tratado, medição do OD nas lagoas facultativas e de maturação e medição de sólidos sedimentáveis nas lagoas.

a) Altura da Lâmina d'água no Medidor de Vazão

A altura da lâmina d'água na calha “Pashall” foi medida por uma régua escolar 50cm. Vale salientar que a maioria dos sistemas estudados não dispõe da etapa de tratamento preliminar, compostos de grade, desarenador e calha “Parshall”. No entanto, onde não dispunha de tal tratamento, a lâmina de esgoto foi medida diretamente no diâmetro da tubulação de entrada ou saída das ETEs.

Para o estudo de caso, há em todas as ETEs, sistema preliminar dotado de grade, caixa de areia e calha “Parshall”. A medição do nível do efluente foi feito no tubo medidor da calha “Parshall”, realizada durante um perfil de 14 horas, com o uso do Anexo C, obedecendo aos seguintes horários: 8h, 10h, 12h, 14h, 16h, 18h, 20h e 22h. Essa medição foi aplicada uma única vez, no mês de outubro de 2006, para as três ETEs em estudo. Com isso, foi possível calcular a vazão média de entrada nestas ETEs.

b) Temperatura do Esgoto Bruto e Tratado

A temperatura foi medida com a utilização de um termômetro de filamento de mercúrio, imerso diretamente no esgoto. Para o esgoto bruto, tal medição foi feita após a calha “Parshall” e, nas demais lagoas, foi medido nos pontos de saída de cada lagoa.

c) Níveis das Lâminas d'Água nas Lagoas

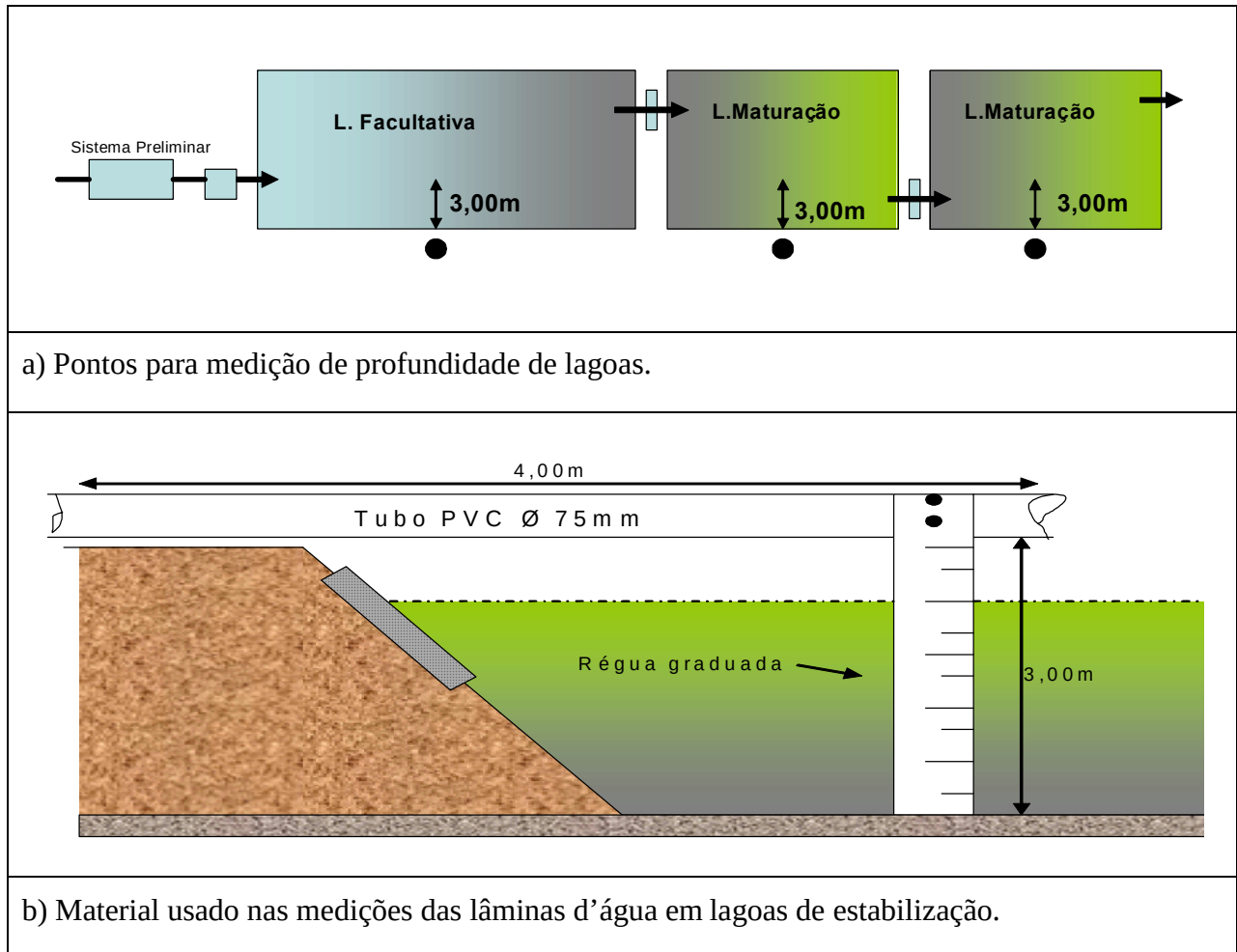


Figura 12 – Localização e materiais usados na medição da altura de lâmina d'água.

Os níveis da lâmina d'água de operação da ETE foram medidos a uma distância de 3,00m da borda e na metade do comprimento de cada lagoa de estabilização, evitando assim medições próximas às entradas dos reatores, devido aos possíveis acúmulos de lodos nesses pontos. A profundidade foi efetuada *in loco*, com uso de 4,00m de tubos de Ø 75mm, tendo na sua extremidade uma régua graduada de 3m, feita artesanalmente, com trena comum, fixada na

madeira e parafusada no tubo de Ø 75mm , conforme mostra a Figura 12. Para esta etapa, a medição foi feita uma única vez.

Para o Estudo de Caso, esse procedimento obedeceu ao período de monitoramento dos sistemas que foi de agosto/2006 a outubro/2006. Sendo aplicado, nos dias de coletas.

d) Medição do pH no Esgoto Bruto e Tratado

O pH foi medido *in loco*, usando-se o aparelho pHmetro DM-2, modelo DIGIMED. No esgoto, os pontos foram medidos após a calha “Pashall” e, nas demais lagoas, sempre na saída, conforme mostra a Figura 10 – Pontos de coleta de amostragem em lagoas de estabilização.

e) Medição do OD nas Lagoas de Estabilização

A medição *in loco* do OD foi realizada usando-se o aparelho oxímetro modelo YSI 55. O resultado, visualizado no próprio equipamento, foi obtido introduzindo-se o eletrodo na amostra em estudo. Nas lagoas facultativas e de maturação, os pontos foram medidos, sempre na saída, conforme mostra a Figura 10 – Pontos de coleta de amostragem em lagoas de estabilização.

f) Medição dos Sólidos Sedimentáveis

A determinação dos sólidos sedimentáveis, foi realizada *in loco*, por meio do Cone Imhoff, durante o período de aplicação da PCOD. Os pontos medidos foram: no esgoto bruto, após a calha “Parshall”, e no efluente das lagoas. O tempo gasto para a realização do ensaio foi de 1 hora

g) Condições Climáticas

As condições climáticas locais foram analisadas a olho nu, sem uso de nenhum equipamento, obedecendo somente às condições meteorológicas do momento e do respectivo local.

O terceiro momento compreende as análises laboratoriais para os parâmetros de DBO, DQO e Coliformes Termotolerantes. Os métodos analíticos utilizados seguiram as recomendações de APHA *et al.* (1998). A Tabela 07 apresenta os parâmetros analisados, os métodos e as referências. No entanto, devido à reduzida disponibilidade de transporte e material, nas análises de laboratório, foi utilizada amostragem simples, realizada uma única vez para cada sistema, no período de janeiro/2004 a setembro/2006. Essas análises não foram realizadas na etapa anterior, devido às distâncias das ETEs ao laboratório, do cronograma das visitas, do

número elevado de amostras e da disponibilidade de material. Das 78 ETEs em operação, 32% delas vinham sendo monitoradas pela CAERN, por constarem de análises laboratoriais, não foi necessário incluí-las nesta fase.

Os parâmetros físico-químico e bacteriológico, métodos usados e referências, constantes na Tabela 07, também foram aplicados para o Estudo de Caso, para os parâmetros de DBO, DQO, OD, pH, Temperatura e Coliformes Termotolerantes.

Tabela 07 – Parâmetros físico - químico e bacteriológico, métodos usados e referências.

PARÂMETROS	MÉTODOS	REFERÊNCIA
pH	Potenciométrico/Eletrométrico	APHA et. al. (1998)
Temperatura	Termômetro de filamento de mercúrio	APHA et. al. (1998)
Oxigênio Dissolvido	Winkler modificado/Iodométrico	APHA et. al. (1998)
Termotolerantes	Membrana de filtração	APHA et. al. (1998)
DBO	Frascos padrões	APHA et. al. (1998)
DQO	Refluxação fechada	APHA et. al. (1998)

O quarto momento compreende o diagnóstico da eficiência propriamente dita de cada sistema, uma vez que, de posse de todos os dados operacionais, realizados na etapa anterior, fez-se a avaliação da eficiência da ETE, aplicando-se a planilha constante no Anexo B. Essa planilha detalha parâmetros de projetos com os parâmetros operacionais determinados *in loco* ou em laboratório. Nessa mesma etapa, através dos resultados obtidos em laboratório dos parâmetros de DBO e coliformes, estes foram analisados, para a prática de reúso e/ou lançamento no corpo receptor qualquer ou até mesmo sobre o solo. Para a elaboração do diagnóstico da eficiência das ETEs, convencionou-se atribuir os seguintes conceitos, conforme os resultados encontrados nas ETEs, dentro da faixa estabelecida:

Tabela 08 – Conceitos atribuídos aos diagnósticos de eficiências das ETEs no RN.

Conceito		Faixa Considerada	Eficiência Esperada (%)
BOM	DBO	$DBO \leq 50\text{mg/L}$	$\geq 80\%$
	Coliformes Termotolerantes	$CT \leq 10^3 \text{ CT/100ml}$	$\geq 3 \text{ log}$
MÉDIO	DBO	$50 \text{ mg/L} \leq DBO < 180\text{mg/L}$	60% a 79%
	Coliformes Termotolerantes	$10^3 \text{ CF/100ml} \leq CT < 10^4 \text{ CF/100ml}$	1 – 2 log
RUIM	DBO	$DBO > 180\text{mg/L}$	$< 60\%$
	Coliformes Termotolerantes	$CT > 10^4 \text{ CT/100ml}$	$< 1 \text{ log}$

O limite inferior atribuído aos conceitos refere-se ao padrão de lançamento de Coliformes Termotolerantes, que, segundo o CONAMA 357/2005, limita em 10^3 CF/100ml , para rios de Classe 3, tendo como finalidade dessedentação de animais, e limita em $\leq 10^4 \text{ CF/100ml}$, para demais usos, inclusive na irrigação. Para Ceballos (2005), há padrões bacteriológicos 10 vezes menos restritivos, usados para irrigação, na maioria dos rios e lagos do mundo, com valores oscilando de 10^3 a 10^4 CT/100ml . Todavia, para o parâmetro de DBO, o limite de 50mg/L, atribuído ao conceito nas ETEs, refere-se à eficiência máxima para lagoas de estabilização, que, segundo Von Sperling (2005) e Jordão e Pessoa (2005) é de 80 – 85%. Como se trata de tratamento de esgotos predominantemente doméstico, a DBO comumente usada é de 350mg/L, para esgoto bruto.

Também foi identificado para o RN, as Regionais, os Órgãos de Gerenciamento Ambiental as concentrações médias afluentes/efluente de DBO, DQO, Coliformes Termotolerantes, os comportamentos dos parâmetros de pH, T e OD, inclusive as respectivas eficiências e a relação DBO/DQO.

O quinto e último momento desta etapa, compreende o tratamento estatístico. Os resultados obtidos durante a aplicação do diagnóstico operacional das lagoas do RN, como para o Estudo de Caso, foram estruturados em planilha eletrônica do Microsoft Excel e submetidos ao tratamento

estatístico através do Programa *Statistic for Windows* 6.0, versão 2002, de modo a se verificar a correlação dos valores encontrados.

Os dados foram submetidos à estatística descritiva para a obtenção dos valores de tendência central (média aritmética e geométrica, mediana), desvio padrão e faixa de variação.

3.2.2 2ª ETAPA: Construção e alimentação de bancos de dados do SIG

Os dados referentes ao diagnóstico operacional das lagoas de estabilização do RN, foram submetidos ao geoprocessamento. Para a realização do diagnóstico operacional, através desta ferramenta, foram implementadas duas etapas. A primeira encarregou-se da coleta de dados em campo, enquanto a segunda empenhou-se no desenvolvimento da plataforma do *SIG* no escritório.

A obtenção dos dados foi feita através de visitas *in loco*, a todos os 78 sistemas de tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização do RN, uma vez que, no ato da visita, foi aplicada a planilha constante no Anexo A, que trata-se da PCOD para Lagoas de Estabilização; ao mesmo tempo, o sistema e suas unidades componentes foram fotografados. Além do preenchimento dessa planilha, incluiu-se a localização geográfica através de GPS, modelo GPS 76 GARMIN, *datum*: Córrego Alegre. Zona 24S e a elaboração de croqui da ETE. Vale frisar que todas as informações *in loco* das ETEs do RN foram acompanhadas de engenheiros e/ou técnicos da CAERN, com o intuito de legitimar a veracidade das informações obtidas.

O geoprocessamento foi feito através do *software* ArcGIS 9.0 da ESRI, tanto para sua manipulação, quanto para a consulta dos dados obtidos, criando-se assim um novo banco de dados (Figura 13). Além da PCOD, mostrada através do Anexo A, outros itens a respeito de cada ETE foram incluídos, como fotos, diagnóstico da eficiência de cada ETE, destino do efluente tratado (lançado sobre o solo ou num corpo receptor etc.). A interface utilizada permite que essas informações também sejam visualizadas, através de um sistema de *hiperlinks*.

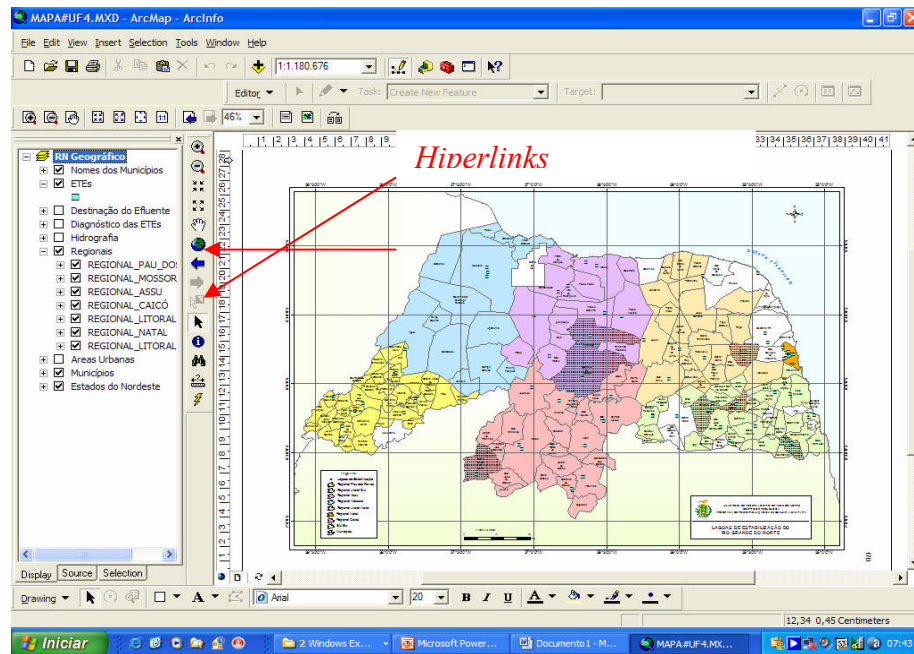


Figura 13 - Plataforma elaborada utilizando o *software* ArcGIS 9.0.

Para a entrada de dados e atualização do sistema, utilizou-se o Programa de Banco de Dados Microsoft Access 2002, interligado ao ArcGIS, gerando assim uma forma de atualização automática do sistema. As ferramentas contidas no GIS permitem que um banco de dados de cada ETes seja acessado a partir de sua plataforma (Figura 14).



Figura 14 - Acesso do banco de dados através do GIS.

3.2.3 3ª ETAPA: Estudo de caso

A terceira e última etapa da pesquisa refere-se ao estudo de caso, onde se analisou a eficiência, em termo de qualidade, do efluente lançado no corpo receptor, a operação propriamente dita em 3 (três) ETEs operadas por meio de lagoas de estabilização e a eficiência na remoção de DBO, DQO e Coliformes Termotolerantes, considerando 1 (uma) ETE por cada órgão de gerenciamento ambiental : Estado, Município e SAAEs. Estas ETEs foram escolhidas, obedecendo-se aos seguintes critérios:

- Distâncias das ETEs ao Laboratório de realização das análises;
- Órgão de gerenciamento ambiental. Uma ETE para cada esfera administrativa: Estado, Município e SAAE;
- ETE com etapa de tratamento preliminar, composto de grade, caixa de areia e calha “Parshall”.

De acordo com os critérios adotados, foram escolhidas para Estudo de Casos, as seguintes ETEs: “Roça”, “Cidade” e “São Miguel”, conforme mostra o Quadro 20. Esses três sistemas tratam esgotos predominantemente domésticos. Eles pertencem a 02 (duas) regionais e 02 (dois) municípios diferentes, atendendo a uma população de 32.809 habitantes e um total de 7.926,00 ligações (SANTA CRUZ, 2006; IDEMA, 2006).

Órgão gerenciador	ETE	Município	Regional
ESTADO	Roça	Pedro Velho	Litoral Sul
MUNICÍPIO	Cidade	Pedro Velho	Litoral Sul
SAAE	São Miguel	Santa Cruz	Litoral Norte

Quadro 20 – ETEs escolhidas para o estudo de caso.

A coleta de amostras dos efluentes foi feita sempre no horário entre 9 e 11 h, em diferentes dias da semana, sendo visitadas as três ETEs uma vez por semana. As coletas eram feitas em frascos de polipropileno, boca larga, rosqueados, com capacidade de 250 ml, autoclavados e com a tampa protegida com papel laminado. Os frascos eram abertos no momento da coleta, sendo

preenchidos até aproximadamente dois terços do volume, para facilitar a homogeneização das amostras. Estas eram devidamente armazenadas sob refrigeração, em uma caixa de isopor, e enviadas para o Laboratório Central da CAERN para o procedimento das análises, onde, no período da tarde, eram iniciados os ensaios físico-químicos e bacteriológicos. Os parâmetros monitorados nesse período foram: DBO₅, DQO, pH, Temperatura, OD e Coliformes Termotolerantes.

3.2.3.1 Descrição dos Sistemas Experimentais

a) ETE “Roça” e ETE “Cidade” – ESTADO/MUNICÍPIO - PEDRO VELHO/RN

O município, segundo o Censo 2000, tem uma população de 13.518 habitantes, sendo 5.813 habitantes na zona urbana e 7.705 habitantes na zona rural.

Pedro Velho localiza-se entre a margem esquerda da RN-219, que a liga a Canguaretama e Montanhas e à estrada de ferro, ao longo da qual a cidade foi iniciada. De acordo com a CAERN, a área da cidade foi dividida em duas bacias, conforme mostra a Figura 15.

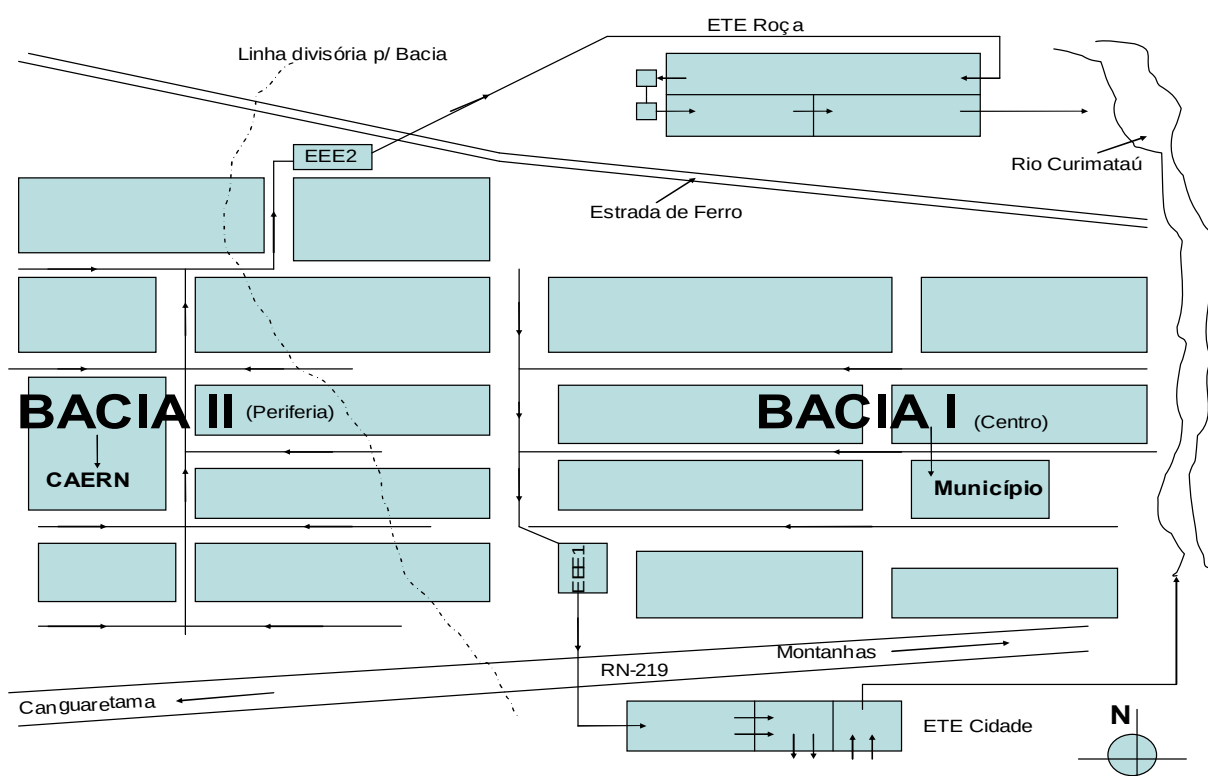


Figura 15 - Croqui esquemático sem escala da cidade de Pedro Velho/RN.

BACIA I: Formada pela região central da cidade, com alta taxa de ocupação, essa bacia atende a 80% da população urbana com sistema de esgotamento sanitário e está em funcionamento desde 2002. O órgão responsável pelo gerenciamento é o município. As características físicas de projeto encontram-se na Tabela 09. Este sistema atende aos bairros “Acampamento” , “Centro” e Conjunto Residencial “José Agripino”. A Figura 16 detalha o sistema da ETE “Cidade”. Esta ETE está a 100m do perímetro urbano.

Atualmente essa ETE vem sendo operada com tratamento preliminar, uma lagoa facultativa primária e duas lagoas de maturação, conforme mostra a Figura 17. O efluente tratado é lançado diretamente no rio Curimataú que dista 200m da ETE, com característica temporária no verão.

Tabela 09 – Características físicas de projeto da ETE “Cidade” – Pedro Velho/RN.

Características	LAGOAS		
	LFP	LM1	LM2
Comprimento (m)	55,50	30,00	30,00
Largura (m)	30,00	16,50	16,50
Profundidade(m)	2,10	1,40	1,40
Área (m ²)	1665,00	495,00	495,00
Volume (m ³)	3496,50	792,00	792,00
TDH (d) de projeto	12,50	3,0	3,0
λ_s (kgDBO/ha.d)	400,00	-	-
Vazão (m ³ /dia)	300,00	-	-
Forma	Retangular	Retangular	Retangular

BACIA II: A ETE “Roça” é um sistema operado pela CAERN (Estado) e encontra-se em funcionamento desde novembro de 2005. Esse sistema localiza-se ao lado esquerdo da estrada principal da cidade e da estrada de ferro. Trata-se de uma área de declividade acentuada; a ETE está a 700m do perímetro urbano. Quando concluídas todas as ligações, atenderá aos 20% restantes na cobertura de rede de esgotamento sanitário da cidade. Hoje, as duas ETEs atendem um percentual de 95%, o equivalente a 1.320 ligações. O Sistema tem a seguinte configuração: sistema preliminar, lagoa facultativa primária e duas lagoas de maturação, conforme detalham a Figura 18 e a Tabela 10, referente às características físicas do projeto da referida ETE. A Figura 19 mostra a ETE em operação.

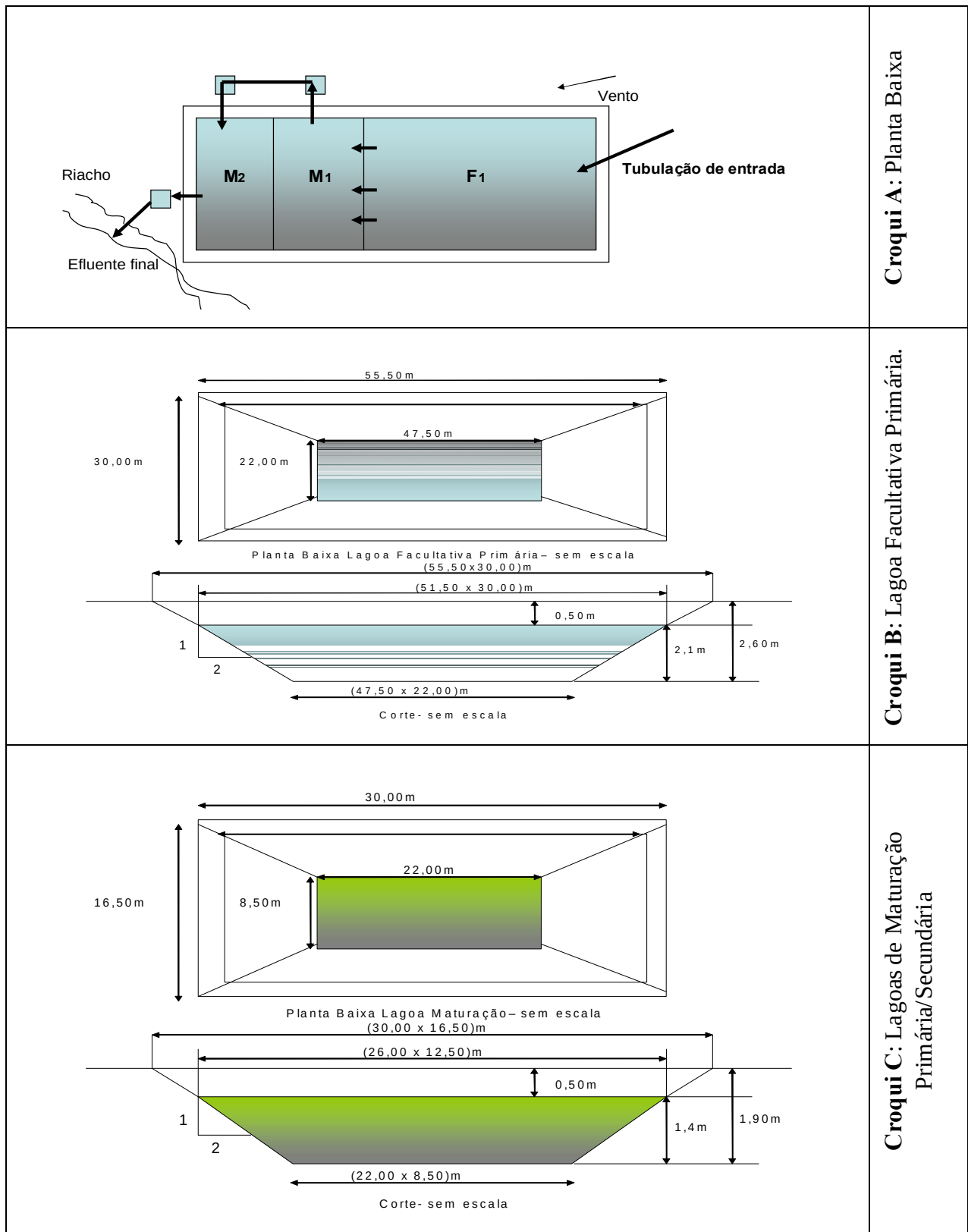


Figura 16 – Croqui da ETE “Cidade” - Pedro Velho/RN.

 	A. Tratamento Preliminar/Entrada na ETE.
	B. Lagoa Facultativa Primária.
 	C. Lagoas de Maturação /Saída da ETE.

Figura 17 – Detalhes da ETE “Cidade” – Pedro Velho/RN.

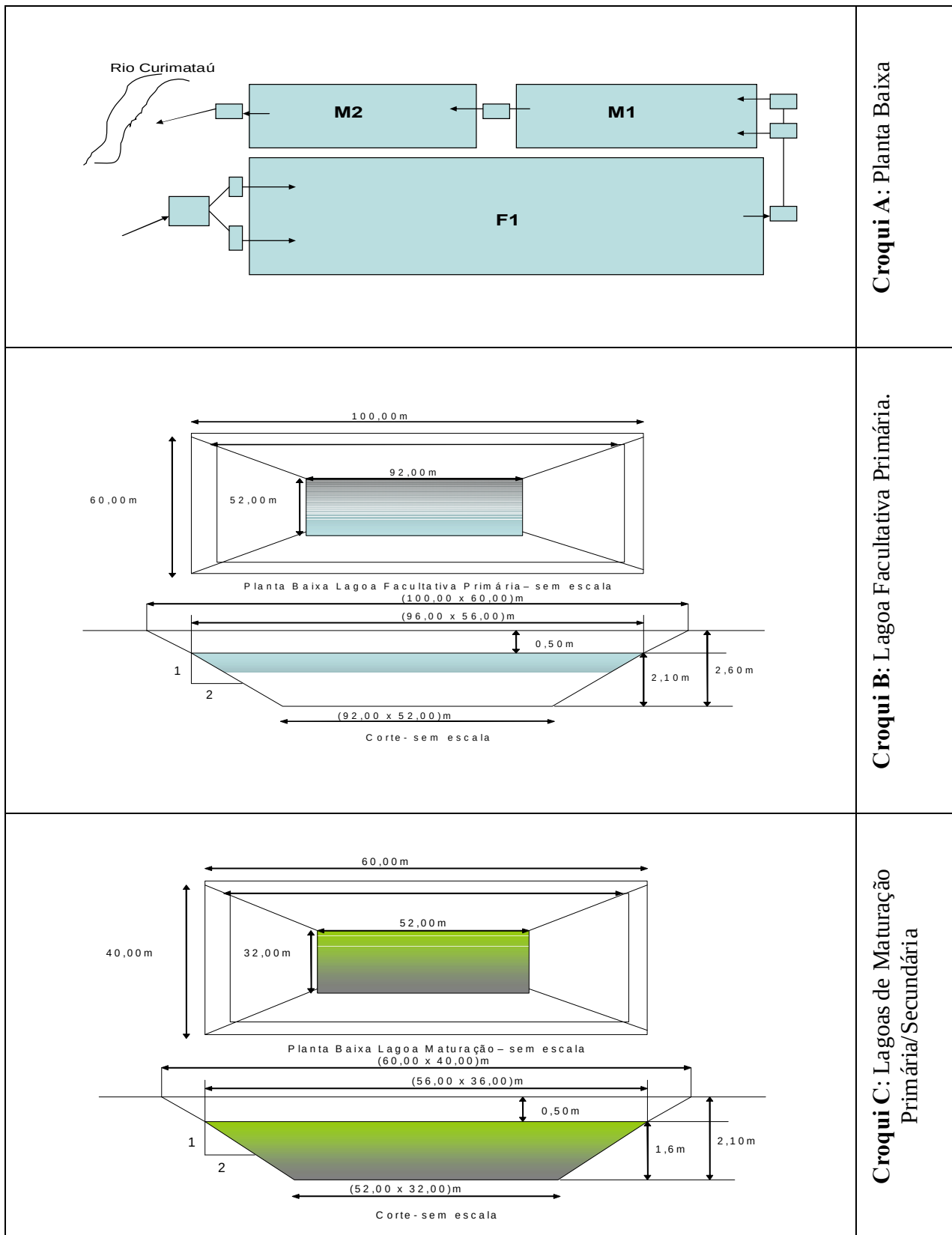


Figura 18 – Croqui da ETE “Roça” – Pedro Velho/RN.

		A. Tratamento Preliminar/Entrada na ETE.
		B. Lagoa Facultativa Primária.
		C. Lagoas de Maturação /Saída da ETE.

Figura 19 – Detalhe da ETE “Roça” – Pedro Velho/RN.

Tabela 10 – Características físicas de projeto da ETE “Roça” – Pedro Velho/RN.

Características	LAGOAS		
	LFP	LM1	LM2
Comprimento (m)	100,00	60,00	60,00
Largura (m)	60,00	40,00	40,00
Profundidade(m)	2,10	1,60	1,60
Área (m²)	6000,00	2400,00	2400,00
Volume (m³)	12600,00	3840,00	3840,00
TDH (d)	15,00	5,0	5,0
λ_s (kgDBO/ha.d)	400,00	-	-
Vazão média (m³/dia)	720,00	-	-
Forma	Retangular	Retangular	Retangular

b) ETE “São Miguel” – SAAE – Santa Cruz/RN

A ETE “São Miguel” é um sistema operado pelo SAAE e encontra-se em funcionamento desde novembro de 2004. Trata-se de uma área de aclividade acentuada. A ETE está a 500m do perímetro urbano. Segundo dados do IBGE (2000), a população total do município de Santa Cruz é de 31.294,00 habitantes. Deste total, 25.594,00 estão na zona urbana e 5.700,00 na zona rural. Quanto aos serviços de saneamento prestados, principalmente no que concerne ao sistema de esgotamento sanitário, Santa Cruz tem hoje 6.606,00 ligações de esgoto, o que corresponde a 63,45% de cobertura (SANTA CRUZ, 2006). O Sistema tem a seguinte configuração: sistema preliminar, lagoa facultativa primária, lagoa facultativa secundária e uma lagoa de maturação, conforme mostram as Figuras 20-21 e detalha a Tabela 11, referente às características físicas de projeto da referida ETE. A Figura 22, mostra a ETE em operação.

Essa ETE encontra-se localizada nas coordenadas L/S: 6°14'33,1''; L/O: 36°00'51,8''. Seus esgotos são predominantemente domésticos e seus efluentes são lançados em corpo receptor hídrico: o Rio Trairí, que têm característica permanente.

Tabela 11 – Características físicas de projeto da ETE “São Miguel” – Santa Cruz/RN.

Características	LAGOAS		
	LFP1	FP2	LM1
Comprimento (m)	209,1	173,30	121,70
Largura (m)	85,90	55,80	51,00
Profundidade(m)	2,10	1,80	1,60
Área (m²)	17961,69	9670,14	6206,70
Volume (m³)	37719,54	17406,25	9930,71
TDH (d)	15,00	10,00	5,00
λ_s (kgDBO/ha.d)	400,00	-	-
Vazão média (m³/dia)	2400,00	-	-
Forma (formato aproximado)	Retangular	Retangular	Retangular

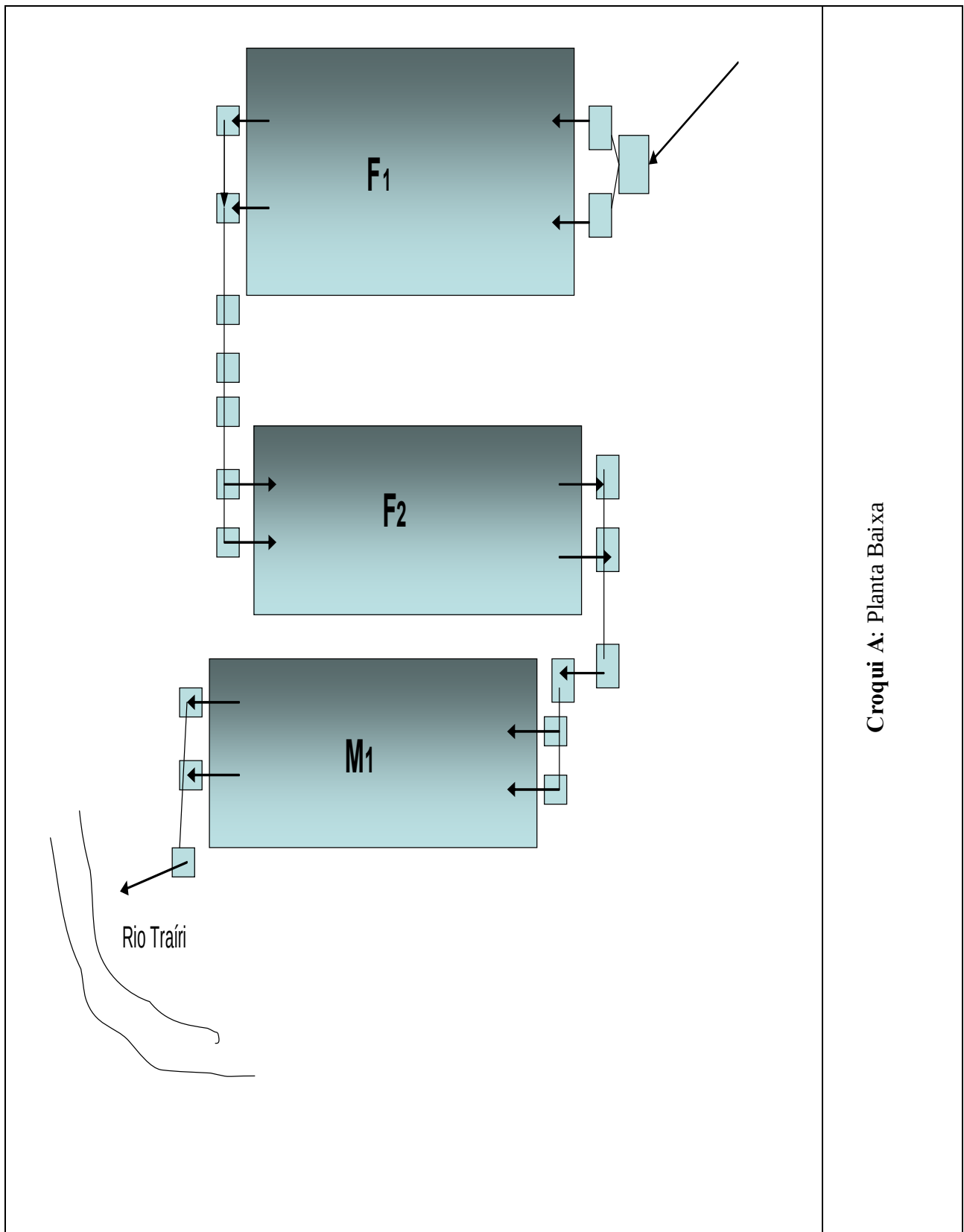


Figura 20 – Croqui da Planta Baixa da ETE “São Miguel” – Santa Cruz/RN.

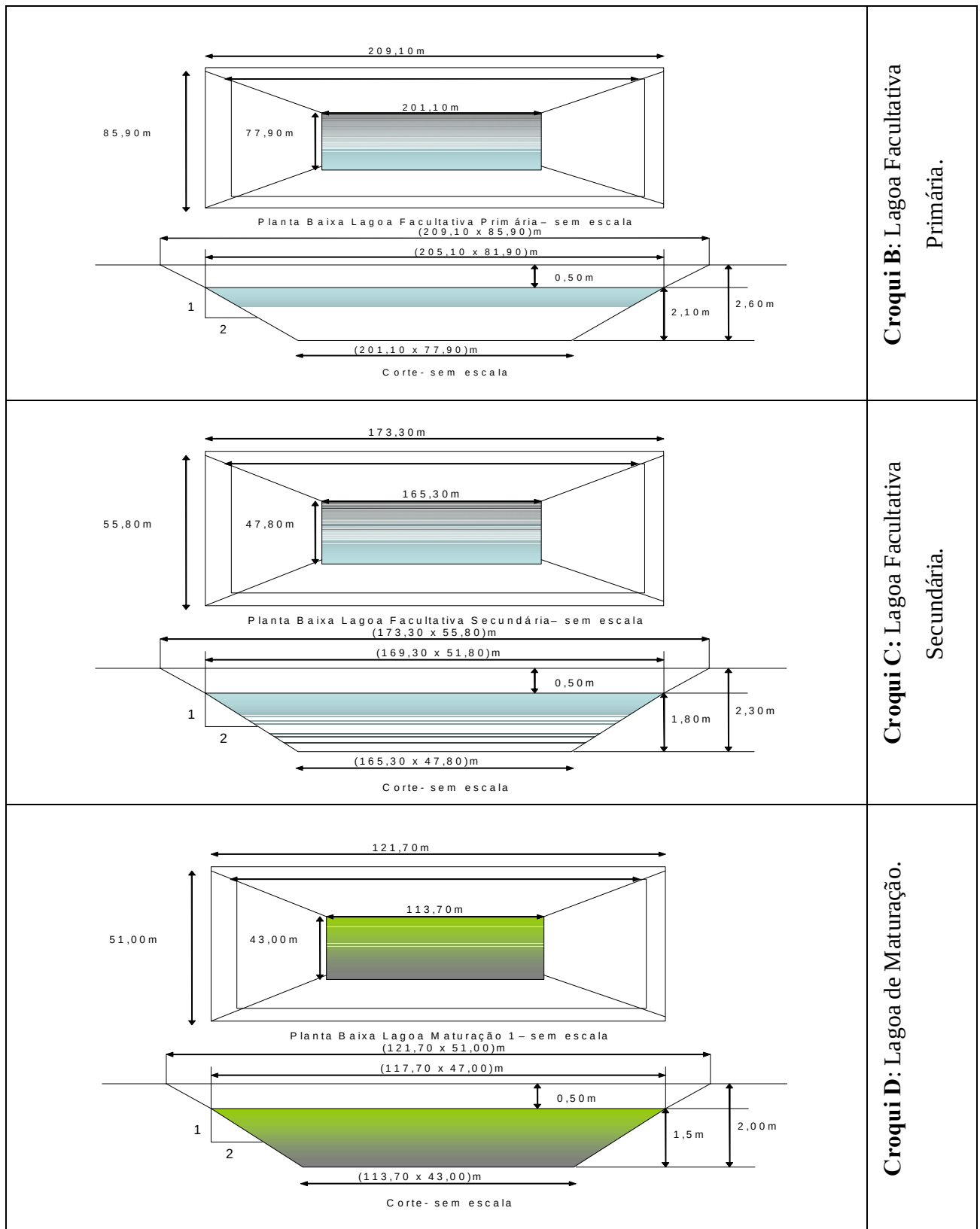


Figura 21 – Croqui da ETE “São Miguel” – Santa Cruz/RN.

		A. Tratamento Preliminar/Entrada na ETE.
		B. Lagoa Facultativa Secundária.
		C. Lagoas de Maturação /Saída da ETE.

Figura 22 – Detalhe da ETE “São Miguel” – Santa Cruz/RN.

4

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados Quantitativos da Pesquisa: Diagnóstico e Caracterização Física dos Sistemas Existentes

Os resultados dos questionários, aplicados através da Planilha, constantes no Anexo A referente a PCOD, são apresentados a seguir.

Desde a introdução do sistema de tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização, no estado do Rio Grande do Norte, no início da década de 80 do século XX, as décadas seguintes mostraram um certo crescimento desse sistema no Estado, conforme mostra a Figura 23, onde é possível observar um pequeno crescimento na primeira década, passando das 12 ETEs, na década de 1980, para 43 ETEs (1990) e 78 ETEs (2000-2006). Esse pequeno crescimento na década introdutória deste tipo de tratamento de esgoto é decorrente de alguns fatores como: o número de municípios com sistema de esgotamento sanitário, o crescimento populacional, a atuação de órgãos ambientais, a predominância de outros tipos de tratamento de esgotos etc.

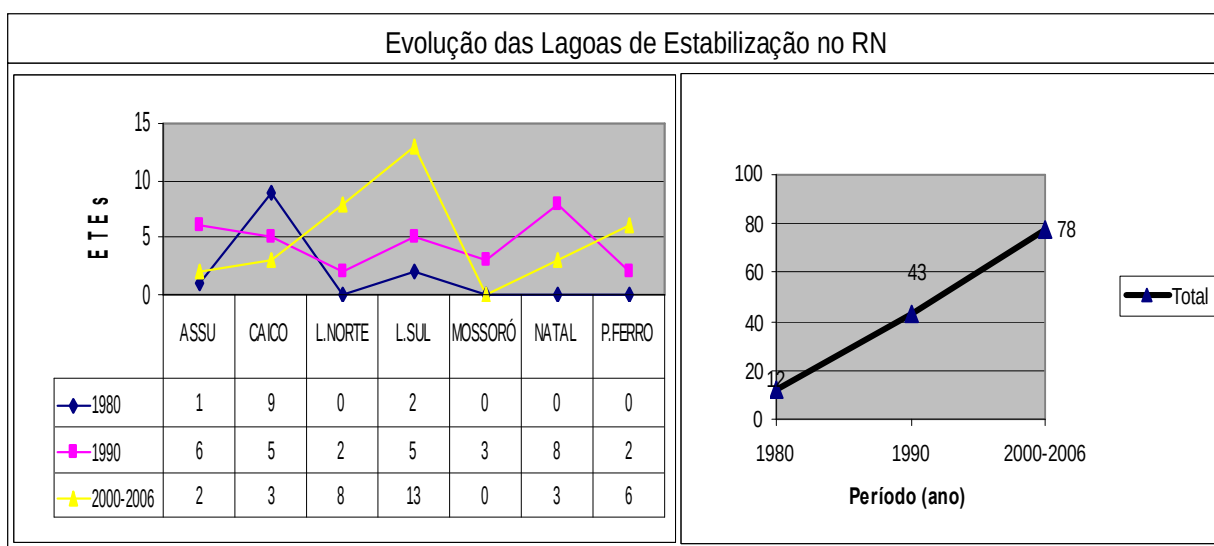


Figura 23 – Crescimento das lagoas de estabilização no RN.

Destas 78 ETEs em funcionamento, 15% têm a configuração de lagoas facultativas primárias, 22% representam a configuração de facultativa primária, seguida de lagoa de maturação primária. No entanto, a configuração predominante no Estado corresponde a lagoa facultativa primária, seguida das lagoas de maturação primária e secundária, tendo um percentual de 46%, totalizando 36 ETEs com essa configuração, conforme detalha a Figura 24¹.

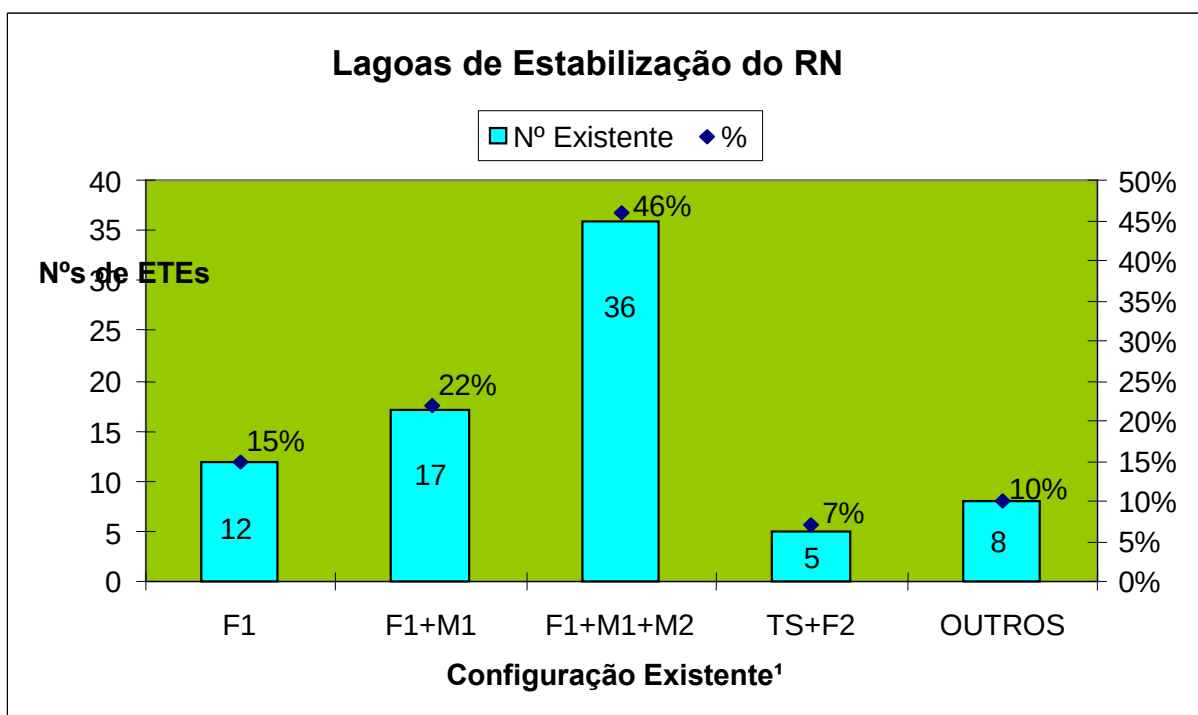


Figura 24 – Lagoas de estabilização do RN e suas configurações.

As justificativas encontradas para as configurações mostradas são decorrentes de vários fatores. As configurações F_1 foram construídas com recursos orçamentários ínfimos, porém aguardam recursos para a sua conclusão, conforme os projetos técnicos previstos, a fim de que possam atender a toda a população e aos parâmetros de projetos. As configurações F_1+M_1 resultam da mesma justificativa apresentada para as F_1 , o que difere é simplesmente a população de projeto. Enquanto a F_1 foi projetada para atender uma comunidade, este tipo de configuração, foi projetada para atender uma ou até duas determinadas bacias ou até mais comunidade. As do tipo $F_1+M_1+M_2$ foram projetadas e concluídas em uma única etapa e atendem geralmente a todas

¹ Para melhor compreensão da Figura 4.2, tem-se: F_1 = Lagoa facultativa primária; F_1+M_1 = Lagoa facultativa primária, seguida por maturação primária; $F_1+M_1+M_2$ = Lagoa facultativa primária, seguida por duas lagoas de maturação primária e outra secundária; T_s+F_2 = Tanque séptico seguido por lagoa facultativa secundária e Outros refere-se ao sistema de tratamento de esgoto por lagoas de estabilização, com outras configurações não muito predominantes.

as bacias do local ou parte de um determinado bairro. As pioneiras $T_s + F_2$, são o tipo predominante para comunidades pequenas, muito usadas no passado, principalmente na região do Seridó norte-rio-grandense, onde concentra a maioria dessa configuração, mas especificamente na região de Caicó. Com o crescimento das cidades e o surgimento de outras técnicas, este modelo encontra-se em desuso pela CAERN, embora, quando bem operada, apresente eficiência do tratamento para DBO equivalente à de uma lagoa anaeróbia seguida por lagoa facultativa.

Os outros tipos de configuração, designados por “Outros”, encontrados nas ETEs por meio de lagoas de estabilização foram: lagoa aerada facultativa (Natal), lagoas aeradas facultativas seguida por lagoas de maturação (Natal), lagoas anaeróbias seguida por lagoas facultativa e maturação (Lucrecia/Natal) e lagoa de decantação seguida por lagoas anaeróbia + duas lagoas facultativas (Ceará-Mirim). A maioria dessas lagoas, enquadradas nessa configuração, foram projetadas com finalidades específicas e todas elas podem ser melhor visualizada no Quadro 19.

4.1.2 Características Operacionais

Hoje, no estado do Rio Grande do Norte, das 78 ETEs funcionando por meio de lagoas de estabilização, presentes nos 51 municípios, apenas 52 delas, conforme Quadro 21, possuem operador. Deste total, 26 “tratam” seus esgotos sem nenhuma operação técnica e monitoramento adequado.

	Números de ETEs		
Com 1 operador		45	
Com 2 operadores		7	
Total		52	

Quadro 21 - Quadro de operadores das ETEs do RN.

Para Von Sperling (2002), em ETEs com população ≤ 10.000 habitantes, faz-se necessária a atuação diária de um operador e de dois trabalhadores braçais. No Rio Grande do Norte, todos os municípios enquadram-se nesta faixa recomendada, embora, na prática, o que observa nos sistemas ausência destes profissionais (operadores) e um certo descaso operacional nesses tipos

de sistemas de tratamento de esgoto. Nas ETEs com operadores, a situação é pouco diferente: muitos desconhecem a operação, não atuam com exclusividade nas ETEs e não usam sequer um EPI, obrigatório para quem atua em ambiente que envolve risco de salubridade humana. Nas ETEs visitadas, o perfil dos operadores pode ser visto na Figura 25 e a situação de trabalho, na Figura 26.

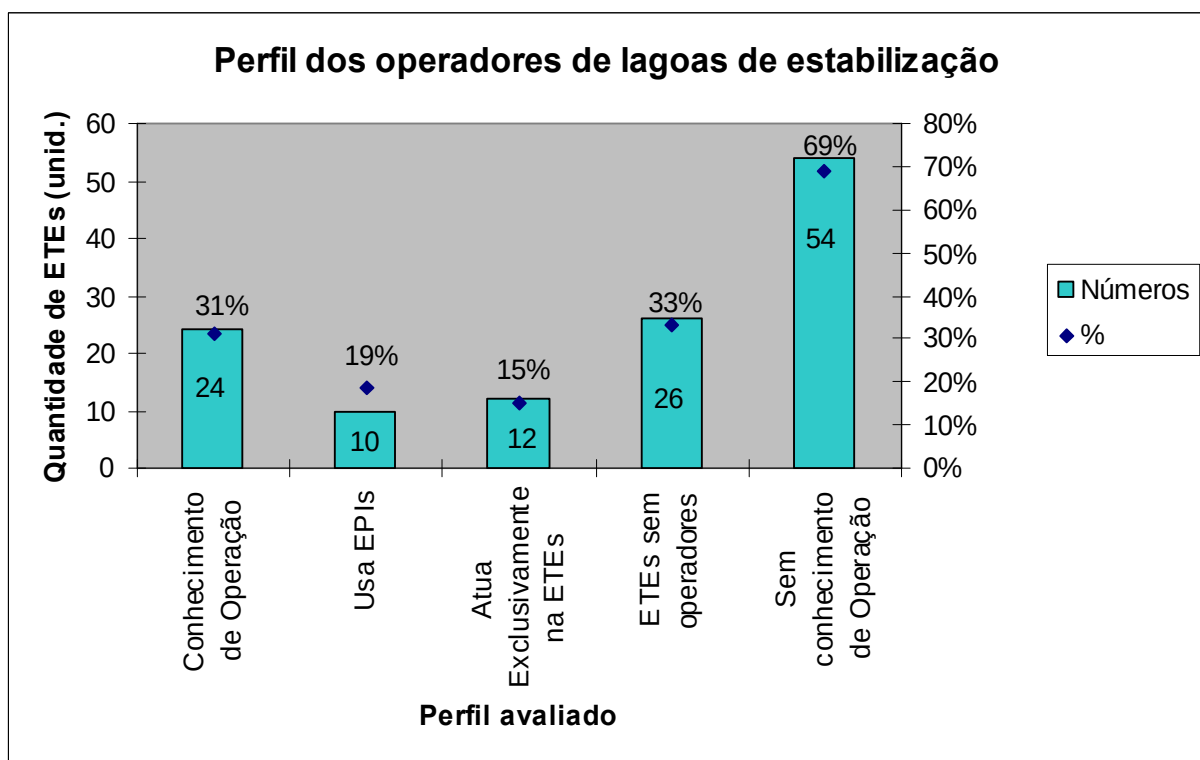


Figura 25 – Perfil dos operadores de lagoas de estabilização do RN.

Este baixo percentual de operadores presentes nas ETEs reflete exatamente o descaso da operação. Embora o tratamento não exija um rigor na operação e manutenção, é imprescindível, a permanência de no mínimo um operador que atue exclusivamente na própria ETE e, concomitantemente, que tenha noções básicas da operação. Na Figura 26, em sentido horário, é fácil perceber o operador com vestimenta inadequada ao trabalho, realizando limpeza na grade, efetuando a remoção de lodo e desobstruindo o gradeamento sem o uso de EPIs devidos.



Figura 26 – Operadores de ETEs sem uso de EPIs e com vestimenta inadequada ao trabalho.

Os operadores avaliados alegaram que a permanência dentro das estações não é exclusiva, devido a outras atribuições no próprio município ou até mesmo negligência por parte de alguns operadores, exceto os que atuam nos SAAEs; outra justificativa apresentada para a operação e manutenção de ETEs por meio de lagoas de estabilização foi: por tratar-se de um processo de tratamento, visto pela maioria dos responsáveis pela manutenção e operação como sendo facultativa. Nas visitas *in loco* às ETEs, o diagnóstico encontrado para o quadro de operadores, por regionais, é o descrito na Figura 27, onde é possível detectar a ausência deste profissional em 26 ETEs por meio de lagoas de estabilização. Esta lacuna profissional interfere diretamente na manutenção e eficiência do sistema de tratamento.

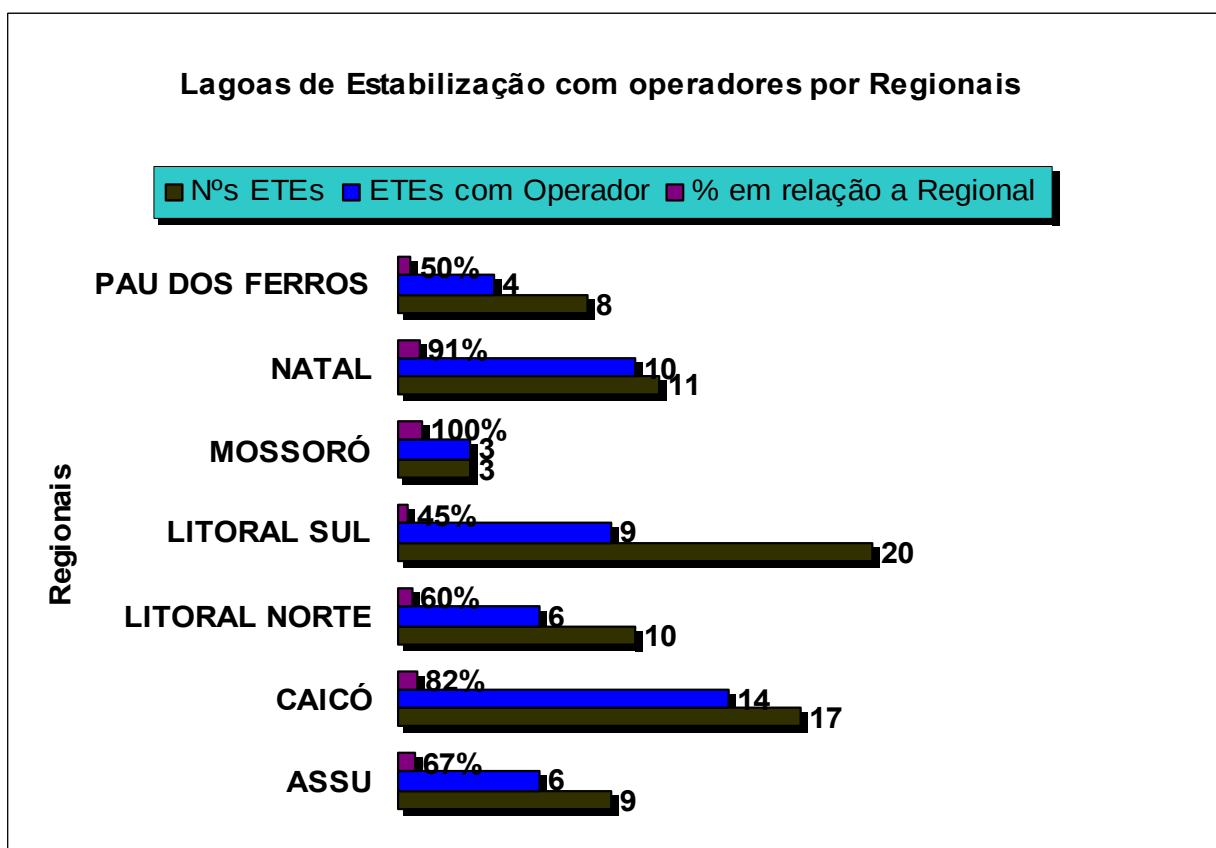


Figura 27 – Quadro de operadores de lagoas de estabilização por regionais.

Das 07 (sete) Regionais existentes, a única que possui operadores em todas as ETES é a “Mossoró”, embora não atuem com exclusividade e dois deles desconhecem a operação básica que este tipo de tratamento exige.

Na Regional “Natal”, que cobre toda a capital do estado do RN, faltam operadores nas ETES, e os poucos que há, embora tenham conhecimento de sua operação, não atuam com exclusividade na estação de tratamento de esgoto. Esta situação é comum na maioria das ETES. Em algumas regionais um mesmo operador atua em mais de uma ETE. Salienta-se aqui que a quantidade aqui mostrada é unívoca, ou seja, o número de operador é quantificado apenas uma única vez.

Quanto à presença de sistema preliminar, sabemos que este é importante, dentro de qualquer sistema de tratamento de esgoto, pois contribui para o aumento da eficiência do sistema nas etapas seguintes, tais como redução do volume de sólidos sedimentáveis, material flutuante estranho não decorrente das reações químicas do processo de tratamento etc. Dentre as ETES visitadas, apenas 38 incluem essa etapa, compostos de grade, caixa de areia e calha “Parshall”,

conforme mostra a Figura 28². Outro item constatado foi a ausência de vertedouros, presentes em apenas 08 ETEs.

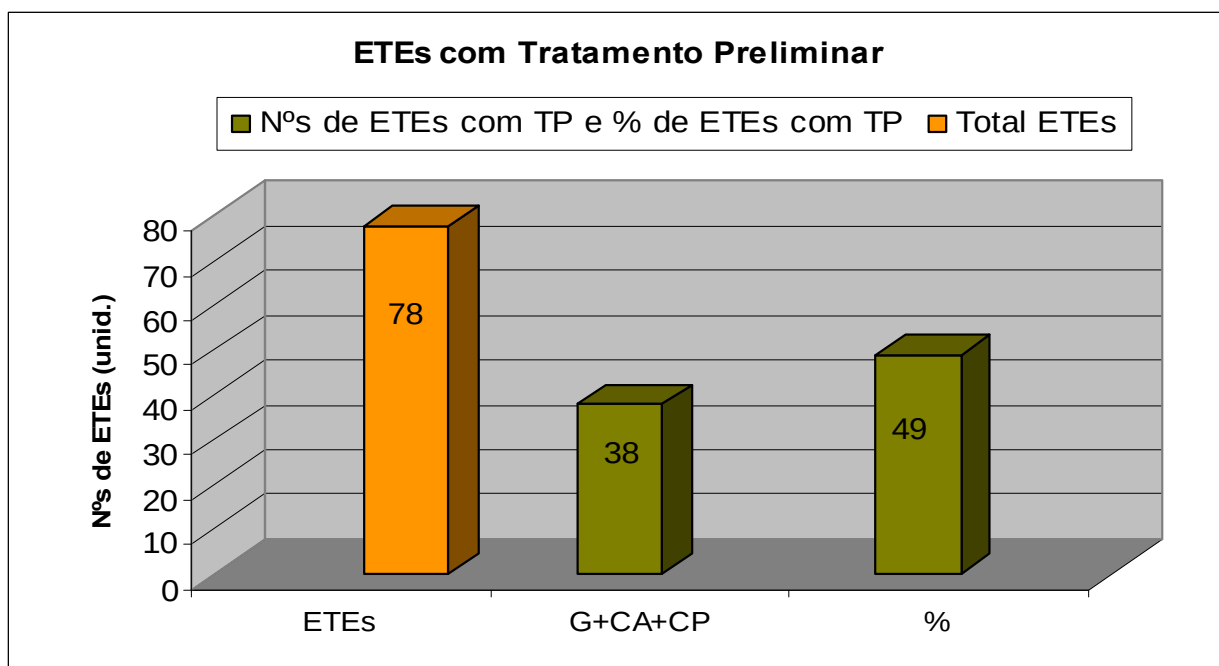


Figura 28 – ETEs com tratamento preliminar.

Embora o número de ETEs com tratamento preliminar corresponda a 49% dos números de lagoas de estabilização existentes no Rio Grande do Norte, este ainda é um número muito baixo, o que pode refletir diretamente na eficiência e operacionalização do sistema. Nos outros 51%, a manutenção e limpeza são bem irregulares. Esta realidade, quando bem operacionalizada, reflete eficiência nas etapas seguintes ao tratamento. As justificativas apresentadas para a não execução desta etapa de tratamento são: os baixos recursos orçamentários, por parte dos construtores, e ineficiência de tratamento, dando-se prioridade às outras etapas do sistema, inclusive, muitas vezes, essa etapa é ignorada por parte dos projetistas.

No que concerne à remoção de sólidos, não há uma periodicidade, exceto na ETE “Ponta Negra”, onde a operação/manutenção é constante, devido ao tamanho, aos objetos de constantes estudos e à sua localização social e geográfica. Com relação às demais ETEs, a remoção ocorre a partir de reclamações oriundas da própria população circunvizinha, que, na maioria das vezes, conta com o apoio jurídico ambiental, conforme mostra a Tabela 12.

² Esta figura, refere-se às ETEs com tratamento preliminar (TP). Do total de 78, apenas 38 incluem esta etapa. Na figura G+CA+CP = Grade+Caixa de Areia+calha “Parshall” e reflete o número de ETEs com Tratamento Preliminar e % refere-se o percentual em relação ao número total com Tratamento Preliminar.

Tabela 12 – Periodicidade na remoção de sólidos nas ETEs avaliadas.

Periodicidade	Qte ETEs remoção Sólidos(Grade)	%	Qte ETEs remoção Lodo	%	Qte ETEs remoção Areia	%
Diária	08	10	08	10	08	10
Semanal	17	22	14	18	18	23
Quinzenal	-	-	02	03	-	-
Mensal	05	06	04	05	05	06
Bimestral	06	08	04	05	04	05
Outros ^(a)	44	56	48	61	45	58

(a) Refere-se à periodicidade casual, semestral e anual com apoio do poder jurídico ambiental

Analisando os dados da Tabela 12, as ETEs que têm periodicidade diária ou semanal de remoção de sólidos são exatamente as que possuem operadores constantemente em atividade e manutenção, embora as ferramentas de trabalho detectadas *in loco*, durante a aplicação do questionário, sejam, na maioria, obsoletas, inadequadas e improvisadas. Os instrumentos de limpeza, como pá perfurada, para remoção de sólidos sedimentados na caixa de areia, rastelo para remoção de material gradeado, peneira de náilon com cabo longo, para a remoção de sobrenadante, carrinho de mão para transporte de material removido, mangueira, escovão para limpar vertedouros e tábuas de *stop-log*, são na maioria improvisados. O próprio órgão de gerenciamento local não fornece equipamentos de trabalhos e EPIs aos seus operadores, reivindicações muito constantes nas ETEs visitadas. Também foi constatado que não há local para um destino final do material coletado das grades, das caixas de areias e do interior das lagoas de estabilização, valendo aqui mais uma vez a improvisação. Esse material é depositado próximos ao tratamento preliminar ou jogado em valetas abertas próximo à ETE.

Dentre as lagoas visitadas, considerando uma periodicidade que varia de dias a um mês/ETE, apenas 30 realizam a remoção de sólidos regularmente, 28 retiram os lodos constantemente e 31 retiram areia do desarenador, conforme detalha a Figura 29.

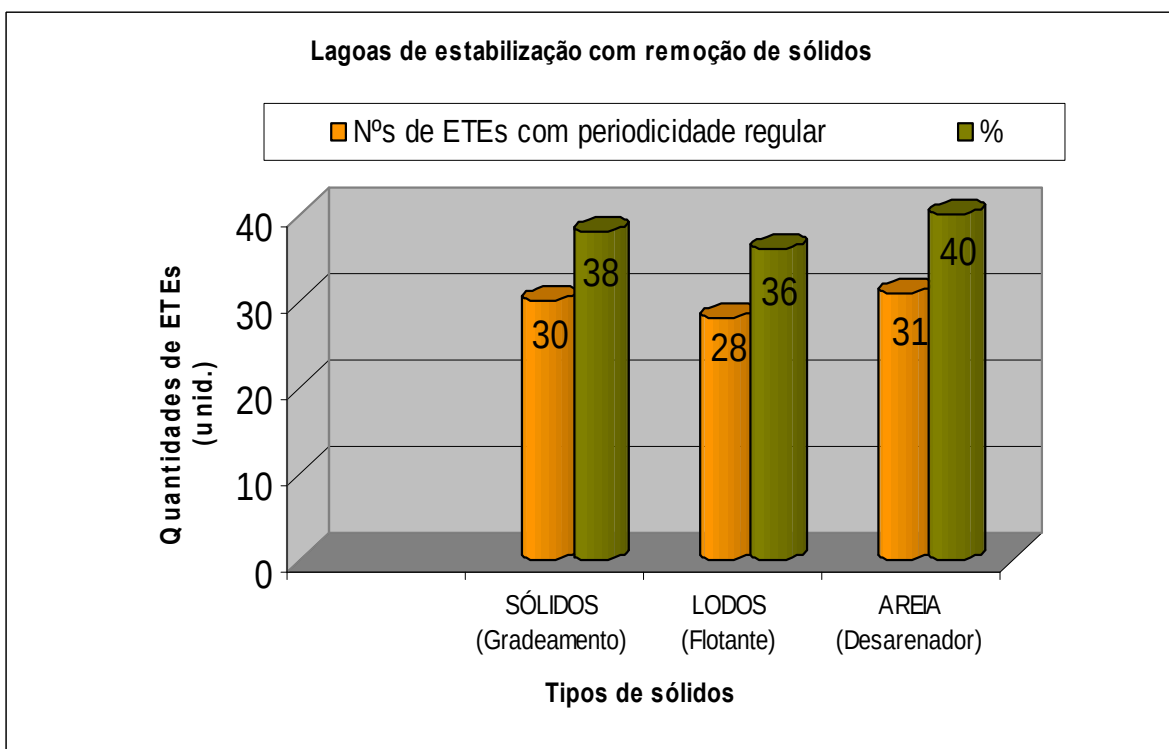


Figura 29 – Lagoas de estabilização com remoção de sólidos no RN.

Os sólidos mostrados na Figura 29 referem-se ao material preso no gradeamento, como folhas, sacos plásticos, papel, etc. Os lodos são os materiais flotantes encontrados geralmente nas zonas mortas das lagoas de estabilização, sendo muitas vezes produto resultante das próprias reações químicas no processo de tratamento. As sementes de árvores circunvizinhas à ETE também são exemplos desse tipo de materiais. A areia decorre do material sedimentado no fundo dos desarenadores. O pequeno percentual encontrado durante as visitas é justificado pelo baixo número de ETEs que apresentam tratamento preliminar.

4.1.3 Destino do Efluente Final

O destino final dos efluentes tratados nas estações de tratamento de esgoto foi analisado e o diagnóstico foi preocupante. O lançamento de efluente em corpo receptor hídrico predomina na maioria das ETEs no estado do Rio Grande do Norte, seguido por lançamento sobre o solo e a prática de reúso, conforme mostra a Figura 30. Das 46 ETEs que lançam seus efluentes em corpos hídricos, 23 o fazem em rios permanentes.

A Tabela 13 sintetiza os destinos dos efluentes “tratados”, por regionais, no Rio Grande do Norte. A prática de lançar os efluentes nos rios decorre primeiramente da praticidade, do comodismo e da capacidade de auto-depuração do corpo receptor. O lançamento sobre o solo representa a única alternativa viável a baixo custo, por parte dos projetista. Quanto ao reúso, todos os sistemas usados com essa finalidade utilizam o chamado “reúso não potável para fins agrícolas” (BREGA FILHO e MANCUSO, 2003), cujo objetivo é a irrigação de plantas alimentícias e não alimentícias, tais como pastagens e forrações.

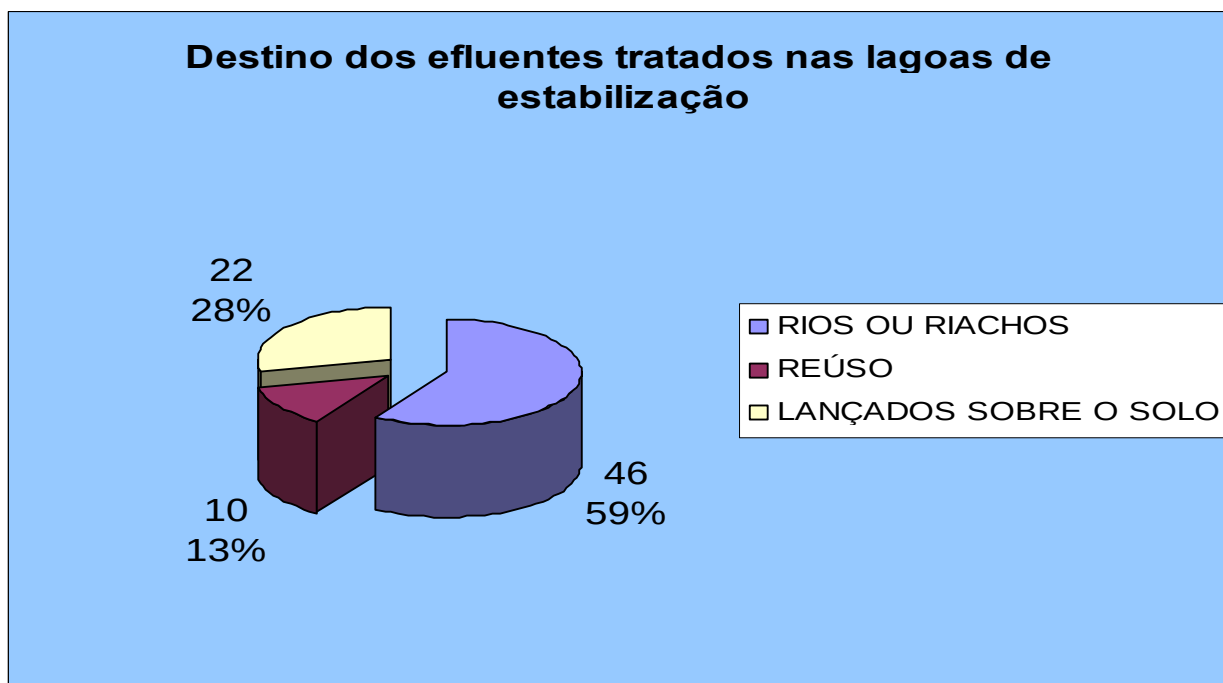


Figura 30 – Destino final dos efluentes tratados nas lagoas de estabilização.

No entanto, nas ETEs visitadas e após diagnosticar essa finalidade, verificou-se que é comum o uso de esgoto, antes mesmo deste percorrer todas as etapas de tratamento ou ainda ser desviado *in natura*, para rega de capim usado para a alimentação de animais, sem qualquer orientação técnica, apesar do elevado risco sanitário a que estas pessoas se submetem. Estudos realizados por Andrade Neto (1997), comprova a prática de reúso para fins diversos sem nenhuma segurança sanitária em diversos municípios do Estado do Rio Grande do Norte. A Figura 31 mostra a rotina do destino dos efluentes de lagoas de estabilização.

Tabela 13 – Destino dos efluentes tratados por regionais no Rio Grande do Norte.

Regiões	Destino dos efluentes tratados						
	Nºs de ETEs	Rios ou riachos	%	Reúso	%	Lançado no solo	%
ASSU	9	5	56	0	0	4	44
CAICÓ	17	10	59	5	29	2	12
LITORAL NORTE	10	4	40	2	20	4	40
LITORAL SUL	20	9	45	3	15	8	40
MOSSORÓ	3	3	100	0	0	0	0
NATAL	11	10	91	0	0	1	11
PAU DOS FERROS	8	5	62	0	0	3	38

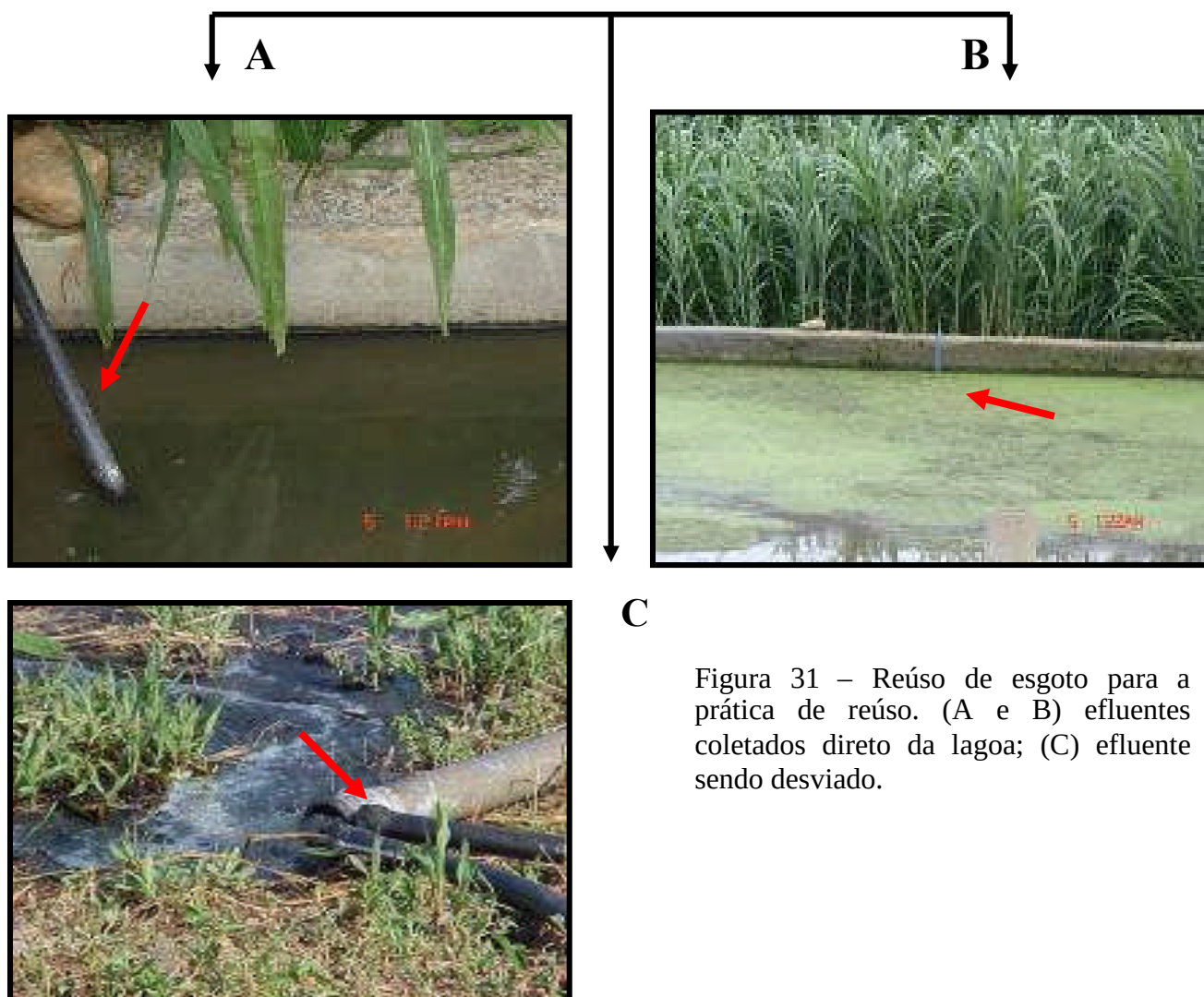


Figura 31 – Reúso de esgoto para a prática de reúso. (A e B) efluentes coletados direto da lagoa; (C) efluente sendo desviado.

4.1.4 Diagnóstico de Avaliação de Eficiência

A obtenção do diagnóstico de eficiência das lagoas de estabilização do Rio Grande do Norte deu-se da seguinte maneira:

I) Após visitas *in loco* e de posse de informações acerca das características físicas e operacionais dos sistemas, obtidos através do Anexo A, juntamente com os resultados laboratoriais dos parâmetros de DBO e Coliformes Termotolerantes, atribuiu-se o diagnóstico de eficiência final para as 78 ETEs.

II) Esse diagnóstico foi baseado em três conceitos, conforme mostra a Tabela 08:

Vale salientar que nenhuma das 78 ETEs teve eficiência máxima para os parâmetros de DBO e Coliformes Termotolerantes. Esse baixo rendimento em termos de eficiência é decorrente de diversos fatores intrínsecos tais como: ineficiência operacional, falhas em parâmetros de projetos, sobrecarga operacional, projetos sem continuidade etc.

A Tabela 14 detalha os valores encontrados nas ETEs por meio de lagoas de estabilização para os parâmetros de DBO e Coliformes Termotolerantes.

Tabela 14 – Situação de eficiência de remoção de DBO e Coliformes Termotolerantes para as ETEs avaliadas.

Parâmetros	Valores	Nºs de ETEs - Percentual encontrado	Regional com % altos ³	Regional com % baixos ⁴
DBO	DBO ≤ 50mg/L	07 - 09% ⁵	L.Sul e Natal	Caicó e L. Sul
	50 mg/L ≤ DBO < 180mg/L	38 - 48%		
	DBO > 180mg/L	29 - 37%		
	Outros	04- 5%		
Coliformes Termotolerantes	CT ≤ 10 ³ CF/100ml	07 - 09%	L.Sul e Natal	Caicó e L. Sul
	10 ³ CF/100ml ≤ CT < 10 ⁴ CF/100ml	38 - 48%		
	CT > 10 ⁴ CF/100ml	29 - 37%		
	Outros	05- 6%		

As ETEs que apresentaram melhores conceitos o conseguiram devido a alguns elementos essenciais dentro do sistema de tratamento, quais sejam: conhecimento de operação, dedicação

³ As regionais que apresentaram maiores eficiências na remoção de DBO e Coliformes foram as Regionais “Litoral Sul” (ETE “Roça” e “Pipa”, em Pedro Velho e Timbau do Sul) e “Natal” (ETE “Felipe Camarão” e “Guarapes”, ambas em Natal).

⁴ As regionais que apresentaram as piores eficiências na remoção de DBO e Coliformes foram as Regionais “Caicó” e “Litoral Sul” (Na primeira foram detectadas 09 ETEs com conceitos ruim e na segunda 08).

⁵ As ETEs que apresentaram as melhores eficiências foram: “Ilha de Santana/Macau”, “Aécio Batista/Serra Negra do Norte”, “Touros/Touros”, “Roça/Pedro Velho”, “Pipa/Timbau do Sul” e “Guarapes e Felipe Camarão/Natal”.

exclusiva do operador no sistema, parâmetros de projetos condizentes com a realidade local e para o sistema usado e projeto executado integralmente. O item “outros”, constante na Tabela 14, para os parâmetros analisados, refere-se às ETEs em fase final de execução ou em processo de carregamento, o que impossibilitou, no ato das visitas, coletar amostras para a realização de análises físico-química e bacteriológica. As altas concentrações de DBO e coliformes decorrem da falta de operação, de sistemas executados de maneira incompleta, como a maioria das lagoas facultativas primárias, que, por falta de recursos e continuidade, foram concluídas sem os parâmetros básicos de funcionabilidade, mas que, mesmo assim, atendem a toda a população contemplada no projeto. Um outro fator responsável pelas altas concentrações de DBO e coliformes são os sistemas executados sem obedecer aos parâmetros de projetos, tais como profundidade útil e dimensões, que conseqüentemente interferem no tempo de detenção hidráulica, taxa de aplicação superficial etc. No RN, esses fatores levaram a uma baixa eficiência nesses sistemas de tratamento de esgoto; apenas 9% tiveram conceito bom. Conceito este dependente de estudos de autodepuração do corpo receptor, conforme estabelece a Resolução CONAMA 357/2005, quando o destino final do efluente é o corpo d’água, como também para a prática de reúso. Grande parte, ou 41%, das ETEs tiveram conceitos ruim, conforme mostra a Figura 32. Estes efluentes, além de não estarem recebendo um tratamento adequado, são impossibilitados tanto juridicamente quanto ambientalmente e sanitariamente de serem lançados em mananciais superficiais, sobre o solo e muito menos para a prática de reúso.

Dentre as Regionais, a que mostrou melhores desempenhos foram as Regionais “Litoral Sul” e “Mossoró”, e a de pior desempenho foi a de “Caicó”. Esses valores são decorrentes de fatores de fundamental importância nas ETEs: a operação e manutenção regular, conservar população de projeto etc. A Tabela 15 detalha os diagnósticos de eficiências encontrados nas ETEs estudadas.

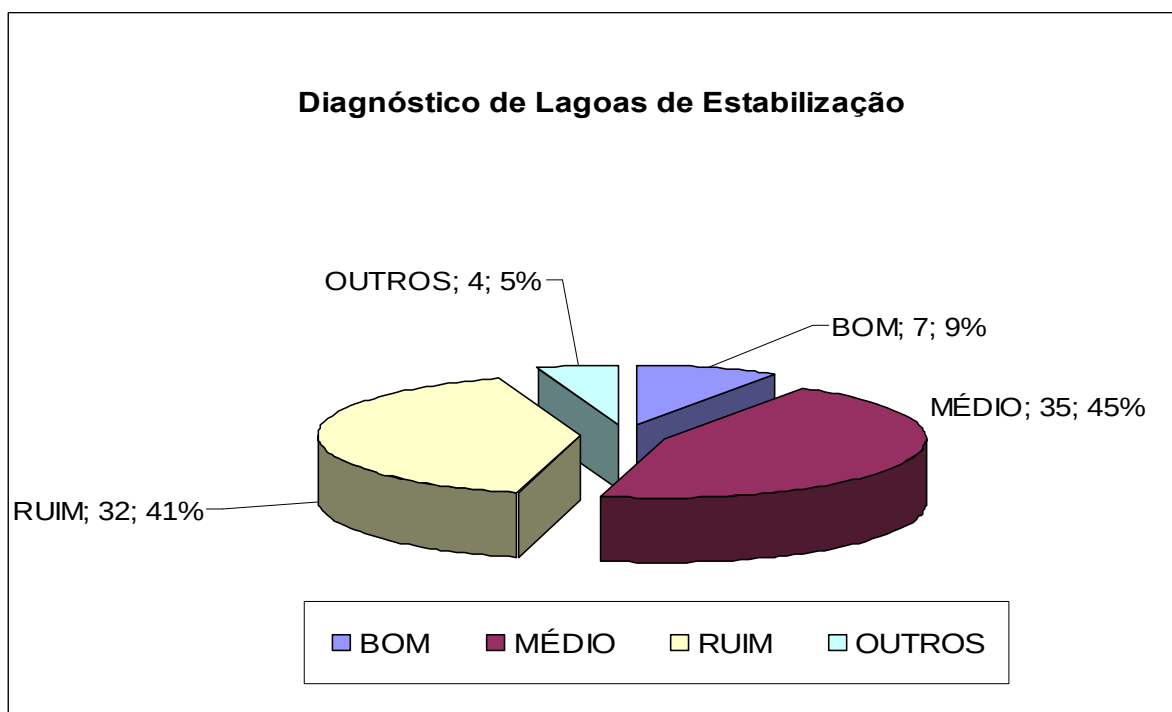


Figura 32 – Diagnóstico de eficiências na remoção de DBO e Coliformes nas ETEs do RN.

Dos sistemas construídos no Estado, 95% estão próximos do perímetro urbano, ou seja, com distâncias inferiores a 1000m. Como não há uma operacionalização regular, os riscos de maus odores são constantes. Das 78 ETEs visitadas, apenas 18 apresentaram problemas de maus odores, decorrentes da má operação, de sobrecarga atribuída à estação de tratamento de esgoto, formação de zonas mortas e curto-circuitos na maioria dos sistemas detectados com essa problemática. da população contribuinte, muitas vezes com bacia de contribuição próximas às ETEs.

Tabela 15 – Diagnóstico de eficiência na remoção DBO e Coliformes por Regional.

REGIONAL	Nºs ETEs	DIAGNÓSTICO EFICIÊNCIA			
		BOM	MÉDIO	RUIM	OUTROS
ASSU	9	1	5	3	0
CAICÓ	17	1	5	11	0
L.NORTE	10	1	6	2	1
L.SUL	20	2	10	8	0
MOSSORÓ	3	0	2	1	0
NATAL	11	2	5	3	1
PAU DOS FERROS	8	0	2	4	2

Estes problemas foram identificados com maior quantidade nas Regionais de “Litoral Norte” e “Natal”, sendo mais uma vez, decorrentes da ausência de estudos técnicos mais

detalhados por partes de alguns projetistas, de situações de ETEs com execução incompleta e da situação da classe socioeconômica da população contribuinte, muitas vezes com bacia de contribuição próximas às ETEs. No entanto, vale salientar que Truppel (2002), avaliando odores gerados em lagoas de estabilização, comprovou, através da aplicação de mais de 900 questionários em 30 residências circunvizinhas à ETE, que o odor gerado nas estações de tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização não traz incomôdo, contemplando mais de 60% dos entrevistados.

A carga orgânica afluente e a profundidade mínima recomendada para funcionabilidade das lagoas de estabilização foram mais uma pecha operacional ou de projeto encontrada. Muitas lagoas, apresentaram lâmina d'água de operação fora da faixa encontradas na literatura para os tipos básicos conhecidos como: anaeróbias, facultativas e maturação. Todavia, em lagoas com lâmina d'água maiores que a projetada podem trazer alguns benefícios, como a redução da área superficial, mas também podem trazer algumas inconveniências, como o risco de apresentar uma estratificação térmica reduzindo a temperatura do fundo e conseqüentemente, vindo a interferir na diminuição da produtividade da digestão, resultando, assim, numa queda na produção de metano, isto quando se trata principalmente de lagoas facultativas ou até mesmo as anaeróbias. Este último problema interfere diretamente na eficiência do tratamento, principalmente na remoção de matéria orgânica (DBO); e quando se trata de lagoas de maturação, isto tende a ser um problema, devido à sua funcionabilidade. Como a sua função é a remoção de patógenos, com uma lâmina d'água de operação maior que a mínima estabelecida, a interferência da radiação solar é menor e conseqüentemente a mortandade de coliformes também. No que refere à carga orgânica, muitas ETEs estão recebendo carga superior ao projetado e com características que difere do tipo de esgoto a ser tratado.

Durante o período da pesquisa em visitas *in loco*, foram encontradas apenas 5 ETEs com serviços de limpeza e capina. Este percentual foi justificado por alguns operadores, na ocasião, pela sazonalidade do período chuvoso. Outra etapa importante no processo de tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização é o carregamento. Através de relatos de operadores e responsáveis por algumas ETEs, foi comprovado que nenhuma delas realizou os procedimentos necessários para uma excelente eficiência operacional futura. Todas são postas para carregamento por métodos totalmente contrários ao conhecimento científico. Foi comprovado, em três delas, no ato das visitas, o seguinte procedimento de carregamento: enchimento gradual das lagoas com esgoto *in natura*, lançamento de pequenas e continuadas contribuições de esgoto, carregamento preferível no inverno, aproveitando, assim, as águas pluviais. Esses procedimentos refletem

diversas “pechas de construção”, como: problemas de infiltrações e/percolação, devido a pouca contribuição de esgoto, crescimento de vegetação no fundo da lagoa e nos taludes, problemas de odores, dificuldade na correção de eventuais deficiências decorrentes de uma compactação deficiente etc. A Figura 33 sintetiza a realidade encontrada em algumas ETEs em fase de carregamento.

4.1.5 – Características dos esgotos afluentes e efluentes as 78 ETEs em operação no Rio Grande do Norte

Quando se projeta estações de tratamento de esgotos sanitários, raramente se conhecem as concentrações reais dos principais constituintes dos esgotos brutos. As concentrações utilizadas pelos projetistas tomam como base valores típicos expressos na literatura, nem sempre coincidentes com a realidade local. A aplicação da PCOD juntamente com as análises laboratoriais, permitiram traçar as características principais dos esgotos afluentes as 78 ETEs no estado do Rio Grande do Norte, tais como DBO, DQO, relação DBO/DQO, concentrações de Coliformes Termotolerantes afluentes as estações. O Quadro 22, mostra a modalidade de tratamento, a notação de referência adotada, o número total e o percentual de ETEs compreendida em cada tipologia, em operação no Estado do RN.

Foi observada uma grande variação no número de unidades compreendidas em cada tecnologia de tratamento.

Entretanto vale aqui frisar que das 78 ETEs avaliadas nas etapas anteriores; para a caracterização das características afluentes as ETEs do RN, somente 72 farão parte das análises nesta etapa que permitirá avaliar as características dos esgotos no Estado, por Regionais, as eficiências por tipo de configuração, para os órgãos de gerenciamento ambiental do Estado, as suas respectivas relações DBO/DQO. Das quais, conforme visto anteriormente, 04 ETEs encontravam-se no ato das coletas em procedimento de carregamento e 02 ETEs, por tratarem esgotos com características que diferem de esgotos predominantemente domésticos, sendo as ETEs “Felipe Camarão” e “Guarapes”, ambas pertencentes a Regional “Natal”. Estas duas ETEs tratam esgotos oriundos de caminhões limpa-fossa, cuja concentração é bem elevada quando comparada com esgotos domésticos, o que poderia modificar os resultados encontrados.

A) ETE em processo de carregamento incorreto. Pouca contribuição de esgoto, crescimento de vegetação nos taludes.



B) ETE com carregamento incorreto. Detalhe do enchimento gradual das lagoas, pouca contribuição de esgoto, crescimento de vegetação no fundo da lagoa.

C) ETE com processo de carregamento incorreto. Pouca contribuição de esgoto, crescimento excessivo de algas, vegetações no fundo da lagoa .



Figura 33 - Processo de carregamento incorreto em lagoas.

Modalidade	Notação de referência	Nºs de ETEs	% de ETEs
Lagoa facultativa primária	F_1	12	15
Lagoa facultativa primária + Lagoa de maturação primária	F_1+M_1	17	22
Lagoa facultativa primária+Lagoa de maturação primária+Lagoa de maturação secundária	$F_1+M_1+M_2$	33	46
Tanque séptico+Lagoa facultativa secundária	T_s+F_2	05	07
Outros	F_{aer} $LA_1+F_2+M_1$; $T_s+F_2+M_1$; $F_1+F_2+M_1$ $L_D+LA+F_2+F_3$	05	10
Total	09	72	100

Quadro 22 – ETEs em operação no estado do Rio Grande do Norte, quantificada para o estudo.

A média do número de dados disponibilizados pelas 72 ETEs e os resultados referentes às estatísticas descritivas das concentrações afluentes são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Estatísticas descritivas referentes às concentrações afluentes dos esgotos nas ETEs do Rio Grande do Norte.

Parâmetros	DBO ₅	DQO	pH	T	CF
	(mg/L)	(mg/L)	-	(°C)	(UFC/100ml)
Média Aritmética	410	658	7	29	2,50E+07^(a)
Valor Máximo	665	1425	7	30	8,70E+08
Valor Mínimo	96	115	6,7	25	2,80E+05
Desvio Padrão	97	231	0	1	1,30E+08
Número de Dados	72	72	72	72	72

Obs.: (a) Este valor refere-se à Média Geométrica, considerada como mais representativa.

As concentrações afluentes encontradas nas estações de tratamento em operação foram comparadas com os valores usuais reportados pela literatura, conforme detalha a Tabela 17, uma vez que todos os parâmetros encontram-se um pouco acima da faixa citada pela literatura.

Tabela 17 - Comparação entre concentrações afluentes usuais e reais nas ETEs do RN.

Parâmetros	Concentrações usuais		Concentrações reais
	Faixa	Típico	Média
DBO(mg/L)	250-400	300	410
DQO(mg/L)	450-800	600	658
pH	6,7-8,0	7,00	7,0
T(°C)	22-30	29,00	29,00
CF(UFC/100ml)	$10^6 - 10^9$	5.10^7	2,50E+07

Fontes: Silva e Mara (1979); Uhera e Vidal (1989); Von Sperling (2005).

Os dados obtidos evidenciam o fato de que, de uma maneira geral, os esgotos brutos apresentaram uma concentração mais elevada do que usualmente expresso na literatura.

Algumas possibilidades foram sugeridas para justificar essas concentrações médias afluentes acima dos valores usuais, mas os dados obtidos não permitem inferências conclusivas. Uma possibilidade seria a de contribuições industriais não relatadas, que poderiam estar trazendo uma maior carga de matéria orgânica. Uma outra possível explicação estaria associada ao tipo de amostragem praticado, caso houvesse uma predominância de amostras simples, coletadas em horários de pico. Outra possível causa pode estar vinculada a baixos consumos per capita de água, baixas taxas de infiltração e baixos coeficientes de retorno esgoto/água. Também é possível que várias destas causas estejam agindo simultaneamente. No entanto, seriam necessárias investigações mais específicas para confirmação destas tais suposições.

No Rio Grande do Norte, o meio projetista utiliza concentrações de $10^8 - 10^7$ de Coliformes Termotolerantes e DBO_5 afluente de 350mg/L nos projetos de ETEs. Esses valores, para Coliformes, encontram-se dentro da faixa obtidos nas ETEs em funcionamento que foi de $2,50 \times 10^7$ UFC/100ml, e acima para DBO_5 que foi de 410mg/L.

4.1.5.1 – Avaliação de Eficiência: por Modalidade de tecnologia de tratamento

Em termo de comparação quantitativa, a Tabela 18 mostra a qualidade média dos efluentes brutos e tratados e as eficiências típicas dos principais parâmetros de interesse nos esgotos domésticos por modalidade de tratamento no Rio Grande do Norte. Dentre os sistemas analisados, as modalidades que mostraram melhores eficiências em termo de remoção de DBO_5 , DQO e Coliformes Termotolerantes foi o sistema “ $F_1+M_1+M_2$ ”. Onde a concentração média

afluente de DBO_5 foi de 429mg/L e a final de 136mg/L, alcançando uma eficiência total de 69% e, para DQO os esgotos apresentaram concentração média afluente e efluente respectivamente de 699mg/L e 240mg/L, tendo uma eficiência total de 65%. Para a concentração de coliformes termotolerantes a eficiência média total do sistema foi de 2 log ou 99,34%. Estes valores ainda encontram-se abaixo dos encontrados na literatura para sistema com essa configuração, uma vez que segundo, Jordão e Pessoa (2005) esta configuração apresenta faixa de eficiência de remoção de DBO entre 80% - 85% e DBO de 70% - 83% e Coliformes Termotolerantes para 3 lagoas em série entre 3 a 6 log, como é o caso do sistema melhor avaliado. As outras modalidades tiveram eficiências muito inferiores as encontradas em literatura para as respectivas modalidades de tratamento. Esta baixa eficiência pode ser decorrente da operação/monitoramento irregular, da configuração predominante, do tipo de amostragem.

Tabela 18 – Concentrações médias afluentes e efluentes e eficiência de remoção nas ETEs por modalidades no RN.

Modalidade de Sistemas	Concentração média do esgoto afluente/efluente			Eficiência média (%)		
	DBO_5 (mg/L)	DQO (mg/L)	CF(UFC/100ml)	DBO (%)	DQO (%)	CF (unid. Log)
F1	439 - 217	648 - 333	4,83E+07 – 3,58E+06	50	48	≈ 1,0 ou 92,58%
F1+M1	351 - 107	530 - 200	1,13E+07 – 3,42E+05	69	62	≈ 1,0 ou 96,97%
F1+M1+M2	429 - 136	699 - 240	2,87E+07 – 1,88E+05	69	65	≈ 2,0 ou 99,34%
TS+F2	590 - 294	751 - 391	2,80E+07 – 3,19E+06	50	47	< 1,0 ou 88,60%
OUTROS	498 - 219	750- 359	2,60E+07 – 4,1E+05	56	52	1,0 ou 98,42%

Legenda: Concentração média afluente – Concentração média efluente.

4.1.5.2 – Caracterização dos esgotos: para as sete Regionais do RN

No que concerne as sete regionais, a Tabela 19 detalha através da estatística descritiva as concentrações médias afluentes e efluentes das ETEs em operação no Estado do Rio Grande do Norte, como também a eficiência na remoção de DBO_5 , DQO e Coliformes Termotolerantes. A Figura 34, detalha o comportamento dos parâmetros de pH, OD e Temperatura, para estas respectivas regionais.

No entanto, conforme detalha a Tabela 19, das Regionais analisadas apenas a Regional “Litoral Norte”, teve alta eficiência na remoção de DBO_5 e DQO, que foi de 68%

respectivamente. Para Coliformes Termotolerantes, as Regionais “Litoral Norte” e “Mossoró”, tiveram remoções superiores as demais, uma vez estas ETEs apresentaram remoções não significativa para o tratamento que foi de 2 log. Para as Regionais que apresentara melhores eficiências na remoção de DBO e DQO, pode ser justificada por diversos fatores. A primeira justificativa decorre da presença de operadores na maioria das ETEs com conhecimentos de operação. Outra justificativa é quanto à configuração predominante nestas regionais, no caso a F_1+M_1 , $F_1+M_1+M_2$ e a presença de lagoas anaeróbias na configuração “Outros”. No que concerne às concentrações afluentes de DBO_5 das sete regionais, três apresentaram concentrações acima da faixa encontrada na literatura que é de 250mg/L - 400mg/L, sendo as regionais “Caicó”, “Mossoró” e “Natal”. Já para DQO duas tiveram concentrações acima da faixa comumente usada pelo meio projetista que é 450mg/L - 800mg/L, neste caso representado pelas regionais “Mossoró” e “Natal”, conforme detalha a Tabela 19.

Para as concentrações afluentes de Coliformes Termotolerantes, todas as regionais apresentaram valores variando de $1,10 \times 10^7$ UFC/100m a $6,96 \times 10^7$ UFC/100ml e efluente final variando de $1,03 \times 10^6$ UFC/100ml a $9,35 \times 10^4$ UFC/100ml. Valores muito altos, para efluentes tratados em sistemas de lagoas de estabilização. Uma vez que, a configuração predominante no estado do Rio Grande do Norte, é o de lagoa facultativa primária, seguida por duas lagoas de maturação.

Para o comportamento dos parâmetros de pH, OD e Temperatura nestas 07 regionais, a Figura 34, detalha os valores. A maioria apresentou para as concentrações médias afluentes pH = 6,9 – 7,2. Nas concentrações efluentes, o comportamento desse parâmetro variou de 7,3 a 7,7 atendendo as condições de lançamentos em corpos receptores que segundo o CONAMA 357/05 situa na faixa de pH entre 5 a 9.

Para o comportamento efluente médio de OD, estas regionais apresentaram OD médio variando de 2,4 mg/L a 4,2mg/L. Esses valores mostram que os efluentes finais têm características aeróbias. Como no Rio Grande do Norte, o destino final predominante dos efluentes tratados é o corpo receptor hídrico, um efluente final com OD= 4,2mg/L, dependendo das características do corpo receptor não comprometeria a vida aquática de muitos seres vivos, principalmente os peixes que não resistem a concentrações de oxigênio dissolvido na água inferior a 4,0mg/L.

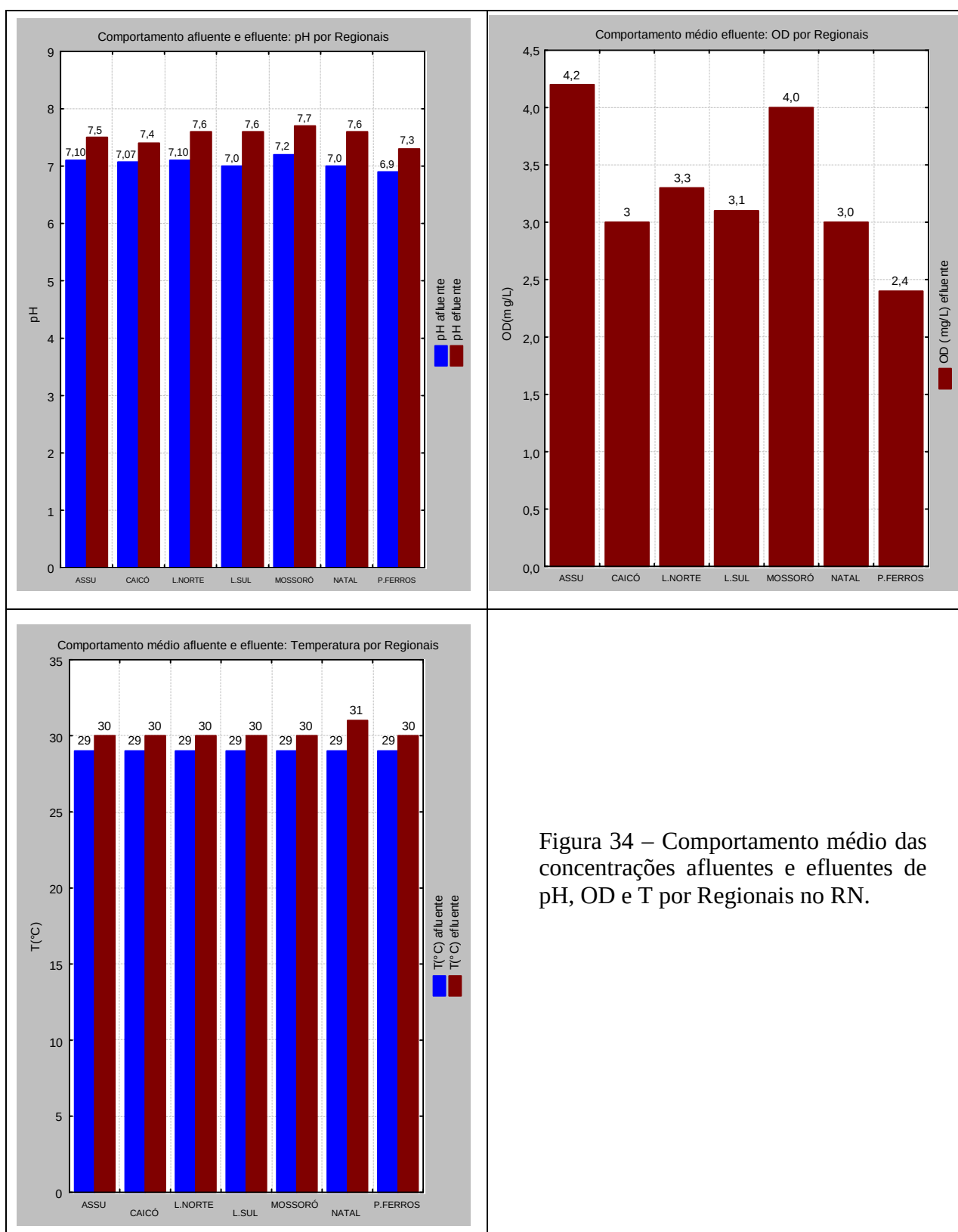


Figura 34 – Comportamento médio das concentrações afluentes e efluentes de pH, OD e T por Regionais no RN.

A temperatura nas concentrações médias afluentes para as 07 Regionais, mostrou-se está dentro da faixa encontrada na literatura e no comportamento típico que é de 29°C, conforme Tabela 19.

Para as concentrações efluentes a temperatura média verificada foi de 30°C. A Figura 34 detalha o comportamento dos parâmetros de pH, OD e T.

4.1.5.3 – Avaliação de Eficiência: por Órgãos de Gerenciamento Ambiental no RN

No tocante aos órgãos de gerenciamento ambiental existente no Rio Grande do Norte: Estado, Município e SAAE, a Tabela 20 detalha através da estatística descritiva as concentrações médias afluentes e efluentes das ETEs em operação no estado do Rio Grande do Norte, como também a eficiência na remoção de DBO₅, DQO e Coliformes Termotolerantes.

Ao todo foram analisadas nesta etapa 72 ETEs, sendo 56 gerenciadas pelo Estado, cuja concessão é da CAER, 12 gerenciada pelos próprios municípios e 04 gerenciada pelos SAAEs. As 06 ETEs ausentes, no momento da coleta de amostras encontravam-se em preparação ou processo de carregamento ou/efluente com características não doméstica, sendo 01 pertencente ao município (ETE “Ielmo Marinho) e 05 pertencentes ao Estado (ETEs “Distrito Industrial”, “Rafael Fernandes”, “Antonio Martins”, “Felipe Camarão” e “Guarapes”), elas são pertencentes as Regionais “Natal” e “Pau dos Ferros”, respectivamente. Em comparação com as concentrações afluentes citados pela literatura, as ETEs pertencentes ao Estado e SAAEs, encontraram-se com valores de 410mg/L e 454mg/L para DBO. Valores acima da faixa usualmente encontrada na literatura.

Dentre os três órgãos de gerenciamento, o que obteve melhor desempenho em termo de eficiência na remoção de DBO₅, DQO e Coliformes Termotolerantes foram os SAAEs. Alcançando eficiência de 69%, 66% e 2 unidades log., para DBO₅, DQO e Coliformes Termotolerantes respectivamente. Tendo concentrações médias efluentes de DBO₅, DQO e Coliformes Termotolerantes de 141 mg/L, 246mg/L e 6,35 x10⁴ UFC/100ml.

Tabela 19 – Concentrações médias afluentes e efluentes por Regionais no Estado do Rio Grande do Norte.

Parâmetro	Descritiva	REGIONAIS						
		ASSU	CAICO	L.NORTE	L.SUL	MOSSORÓ	NATAL	P.FERRO
		Afluente/Efluente	Afluente/Efluente	Afluente/Efluente	Afluente/Efluente	Afluente/Efluente	Afluente/Efluente	Afluente/Efluente
DBO ₅ (mg/L)	Média	393/129	467/200	361/120	384/139	497/120	573/203	395/180
	Mediana	385/104	430/182	360/105	385/106	520/99	542/204	376/128
	V.Mínimo	285/75	305/38	275/93	96/50	362/73	340/93	274/108
	V.Máximo	565/255	665/362	390/223	585/260	610/189	840/350	540/305
	D.Padrão	82/63	117/91	35/42	96/70	126/61	190/89	89/93
	Efic. (%)	67	57	68	63	75	64	54
DQO (mg/L)	Média	538/204	607/276	490/154	676/244	829/427	977/409	657/180
	Mediana	511/175	617/276	498/135	638/65	805/419	938/459	609/266
	V.Mínimo	350/123	401/145	398/106	115/65	701/351	495/197	498/185
	V.Máximo	720/370	845/430	550/249	1275/588	980/510	1425/519	910/415
	D.Padrão	132/89	136/95	50/46	245/128	141/80	318/131	142/102
	Efic. (%)	62	54	68	64	48	58	72
CF(ufc/100ml)	Média	2,78E+07/ 1,63E+06	4,85E+07 /4,98E+06	2,06E+07 /2,68E+05	3,91E+07 /4,48E+06	4,80E+07 /3,68E+05	2,71E+08 /4,68E+06	5,24E+07 /2,59E+06
	Mediana	8,30E+06 /9,30E+04	5,00E+07 /1,30E+06	1,10E+07 /1,40E+05	2,50E+07 /1,86E+05	5,00E+07 /7,10E+04	7,05E+07 /4,30E+06	4,85E+07 /1,66E+06/
	M. Geom.	1,10E+07 /1,53E+05	4,03E+07 /1,42E+06	1,36E+07 /9,35E+04	1,86E+07 /2,93E+05	1,67E+07 /1,33E+05	7,92E+07 /2,52E+06	4,02E+07 /8,22E+05
	V.Mínimo	2,80E+05 /1,30E+04	6,00E+06 /4,80E+03	4,50E+06 /2,30E+03	1,70E+06 /2,10E+03	1,00E+06 /3,30E+04	3,20E+06 /5,50E+04	8,60E+06 /1,00E+05
	V.Máximo	8,10E+07 /1,30E+07	8,60E+07 /2,60E+07	5,00E+07 /8,10E+05	9,00E+07 /4,90E+07	9,30E+07 /1,00E+06	8,70E+08 /8,80E+06	9,00E+07 /8,90E+06
	D.Padrão	3,17E+07 /4,27E+06	2,44E+07 /7,33E+06	1,79E+07 /3,20E+05	3,55E+07 /1,11E+07	4,60E+07 /5,48E+05	3,33E+08 /3,47E+06	3,43E+07 /3,40E+06
	Efic.(unid.log)	1	1	2	1	2	1	1

Tabela 20 – Estatísticas descritivas referentes às concentrações afluentes e efluentes dos esgotos nas ETEs do Rio Grande do Norte por órgão de gerenciamento ambiental.

Parâmetro	Nº Amostras	Descritiva	ÓRGÃO DE GERENCIAMENTO AMBIENTAL					
			ESTADO		MUNICÍPIO		SAAE	
			Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes	Afluentes	Efluentes
DBO(mg/L)	56	Média	410	153	362	141	454	141
		Mediana	385	116	378	130	435	106
		V.Mín.	96	38,5	96	38,5	360	95
		V.Máx.	665	362	565	255	585	256
		Des.Padrão	97	78	117	72	101	77
		Eficiência (%)	63		61		69	
DQO(mg/L)	12	Média	658	260	641	256	735	246
		Mediana	609	212	698	240	583	145
		V.Mín.	115	65	115	65	498	106
		V.Máx.	1425	588	1030	401	1275	588
		Des.Padrão	231	124	251	110	363	229
		Eficiência (%)	62		60		66	
CF(UFC/100mL)	04	Média	6,49E+07	3,32E+06	5,65E+07	5,65E+06	2,74E+07	3,63E+05
		Mediana	4,00E+07	4,75E+05	7,30E+07	5,50E+05	1,25E+07	7,40E+04
		M.Geométrica	2,50E+07	4,00E+05	3,05E+07	4,00E+05	1,38E+07	6,35E+04
		V.Mín.	2,80E+05	2,10E+03	2,80E+05	4,80E+03	4,50E+06	2,30E+03
		V.Máx.	8,70E+08	4,90E+07	9,00E+07	4,90E+07	8,00E+07	1,30E+06
		Des.Padrão	1,31E+08	7,21E+06	3,45E+07	1,39E+07	3,58E+07	6,26E+05
		Eficiência (%)	98,40		98,68		99,53	
	74	Eficiência (Unid. Log)	1		1		2	

A justificativa para os melhores desempenhos em termo de eficiência de remoção, pode está na operação e manutenção desses sistemas regularmente, número e exclusividade de operadores/ETEs, conhecimentos de operação e monitoramento rotineiro acerca da eficiência no que concerne aos parâmetros físico-químico e bacteriológico, uma vez que dos três órgãos avaliados, apenas os SAAEs contemplam integralmente as justificativas antes citadas.

4.1.6 - Relação DBO_5/DQO : Estado do RN, Modalidade de Tratamento, por Regionais e por Órgão de Gerenciamento Ambiental.

Uma discussão sobre os valores da relação DBO_5/DQO , foi realizada, considerando tanto as concentrações observadas para as 72 ETEs, quanto aquelas encontradas para as 09 modalidades de tecnologias de tratamento de esgoto no estado do Rio Grande do Norte, por Regional, como também para os órgãos de gerenciamento ambiental: Estado, Municípios e SAAEs. Esta relação DBO_5/DQO é importante, pois dependendo da magnitude desta razão, é possível chegar a conclusões sobre a biodegradabilidade dos despejos e do método de tratamento empregado. À medida que se processa o tratamento, a tendência é que se tenha uma diminuição na relação DBO_5/DQO , indicando assim a predominância dos despejos de materiais mais resistentes à degradação biológica particularmente sólidos em suspensão (algas). A Figura 35, detalha o comportamento dos esgotos através da relação DBO_5/DQO , a nível de Estado, modalidade de tratamento, regionais e órgão de gerenciamento ambiental.

Considerando tanto os resultados apresentados pelas 72 ETEs quanto aquelas mostradas pelas estações pertencentes às nove tecnologias de tratamento analisadas, como para as sete Regionais e os órgãos de gerenciamento ambiental no Estado do Rio Grande do Norte. A relação DBO_5/DQO observada para o afluente e efluente estiveram dentro da faixa reportada como usual para esgotos domésticos ou seja, à medida que a relação aproxima de 1,0 o esgoto tem características predominantemente doméstico, portanto a fração biodegradável é elevada e forte indicação para tratamento biológico. Para o caso inverso, ou seja, quanto mais a relação aproxima-se de 0 o esgoto tem características industrial, portanto a fração inerte (não biodegradável) é elevada, tendo assim possível indicação para tratamento físico-químico. Neste trabalho convencionou-se as seguintes convenções, descrita no quadro abaixo:

Concentração	BAIXA	MÉDIA	ALTA
Relação DBO/DQO	0 – 0,40	0,41 – 0,70	0,71 - 1,0
Características	1. Fração inerte elevada. 2. Possível indicação para tratamento físico-químico.	1. Fração biodegradável não elevada. 2. Requer estudo de tratabilidade para averiguar a viabilidade para tratamento biológico.	1. Fração biodegradável é elevada. 2. Indicação para tratamento biológico

Quadro 23 – Faixa de valores das relações DBO₅/DQO para esgoto doméstico.

Para as relações avaliadas, foram encontradas as seguintes situações:

O Estado apresentou relação DBO/DQO de 0,62 para a relação afluyente e de 0,58 para a efluente. As concentrações afluentes têm características predominantes de esgotos domésticos, tendo a DBO 0,62 da DQO. As concentrações efluentes são lançadas ao corpo receptor com média concentração de fração biodegradável, ou seja o valor da DBO corresponde a 0,58 da DQO.

Para as sete regionais, apenas a regional “Mossoró”, apresentou relação DBO₅ /DQO muito baixas particularmente no esgoto efluente onde o valor da DBO correspondeu respectivamente apenas 0,28 da DQO. As demais, apresentam relação DBO/DQO média a alta para lançamento em corpo receptores hídricos.

As modalidades de tratamento designada por “Outros”, apresentaram a relação DBO₅ /DQO média, tanto para o esgoto afluyente onde o valor da DBO correspondeu respectivamente apenas 0,66 da DQO, como para o efluente correspondendo a 0,61 da DQO. Neste caso, as características dos esgotos afluentes e efluentes têm predominância de substância biodegradável, tende a apresentar a relação DBO₅/DQO média, isso decorre do esgoto ter recebido contribuição oriunda de unidades de tratamentos estáticos, como fossas sépticas, do tipo de unidades contribuintes (hospitais, oficinas, restaurantes, pequenas fábricas etc.). Os maiores valores da relação afluyente e efluente foram observados para as tecnologias F₁ e Ts+F₂, isso implica que, os esgotos afluentes têm características predominantemente de fração biodegradável. Para os órgãos de gerenciamento ambiental, todos têm características predominantemente domésticas, tanto as concentrações afluentes, como as efluentes. Haja vista que, a relação DBO/DQO mostrou-se média nos três órgãos avaliados. No entanto, a que apresentou uma pequena baixa na relação foi o “Município”, com valor da DBO correspondendo 0,55 da DQO.

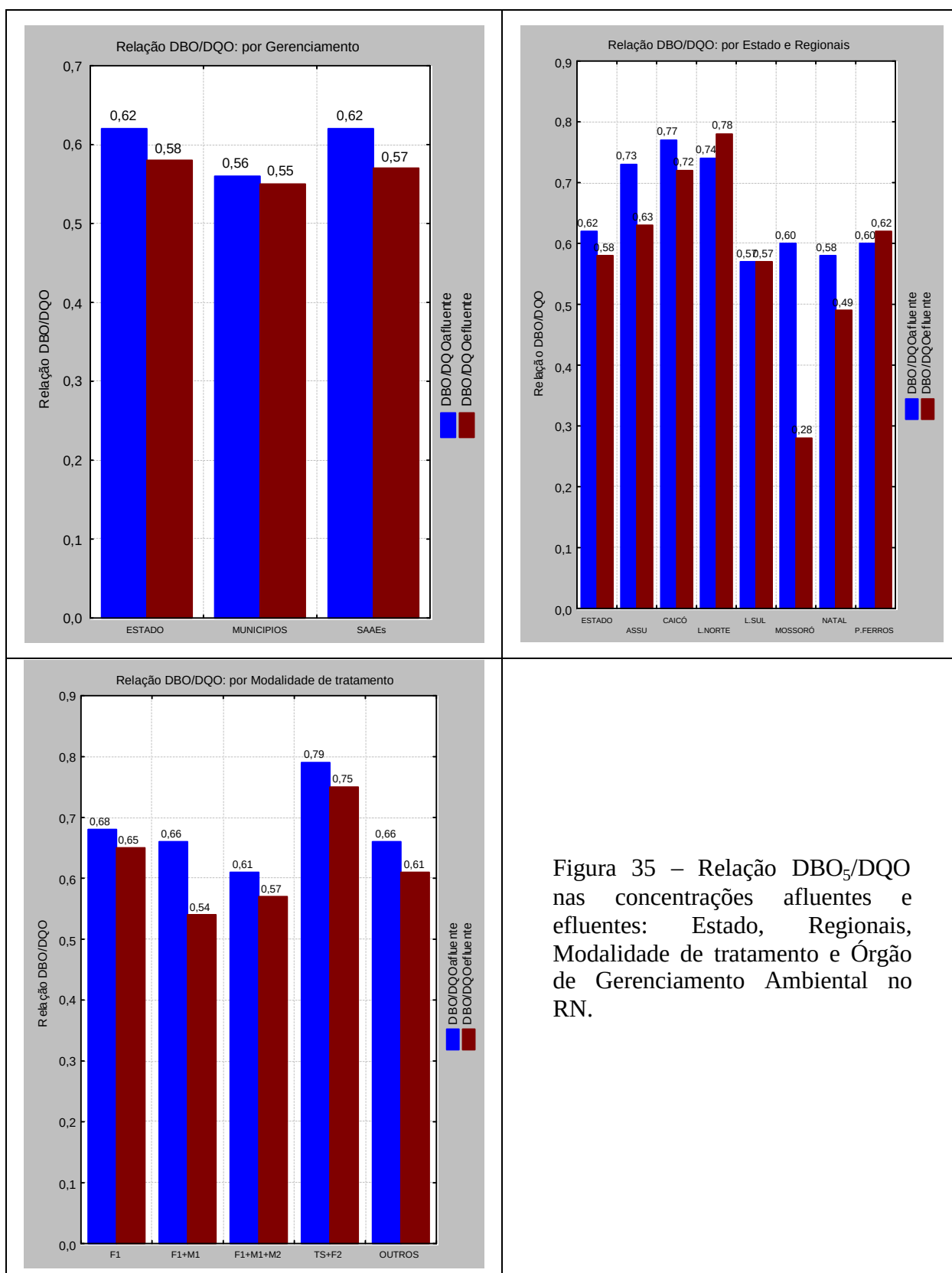


Figura 35 – Relação DBO_5/DQO nas concentrações afluentes e efluentes: Estado, Regionais, Modalidade de tratamento e Órgão de Gerenciamento Ambiental no RN.

4. 2 – Sistema de Informação Georreferenciado das ETEs do RN

Posteriormente a construção do banco de dados, a partir das informações obtidas em campo, estas informações foram integradas através do programa ArcGIS 9.0. Um mapa do Rio Grande do Norte, georreferenciado foi gerado e a ele adicionado o banco de dados tabular, com informações acerca das ETEs existente no RN e em operação, onde é possível conforme detalha o mapa no Anexo D, visualizar através de fotografias tiradas *in loco* cada ETE, como também, a sua rotina de operação, croqui, coordenadas geográficas, informações acerca da operação/manutenção, parâmetros físico-químicos de detecção *in loco*, como pH, T e OD, todas essas informações visualizadas na PCOD no Anexo A.

O Anexo E consta de um mapa integrado ao programa ArcGIS 9.0, georreferenciado, mostra as ETEs cujo destino final são os corpos receptores hídricos, como também informações acerca do destino final, se temporários ou permanentes, separa as ETEs por tipo de destino final: rios, lançados sobre o solo e uso em prática de reúso.

Entretanto, com o intuito de possibilitar atribuir um diagnóstico no que concerne as eficiências das ETEs na remoção de DBO₅, DQO e Coliformes Termotolerantes, foi gerado um mapa georreferenciado constante no Anexo F. Este mapa, possibilita de maneira rápida visualizar as principais ETEs diagnosticada em Boa, Média ou Ruim, conforme a eficiência encontrada e procedimentos mostrados no item 4.1.4, referente ao diagnóstico operacional para eficiência de remoção de DBO e Coliformes Termotolerantes. O georreferenciamento, permite separar por Regionais e diagnosticá-las, como também, através da planilha no Anexo B, visualizar informações de dados de projetos de cada ETEs e o último dado operacional para os parâmetros supra citados, como também o seu diagnóstico final. O CD anexo, visualiza todas as informações realizada pelo ArcGIS, portanto, no trabalho impresso, só podem ser visualizados as informações obtidas em campo e laboratório.

Na Figura 36 mostra um modelo do banco de dados confeccionado que permite ser visualizados, em ambiente do SIG ArcGIS.

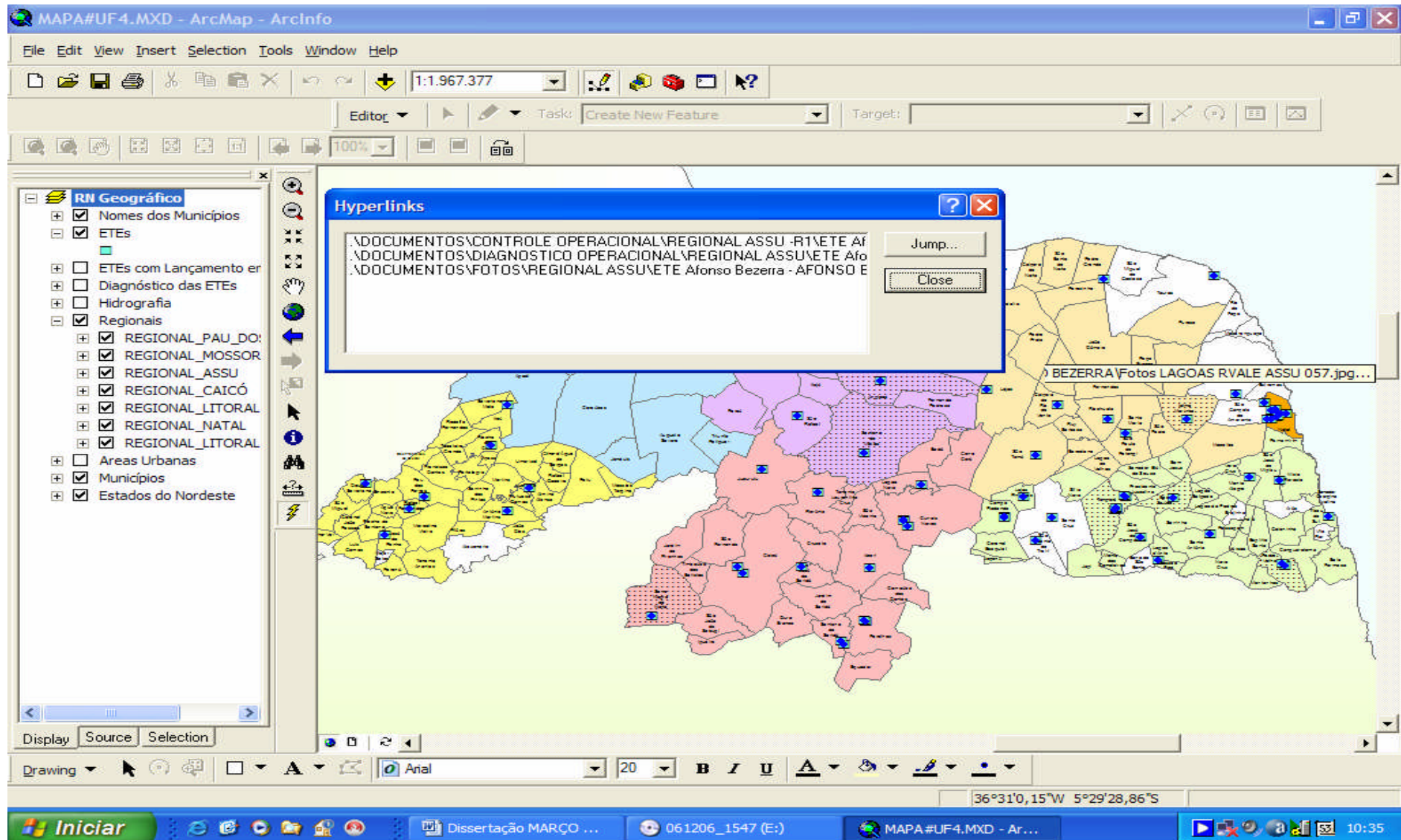


Figura 36 – Banco de dados visualizados através da ferramenta do ArcGIS 9.0.

4.3 Resultados Qualitativos da Pesquisa: Estudo de Caso

Os resultados quantitativos, obtidos através das análises no laboratório, estão expressos conforme as Tabelas 21 seguintes. Para os resultados obtidos durante o monitoramento de vazão nos três sistemas experimentais: ETE “São Miguel”, “Cidade” e “Roça”, estão apresentados na Figura 37. Onde é possível observar a variação da vazão média diária de esgoto bruto afluente ao sistema de lagoas, aplicados durante o perfil de 14 horas, de 2 em 2 horas, nas ETEs: “São Miguel” (10/11/06), “Cidade” e “Roça” (27/10/06), respectivamente.

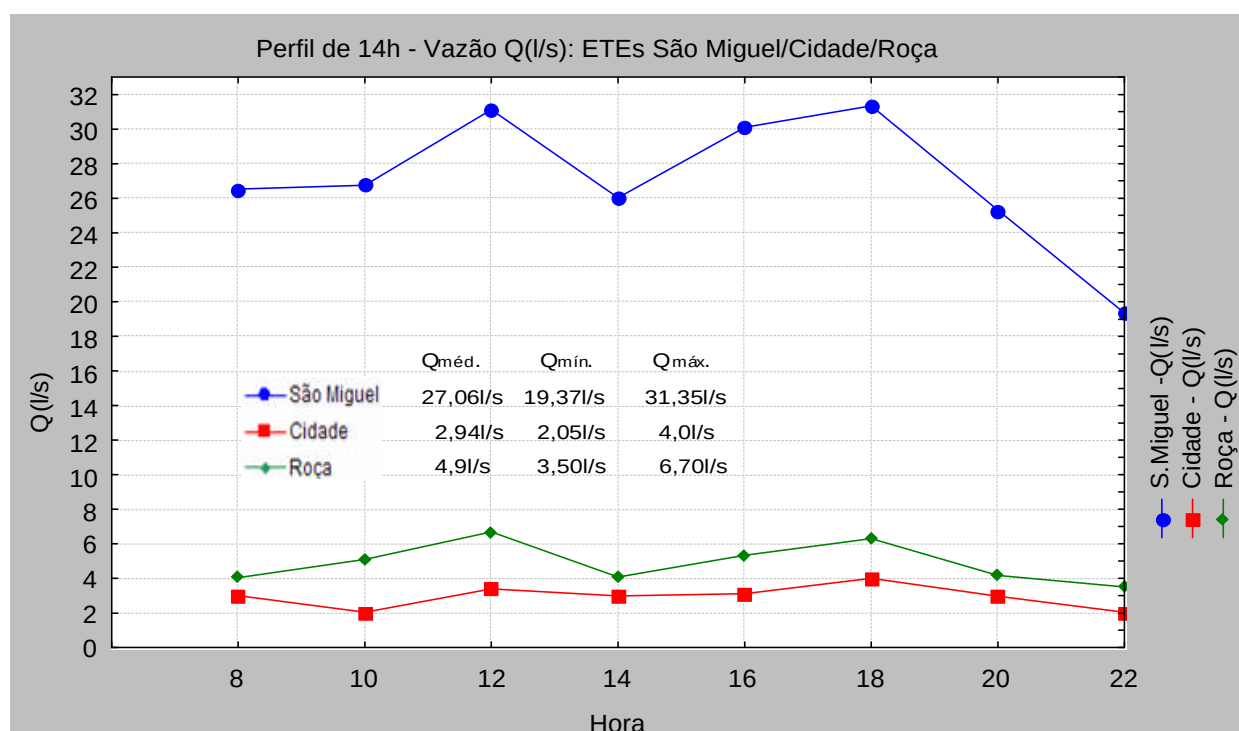


Figura 37 - Resultados do monitoramento de vazão nos três sistemas avaliados (ETE “São Miguel”, “Cidade” e “Roça”).

Em “São Miguel”, a ETE foi dimensionada para uma população de 20.000 habitantes. Atualmente está atendendo 18.400 habitantes. A ETE “Cidade” e “Roça” foram projetadas para uma população de 2.500 e 6000 habitantes. Estão atendendo respectivamente a 2400 e 4500 habitantes.

Uma análise feita nos projetos dos respectivos sistemas comprovou que não foi feita uma projeção do crescimento populacional dessas ETEs ao longo de sua vida útil. Elas foram dimensionadas para atender bairros ou bacias dentro do respectivo município, devido ao crescimento da cidade e à necessidade pelas ações de saneamento básico.

Tabela 21 – Características operacionais das ETEs monitoradas.

	Parâmetros Projetos			Parâmetros Operacionais		
Características	ETE “São Miguel” – Santa Cruz/RN					
	LF1	LF2	LM1	LF1	LF2	LM1
λs (kgDBO/ha.d)	400,00	-	-	546,42	-	-
TDH(d)	15,00	10,00	5,00	16,00	7,00	4,5
Vazão(m³/d)	2400,00	-	-	2.337,98	-	-
DBO(mg/L) afluyente	350,00	-	-	420,00	-	-
Características	ETE “Cidade”- Pedro Velho/RN					
	LF1	LM1	LM2	LF1	LM1	LM2
λs (kgDBO/ha.d)	400,00	-	-	515,64	-	-
TDH(d)	12,50	3,0	3,0	14,00	3,00	3,00
Vazão(m³/d)	300,00	-	-	254,01	-	-
DBO(mg/L) afluyente	350,00	-	-	338,00	-	-
Características	ETE “Roça” – Pedro Velho/RN					
	LF1	LM1	LM2	LF1	LM1	LM2
λs (kgDBO/ha.d)	400,00	-	-	204,62	-	-
TDH(d)	15,00	5,00	5,00	30,00	9,0	9,0
Vazão(m³/d)	720,00	-	-	423,36	-	-
DBO(mg/L) afluyente	350,00	-	-	290,00	-	-

O atendimento local passou a ser coletivo. Isso implica diretamente nos parâmetros operacionais dos sistemas de tratamento de esgoto, tais como TDH, vazão afluyente e altura da lâmina d’água, conforme mostra a Tabela 21, referente aos parâmetros operacionais reais dos sistemas analisados.

O cálculo do TDH levou em consideração a vazão média afluyente ao sistema. Para o cálculo da taxa de aplicação superficial, considerou-se a carga presente no esgoto bruto. Este parâmetro é de grande importância, pois leva em consideração a necessidade de uma determinada área superficial na lagoa para que o processo de fotossíntese aconteça e, assim, garantir uma quantidade de oxigênio necessário para que ocorra a estabilização da matéria orgânica.

Os valores encontrados na Tabela 21 diferem completamente do que foi projetado, principalmente com relação à TDH, profundidades, taxa de aplicação superficial e vazão afluyente. Esses parâmetros são importantes no processo de tratamento, haja vista que sistemas que recebem elevadas concentrações de carga orgânica, têm como consequência, baixo TDH, o que termina por acarretar o surgimento de curto-circuitos no interior da lagoa. Este fenômeno, quando presente, reduz de maneira significativa a eficiência do sistema, sobretudo na remoção de matéria orgânica e Coliformes Termotolerantes. Quando apresenta TDH elevado, ocorre o que chamamos de “zonas mortas”. A ETE “São Miguel” apresentou TDH inferior ao dimensionado, principalmente para as lagoas facultativa secundária e de

maturação, enquanto, nas ETEs “Cidade” e “Roça”, foram encontrados TDH superior ao projetado, principalmente para a lagoa facultativa primária.

No que se refere à altura da lâmina d’água, todas as ETEs encontram-se abaixo da lâmina d’água projetada e acima dos padrões recomendados para a remoção de patógenos, que é de até 1,0m nas lagoas de maturação, segundo Kellner e Pires (1989) e Jordão e Pessoa (2005), pois profundidades maiores diminuem a taxa de decaimento bacteriano e contribuem para a estratificação no corpo da lagoa.

Entretanto, para os resultados dos parâmetros físico-químico e bacteriológico das ETEs estudadas, a Tabela 22 mostra o resumo dos parâmetros analisados durante os meses de agosto/2006 a outubro/2006, apresentando a estatística descritiva dos parâmetros analisados. Todavia, devido ao número pequeno de amostras, num total de 15 por cada pontos de amostragem, foi usado a média como medida de tendência central para os parâmetros de DBO, DQO, pH, OD e T. Para Coliformes Termotolerantes, foi usado a mediana como medida de tendência central, pois a mesma representa um valor intermediário entre a média aritmética e a média geométrica.

Analisando os dados apresentados da Tabela 22 fica evidente que ocorreu grande variação nas concentrações de DQO, OD e Coliformes Termotolerantes, em todas as ETEs monitoradas.

Nas ETEs analisadas, a temperatura média das lagoas de estabilização monitoradas sofreu pequenas variações no sistema apresentando uma amplitude de 27°C a 32°C, com maiores valores para as lagoas de maturação.

Tabela 22 - Resultados da estatística descritiva das 3 ETEs no período monitorado.

ETE	ETE “São Miguel” - Santa Cruz/RN			
Variáveis	EB	ELF	ELM	EF
DBO ₅ (mg/L)	420 (209 - 610)	129 (102-139)	124,1 (105-135)	108,27 (85-118)
DQO (mg/L)	1666 (1440-1780)	750 (358-790)	605 (307-640)	498 (256-576)
pH	7,24 (6,5-7,7)	7,30 (7,0 -8,3)	7,46 (7,0 - 8,6)	7,53 (7,1 - 8,7)
Temperatura (°C)	28,9 (27 - 29)	30 (29-31)	29,9 (27-31)	30,67 (28-32)
O.D (mg/L)	0	1,70 (0 -3,1)	2,90 (1,6-3,2)	2,58 (1,7- 5,5)
C.T (UFC/100ml)	3,10E7 (1,30E+07- 7,10E+07)	3,10E+06 (2,10E+05- 6,90E+06)	2,50E+05 (1,30E+05- 5,50E+05)	3,10E+04 (1,00E+03-9,30E+04)
ETE	ETE “Cidade” – Pedro Velho/RN			
Variáveis	EB	ELF	ELM	EF
DBO ₅ (mg/L)	338 (298 - 480)	103 (90-115)	89 (81-98)	62,6 (45-89)
DQO (mg/L)	889 (806-1200)	398 (305-460)	215,1 (168-358)	148,73 (112-208)
pH	7,22 (7,0 -7,4)	7,38 (7,2-7,6)	7,54 (7,3-7,8)	7,71 (7,4-8,0)
Temperatura (°C)	29,4 (29-30)	30 (30-30)	30,2 (30-31)	30,27 (30-31)
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0	4,34 (3-6)	5,81 (2,0- 7,8)	9,39 (6,5-12,30)
Coliformes Termotolerantes (UFC/100ml)	5,00E+07 (1,50E+07-3,70E+08)	5,00E+05 (1,80E+05-2,70E+06)	3,70E+04 (1,00E+04-7,70E+04)	1,90E+03 (1,10E+03-3,30E+04)
ETE	ETE “Roça” – Pedro Velho/RN			
Variáveis	EB	ELF	ELM	EF
DBO ₅ (mg/L)	290 (215 - 401)	113 (80-189)	90,93 (76-120)	51,60 (41-107,1)
DQO (mg/L)	1222 (806-2080)	400 (256-704)	392 (201-960)	242,8 (128-512)
pH	7,22 (6,8-7,4)	7,4 (7,1-7,6)	7,50 (7,2 – 7,9)	7,67 (7,3 -8,6)
Temperatura (°C)	28,80 (27-30)	29,8 (28-31)	30,06 (28-31)	30,60 (29-32)
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0 (0-0)	4,44 (1,5-5,8)	5,56 (4,1-6,8)	7,78 (4,6-14,00)
Coliformes Termotolerantes (UFC/100ml)	3,50E+07 (5,00E+06-3,50E+08)	3,50E+06 (1,10E+06-4,70E+06)	3,50E+05 (1,20E+05-7,30E+05)	1,50E+04 (5,00E+03-6,70E+04)

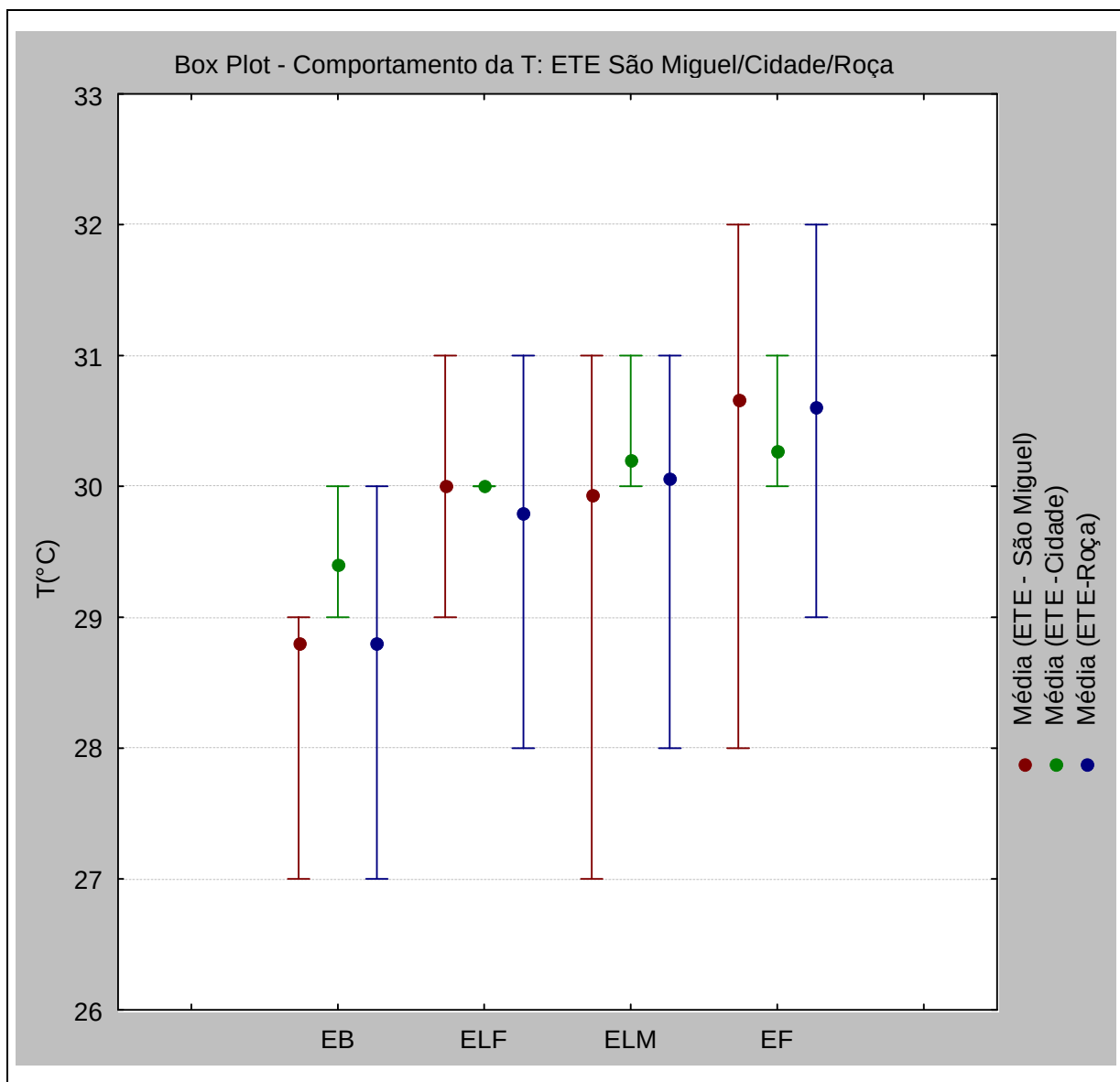


Figura 38 – Variação da Temperatura nas ETEs “São Miguel”, “Cidade” e “Roça”.

Por conseguinte, as temperaturas médias nas lagoas variaram de 28,8°C, no EB, para 30,67°C, no efluente final (ETE “São Miguel”), conforme mostra a Figura 38. Essa faixa média está em conformidade com a temperatura da região litorânea do Brasil e dentro da faixa encontrada na literatura para esgoto bruto. A predominância nesta faixa de temperatura deu-se devido ao horário de coleta, que era de 8-10h da manhã.

Para o pH, foi verificada uma faixa de variação entre 7,22 – 7,71, sendo 7,2 o valor médio para o esgoto bruto e os valores variando de 7,3 – 7,71 para as lagoas facultativas e de maturação, sendo que Medeiros (2005), avaliando a ETE “Ponta Negra”, em Natal/RN, encontrou essa mesma faixa, para sistemas com essa configuração. Geralmente o pH de um sistema de lagoas de estabilização deve ter um aumento ao longo da série, em virtude da

influência do processo fotossintético das algas que, ao consumirem o dióxido de carbono (CO_2) dissolvido na massa líquida, dissocia o íon bicarbonato (HCO_3^-), libera a hidroxila (OH^-) e aumenta o pH no meio. Isto vem confirmar estudos feitos por Mara e Silva (1979), que relatam a variação deste parâmetro ao longo das horas iluminadas do dia. Essa tendência da literatura e dos sistemas avaliados é comprovada por Oliveira (2004), que, analisando a ETE “Ponta Negra”/RN, obteve um pH médio de 7,0 para o esgoto bruto e de 7,4 na primeira lagoa de maturação. Entretanto, o pH médio das ETEs, é mostrado conforme Figura 39, mostrada através dos gráficos de Box-Plot.

A ETE “Cidade” foi a que apresentou maior valor médio no efluente final, podendo observar tendências de aumento ao longo das 3 ETEs cujos efluentes finais apresentaram valores médios de 7,53 (“São Miguel”); 7,71 (“Cidade”) e 7,67 (“Roça”). Entretanto, as maiores concentrações de pH medidos no esgoto bruto afluentes aos sistemas, foram detectados na ETE “São Miguel”, embora as médias tenham sido muito próximas, provavelmente decorrente da adição de cal, que é feita regularmente na entrada do tratamento preliminar com o objetivo de controlar maus odores, uma vez que essa mesma problemática, que desencadeia a elevação de pH em lagoas de estabilização, foi analisada por Araújo *et al.*, (2003a), num estudo de quatro ETEs na grande Natal/RN.

Com relação ao Oxigênio Dissolvido, a faixa de variação não foi muito significativa, oscilando de 1,7mg/L (lagoas facultativas) a 9,39mg/L (lagoa de maturação) e com valores médio, no efluente final, de 2,58 mg/L (ETE “São Miguel”), 9,39mg/L (ETE “Cidade”) e 7,78mg/L (ETE “Roça”), conforme mostra a Figura 40 .

Essa oscilação pode estar associada a diversos fatores. Entre os mais relevantes, pode-se citar: TDH total pequeno, profundidade e o sua variação ao longo do dia decorrente do processo fotossintético das algas. Quanto ao oxigênio dissolvido, nas ETEs estudadas, foi observado que houve um crescimento ao longo da série de cada ETEs. Os valores altos encontrados nas ETEs “Cidade” e “Roça”, podem ser decorrente do crescimento algal no seu interior, da profundidade dos reatores , dos TDH e da mistura que também é responsável pelo transporte do oxigênio produzido na zona fótica para as camadas inferiores da lagoa. A ETE “São Miguel” foi a que apresentou as menores médias de OD, ao longo da série. Uma das possíveis justificativas pode ser decorrente da profundidade dos reatores e do TDH pequeno para a carga orgânica que recebe diariamente.

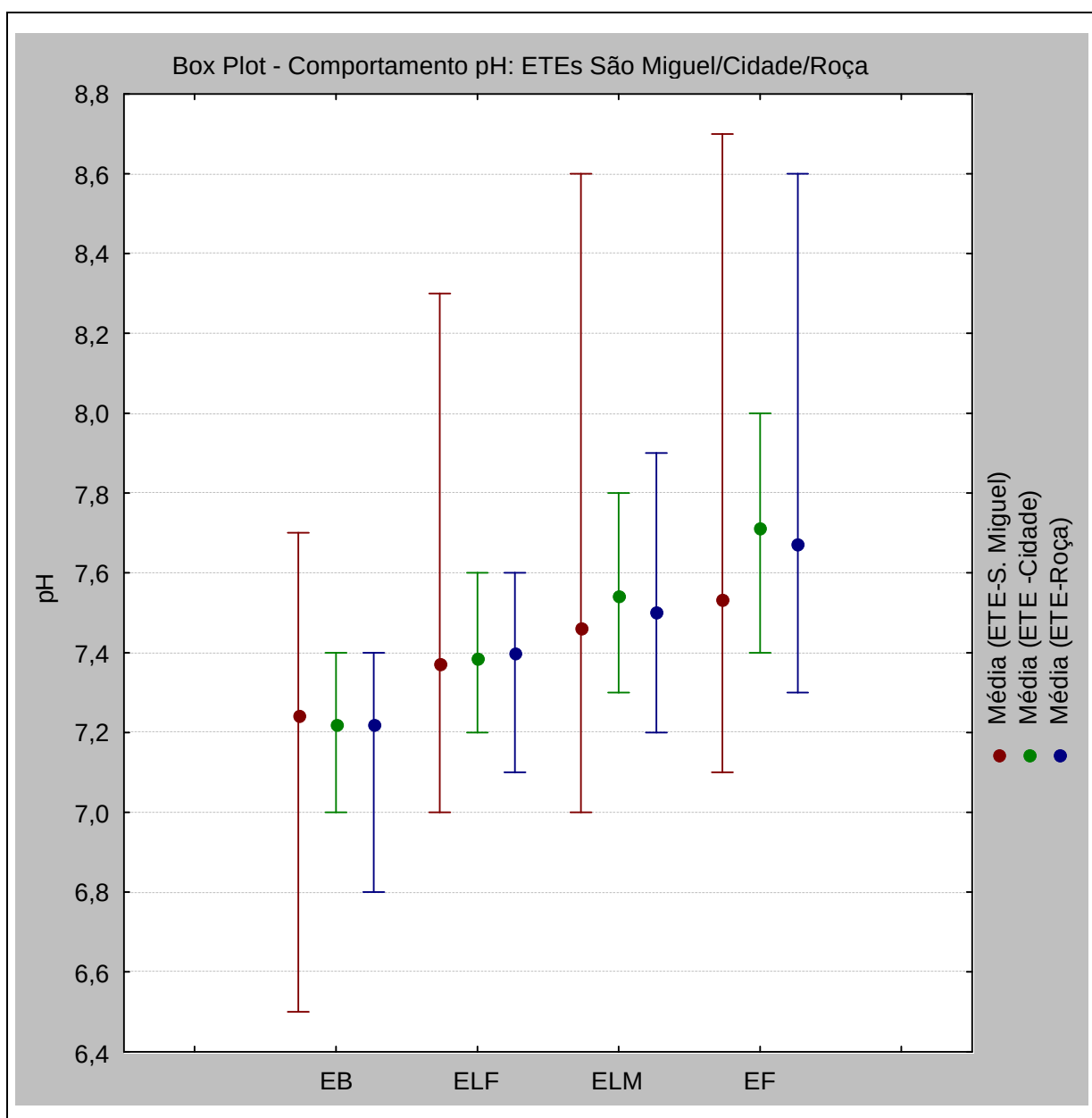


Figura 39 – Variação do pH nas ETEs “São Miguel”, “Cidade” e “Roça”.

No que concerne aos parâmetros de DBO e DQO, o monitoramento de rotina revelou valores médios de DBO e DQO para o esgoto bruto das ETEs “São Miguel”, “Cidade” e “Roça” respectivamente, de 420mg/L, 338mg/L, 290mg/L e 1666mg/L, 889mg/L e 1222mg/L. Para Von Sperling (2005), esses valores médios, estão dentro da faixa encontrada em literatura para esgotos domésticos que é da ordem de 250mg/L - 400mg/L, exceto a ETE “São Miguel”, que apresentou DBO de 420mg/L. Para a DQO, todos os sistemas tiveram valores médios acima de 800mg/L, uma vez que, este é o limite encontrado na literatura.

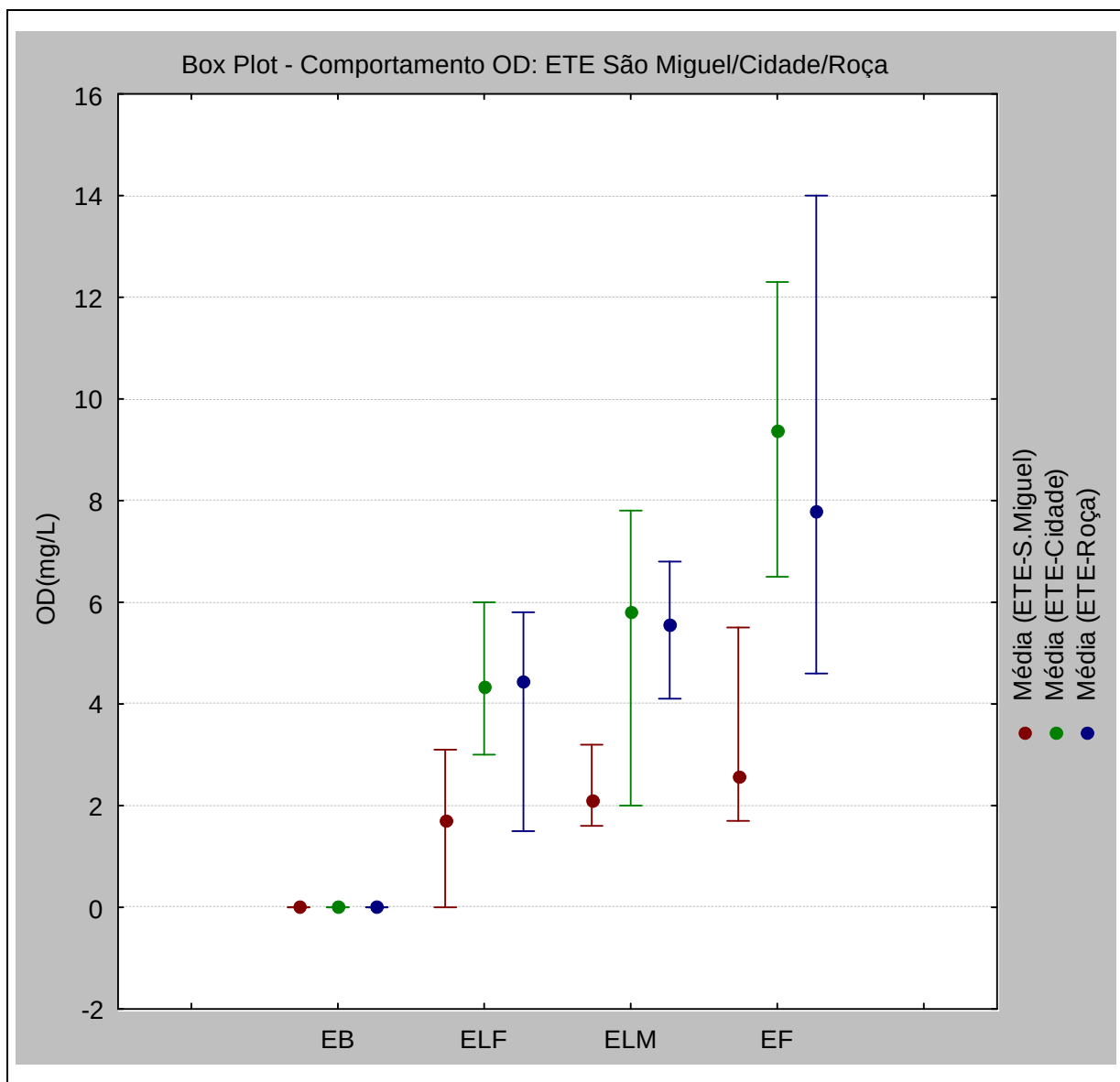


Figura 40 – Variação do OD nas ETEs “São Miguel”, “Cidade” e “Roça”.

A avaliação da eficiência dos sistemas de tratamento de esgotos é, normalmente, feita com base no potencial de depleção de oxigênio causado pela matéria orgânica presente na água residuária em questão. As análises das Figuras 41-42, mostram as concentrações médias de DBO e DQO e suas respectivas eficiências, como também, deixa claro que as concentrações foram gradativamente reduzidas ao longo da série de lagoas, sendo obtidos nos efluentes valores médios de DBO, para as ETEs, 108mg/L (“São Miguel”), 62mg/L (“Cidade”) e 51mg/L (“Roça”) e para DQO na ordem de 498mg/L (“São Miguel”), 148mg/L (“Cidade”) e 180mg/L (“Roça”). Dessa maneira, a eficiência média resultante de DBO, para as ETEs “São Miguel”, “Cidade” e “Roça”, foram na ordem de 74%, 81% e 82%. Das três ETEs apenas as “Cidade” e “Roça”, alcançaram a eficiência para um sistema em

série de lagoas facultativas seguidas por maturação, que, segundo Jordão e Pessoa (2005), está na faixa de 80 - 85%.

Para o parâmetro de DQO, a eficiência resultante para “São Miguel”, “Cidade” e “Roça”, foram respectivamente, 70%, 83% e 80%. Mais uma vez, somente a ETE “São Miguel”, teve uma eficiência baixa para remoção de DQO, que é de 70 – 83% (op.cit). Uma das prováveis causas para a baixa eficiência pode ser decorrente da alta carga orgânica aplicada (546,42 kg DBO/ha.dia), superior ao estimado em projeto, que é de 400 kgDBO/ha.dia e o TDH total muito pequeno: 27,5 dias . No entanto, as elevadas concentrações de esgotos afluentes e as características de degradabilidade dos esgotos, seguindo uma cinética de primeira ordem, são condicionantes para as elevadas taxas de remoção. Isso significa dizer que a degradação ocorre de forma mais rápida nos primeiros reatores, ficando cada vez mais difícil remover matéria orgânica, sendo essa remoção pouco significativa nas unidades subseqüentes. Essa característica pode ser visualizada nas Figuras 41-42, onde é fácil perceber que a remoção de DBO e DQO ocorreram principalmente nas lagoas facultativas. Araújo *et al* (2003 a, 2003b), em estudos realizados com 4 ETEs na grande Natal/RN, obteve eficiência na remoção de DBO, na faixa de 72% a 85% , dentro da faixa aceita pela literatura, e DQO um pouco abaixo, na faixa de 58% a 73%, corroborando com as características de remoção elevada de DBO em lagoas facultativas.

A Figura 43 mostra as relações DBO/DQO, para os três sistemas monitorados, embora, à medida que ocorre o tratamento, observa-se uma oscilação na relação, indicando a predominância de materiais mais resistentes a degradação biológica. Entretanto, todos tiveram a predominância de materiais de fácil degradação biológica com $DBO/DQO < 0,42$, ou seja, alta. A ETE “Roça” foi a que apresentou a característica que se esquia mais de esgoto predominantemente doméstico com $DBO/DQO < 0,28$, ou seja, muito baixa.

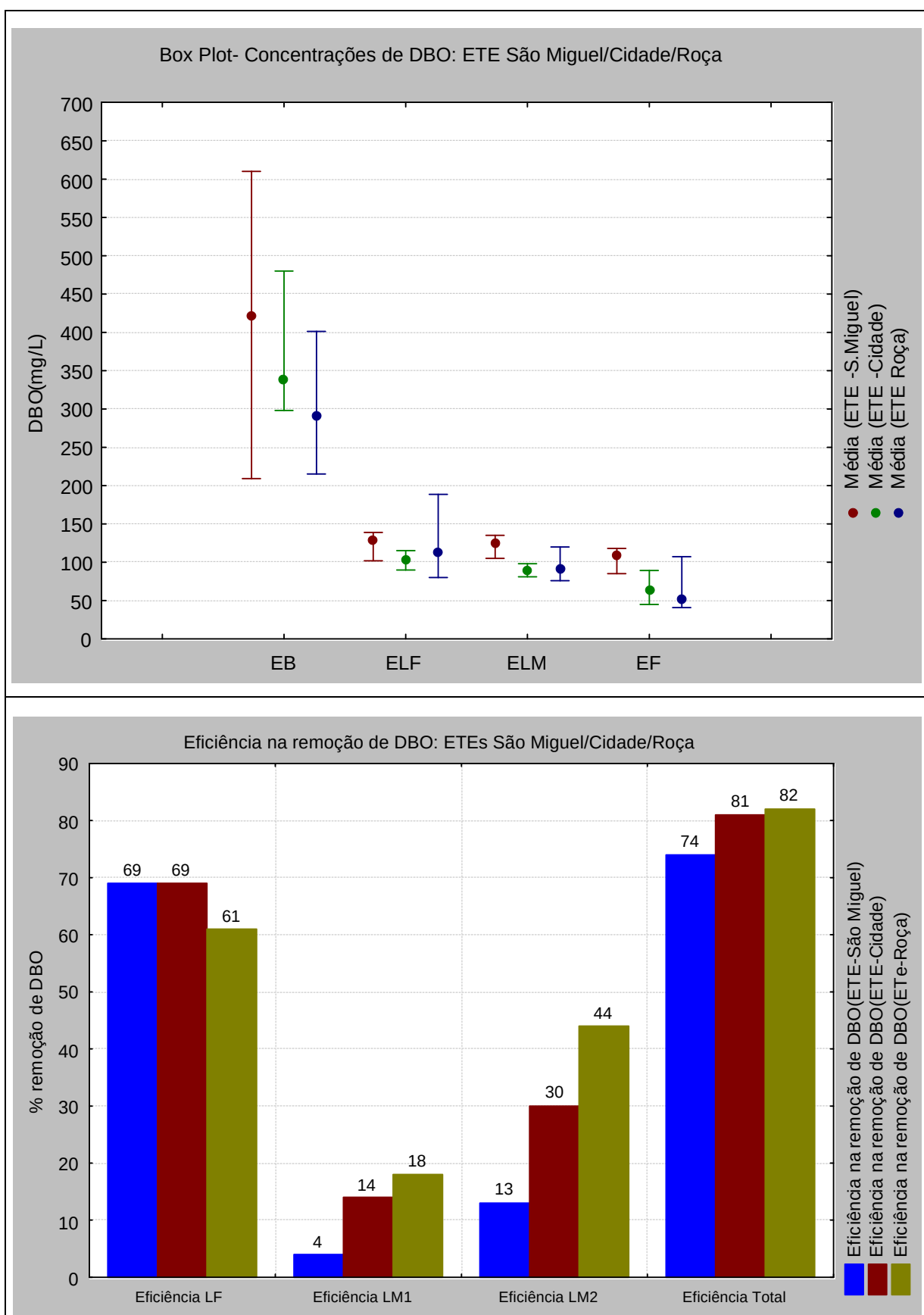


Figura 41 – Variação e eficiência das ETEs na remoção de DBO.

Como as três ETEs tratam esgotos domésticos, a alta incidência de substância de difícil degradação decorre de efluentes de diversas unidades contribuintes nos municípios, tais como

domiciliares, fossas sépticas, hotéis, hospitais, de dimensionamento, operação e manutenção, etc.

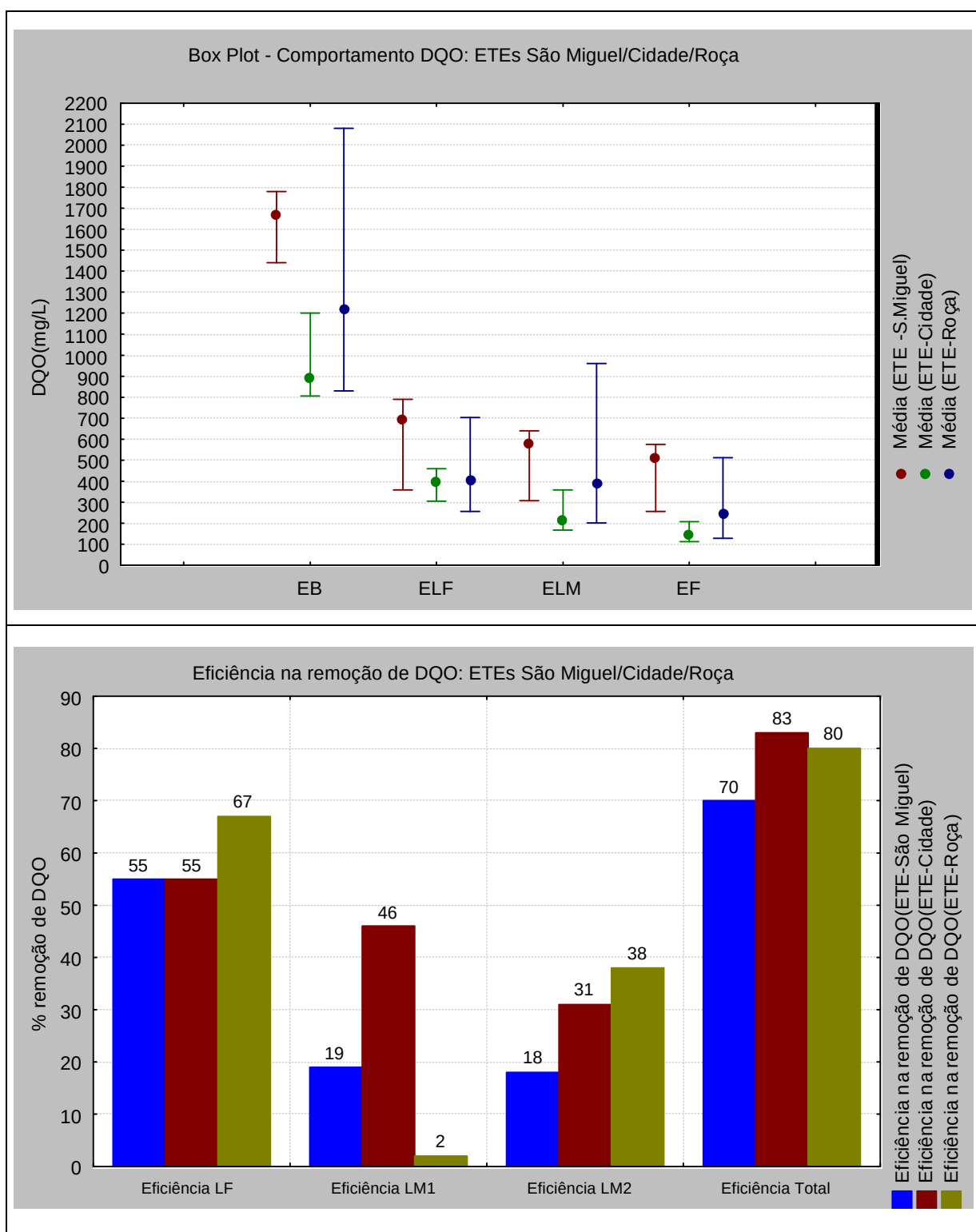


Figura 42 – Variação e eficiência das ETEs na remoção de DQO.

Para Guimarães (2006), a tendência dessa relação é de diminuir ao longo das lagoas, devido a redução paulatina da fração biodegradável, ao passo que a fração inerte permanece aproximadamente inalterada.

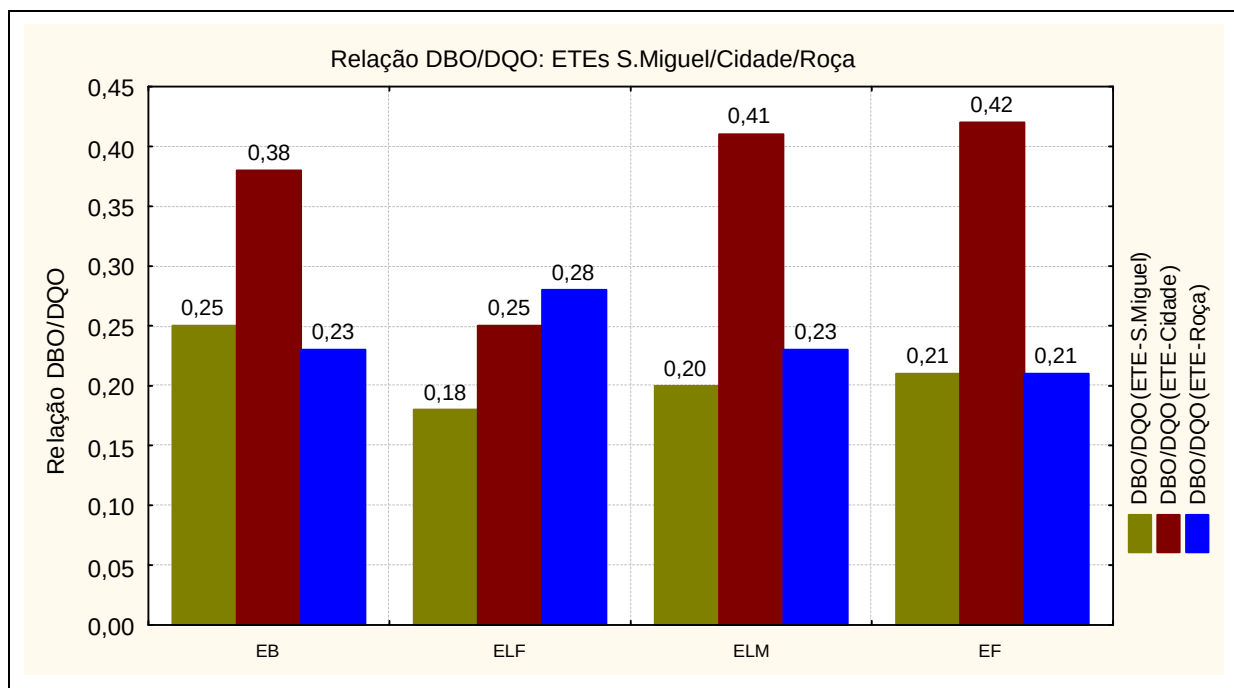


Figura 43 – Gráfico da relação DBO/DQO nas ETEs monitoradas.

As concentrações de coliformes termotolerantes presentes nos esgotos brutos e nos efluentes dos reatores do sistema monitorado estão detalhadas na Figura 44, valendo aqui frisar que todas estão na faixa considerável, no que refere à concentração de esgoto doméstico que é de $10^6 - 10^9$ NMP/100ml (JORDÃO ; PESSOA, 2005). Nestas ETEs os esgotos brutos estão na faixa de 10^7 UFC/100ml, faixa típica de concentrações usada pela CAERN em projetos de esgotos que é de $10^7 - 10^8$. As ETEs “São Miguel”, “Cidade” e “Roça” apresentaram concentrações médias de coliformes termotolerantes afluentes de $3,10 \times 10^7$ UFC/100ml, $5,0 \times 10^7$ UFC/100ml e $3,50 \times 10^7$ UFC/100ml. Para os efluentes finais, concentrações de $3,10 \times 10^4$ UFC/100ml, $1,90 \times 10^3$ UFC/100ml e $1,50 \times 10^4$ UFC/100ml, correspondendo eficiências de remoções de 99,90% (ETE “São Miguel”), 99,99% (“Cidade”) e 99,95% (“Roça”). A ETE “Cidade” foi a que apresentou uma maior eficiência na remoção de patógenos.

Entretanto, para as ETEs “São Miguel” e “Roça”, que alcançaram eficiências iguais de 3 log, considerado ainda baixo, para uma série de três lagoas, pode ser decorrente de diversos fatores, quais sejam: como TDH e pH baixo, profundidade dos reatores, embora Macedo (2005), avaliando uma lagoa com configuração igual, tenha obtido a mesma eficiência, encontrada para estas lagoas. Para Pearson *et al* (2005), analisando a eficiência de lagoas profundas na remoção de coliformes, comprovaram que, para uma lagoa com profundidade maior que 2,20m, para que alcance uma concentração de 10^3 NMP/100ml de coliformes é

necessário um TDH > 32 dias e, nestas ETEs com baixa eficiência de remoção todos os fatores condicionantes foram detectados.

A elevada eficiência na remoção de coliformes termotolerantes, encontrado na ETE “Cidade”, pode ser decorrente de dois fatores principais, a saber: disponibilidade de operadores diariamente e operação e manutenção das lagoas de estabilização regular. Esta prática foi observada, de maneira implícita, durante o período de monitoramento nas 3 ETEs avaliadas. Em Pedro Velho/RN, onde está localizada duas ETEs de gerenciamento diferenciado, uma pelo município a ETE “Cidade” e outra pelo Estado (CAERN) a ETE “Roça”. Os dois operadores da ETE “Cidade”, reversavam-se diariamente nos dois sistemas, realizando as funções de operadores e serventes, conforme as atribuições solicitadas por estes profissionais em lagoas de estabilização. As características físicas operacionais, mostradas em duas etapas, antes e durante o monitoramento, na Figura 45, evidenciam a importância da parte operacional e de manutenção em sistemas de lagoas de estabilização.

No entanto, os melhores resultados no período monitorado, estão sintetizados conforme detalha a Tabela 23. A ETE “São Miguel”, apesar do número necessário de operadores neste sistema, num total de dois, não obteve uma eficiência típica para remoção de DBO, que é de 80%-85% (JORDÃO e PESSOA, 2005). Embora, Von Sperling (2004), avaliando 115 lagoas facultativas na região Sudeste do Brasil, tenha obtido uma eficiência média de 74%, mesmo valor encontrado para esta série de lagoas.

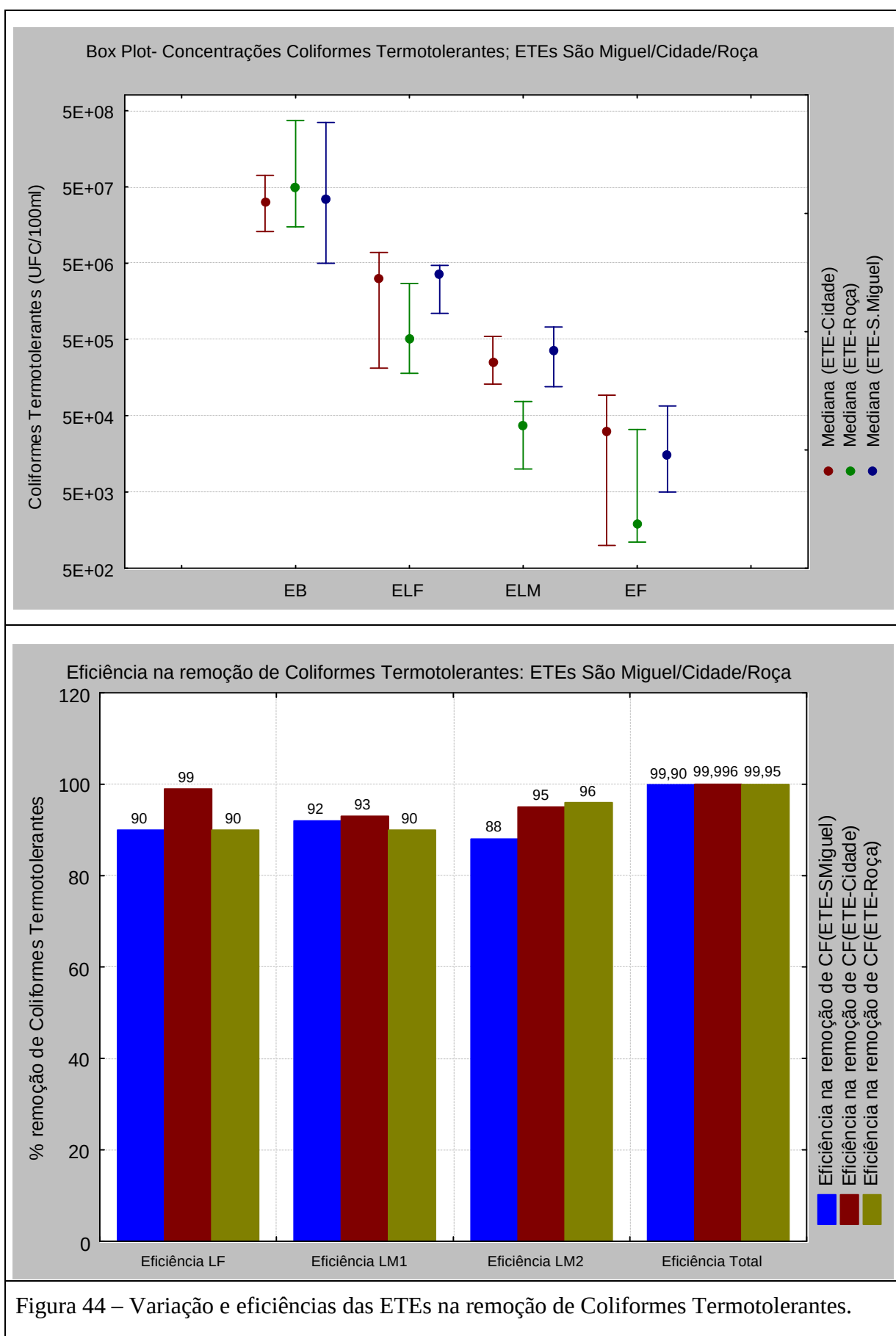


Figura 44 – Variação e eficiências das ETEs na remoção de Coliformes Termotolerantes.



Figura 45 – Aspectos dos sistemas antes e durante o monitoramento.

Em termos de eficiência na remoção de DBO, DQO e Coliformes Termotolerantes, em ordem decrescente, as melhores eficiências são atribuídas à ETE “Cidade”, seguida da “Roça” e “São Miguel”. Segundo, Jordão e Pessoa (2005), as lagoas de estabilização devem cumprir dois objetivos: a proteção ambiental, tendo em vista à remoção de DBO, e a saúde pública, tendo em vista a remoção de patógenos. Como o efluente é lançado em corpo receptor hídrico, neste caso os parâmetros de DBO e Coliformes Termotolerantes, têm elevada importância, quando os objetivos são a saúde e o meio ambiente.

Tabela 23 – Diagnóstico operacional dos órgãos de gerenciamento ambiental: Estado, Município e SAAE.

ETE	CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS AVALIADOS							Eficiência DBO/ Coliformes	
	Eficiência Operacional				REÚSO (Agricultura e outros fins)			Melhores Desempenhos	
	↑ DBO	↓ DBO	↑ CF	↓ CF	CONAMA 357/2005	OMS ^(a)			
					Atende	A	B	C	
Cidade		X		X	Não	Não	Sim	Sim	1º Cidade (Município)
Roça		X	X		Não	Não	Sim	Sim	2º Roça (ESTADO)
S.Miguel	X		X		Não	Não	Sim	Sim	3º S.Miguel (SAAE)

Legenda: ↑ DBO = DBO alta fora da faixa aceita pela literatura. ↓ DBO = DBO baixa dentro da faixa aceita pela literatura.
 ↑ CF = Baixa eficiência, concentração alta de CF. ↓ DBO = Alta eficiência, concentração baixa de CF.

(a) Categorias da OMS:

- (A) Irrigação de parques públicos, campos desportivos e culturas que são consumidas cruas. O grupo exposto é compreendido pelos trabalhadores, consumidores e o público em geral. Para esta categoria o tratamento dos esgotos deve fornecer um efluente que apresente uma qualidade microbiológica com valores para nematóides intestinais ≤ 1 ovo/litro e CF $\leq 1000/100\text{ml}$.
- (B) Irrigação de cultura de cereais para a indústria, forrageiras e para arborização. O único grupo exposto é constituído dos trabalhadores rurais e não existe padrão para CF. O nível estabelecido para nematóide intestinais ≤ 1 ovo/litro.
- (C) Correspondem as culturas da categoria B, nenhum trabalhador nem o público estão expostos. O tratamento deve atender às exigências da tecnologia de irrigação, requerendo-se pelo menos sedimentação primária.

Quanto ao reúso do efluente tratado na agricultura, com exigência de qualidade igual ou inferior a $10^3/100\text{ml}$ de coliformes, como é o caso de culturas consumidas cruas, segundo CONAMA 357/2005, este pode ser praticado se a redução de Coliformes Termotolerantes atingir eficiência de 99,999% ou 5 log. Neste caso, todas estão impróprias para tal uso. Mas,

com relação à qualidade microbiológica desses efluentes para uso tanto na agricultura como na piscicultura, a Organização Mundial de Saúde – OMS-, define as categorias A, B e C de reúso e recomenda limites específicos para coliformes fecais e ovos de helmintos (WHO,1989). Dentre as três categorias, apenas a categoria A não atende aos padrões da OMS para as três ETEs avaliadas, por tratar-se de irrigação de parques públicos e culturas consumidas cruas, tendo o efluente uma qualidade microbiológica para remoção de coliformes ≤ 1000 NMP/100ml. A categoria B trata de culturas de cereais para indústria, forrageira e arborização, não existindo padrão para coliformes e, sim, para helmintos ≤ 1 ovo/litro. Para atingir esse valor, segundo Von Sperling (2002), para irrigação restrita e irrestrita, as eficiências de remoção em lagoas de estabilização devem estar na faixa de 1 a 3 unidades log, ou seja, 90% a 99,9%, neste caso todas as ETEs encontram-se nesta faixa, podendo, assim, ser usadas para reúso de categoria B e C. Onde a categoria C difere da B, apenas na operação, ou seja, em vez de humana, tem-se a máquina. Neste caso, o efluente deve atender às exigências da tecnologia de irrigação. Vale salientar, que, segundo a OMS, uma série de lagoas com TDH total de 8 dias pode produzir efluentes com menos de 1 ovo/litro em média de helmintos.

No que concerne qualidade dos efluentes tratados nas ETEs, os valores encontrados estão acima do estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 que é $\leq 10^3$ NMP/100ml de coliformes termotolerantes, para lançamentos em corpos receptores hídricos. Valor este dependente de estudos de autodepuração do corpo receptor para recebimento de efluentes.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir das análises dos diagnósticos de eficiências realizados, um acerca das 78 ETEs por meio de lagoas de estabilização existentes no Rio Grande do Norte e o outro avaliando três ETEs, como estudo de caso. Vimos que, não somente a operação e manutenção são importantes quando o objetivo é a eficácia operacional nestas modalidades de tratamento, mas também os parâmetros de projetos e as etapas construtivas que elas solicitam. Partindo dessas considerações, as conclusões acerca do diagnóstico operacional de lagoas de estabilização foram:

1. Desde a introdução do sistema de tratamento de esgoto por meio de lagoas de estabilização, no estado do Rio Grande do Norte, no início da década de 80 do século XX, as décadas seguintes mostraram um certo crescimento dessa modalidade de tratamento , passando das 12 ETEs, na década de 1980, para 43 em(1990) e 78 em (2000-2006).
2. A configuração predominante no RN é de lagoa facultativa primária, seguida das lagoas de maturação primária e secundária, tendo um percentual de 46%, totalizando 36 ETEs. As justificativas para as diversas configurações são disponibilidades de recursos orçamentários e a conseqüente divisão dos sistemas em etapas.
3. Das 78 ETEs avaliadas, apenas 52 delas possuem operador. Deste total, 26 “tratam” seus esgotos sem nenhuma operação técnica e monitoramento adequado.
4. Das ETEs estudadas, 38 dispõem de sistema preliminar. Considerando uma remoção que varia de dia a um mês/ETE, a periodicidade na remoção de sólidos na grade foi de 38%, 36% de lodo flotante e 40% remoção de areia. Com relação as demais ETEs, a remoção dar-se-á a partir de reclamações oriundas da própria população circunvizinha, que na maioria das vezes, conta com o apoio jurídico ambiental.
5. O destino dos efluentes tratados têm as seguintes direções, 59% lançados sobre rios ou riachos, 29% lançados sobre o solo e 12% usados na prática de reúso. As Regionais “Natal” e “Caicó”, são as que mais lançam efluentes tratados em corpo hídrico, num total de 10 ETEs para cada. O esgoto usado na prática de reúso, não apresenta garantia sanitária

alguma, muitos coletam o efluente ainda dentro dos reatores ou desviam *in natura* no percurso da rede coletora para rega de capim.

6. Para o diagnóstico operacional das 78 ETEs, no que refere-se a remoção de DBO e Coliformes Termotolerantes, 9% tiveram conceito bom; 45% conceito médio; 41% conceito ruim .
7. As concentrações afluentes de esgoto nas ETEs apresentaram para o Estado do RN, DBO de 410mg/L, DQO de 658mg/L e Coliformes Termotolerantes de $2,50 \times 10^7$ UFC/100ml.
8. Dos 09 tipos de modalidades de tratamento por meio de lagoas de estabilização no RN, a configuração que mostrou melhor eficiência na remoção de DBO foi “F₁+M₁+M₂” com 69%.
9. As regionais com melhores eficiências na remoção de DBO foram “Natal” com 76% e “Mossoró” com 75%. E, para remoção de coliformes foram as regionais “Mossoró” com 2 log e “Litoral Norte” com 2 log.
10. Na avaliação dos três órgãos de gerenciamento ambiental do Estado do RN, no que refere-se a eficiência na remoção de DBO e Coliformes Termotolerantes foram os SAAEs, com remoção de 69% e 2 log respectivamente.
11. No Estudo de Caso, foram encontradas as seguintes ocorrências.
 - 11.1 Os esgotos afluentes aos sistemas tiveram as seguintes características para os parâmetros de DBO, DQO e CF. Quanto a concentração de DBO, estão dentro das faixas encontradas para esgoto predominantemente doméstico de 300mg/L – 400mg/L, exceto a ETE “São Miguel”, que apresentou uma concentração média de 420mg/L. A DQO encontrada, estão na faixa verificada em diversos trabalhos técnicos local, variando de 800mg/L – 2500mg/L, para esgoto doméstico. No que concerne à remoção de Coliformes Termotolerantes, todas as três ETEs apresentaram concentração média de 10^7 UFC/100ml.
 - 11.2 Os efluentes finais tiveram as seguintes concentrações médias e eficiências finais resultantes para os parâmetros do item anterior. As ETEs São Miguel, Cidade e Roça tiveram concentrações médias finais de 108mg/L, 62mg/L e 51mg/L eficiências de 74%, 81% e 82%. A DQO apresentou valores de 498mg/L, 148,73mg/L e 180,00mg/L respectivamente para as ETEs São Miguel, Cidade e Roça conseqüentemente alcançando eficiências médias de 70%, 83% e 81%.
 - 11.3 As concentrações finais de coliformes termotolerantes nas ETEs foram de $3,10 \times 10^4$ UFC/100ml (São Miguel), $1,90 \times 10^3$ UFC/100ml (Cidade) e $1,50 \times 10^4$ UFC/100ml (Roça), obtendo eficiências finais de 99,90% ou 3 unidades log, 99,99% ou 4 unidades log e 99,95% ou 4 unidades log. Das três ETEs a que mais aproximou-se da faixa citada em

literatura para lagoas facultativas seguidas por maturação que é de 5 unidades log, foi a ETE “Cidade”.

- 11.4 Para a prática de reúso em atividades agrícolas nenhuma das ETEs avaliadas atendem os limites estabelecidos pelo CONAMA 357/2005, com exigência de qualidade igual ou inferior a $10^3/100\text{ml}$ de coliformes, como é o caso de culturas consumidas cruas pode ser praticado se a redução de Coliformes Termotolerantes atingir eficiência de 99,999% ou 5 log. Neste caso, todas estão impróprias para tal uso.
- 11.5 Na avaliação das três ETEs os melhores desempenhos operacionais em termo de eficiência de remoção de DBO, DQO e Coliformes Termotolerantes ordem decrescente foi a ETE “Cidade”, ETE “Roça” e ETE “São Miguel”.
12. Como recomendações, sugere-se que seja criado um Manual de Operação para operadores que atuam nas ETEs do Estado do Rio Grande do Norte.
13. Que os órgãos responsáveis pelo gerenciamento ambiental no RN, criem programas de capacitação de operadores e pessoal que atuam nas Estações de Tratamento de Esgoto.
14. Que os órgãos de gerenciamento ambiental do RN criem Programas de Monitoramentos no mínimo mensais para os principais parâmetros de importância ambiental e sanitária, tais como: DBO, DQO, Coliformes Termotolerantes, parâmetros para remoção de nutrientes e o acompanhamento do comportamento junto as ETEs do OD, pH, T e Sólidos Sedimentáveis etc.
15. Que os órgãos de gerenciamento ambiental do RN incentivem a prática de reúso de maneira tecnicamente saudável dentro de uma visão sanitária.

REFERÊNCIAS

ANDRADE NETO, C. O. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários: experiência brasileira.** Rio de Janeiro: ABES, 1997.

APHA et al.. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 18. ed. New York : Public Health Association Inc, 1998.

ARAÚJO, A. L. et al. Avaliação da ETE Ponta Negra (Natal/RN): remoção de matéria orgânica e ciclo do fósforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...** Rio de Janeiro:ABES, 2003a. 1 CD.

_____. Avaliação de quatro séries de lagoas de estabilização na grande Natal na remoção de matéria orgânica e coliformes fecais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2003b. 1 CD.

ARCEIVALA, S. J. **Wastewater treatment and disposal.** New York: Marcel Dekker, 1981.

ARTHUR, J P. **Notes on the design and operation of waste stabilization ponds in warm climates of developing countries.** Washington: World Bank, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9897:** planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores: procedimentos. Rio de Janeiro, 1987a.

_____. **NBR 9898:** preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores: procedimento. Rio de Janeiro, 1987b.

ATLAS do Rio Grande Do Norte. Natal: Governo do RN, 2004.

BASTOS, R. K. X. (Coord.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura.** Rio de Janeiro: ABES; Rima, 2003. (PROSAB, v.3).

BRASIL. **Lei Federal Nº 9433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2001.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Investimentos federais em saneamento:** relatório de aplicações entre 01 de janeiro de 2003 e 30 de setembro de 2006. Brasília, 2006.

BRASIL. **Portaria Nº 357, de 19 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 lançamentos de efluentes, e dá outras providências. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P. C. S. Conceito de reúso de água. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (Org.) . **Reúso de água.** São Paulo: Manole, 2003. p. 21- 36.

CAPRA, F. A Teia da Vida – Uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo: Cultrix, 1997.

CAVALCANTI, Paula Franssinetti Feitosa et al. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por lagoas de polimento. In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.** Belo Horizonte: PROSAB, 2001. v. 2, p.105-170.

CEBALLOS, B. O. Aspectos sanitários do reúso de águas. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE REÚSO DE ÁGUAS, 2005, Natal. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2005. 1 CD.

COMPANHIA DE ÁGUA E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE - CAERN. **Gestão do saneamento no Rio Grande do Norte.** 2006. Disponível em: <Erro! A referência de hiperlink não é válida.>. Acesso em: 20 set.2006.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. **Operação e manutenção de lagoas de estabilização.** São Paulo,.1989. (Série Manuais).

CUBILLOS, A. **Criterios para dimensionar lagunas de estabilizacion.** [S.l.]: CEPIS, 1986.

CUNHA, J. A . **A gestão municipal através de tecnologias de geoprocessamento e cadastro urbano.** 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE - EMPARN. **Metereologia do RN.** Disponível em:<http://www.emparn.rn.gov.br/links/metereologia/acumulado_chuva>. Acesso em: 19 set. 2006.

ESPAÑA. Ministro de Obras Publicas y Transporte. **Depuración por lagunaje de águas residuales:** manual de operadores. España: MOPT, 1991.

FORERO, R. S. **Lagunas de estabilización y otros sistemas simplificados para el tratamiento de aguas residuales.** 2. ed. Lima: CEPIS, 1985.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM. **Orientações técnicas para operação de estações de tratamento de esgoto.** Belo Horizonte, 2005.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Gerenciamento do lodo de lagoas de estabilização não mecanizada.** Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 1999.

GUIMARÃES, A. S. V. **Avaliação de um sistema de lagoas de estabilização tratando resíduos de limpa-fossa.** 2006. Monografia (Tecnólogo em Controle Ambiental) – Departamento de Recursos Naturais, Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Pesquisa nacional de saneamento básico. 2000. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br> > . Acesso em: 20 dez.2006.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E MEIO AMBIENTE - IDEMA. **Perfil de municípios do RN.** Disponível em:<<http://www.rn.gov.br/secretarias/idema/perfilrn/Aspectos-fisicos.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2006.

IVO, P.S. **Técnicas de Sistemas de informações georreferenciadas na elaboração de um inventário de recursos naturais: estudo de caso da cidade de Acari-RN.** 2001. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2001.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

KELLNER, E.; PIRES, E. C. **Lagoas de estabilização: projeto e operação.** Rio de Janeiro: ABES, 1998.

MACEDO, S.L. **Avaliação da taxa de decaimento de coliformes fecais no sistema de lagoas de estabilização de Ponta Negra - Natal/RN.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Departamento de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

MARA, D. D. **Design manual for waste stabilization ponds in India.** Leeds: Lagoon Technology International, 1997.

MARA, D. D.; PEARSON, H. W. **Design manual for waste stabilization ponds in Mediterranean countries.** Leedes: Lagoon Technology International, 1998.

MARA, D. D. et al. **Waste stabilization ponds: a design manual for Eastern Africa.** Leedes: Lagoon Technology International, 1992.

MEDEIROS, F.B.B. **Avaliação da eficiência da ETE de Ponta Negra em termos da remoção dos colifagos somáticos e coliformes termotolerantes.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Departamento de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

MENDONÇA, S. R. (Org.). **Lagoas de estabilização e aerada mecanicamente: novos conceitos.** João Pessoa: [s.n.], 1990.

NELSON, K.L.; YANG,I.J. The effects of degradation and consolidation on sludge accumulation in primary wastewater stabilization ponds. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WASTE STABILISATION PONDS, 6., 2004, Avignon. **Anais...** Avignon (France): IWA, 2004. p.347-355.

OAKLEY, S. M. **Lagunas de estabilización en Honduras: manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad.** California: Universidad Estatal de California, 2005.

OLIVEIRA, E. C. A. **Avaliação da remoção de matéria orgânica na Estação de Tratamento de Esgoto de Ponta Negra/RN**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Departamento de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

PEARSON, H. W. et al. Aspectos de processos biológicos e físico-químicos afetando o design físico de lagoas de estabilização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2005.
1 CD.

PICOT, J.P.B. et al. Wastewater stabilisation ponds: Sludge accumulation, technical and financial study on desludging and sludge disposal. Case studies in France. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WASTE STABILISATION PONDS, 6., 2004, Avignon. **Anais...** Avignon (France): IWA, 2004. p.357-365.

RIO GRANDE DO NORTE. Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos. **Plano estadual de recursos hídricos**: relatório síntese. Natal, 1998.

ROCHA, Paulo C. Lagoas de tratamento: novas metodologias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18., 1995, Natal. **Anais ...** Rio de Janeiro: ABES, 1995. 1 CD.

SANTA CRUZ. Serviço de Abastecimento de Água e Esgoto. **Folheto informativo**. Santa Cruz, 2006.

SAQQAR, M.M.; PESCOD, M.B. Performance evaluation of anoxic and facultative wastewater stabilization ponds. In: INTERNATIONAL SPECIALIST CONFERENCE AND WORKSHOP: WASTE STABILISATION PONDS TECHNOLOGY AND APPLICATIONS, 3., 1995, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa (Brasil): IAWA, 1995. Preprint volume.

SILVA, S. A.; MARA, D. D. **Tratamento biológico de águas residuárias: lagoas de estabilização**. Rio de Janeiro: ABES, 1979.

SILVA FILHO, P. A. et al. Predominância de lagoas de estabilização tipo facultativa no Nordeste brasileiro. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ENGENHARIA DE SAÚDE PÚBLICA, 3., 2006, Fortaleza. **Anais...** Brasília: FUNASA, 2006. p.253-257.

SILVEIRA, A . B. S. **Geoprocessamento aplicado à gestão de estação de tratamento de esgotos do Rio Grande do Norte**. 2006. Monografia (Tecnólogo em Controle Ambiental) – Departamento de Recursos Naturais, Centro Federal de Educação Tecnológica do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

TAKEUTI, M. R. S. **Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de esgoto por lagoas de estabilização com chicanas**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 2003.

TALBOYS, A. P. **Lagunas de estabilización en américa latina**. Lima: CEPIS, 1971.

TRUPPEL, A. **Redução de odores de uma lagoa de estabilização de esgoto sanitário e avaliação da qualidade de seu efluente**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

UEHARA, M. Y.; VIDAL, W. L. (Org.). **Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas**. São Paulo: CETESB, 1989.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**. 2. ed. rev. e atual. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 2002.

_____. Avaliação e desempenho de 115 lagoas facultativas primárias e secundárias no Sudeste do Brasil, tratando esgotos municipais. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 11., 2004, Natal. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2004. 1 CD.

_____. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 2005.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION - WEF. **Operation of municipal wastewater treatment plants**. 2. ed. Virginia, 1990. v.2. (Manual of practice, n. 11).

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. Geneva, 1989. (Technical Report Series, 778).

_____. **Wastewater stabilization ponds: principles of planning and practice**. Alexandria, 1987. (Technical publication, n. 10).

YANES, F. **Lagunas de estabilización: teoría, diseño, evaluación y mantenimiento**. Quito: Ministerio de Salud Pública/Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias, 1992.

ANEXOS

Anexo A – Planilha de Controle Operacional Diário - PCOD

I DADOS GERAIS				
1.0 Município:		2.0 ETE:		3.0 Operador:
4.0 Data:				
5.0 Responsável pelo questionário:		6.0 Configuração da ETE:		7.0 Coordenadas GPS: Lat. Sul: Long. Oeste: Altitude:
8.0 Croqui da ETE:		Considere: Para preenchimento dos itens abaixo a seguinte configuração genérica: $A + F_1 + F_2 + F_3 + M_1 + M_2 + M_3$, sendo para lagoas de estabilização: A= anaeróbia; F_1 = facultativa primária; F_2 = facultativa secundária; F_3 = facultativa terciária; M_1 = maturação 1; M_2 = maturação 2; M_3 = maturação 3.		
II LEVANTAMENTO DE CAMPO				
9.0	Diagnóstico Operacional detectado <i>in loco</i> : Se a resposta for sim, especifique a configuração da lagoa.			
		SIM	NÃO	N/A
9.1	Há levantamento do lodo em algum ponto da lagoa?			
9.2	Há manchas verdes na superfície da lagoa?			
9.3	Há manchas negras ou cinzentas na lagoa?			
9.4	Há manchas vermelhadas ou roseadas na lagoa?			
9.5	Há aparecimento de vegetais?			
I	Na lagoa			
II	Nos taludes			
9.6	Há evidência de erosão dos taludes?			
9.7	A cerca está em ordem?			
9.8	Há alguma infiltração visível?			
9.9	Há presença de insetos na lagoa?			
9.10	Há presença de aves na lagoa? Qual o tipo?			
9.11	Existe canaletas para águas pluviais?			
9.12	Há águas pluviais com canaletas limpas?			
9.13	Há sistema preliminar: Grade(G), Cx. Areia (CA) e Calha Parshall (CP)? Se sim, especifique.			
9.14	O medidor de vazão está em funcionamento?			
9.15	Há mau odor nas lagoas?			
9.16	Há manchas de óleo nas lagoas?			
9.17	Há entupimento das tubulações de entrada nas lagoas?			
9.18	Há presença de espuma nas lagoas?			
9.19	Há remoção de areia?			
9.20	Foi usado by-pass para o corpo receptor?			
9.21	Há remoção de lodo das lagoas?			
9.22	Há remoção de sólidos na grade? Qual a periodicidade?			
I	Diária			
II	Semanal			
III	Outros. Identifique.			
9.23	Há destino final do efluente tratado? Se sim, qual?			
9.24	A ETE fica distante da zona urbana? Qual distância?			
9.25	O operador tem conhecimento sobre a operação da ETE?			
9.26	O sistema é operado diariamente? Se não, identifique a frequência?			
9.27	O operador usa algum tipo de EPI's?			
9.28	O operador atua exclusivamente na ETE?			

Continuação Anexo A							
III PARAMETRO FÍSICO-QUÍMICO							
		TURNOS					
		MANHÃ		MEIO-DIA		TARDE	
		HORA	VALOR	HORA	VALOR	HORA	VALOR
10.0	Altura lâmina d'água						
10.1	Calha Parshall ou outro						
10.2	Vertedouro ou outro						
11.0	Temperatura (°C)						
11.1	Ar						
11.2	Esgoto bruto						
11.3	Esgoto nas lagoas						
I	Anaeróbia						
II	Facultativa						
III	Maturação: M ₁ /M ₂						
12.0	Nível d'água na lagoa(m):						
12.1	Anaeróbia						
12.2	Facultativa						
12.3	Maturação: M ₁ /M ₂						
13.0	Medição do pH						
13.1	Esgoto bruto						
13.2	Lagoa Anaeróbia						
13.3	Lagoa Facultativa						
13.4	Lagoa Maturação: M ₁ /M ₂						
14.0	O.D a 15cm profundidade:						
14.1	Lagoa facultativa						
I	Saída						
14.2	Maturação: M ₁ /M ₂						
II	Saída						
15.0	Sólidos Sedimentáveis(mg/L)						
15.1	No esgoto bruto						
15.2	Efluente 1ª lagoa						
IV CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS							
		CLASSIFICAÇÃO	HORAS		OBSERVAÇÕES		
			07:00 às 12:00	12:00 às 17:00			
16.0	Tempo	Sol brilhante, Ensolarado, com núvens, nublado ou sem sol.					
17.0	Precipitação	Ausente, chuva fina, chuva moderada, chuva forte.					
18.0	Ventos	Nulo, ventos fracos, ventos moderados, ventos fortes.					
V OUTRAS CONSIDERAÇÕES							

Adaptado de Uehara e Vidal (1989); Von Sperling (2002) ; Jordão e Pessoa (2005) ; WHO (1987).

Anexo B – Planilha parâmetros de Projetos e Diagnostico de Eficiência Operacional para Lagoas de Estabilização.

1.	Município:		3.	Período de projeto:		5. Data/Hora							
2.	ETE:		4.	Ano de funcionamento:		5/7/2007 20:16							
PARAMETROS DE PROJETOS				PARAMETROS OPERACIONAIS									
6.0	PARAMETROS	SÍMB.	UNID.	FA	LF1	LM	E _{CONJ.}	FA	LF1	LM	E _{CONJ.}	Obs.	
6.1	Vazão média	Q _{méd}	l/s										
6.2	DBO ₅ afluente	S _o	mg/L										
6.3	DBO ₅ efluente	S _e	mg/L										
6.4	DQO _{afluente}	-	mg/L										
6.5	DQO _{efluente}	-	mg/L										
6.6	Carga organica superficial de DBO	L _s	Kg/ha.d										
6.7	Carga organica volumétrica de DBO	L _v	Kg/m³.d										
6.7	Tempo de detenção hidráulica	TDH	d(dia)										
6.8	Comprimento	L	m										
6.9	Largura	B	m										
6.10	Altura (profundidade)	H	m										
6.11	População contribuinte	P	hab.										
6.12	Nº coliformes fecais	N	CF/100ml										
7.0	DIAGNÓSTICO EFICIÊNCIA FINAL												
		SIM	NÃO					JUSTIFICATIVA					
7.1	A ETE tem Licença de Operação?							BDO ↑	BDO ↓	BDO ÓTIMO	CT ↑	CT _{bom}	CTÓTIMO
7.2	A ETE atende as legislações ambientais vigentes para lançamento de efluentes em corpos receptores aquáticos? Caso não justifique.												
7.3	A ETE está operando com eficiência necessária de tratamento?							BOM		MÉDIO		PÉSSIMO	
7.4	Diagnóstico Final da ETE												
7.5	OBSERVAÇÃO NECESSÁRIA												

Legenda: LA= Lagoa anaeróbia; LF= Lagoa facultativa; LM= Lagoa de maturação; CT= coliformes termotolerantes; E= Eficiência do conjunto.

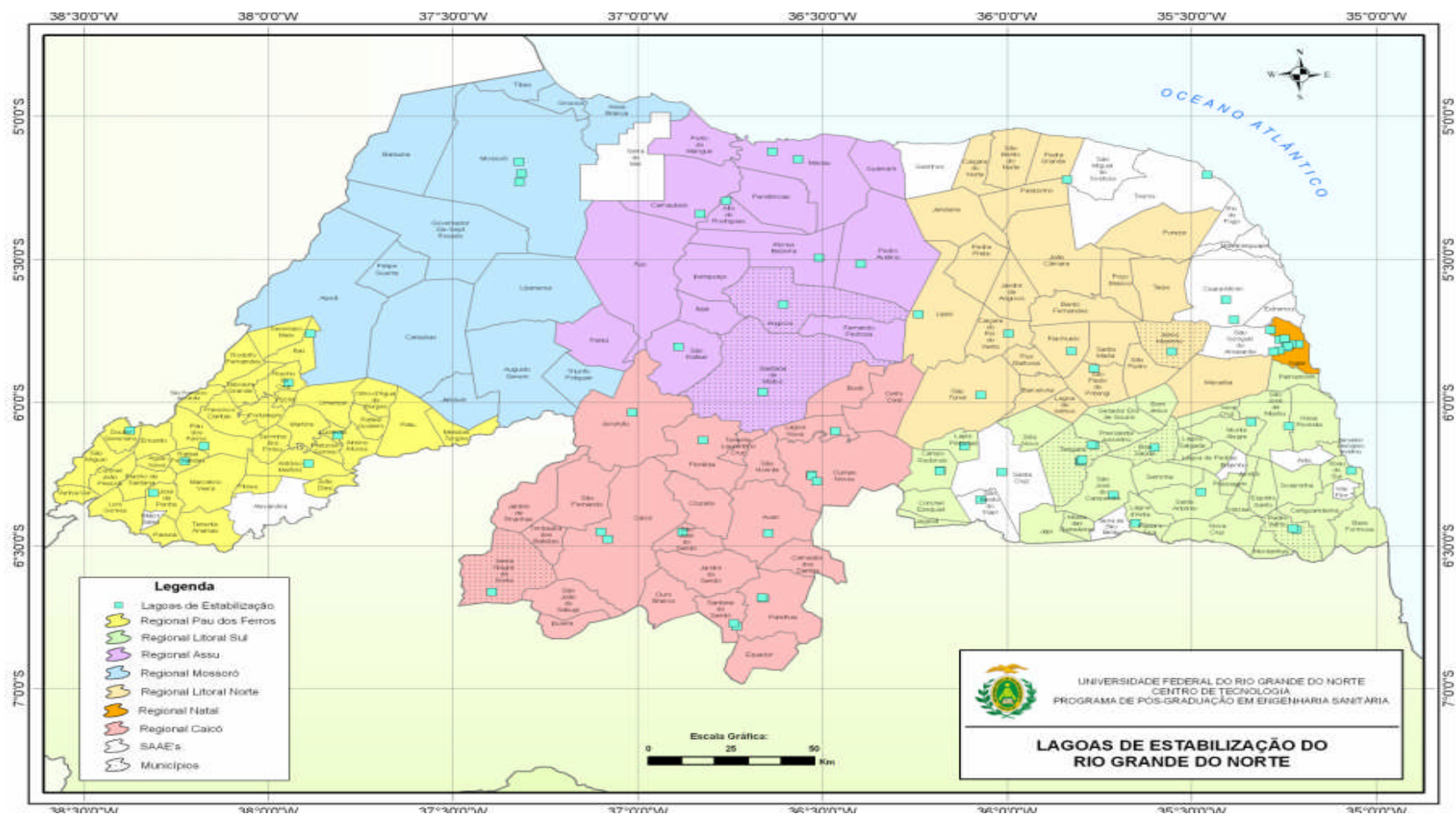
BDO ↑ = Alta; BDO ↓ = Baixa; BDO ÓTIMO = Excelente; CT ↑ = Coliformes Termotolerantes Alta; CT_{bom} = CT Dentro dos padrões ambientais; CTÓTIMO = Excelente, inclusive p/ reúso.

Anexo C – Planilha para realização do perfil de 14 horas.

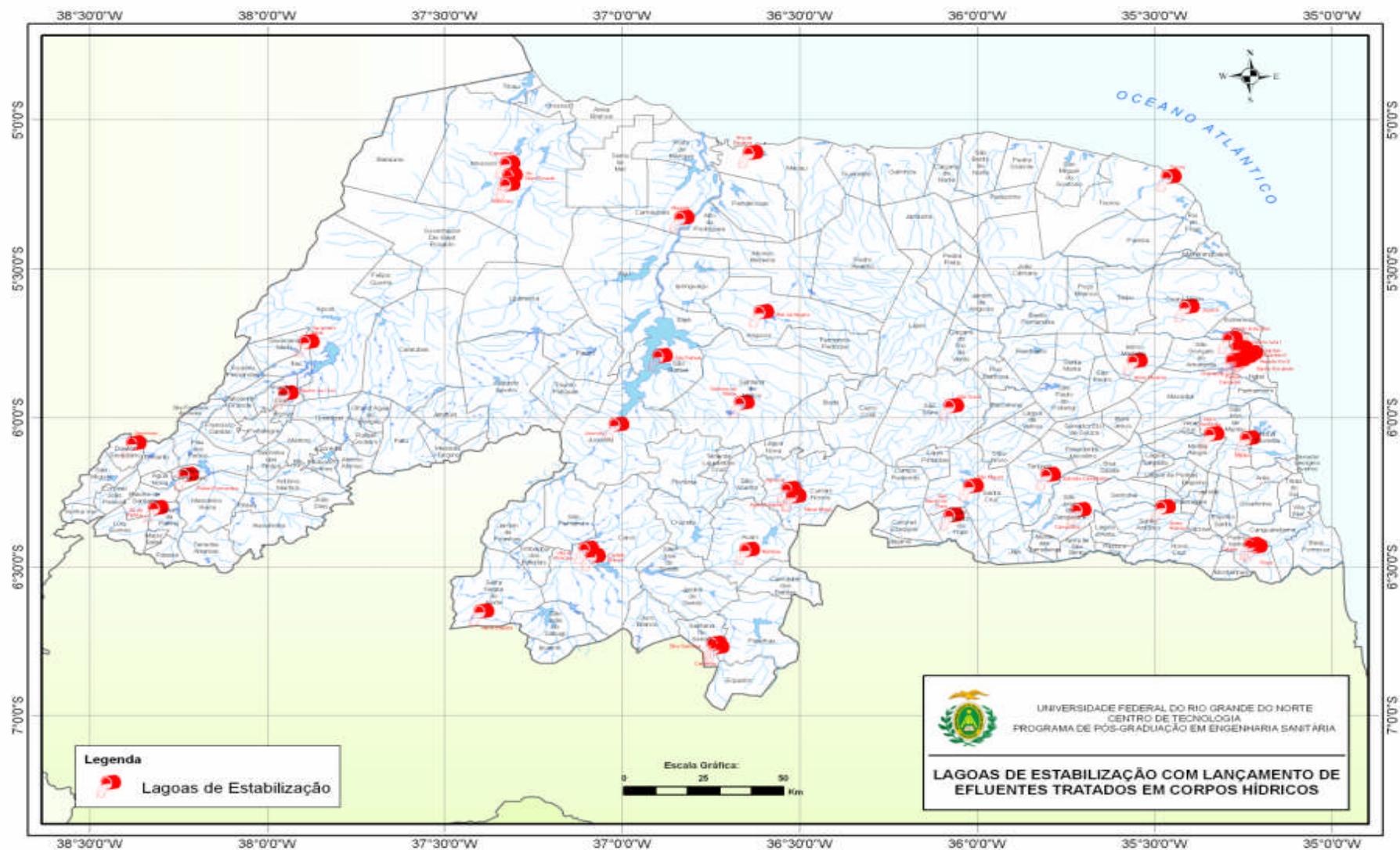
ETE:			RESPONSÁVEL PELA APLICAÇÃO DO PERFIL;		
DATA:					
Horário	Altura (cm)	Vazão Entrada (l/s) $Q = 0,176 \cdot (H_p)^{1,547}$	CONDIÇÕES METEOROLÓGICA		
	Parshall		TEMPO (SB,E, CN, N, SS)	PRECIPITAÇÃO (A, CF, CM, CF)	VENTO (Nu, VF,VFO, VM)
			OCORRIDO	OCORRIDO	OCORRIDO
08:00					
10:00					
12:00					
14:00					
16:00					
18:00					
20:00					
22:00					
Média					

Legenda: Tempo: SB= sol brilhante; E= ensolarado, CN=com nuvens; N=nubaldo; SS= sem sol; Precipitação: A= ausente; CF= chuva fina; CM=chuva moderada; CF=chuva forte; Ventos: Nu=nulo; VF=ventos fracos; VFO=ventos fortes e VM=ventos moderados..

Anexo D – Mapa das Regionais e localização das ETEs existentes no RN.



Anexo E – Mapa das ETEs com lançamento de efluentes 'tratados' em corpos receptores hídricos.



Anexo F – Mapa de diagnóstico eficiência operacional das ETEs do RN no que concerne a remoção de DBO e Coliformes Termotolerantes.

