

"Uso de lagoas de estabilização como método de tratamento de esgotos domésticos. Vantagens e desvantagens"

ROSSANA PATRÍCIA LIMA GONÇALVES

USO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO COMO MÉTODO DE TRATAMENTO DE
ESGOTOS DOMÉSTICO. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Trabalho apresentado como requisito
para obtenção dos créditos no
cumprimento das exigências da
Disciplina Estágio Supervisionado.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO – ENGENHARIA SANITÁRIA

ORIENTADORA – Prof.^a ANNEMARIE KÖNIG

CAMPINA GRANDE – PB

2000





Biblioteca Setorial do CDSA. Junho de 2021.

Sumé - PB

Agradecimentos

A Deus, é claro, por me acompanhar todo o tempo e principalmente por ter me dado, entre outras coisas perseverança!!!!

Aos meus pais e irmãos pelo constante incentivo, compreensão e principalmente ajuda nos momentos mais difíceis.

Ao meu eterno amigo, namorado e esposo "BONI" pelo apoio, ajuda nos trabalhos, paciência e compreensão em relação ao tempo que lhe foi negado.

Ao meu filho, "MARQUINHOS", meu amor, minha luz...

À professora Annemarie König, pela orientação e paciência.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização de minha graduação.

Índice

CAPÍTULO 1.....	1
1.0 – A ÁGUA NA NATUREZA	1
1.1 – CICLO HIDROLÓGICO	6
1.2 – CICLO SANITÁRIO DA ÁGUA.....	10
CAPÍTULO 2.....	13
2.0 - ÁGUAS RESIDUÁRIAS.....	13
2.1 - CONCEITO.....	13
2.2 – CLASSIFICAÇÃO	13
2.2.1 – <i>Esgotos Domésticos</i>	13
2.2.2 – <i>Esgotos Industriais</i>	15
2.2.3 – <i>Esgotos Agrícolas</i>	17
2.3 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS	19
2.3.1 – <i>Características físicas</i>	19
2.3.2 – <i>Características químicas</i>	21
2.3.3 – <i>Características biológicas</i>	23
2.4 – IMPORTÂNCIA DO REUSO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS.....	26
CAPÍTULO 3.....	29
3.0- PROCESSOS E SISTEMAS DE TRATAMENTO	29
3.1- NÍVEL DE TRATAMENTO.....	29
3.2- OPERAÇÕES, PROCESSOS UNITÁRIOS E SISTEMAS DE TRATAMENTO	30
3.2.1- <i>Classificação dos métodos de tratamento</i>	30
3.2.2- <i>Tratamento preliminar</i>	31

3.2.3- Tratamento primário	32
3.2.4- Tratamento Secundário	33
3.2.4.1- Sistemas de lodos ativados	33
3.2.4.2- Filtro biológico	35
3.2.4.3- Tratamento anaeróbio	36
3.2.4.4- Disposição sob o solo.....	36
3.2.5- Tratamento terciário.....	37
CAPÍTULO 4.....	39
4.0 - LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	39
4.1 - HISTÓRICO	39
4.2 - NOMENCLATURA	42
4.3 - VANTAGENS E DESVANTAGENS.....	42
4.4 - CLASSIFICAÇÃO	46
4.4.1 - Lagoas Anaeróbias.....	46
4.4.2 - Lagoas Aeróbias.....	49
4.4.3 - Lagoas Facultativas.....	50
4.4.3.1 - Variações na concentração de oxigênio dissolvido ao longo do ciclo diário.....	53
4.4.4 - Lagoas de Alta Taxa de Degradação	55
4.5 - EFICIÊNCIA DOS PROCESSOS DE TRATAMENTO	55
CAPÍTULO 5.....	58
5.0 - LAGOAS EM SÉRIE	58
CAPÍTULO 6.....	60
6.0 - OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DAS LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO.....	60
6.1- INSPEÇÃO DIÁRIA.....	61

6.2- COLETA DE AMOSTRAS	62
6.3- PROBLEMAS OPERACIONAIS	62
CAPÍTULO 7.....	69
7.0 – EXPERIÊNCIA COM O MONITORAMENTO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO EM ESCALA REAL NA PARAÍBA : SAPÉ, GUARABIRA E CAMPINA GRANDE (PB).....	69
7.1 - <i>Caracterização do sistema de lagoas de estabilização do município de Guarabira. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 131p (FLORENTINO, 1992).</i>	69
7.2 - <i>Variação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos de duas lagoas de estabilização em escala real no município de Guarabira - Pb. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 100 p.</i>	72
7.3 - <i>Variações no Ciclo Nictemeral da Qualidade do Efluente Final da ETE do município de Guarabira. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 168p.</i>	75
7.4 - <i>Remoção de Matéria Orgânica, Sólidos Suspensos e Indicadores Bacteriológicos em Lagoas de Estabilização em escala real do município de Guarabira. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 131p.</i>	78
7.5 - <i>Rendimento do capim elefante (Pennisetum purpureum) irrigado com água residuária tratada. Dissertação de Mestrado - UFPb. Campina Grande - PB. 112p.</i>	84
7.6 - <i>Reuso de efluente de lagoa de estabilização : Aspectos Sanitários do capim e do solo. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 104p.</i> ... 86	
8.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1.1 – Volume de água requerido na obtenção de alguns produtos.....</i>	<i>3</i>
<i>Tabela 1.2 – Vantagens da reutilização de águas residuárias.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabela 2.1 – Composição de Urina e Fezes humanas.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabela 2.2 – Características dos esgotos domésticos.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabela 2.3 – Alguns poluentes presentes nas águas e seus efeitos sobre a saúde.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabela 2.4 – Principais microrganismos presentes nos esgotos.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabela 4.1 - Estimativa da mão-de-obra necessária para operação de lagoas de estabilização.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 4.2 – Vantagens e desvantagens de vários sistemas de tratamento de esgotos (Arthur,1983).....</i>	<i>45</i>
<i>Tabela 4.3 - Eficiência para os diversos processos de remoção de DBO₅ e CF. ...</i>	<i>56</i>
<i>Tabela 4.4 - Eficiência acumulativa para sistemas de lagoas de estabilização em série – Campina Grande (Pb).....</i>	<i>57</i>
<i>Tabela 6.1 – Roteiro para inspeção diária.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabela 6.2 - Parâmetros a serem monitorados num programa de lagoas de estabilização.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabela 6.3 - Principais problemas operacionais das lagoas Anaeróbias e suas possíveis soluções.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabela 6.4 - Principais problemas operacionais das lagoas facultativas e suas possíveis soluções.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabela 7.1.1 – Objetivos do trabalho.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabela 7.1.2 - Características físicas e operacionais das lagoas de estabilização da ETE de Guarabira - Pb.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabela 7.1.3 - Vazões médias dos 14 perfis de 24 horas, realizadas na EE2 da ETE de Guarabira - Pb.....</i>	<i>70</i>

<i>Tabela 7.1.4- Valores médios e limites (mínimos e máximos) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos observados no esgoto bruto (EB), efluentes da lagoa anaeróbia (A1) e facultativa (F1) durante o período compreendido entre 27/03/90 e 19/12/90.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 7.2.1 – Objetivos do trabalho.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabela 7.2.2 - Características físicas e operacionais das lagoas de estabilização da ETE de Guarabira – Pb.</i>	<i>73</i>
<i>Tabela 7.2.3 - Valores limites (mínimos e máximos) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos observados no esgoto bruto (EB), efluentes da lagoa anaeróbia (A1) e facultativa (F1) durante o período compreendido entre Novembro/90 a Outubro/91.</i>	<i>74</i>
<i>Tabela 7.3.1 – Objetivos do trabalho.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabela 7.3.2- Características físicas e operacionais das lagoas de estabilização da ETE de Guarabira – Pb.</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 7.3.3 - Valores limites (mínimos e máximos) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos observados no esgoto bruto (EB) e efluente da facultativa (F1) durante o período compreendido entre 16/08/90 a 29/07/92.</i>	<i>77</i>
<i>Tabela 7.4.1 – Objetivos do trabalho</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 7.4.2 - Características físicas e operacionais das lagoas de estabilização da ETE de Guarabira – Pb.</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 7.4.3 - Características físicas e operacionais da lagoa de estabilização da ETE de Sapé – Pb.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 7.4.4 - Vazões médias dos 06 perfis de 24 horas, realizadas na EE2 da ETE de Guarabira - Pb.....</i>	<i>79</i>
<i>Tabela 7.4.5 - Vazões médias dos 06 perfis de 24 horas, realizadas na sub-bacia A do sistema de Sapé - Pb.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabela 7.4.6 - Vazões médias dos 06 perfis de 24 horas, realizadas na sub-bacia B do sistema de Sapé - Pb.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabela 7.4.7 - Vazões médias dos 06 perfis de 24 horas, realizadas na sub-bacia C do sistema de Sapé - Pb.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabela 7.4.8 - Valores médios e limites (mínimos e máximos) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos observados no esgoto bruto (EB), efluentes da lagoa anaeróbia (A1) e facultativa (F1) da ETE de Guarabira - Pb, durante o período compreendido entre 04/09/91 e 29/07/92.....</i>	<i>82</i>

Tabela 7.4.9 - Valores médios e limites (mínimos e máximos) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos observados no esgoto bruto (EB), efluentes da lagoa anaeróbia (A1) e facultativa (F1) da ETE de Sapé - Pb, durante o período compreendido entre 04/09/91 e 17/06/92..... 83

7.5.1 – Objetivos do trabalho 84

Tabela 7.5.2 - Características físicas e operacionais das lagoas de estabilização da ETE da cidade de Guarabira - PB no período de Novembro/95 a Dezembro/96. 85

Tabela 7.5.3 - Valores médios e limites (mínimos e máximos) dos parâmetros físico-químicos e observados no esgoto bruto (EB), efluentes das lagoas (A1, A2, F1 e F2) e efluente final (EF) da ETE de Guarabira - Pb durante o período compreendido entre Novembro/95 a Dezembro/90..... 85

7.6.1 – Objetivos do trabalho 86

Tabela 7.6.2 - Características físicas e operacionais das lagoas de estabilização da ETE da cidade de Guarabira - PB no período de Novembro/95 a Dezembro/96..... 87

Tabela 7.6.3 - Valores médios e limites (mínimos e máximos) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos observados no esgoto bruto (EB) e efluente final (EF) da ETE de Guarabira - Pb, durante o período compreendido entre Novembro/95 e Dezembro/96..... 87

Índice de Figuras

<i>Figura 1.1- Distribuição da água no planeta (La Rivière, 1989).....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 1.2 – Visão geral do volume do aquífero Guarani.</i>	<i>5</i>
<i>Figura 1.3 – Ciclo Hidrológico (Amabis, 1994).</i>	<i>7</i>
<i>Figura 1.4 – Ciclo Sanitário da Água.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2.1 - Composição das águas residuárias.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 4.1 – Esquema de uma lagoa anaeróbia tratando o efluente de um matadouro de bovinos (Hammer, 1979).</i>	<i>48</i>
<i>Figura 4.2 - Variações diárias da quantidade de oxigênio numa lagoa (Uhlmann, 1982).</i>	<i>54</i>

Capítulo 1

1.0 – A água na natureza

A água é o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva: no homem, mais de 60% do seu peso é constituído por água, e em certos animais aquáticos como a medusa esta percentagem chega a até 98% (von Sperling, 1996).

O planeta possui $1,36 \times 10^{18} \text{ m}^3$ de água que está distribuída da seguinte forma (von Sperling, 1996):

- água do mar – 97%;
- geleiras – 2,2%;
- água doce – 0,8%, das quais 97% corresponde a água subterrânea e 3% a água superficial.

Assim, apenas 0,8% do total de água existente pode ser utilizado para abastecimento público. Desta pequena fração apenas 3% tem extração mais fácil (von Sperling, 1996).

Para Setti (1994) apud Mota (1997), a quantidade de água livre sobre a Terra atinge 1.370 milhões de km^3 . Dessa quantidade, apenas 0,6% de água doce líquida se torna disponível, ou seja, 8,2 milhões de km^3 . Desse valor, somente 1,2% se apresentam sob a forma de rios e lagos, sendo o restante (98,8%) constituído de água subterrânea, da qual somente a metade é utilizável, uma vez que a outra parte está situada abaixo de uma profundidade de 800m, inviável para a captação pelo homem. Assim, restam aproveitáveis 98.400 km^3 nos rios e lagos e 4.050.800 km^3 nos mananciais subterrâneos, o que corresponde a cerca de 0,3% do total de água livre do planeta.

Segundo La Rivière (1989) apud Nascimento (1996) a distribuição da água no planeta está distribuída da seguinte forma (Figura 1.1):

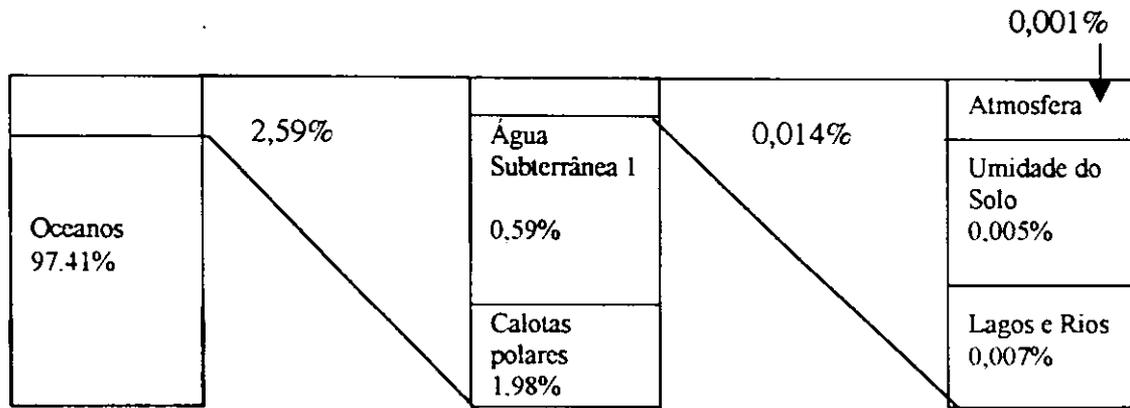


Figura 1.1- Distribuição da água no planeta (La Rivière, 1989).

Assim para La Rivière (1989), $\frac{3}{4}$ da superfície do globo são cobertos por oceanos o que corresponde a 97,41% de toda água do planeta, o restante, 2,59%, é constituído de água doce, sendo que aproximadamente 2% estão nas calotas polares, que é difícil acesso para o homem. Menos de 1% da água doce do mundo está a disposição do homem em lençóis subterrâneos, lagos, rios, córregos e riachos.

Levando-se em conta que da água que evapora dos oceanos, cerca de 41.000km^3 por ano, precipitam (na forma de neve e chuva) sobre o continente, mas cerca de 32.000km^3 se perdem, pois retornam da terra para o mar através do escoamento superficial, que não pode ser contido, restando portanto, 9.000km^3 como fonte de suprimento estável anual.

Vê-se que a distribuição da água do planeta é diferente, embora os números sejam bastante aproximados. Uma coisa é certa, a porcentagem de água doce que está disponível a população do planeta, cerca de 6,0 bilhões de habitantes, é suficiente para atender as suas necessidades. No entanto, sua

distribuição em conjunto com a da população é extremamente desigual e, segundo Arnt (1995), 1,65 bilhões de habitantes do planeta já sofrem com sua escassez.

Além da má distribuição e das perdas em regiões em que a evaporação potencial predomina sobre a precipitação, deve ser considerada a crescente degradação dos recursos hídricos bem como o crescimento demográfico que dá origem a uma grande demanda de água. Segundo Borgstron (1970) apud Carvalho (1980), a quantidade de litros de água necessários para se obter alguns produtos são expressos na tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Volume de água requerido na obtenção de alguns produtos.

Produto	Volume de água requerido (L)	Referência
- uma laranja	341 a 416	Borgstron (1970) apud Carvalho (1980)
- um ovo	454 a 458	
- 454g de pão	1.135	
- um litro de leite	13.248	
- uma tonelada de cerveja	1.800	Arnt (1995)
- uma tonelada de aço	250.000	
- uma tonelada de papel	1.000.000	
- uma tonelada de sabão	2.000	
- uma tonelada de borracha sintética	2.750.000	

Por estes dados, pode-se fazer uma idéia da gigantesca demanda de água que a humanidade exige e da quantidade reduzida deste líquido a

disposição na atmosfera. Mas nem sempre foi assim, veja como se comportou o homem ao longo de sua existência: o homem de 100 anos antes de Cristo consumia 12 l/dia, o romano 20 l/dia, o homem do século XIX, que morava em pequenas cidades, consumia 40 l/dia, os que moravam em grandes cidades, 60 l/dia e, finalmente, o homem do século XX consome em média 800 l/dia, nas suas diversas atividades.

A disponibilidade per capita de água difere amplamente de país para país. Em países como a Islândia, onde a precipitação pluviométrica é enorme, essa disponibilidade per capita atinge $68.500\text{m}^3/\text{hab.ano}$, enquanto que em vários países do mundo possuem reservas de água menores do que a média aceitável de $2.000\text{m}^3/\text{hab.ano}$ (La Rivière, 1989 apud Nascimento, 1996).

Quanto a degradação dos recursos hídricos, tem-se atualmente um caso que choca pela sua gravidade, trata-se do mar de Aral. Situado no oeste central da Ásia, cercado pelos desertos do Cazaquistão e do Uzbequistão, está secando, pois os rios que o alimentavam, Amu e Syr, foram desviados para irrigar milhões de hectares de algodão. Outro problema é a exploração desordenada de águas subterrâneas. Segundo Arnt (1995), do consumo global, 69% da água potável e 20% da água de irrigação são de origem subterrânea. Isto tem ocasionado vários outros problemas em todo mundo, a exemplo da área central da Cidade do México. Sabe-se que a área central tem afundado cerca de 20 cm ao ano, isto em virtude do rebaixamento de seu lençol freático. Na Arábia Saudita foi transformado uma faixa de seus desertos em campos de trigo, com isso em 50 anos esgotar-se-á suas reservas de águas naturais. No Brasil, no estado do Rio Grande do Norte já se encontra algumas áreas totalmente salobras, pois com esvaziamento dos aquíferos subterrâneos a água do mar invade o lençol subterrâneo (Duarte et al., 1990 apud Nascimento, 1996).

O Brasil é um país privilegiado, pois conta com a maior bacia fluvial do mundo, a Bacia Amazônica, que detém cerca de 20% de toda água doce do mundo (Portugal Filho, 1991 apud Nascimento, 1996). Além disso, possui, distribuído pôr oito estados, o aquífero Guarani. A extensão total do mesmo, ainda compreende partes do Paraguai, Uruguai e Argentina. Para se ter uma idéia do volume deste aquífero observe a Figura 1.2 :

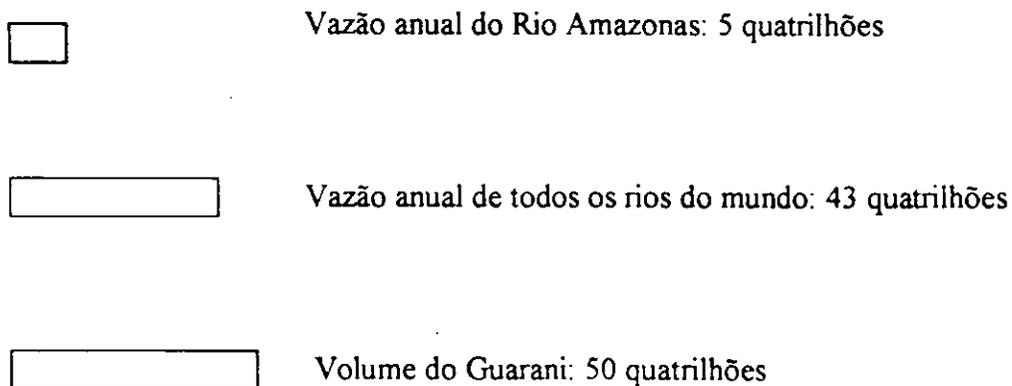


Figura 1.2 – Visão geral do volume do aquífero Guarani.

Apesar de toda essa riqueza em recursos hídricos, o Brasil possui uma péssima gestão dos mesmos. Quase todas as regiões brasileiras sofrem com o problema da escassez de água. A região Nordeste, uma das mais castigadas com as secas sucessivas é uma prova disto, pois os 400 mm de precipitação anual que correspondem a quatro vezes mais que o que chove na Califórnia (é como um celeiro agrícola americano) em “nada” tem adiantado. A região Sudeste possui água em abundância, mas falta na capital. No Sul do Brasil há regiões que vêm sofrendo o processo de desertificação, como é caso de 14 municípios do Rio Grande do Sul. Além da escassez, deve-se levar em conta também o elevado índice de desperdícios que chega a quase 40% da água tratada na rede pública (Duarte et al., 1990 apud Nascimento, 1996).

1.1 – Ciclo Hidrológico

A água se apresenta na natureza em três estados, sólido, líquido e gasoso, cuja quantidade não muda, se movimenta, estando sempre circulando pela biosfera. A essa circulação dá-se o nome de Ciclo Hidrológico (Figura 1.3).

No Ciclo Hidrológico distinguem-se os seguintes mecanismos de transferências da água: precipitação, escoamento superficial, infiltração, evaporação e transpiração.

A precipitação compreende toda água que cai da atmosfera na superfície da Terra e tem tudo haver com o ciclo energético da Terra, isto é com a distribuição de energia do Sol.

Assim, quando a energia calorífica do Sol atinge à superfície das águas dos oceanos, lagos, rios, geleiras e do próprio solo úmido faz com que as mesmas aqueçam e evaporem. A quantidade de vapor de água que o ar pode absorver depende da temperatura e da umidade relativa do ar. Quando o ar absorve a quantidade de vapor máxima que é capaz de reter (em função da temperatura que se encontra) diz-se que o mesmo está saturado e o excesso de vapor que não pode ser absorvido condensa-se voltando ao estado líquido.

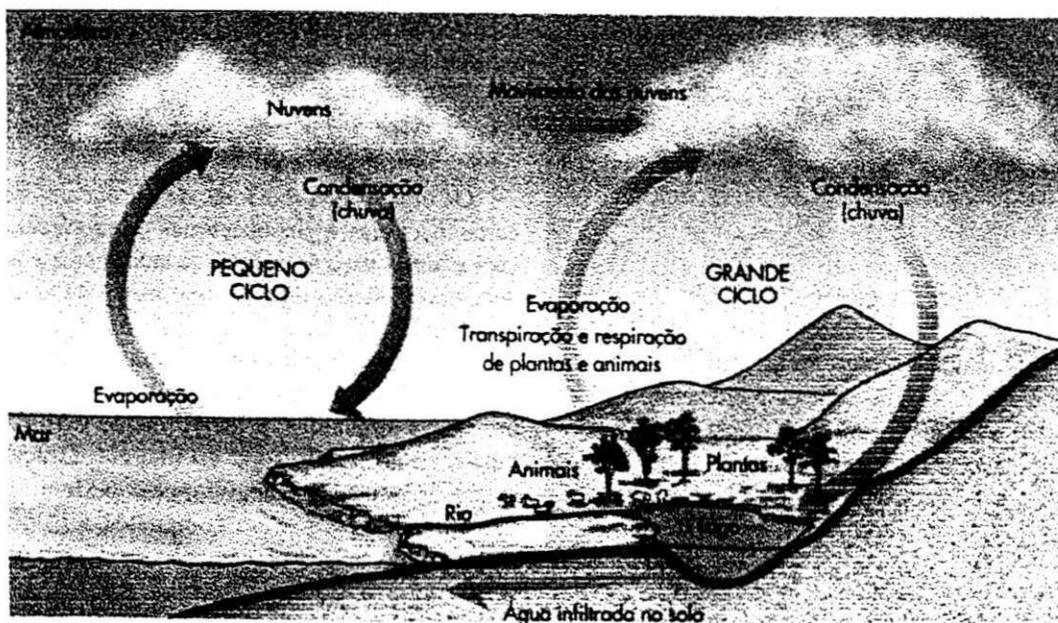


Figura 1.3 – Ciclo Hidrológico (Amabis, 1994).

Se o ar já estiver saturado, ou se houver uma queda brusca de temperatura, a água evaporada irá se condensar, originando a neblina. Nas camadas mais altas, o ar é frio porque está longe da superfície refletora de radiações quentes que é solo. Pôr isso o ar quente saturado de vapor que sobe da superfície tende a perder a umidade ao se esfriar, dando origem as nuvens, formadas a partir da condensação das gotículas de água em estado líquido. A esta circulação das águas superficiais bem como da umidade contida no solo dar-se o nome de pequeno ciclo da água.

Percebe-se, assim, que a movimentação da água no ciclo hidrológico está duplamente relacionada à energia disponível. Primeiro, porque a evaporação depende do fornecimento de energia à água; segundo, porque a manutenção da umidade do ar depende da temperatura, isto é, da energia contida na atmosfera: se há perda desta energia (resfriamento), o vapor retorna ao estado líquido (Branco, 1993).

Quando no ciclo da água, não há absorção da mesma pelos seres vivos, o ciclo passa a ser chamado pequeno ciclo, caso contrário, grande ciclo.

A partir da precipitação ocorre o escoamento superficial. Cerca de 30% das chuvas que caem na superfície, escoam direto para os rios. O escoamento superficial é responsável pelos fenômenos da erosão, transporte de terra e outros sedimentos. A maior parte, porém, infiltra-se no solo, preenchendo os espaços vazios existentes entre os grãos de argila, de areias ou de rochas mais consolidadas, formando assim os depósitos de águas subterrâneas (Branco, 1993).

A quantidade de água infiltrada, varia com as características do solo, permeabilidade e declividade. A permeabilidade, por sua vez, depende da natureza e da estrutura do material que compõe o solo e de sua cobertura vegetal. Solos argilosos absorvem em geral menos água que os arenosos, solos revolvidos absorvem mais água que os duros (compactos), e é por esse motivo que os agricultores aram a terra em que plantam as suas sementes.

A presença da vegetação aumenta a permeabilidade porque o húmus derivado da decomposição das folhas funciona como material aglutinante, gelatinoso, produzindo a agregação das pequenas partículas de argila de modo a formar grumos ou grãos maiores de terra, com maiores espaços entre eles. Por isso, os solos cobertos com a vegetação são menos sujeitos a erosão, porque retêm a água evitando enchentes dos rios e as inundações.

Sabe-se que as plantas retiram a água do solo pelas raízes. A água é transferida para as folhas e então se evapora. Os animais também participam deste processo uma vez que a água que consomem ou mesmo a água retirada dos alimentos também é transpirada.

Assim, o Ciclo Hidrológico fecha-se com a evapotranspiração. A água volta para atmosfera onde quando novamente ocorrer a condensação, haverá formação de nuvens e a precipitação.

Sabe-se, atualmente, que o ciclo hidrológico está sendo afetado por algumas atividades humanas. Pavimentações de terra, retificação e canalização de rios, compactação dos solos agrícolas, desmatamento, tudo isto altera o ciclo, seja diminuindo o poder da infiltração do solo, seja fazendo com que algumas áreas estejam sujeitas a enchentes, ou ainda alterando a temperatura através dos desmatamentos.

Nos EUA, cerca da metade da água potável, a maior parte da água de irrigação e, em muitos setores, uma grande parte da água de uso industrial, provém de águas subterrâneas. Áreas secas, como parte da água ocidental das grandes planícies, a água contida nos aquíferos subterrâneos é, essencialmente, água fóssil, armazenada durante períodos geológicos anteriores e mais úmidos, que agora não está mais sendo recarregado. Em consequência é um recurso não renovável, da mesma forma que o petróleo, por exemplo. Um caso notório é a região, intensamente irrigada, de cultura de cereais do oeste do Nebraska, Oklahoma, Texas e Kansas, onde o principal aquífero, chamada de Ogallala, esgotar-se-á de 30 a 40 anos. O uso da terra terá, então, que reverter a pastagem e a agricultura própria de terras secas, a menos que enormes quantidades de água possam ser canalizadas a partir de grandes rios do vale do Mississipi – uma “obra pública” muito cara, em termos de dinheiro como de energia, que seria um peso nos ombros dos contribuintes daquela nação (Odum, 1986)

1.2 – Ciclo Sanitário da Água

Além do Ciclo Hidrológico, que é o ciclo natural da água, existem vários ciclos internos, baseados nos usos da água pelo homem. Dentre eles destaca-se o ciclo sanitário.

O ciclo sanitário da água começa a partir da captação da mesma de um manancial (rio, lago ou lençol subterrâneo) com determinadas características físicas, químicas e biológicas. Esta água bruta é levada a uma Estação de Tratamento de Água (ETA). Na ETA a água sofrerá modificações para se adequar ao uso previsto, seja doméstico, industrial ou qualquer outro. Em seguida a água irá para a rede de distribuição. Após seu uso pelos consumidores, a água passará pelo sistema de esgotamento sanitário sendo então conduzida para uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE). Na ETE o esgoto bruto sofrerá modificações na sua qualidade visando remover seus principais poluentes, como por exemplo matéria orgânica, para então ser novamente utilizado (REUSO) ou lançado num corpo receptor. Ao atingir o corpo receptor, onde, face a diluição e na tentativa de melhorar sua qualidade a água sofrerá novas modificações (ver Figura 1.4).

Sabe-se que o uso do esgoto doméstico tratado ao invés do simples lançamento no corpo receptor tem muitas vantagens (ver tabela 1.2).

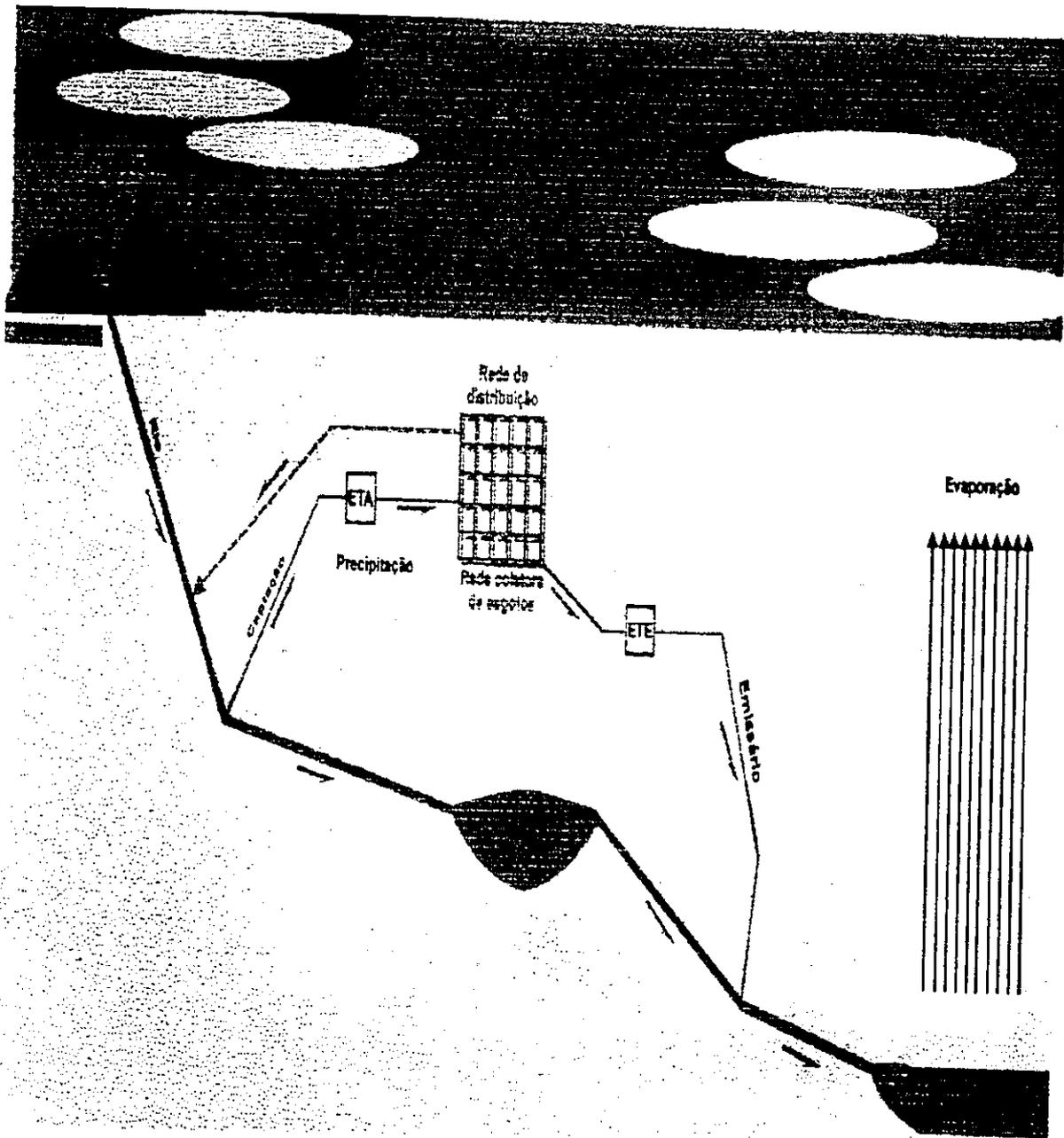


Figura 1.4 – Ciclo Sanitário da Água

Tabela 1.2 – Vantagens da reutilização de águas residuárias.

- 1 – recuperação e economia de água considerando que o consumo médio per capita de água é de 150 – 200l/hab.dia;
- 2 – redução nos gastos com fertilizantes químicos e os custos na produção agrícola
- 3 – aumento da fertilidade dos solos devido a presença, nos esgotos brutos, de nutrientes essenciais às plantas como o nitrogênio (10 – 100mg/L), o fósforo (5 – 25mg/l), além dos microelementos;
- 4 – aumento da produção agrícola;
- 5 – a formação de húmus em consequência da mineralização lenta da matéria orgânica dos esgotos, exercendo forte influencia nas propriedades físicas do solo, como a retenção de água;
- 6 – proteção ambiental com a redução ou eliminação da eutrofização dos recursos hídricos e assim destiná-los somente para fins potáveis.

O esgoto doméstico por exemplo, é rico em matéria orgânica, após um tratamento adequado poderia servir para irrigação. Assim, a complexidade e o custo destes tratamentos são diretamente proporcionais à quantidade de impurezas removidas ou, em outras palavras, ao grau de pureza desejado para água. É daí que parte as grandes vantagens para o tratamento de esgotos, não esquecendo que após um tratamento, o esgoto poderá ser descarregado no meio ambiente sem contaminar o mesmo ou ao menos contaminando em menor proporção.

Capítulo 2

2.0 - Águas Residuárias

2.1 - Conceito

Água residuária é toda água que, independente da forma que for utilizada adquire características tais que a torna indesejável para o consumo humano. Características essas, que impedem o seu reuso como também provocam sensações desagradáveis, sejam estéticas e higiênicas (von Sperling, 1996). Assim, o termo água residuária é resultado dos vários usos da água, tais como: uso doméstico, comercial, industrial, de utilidade pública, de áreas agrícolas, de infiltração, de superfície, pluvial e hospitalares.

2.2 – Classificação

As águas residuárias ou esgotos são classificados em três grandes grupos: esgotos doméstico, industrial e agrícola.

2.2.1 – Esgotos Domésticos

São esgotos procedentes das áreas comerciais, residenciais ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias ou quaisquer dispositivos de utilização da água para fins domésticos, tendo em vista que os mesmos apresentam-se com características semelhantes (Medeiros Filho, 1997).

Os esgotos domésticos são formados de águas servidas e águas negras. O termo “água negra” se refere a parcela do esgoto que contém as

excretas humanas oriundas de bacias sanitárias e dos mictórios, enquanto o termo “águas servidas” refere-se a água utilizada no asseio pessoal, na preparação de alimentos e lavagem de roupa.

A Tabela 2.1 mostra a composição das fezes e urina humana.

Tabela 2.1 – Composição de Urina e Fezes humanas.

Quantidade	Fezes	Urina
Úmida pôr pessoa/dia	135,0 – 270,0g	1,0 - 1,31kg
Sólidos secos pôr pessoa/dia	35,0 – 70,0g	50,0 – 70,0g
Composição aproximada (%)		
Umidade	66,0 – 80,0	93,0 – 96,0
Matéria Orgânica	88,0 – 97,0	65,0 – 85,0
Nitrogênio	5,0 - 7,0	15,0 – 89,0
Fósforo(P ₂ O ₅)	3,0 - 5,4	2,5 - 5,0
Potássio(K ₂ O)	1,0 - 2,5	3,0 - 4,5
Carbono	44,0 – 55,0	11,0 – 17,0
Cálcio	4,5	4,5 – 6,0

Fonte : H. B. GOTAAS, 1956 apud Silva e Mara, 1979.

A Tabela 2.2 mostra as características dos esgotos domésticos.

Tabela 2.2 – Características dos esgotos domésticos.

- Líquido turvo, de coloração parda, com odor similar ao do solo;
- Contém sólidos de grandes dimensões em flutuação ou suspensão (tais como fezes, trapos, recipientes de plástico), sólidos em pequenas dimensões em suspensão (tais como fezes parcialmente desintegradas, papéis, cascas) e sólidos muito pequenos em suspensão coloidal (isto é não sedimentáveis) bem como poluentes dissolvidos;
- Esteticamente são repugnantes em aparência e extremamente perigosos em seu conteúdo, principalmente por causa do número de organismos causadores de doenças (patogênicos) que contêm;
- Perdem rapidamente o oxigênio dissolvido, tornando-se sépticos, em climas tropicais.

Fonte: Silva e Mara (1979).

2.2.2 – Esgotos Industriais

As águas residuárias geradas em atividades industriais têm características próprias e provêm de qualquer utilização da água para fins industriais. As principais indústrias a gerar esgotos poluentes são: celulose e papel, usinas de açúcar e álcool, prensado de madeira, matadouros e frigoríficos, refinarias de petróleo, químicas e têxteis, curtumes e galvanoplastia. Assim, espera-se, por exemplo, que os esgotos das indústrias de celulose e papel, matadouros e frigoríficos tenham predominância de matéria orgânica. Os esgotos das indústrias de refinação de petróleo teriam óleos. Enquanto que o esgoto de uma indústria metalúrgica caracterizar-se-ia pela presença de óleos minerais, cianetos, compostos de cromo e outros metais pesados em sua composição.

O esgoto industrial é a fonte principal de contaminação das águas subterrâneas nos EUA. Uma inspeção em mais de 8.000 depósitos de lixo industriais revelam que mais de 70% dos depósitos eram desferrados. Cerca

de 30% estavam localizados sobre materiais permeáveis e jaziam sobre lençóis utilizáveis de água; um terço desses depósitos encontrava-se a 1,5km de um poço de fornecimento de água (Corson, 1993).

A reciclagem industrial pode causar um enorme diferença no uso d'água de uma região. Uma indústria de papel da Suécia, por exemplo, utilizando-se de recirculação, reduziram o consumo d'água pela metade, dobrando ao mesmo tempo a produção. Nos EUA, uma siderúrgica de Anmco, em Kansas City, Missouri, utiliza-se de apenas 9m^3 de água para cada tonelada de aço produzida, comparada com 100 a 200m^3 por tonelada, em muitas outras siderúrgicas. Padrões de forte poluição tornam a reciclagem da água econômica para as indústrias. Em 1980, Israel supriu 4% de sua necessidade total de água através da reutilização (Corson, 1993).

A Tabela 2.3 mostra os principais poluentes das águas industriais e seus efeitos sobre a saúde humana.

Tabela 2.3 – Alguns poluentes presentes nas águas e seus efeitos sobre a saúde.

Substância	Fonte	Risco a saúde
Solventes clorinados	Desengraxantes químicos, manutenção de máquinas.	Câncer
Trihalometanos	Produzido por reações químicas nas águas tratadas com cloro.	Danos ao fígado e rins; possibilidade de câncer.
Policlorinatos bifenis (PCBs)	Restos de várias operações manufactureiras antiquadas.	Danos ao fígado e rins; possibilidade de câncer.
Chumbo	Bombeamento de óleo e soldagens dos sistemas de distribuição pública de água em moradias.	Problemas nervosos; dificuldade no aprendizado; defeitos congênitos; possibilidade de câncer.
Bactérias patológicas, vírus	Vazamentos de tanques, esgotos sem tratamento	Doenças intestinais.

Fonte : Corson, 1993.

2.2.3 – Esgotos Agrícolas

As águas residuárias geradas nas atividades agrícolas são as principais fontes poluidoras através dos fertilizantes inorgânicos (NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio) bem como agrotóxicos e restos de animais.

Os fertilizantes são aplicados com o objetivo de suprir as necessidades de compostos químicos do solo, de forma a aumentar a sua produtividade, mas seu uso indiscriminado provoca entre outras coisas: decréscimo do teor de matéria orgânica e degradação de suas características físicas, alteração da capacidade de retenção e escoamento das águas superficiais. Essas mudanças resultam na maior lixiviação dos nutrientes

aplicados e, conseqüentemente, na necessidade de se utilizar cada vez mais esses produtos.

Quando se aplica fertilizantes por muito tempo, o solo fica “simplificado” a cálcio, fósforo e potássio. Os solos ricos em potássio podem desenvolver uma estrutura colunar ou prismática, dura e refratária, quando seca, lodosa, quando molhada. O uso contínuo de fertilizantes à base de sulfato de amônia, acidifica o solo e, portanto, pode “fixar” outros nutrientes, não os tornando acessíveis as plantas, sendo o zinco um desses nutrientes (Drew, 1989 apud Mota, 1987).

Ao atingir a água ou os alimentos, os fertilizantes provocam danos a saúde humana: os nitratos em excesso combinam-se com a hemoglobina do sangue, causando a metemoglobinemia; os nitratos reagindo com as aminas, produzem as nitrosaminas, que são cancerígenas; as impurezas químicas presentes nos fertilizantes (arsênio e metais pesados) podem causar intoxicações, câncer e outros danos ao homem.

Uma vez em contato com as águas superficiais, o excesso de fertilizantes pode provocar a eutrofização, que é a proliferação excessiva de algas e de vegetação aquática. Os esgotos que contêm pesticidas também chamadas de praguicidas, defensivos agrícolas ou agrotóxicos também estão provocando problemas ambientais sejam no solo ou na água.

Os compostos organoclorados (por ex.: DDT, BHC, Aldrin, Dieldrin, Clordano, Lindano, Heptacloro, Mirex) são muito persistentes podendo até permanecer no solo pôr vários anos, tendendo a acumular-se no meio, concentrando-se através da cadeia alimentar. Há outros pesticidas que são menos persistentes, os organofosforados, no entanto de um modo geral são mais tóxicos ao homem.

Muitas vezes o escoamento das chuvas leva uma alta concentração de detritos de animais, sejam de currais, celeiros, etc., que acabam atingindo uma fonte de água e conseqüentemente debilitando o gado, quando no consumo. De todos os detritos orgânicos que poluem a água de superfície e subterrânea nos EUA, a criação de gado produz cerca de cinco vezes mais detritos que os humanos e duas vezes mais restos orgânicos que as indústrias (Corson, 1993). Isso só vem a ressaltar o quanto é importante o tratamento desse tipo de esgoto.

2.3 – Características das águas residuárias

2.3.1 – Características físicas

- ❖ Matéria Sólida: das características físicas, o teor de matéria sólida é de maior importância, em termos de dimensionamento e controle de operações das unidades de tratamento. A remoção da matéria sólida é fonte de uma série de operações unitárias de tratamento, ainda que represente entre 0,08% (Jordão e Pessoa, 1995) e 0,17% (Silva e Mara, 1970) dos esgotos;
- ❖ Temperatura: é em geral, pouco superior a das águas de abastecimento (pela contribuição de despejos domésticos que tiveram águas aquecidas). Pode, no entanto, apresentar valores reais elevados, pela contribuição de despejos industriais. Normalmente a temperatura nos esgotos está acima da temperatura do ar, à exceção dos meses mais quentes do verão, sendo típica a faixa de 20 a 25 °C.

Em relação aos processos de tratamento a influência da temperatura ocorre:

- nas operações de natureza biológica (a velocidade de decomposição do esgoto aumenta com a temperatura, sendo a faixa ideal para a atividade biológica de 25 a 35 °C , sendo ainda a 15 °C a temperatura abaixo do qual as bactérias formadoras de metano se tornam inativas na digestão anaeróbia);
 - nos processos de transferência de oxigênio (a solubilidade do oxigênio é menor nas temperaturas mais elevadas);
 - nas operações em que ocorre o fenômeno da sedimentação (o aumento da temperatura faz diminuir a viscosidade melhorando as condições de sedimentação).
- ❖ Odor : os odores característicos dos esgotos são causados pelos gases formados no processo de decomposição. Há alguns tipos principais de odores, bem característicos:
- odor de morfo: esgoto fresco;
 - odor de ovo podre : esgoto velho ou séptico, que ocorre devido à formação de gás sulfídrico proveniente da decomposição do lodo contido nos despejos;
 - odores variados, de produtos podres, como repolho, legumes, peixes, de matéria fecal, de produtos rançosos, de acordo com a predominância de produtos sulfurosos, nitrogenados, ácidos orgânicos, etc.

A presença de despejos industriais variados conferem as águas residuárias domésticas odores específicos.

Nas estações de tratamento, o mau cheiro eventual pode ser encontrado não apenas no esgoto em si, se ele chega em estado séptico, mas

principalmente em depósitos de material gradeado, de areia e nas operações de transferências e manuseio do lodo.

No entanto, nos casos em que a rede coletora, os interceptadores e as elevatórias são adequadamente projetados e as ligações correspondentes construídas de modo que o sistema opere com as vazões de projeto, não se caracteriza qualquer impacto negativo de presença de odor na área adjacente de uma estação de tratamento.

- ❖ Cor e Turbidez: indicam de imediato, o estado de decomposição do esgoto. A tonalidade acinzentada da cor é típica do esgoto velho e de uma decomposição parcial. Os esgotos podem, no entanto, apresentar qualquer outra cor, nos casos de contribuição de despejos industriais, particularmente quando ocorrer contribuição de indústrias têxteis. A turbidez não é usada como forma de controle do esgoto bruto, mas pode ser medida para caracterizar a eficiência do tratamento secundário, uma vez que pode ser relacionada à concentração de sólidos em suspensão.

2.3.2 – Características químicas

- ❖ Matéria inorgânica : areia e substâncias minerais dissolvidas. A areia é proveniente de águas de lavagem de ruas e de águas do subsolo, que chegam as galerias de modo indevido ou que se infiltram através de juntas de canalizações. Raramente os esgotos são tratados para remoção de constituintes inorgânicos, salvo à exceção de alguns despejos industriais.
- ❖ Matéria orgânica : representa cerca de 70% dos sólidos do esgoto. Estes sólidos são combinação de carbono, hidrogênio, algumas vezes com

nitrogênio. Os grupos de substâncias orgânicas nos esgotos são constituídos principalmente por:

- Compostos de proteínas (40 a 60%);
- Carboidratos (25 a 50%);
- Gorduras e óleos (10%);
- Uréia, surfatantes, fenóis, pesticidas.

As proteínas são formadas por cadeias de carbono, hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, algumas vezes fósforo, enxofre e ferro. As proteínas são o principal constituinte de organismo animal, mas ocorrem também em plantas. O gás sulfídrico presente nos esgotos é proveniente do enxofre resultante da decomposição das proteínas.

Os carboidratos contêm carbono, hidrogênio e oxigênio. São as primeiras substâncias a serem destruídas pelas bactérias, com a produção de ácidos orgânicos. Os principais exemplos de carboidratos são os açúcares, o amido, a celulose e a fibra da madeira.

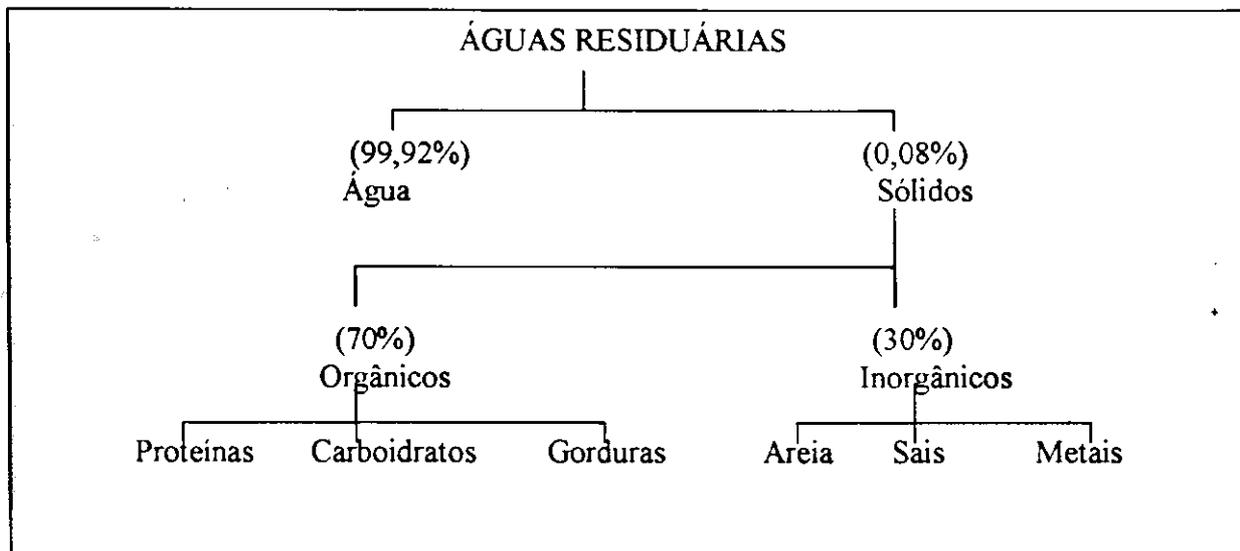
O termo gordura refere-se à matéria graxa, aos óleos e às substâncias semelhantes encontradas nos esgotos.

Os surfatantes são constituídos por moléculas orgânicas com a propriedade de formar espuma no corpo receptor ou na estação de tratamento em que o esgoto é lançado. O tipo mais comum é o ABC (aquil-benzeno-sulfonado), típico dos detergentes sintéticos e que apresentam resistência à ação biológica; este tipo vem sendo substituído pelos do tipo "LAS" (aquil-sulfonado-linear) que é biodegradável.

Os fenóis são compostos orgânicos, originados em despejos industriais, principalmente, e que têm a propriedade de causar, ainda que em baixa concentração, gosto característico à água (em especial à água clorada).

Os pesticidas e demais compostos orgânicos são utilizados, principalmente, na agricultura, e, como tal, não costumam chegar as galerias urbanas de esgoto, mas aos rios e corpos receptores, sendo, no entanto, uma fonte de poluição e de toxidez à vida aquática.

A composição dos esgotos é representada na Figura 2.1 :



Fonte : Jordão e Pessoa, 1995.

Figura 2.1 - Composição das águas residuárias.

2.3.3 – Características biológicas

As bactérias, os fungos, os protozoários, os vírus, as algas e os grupos de plantas e de animais são alguns dos organismos encontrados nos esgotos.

As bactérias são responsáveis pela decomposição e estabilização da matéria orgânica e por isso são os mais importantes.

As algas não interferem diretamente nas unidades convencionais de tratamento, mas apenas no tratamento biológico, por exemplo, nas lagoas de estabilização, onde desempenham um papel fundamental na oxidação aeróbia

e redução fotossintética. As algas se desenvolvem nas lagoas porque estes ambientes são ricos em nutrientes (nitratos e fosfatos), chegando a ser um fator indesejado quando o crescimento se dá em demasia (floração), e podem interferir com uso da água, caso o corpo receptor seja um manancial de abastecimento. Alguns casos se torna necessária a redução de pelo menos um desses nutrientes. No tratamento de esgotos deve-se ter um cuidado especial quando o corpo receptor é um lago ou uma lagoa, para não causar um “enriquecimento” acelerado, o que se denomina de eutrofização.

A Tabela 2.4, mostra os principais microrganismos presentes nos esgotos.

Tabela 2.4 – Principais microrganismos presentes nos esgotos.

Microrganismo	Descrição
Vírus	<ul style="list-style-type: none"> - partículas, formados pela associação de material genética (DNA ou RNA) e uma carapaça protéica; - causam doenças e podem ser de difícil remoção no tratamento de água ou de esgoto; - necessitam de um outro ser vivo para se reproduzirem.
Bactérias	<ul style="list-style-type: none"> - organismos protistas unicelulares; - apresentam-se em várias formas e tamanhos; - são os principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica; - algumas bactérias são patogênicas, causando principalmente doenças intestinais.
Protozoários	<ul style="list-style-type: none"> - organismos unicelulares sem parede celular; - a maioria é aeróbia ou facultativa; - alimentam-se de bactérias, algas e outros microrganismos; - são essenciais no tratamento biológico para manutenção de um equilíbrio entre os diversos grupos; - alguns são patogênicos.
Fungos	<ul style="list-style-type: none"> - organismos aeróbios, multicelulares, não fotossintéticos, heterotróficos; - também de grande importância na decomposição da matéria orgânica; - podem crescer em condições de baixo pH.
Helmintos	<ul style="list-style-type: none"> - animais superiores; - ovos de helmintos presentes nos esgotos podem causar doenças.

Fonte : von Sperling, 1996.

2.4 – Importância do reuso das águas residuárias

A adoção do reuso de águas residuárias pode ser considerada como uma medida de controle da poluição, pois, com a adoção de tal prática, evita-se o lançamento de esgotos nos corpos d'água. Essa é uma solução indicada, principalmente, para regiões onde há carência de água, pois garante o suprimento de água para outros fins, liberando os mananciais, os quais, muitas vezes, secam durante grande parte do ano. Mesmo tratados, os esgotos oferecem riscos ao meio ambiente. O seu uso de forma controlada, pode significar a proteção de recursos hídricos.

Na adoção do uso das águas residuárias, devem ser tomados alguns cuidados para evitar problemas ambientais, recomendando-se, entre outros: afastamento adequado de mananciais de superfície; distância satisfatória para o lençol freático; tratamento prévio do esgoto, em função do tipo de utilização (Mota, 1997).

O uso das águas residuárias tem sido encarado atualmente não como medida de controle da poluição mas como uma necessidade primordial, devido a escassez e a demanda de água doce.

Entre os diversos tipos de reciclagem de água para uso não potável, Santos (1992) apud Nascimento (1996) destacam-se:

- na agricultura e pecuária – são utilizados efluentes das ETE's na irrigação de cultura de pastagens e para dessedentação de animais;
- na indústria – efluentes das ETE's são utilizados nas torres de resfriamento, caldeiras, construção civil, etc.;
- na aquicultura – águas residuárias tratadas são recicladas para abastecer reservatórios para a produção de peixes e plantas aquáticas;

- na recarga de aquíferos subterrâneos – em regiões litorâneas os efluentes das ETE's são usados para complementar o nível dos aquíferos e para evitar a invasão salina;
- recreacional e público – é o reuso das águas residuárias tratadas para irrigação de parques, campos de esportes, lagos ornamentais e rega de jardins públicos.

O uso na irrigação de esgoto é o mais antigo e aplicado no mundo. Os primeiros países a usarem as águas residuárias na agricultura foram a Austrália, França, Alemanha e Índia. Nos Estados Unidos e no Reino Unido esta prática começou a ser adotada na segunda metade do século XIX (WHO, 1989). Desde 1926, o Arizona recicla as suas águas servidas para a irrigação urbana (Crook e Okum, 1991).

A literatura comprova as vantagens do uso das águas residuárias levando-se em conta as seguintes experiências bem sucedidas:

- **México** - na Cidade do México, são irrigados 80.000ha de milho, alfafa, cevada e aveia com esgoto bruto (Blumenthal, 1988);
- **Tunísia** - na cidade de Tunis, é usada água residuária tratada, convencionalmente, para irrigar árvores cítricas;
- **Arábia Saudita** - em Riyadh – Dirab, uma área de aproximadamente 2.500ha de trigo e pastagem é irrigada com efluentes tratados convencionalmente (Strauss, 1988);
- **Estados Unidos** - na Califórnia, precisamente em Irvine, efluentes de lagoas aeradas irrigam mais de 5.000ha de verduras;
- **Chile** - em Santiago, 16.000ha são irrigados com esgoto não tratado (Bartone, 1985);

- **Peru** - nas terras desérticas ao sul de Lima, 4.000ha são irrigados com águas residuárias tratadas em lagoas de estabilização;
- **Argentina** - na cidade de Mendoza, são irrigadas verduras, em uma área de aproximadamente 2.000ha, com esgoto parcialmente tratado (efluente primário) (Strauss, 1988);
- **Israel** - esse país recicla 70% das suas águas servidas na irrigação (WHO, 1989).

A situação do Brasil na política da reciclagem se resume a algumas experiências de algumas indústrias. Na maior estação de tratamento de esgotos do Brasil que fica em São Paulo, só agora que começou-se a reciclar as águas servidas nas cidades da região, com o intuito de diminuir o problema da seca no estado de São Paulo (Arnt, 1995).

Capítulo 3

3.0- Processos e sistemas de tratamento

Branco (1986) já salientava que o homem usa apenas a pureza da água, ou seja, a utiliza para diversos fins e depois quer de alguma forma dar destino a mesma. Esse destino é um corpo receptor, mas para que o mesmo receba as águas já servidas – águas residuárias - as mesmas têm que ter certos padrões para que não seja causado um grande impacto sob o corpo receptor. Esses padrões são adquiridos com o tratamento da água residuária .

3.1- Nível de tratamento

O tratamento de esgotos é usualmente classificado através dos seguintes níveis:

- preliminar;
- primário;
- secundário, e
- terciário (apenas eventualmente).

O tratamento preliminar visa a remoção de sólidos grosseiros, enquanto o tratamento primário visa a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica.. Em ambos, predominam os mecanismos físicos de sedimentação. Já no tratamento secundário predominam os mecanismos biológicos e o objetivo principal é a remoção da matéria orgânica e eventualmente nutrientes (nitrogênio e fósforo). O tratamento terciário, objetiva a remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou

compostos não-biodegradáveis) ou ainda a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário (von Sperling, 1996).

3.2- Operações, processos unitários e sistemas de tratamento

3.2.1- Classificação dos métodos de tratamento

Os métodos de tratamento dividem-se em operações e processos unitários e a integração destes compõe os sistemas de tratamento. Para Metcalf & Eddy (1991), de uma forma geral pode-se adotar as seguintes definições:

a) Operações físicas unitárias: métodos de tratamento, no qual predominam a aplicação de forças físicas. São elas:

- **gradeamento:** operação pela qual o material flutuante e a matéria em suspensão que for maior em tamanho que as aberturas das grades, são retidos e removidos. Essa operação resulta portanto na remoção de sólidos grosseiros;
- **sedimentação:** operação na qual as partículas com maior densidade que da água decantam pela ação da gravidade, constituindo um lodo do fundo;
- **flotação:** operação pela qual a capacidade de carreamento da água é diminuída e sua capacidade de empuxo é então aumentada às vezes até pela adição de agentes flotantes; as substâncias naturalmente mais leves, sobem à superfície e são, então, raspadas. Os agentes flotantes costumam ser pequenas bolhas de ar ou compostos químicos (Pessôa e Jordão, 1995);
- **filtração:** operação pela qual os fenômenos de filtrar, sedimentar e de contato interfacial combinam-se para transferir a matéria em suspensão

para grãos de areia, carvão, ou outro material granular, de onde deverá ser removida.;

- **adsorsão**: retenção na superfície de aglomerados de bactérias ou biomassa
- b) Processos químicos unitários: métodos de tratamento nos quais a remoção ou conversão de contaminantes ocorre pela adição de produtos químicos ou devido as reações químicas. É exemplo deste método a desinfecção, que é um processo no qual os organismos vivos causadores de doenças são exterminados (Pessôa e Jordão, 1995);
- c) Processos biológicos unitários: métodos de tratamento nos quais a remoção de contaminantes ocorre por meio da atividade biológica. São exemplos deste método a desnitrificação e a remoção da matéria orgânica carbonácea (Von Sperling, 1996).

3.2.2- Tratamento preliminar

O tratamento preliminar destina-se à remoção de sólidos grosseiros e areia. Os mecanismos principais da remoção desses elementos são o peneiramento (através das grades), para os sólidos grosseiros e a sedimentação (através dos desarenadores) destinados à remoção da areia. A areia retida é, retirada manualmente ou mecanicamente. Além dessas unidades, são incluídas também no tratamento preliminar uma calha especial de dimensões padronizadas, a Calha Parshall , destinada a medição de vazão ou vertedores com a mesma função.

As finalidades básicas da remoção de sólidos grosseiros são:

- a) proteção dos dispositivos de transporte dos esgotos (bombas e tubulações);

- b) proteção das unidades de tratamentos subsequentes;
- c) proteção dos corpos receptores.

As finalidades básicas da remoção da areia são:

- a) evitar a abrasão nos equipamentos e tubulações;
- b) eliminar ou reduzir a possibilidade de obstrução em tubulações, tanques, orifícios, sifões, etc.;
- c) facilitar o transporte líquido, principalmente a transferência de lodo, em diversas fases (von Sperling, 1996).

3.2.3- Tratamento primário

O tratamento primário visa à remoção dos sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes.

O tratamento preliminar retira apenas a areia e os sólidos grosseiros, o material remanescente, ou seja, a matéria orgânica com sólidos não grosseiros ainda pode sedimentar, e dessa forma, diminuir a DBO em suspensão para o tratamento subsequente, o tratamento secundário, que é mais custoso. Esses sólidos irão para uma outra unidade o decantador primário, que faz o tratamento primário. No decantador os sólidos irão sedimentar, uma vez que, possuem uma maior densidade que a do líquido que contém os mesmos. O lodo que ficará no fundo é retirado através de tubulações específicas, raspadores mecânicos. O material que não sedimenta, como por exemplo graxas e óleos, que possuem uma menor densidade que a do líquido, sobem para a superfície e são também retirados e posteriormente tratados.

3.2.4- Tratamento Secundário

Os processos de tratamento secundários foram desenvolvidos a partir do que acontece naturalmente nos corpos receptores quanto a degradação da matéria orgânica, procurando aprimorar e acelerar esta degradação.

Assim, a essência desse tratamento são reações bioquímicas e obrigatoriamente requerem a presença de microrganismos (sejam bactérias, protozoários, fungos, etc.) e alimento, no caso sob a forma de matéria orgânica. Os microrganismos utilizarão a matéria orgânica e produzirão gás carbônico, água, e novos microrganismos. Para que ocorra isto, faz-se necessário a presença de oxigênio (para o caso de processos aeróbios) e manutenção de outras condições favoráveis, como temperatura, pH e tempo de contato.

O tratamento secundário geralmente inclui unidades de tratamento preliminar, mas pode ou não incluir as unidades para tratamento primário. Existe uma grande variedade de métodos de tratamento a nível secundário, sendo que os mais comuns são (von Sperling, 1996):

- lagoas de estabilização e suas variantes;
- lodos ativados ;
- filtro biológico;
- tratamento anaeróbio;
- disposição sob solo.

3.2.4.1- Sistemas de lodos ativados

O sistema de lodos ativados é formado essencialmente de um tanque de aeração, também chamado de reator, um tanque de decantação que neste

caso seria um decantador secundário e uma elevatória para recirculação do lodo.

O sistema de lodos ativados foi criado a partir do conceito que quanto mais bactérias houvesse em suspensão em contato com o alimento (representado pela DBO) maior seria a estabilização da matéria orgânica presente no esgoto.

Assim, o fluxo é dirigido ao reator depois de ter passado geralmente por unidades dos tratamentos preliminar e/ou primário. No reator estão presentes os microrganismos que já estão nos esgotos, representados aqui por bactérias. A aeração é constante. O ambiente é totalmente propício para estabilização da matéria orgânica, ou seja, estão presentes o alimento, o microrganismo decompositor e a energia para o mesmo executar a decomposição. Do reator o fluxo parcialmente decomposto irá para o decantador secundário. O lodo formado no fundo desta unidade é bombeado para o reator, que receberá assim mais bactérias, que por sua vez estabilizará mais rápido a matéria orgânica. O restante do fluxo que passa pelo decantador secundário irá para o corpo receptor.

A recirculação do lodo é contínua, mas parte do lodo é retirado do reator para que o sistema se mantenha em equilíbrio, esta parte é aproximadamente a mesma quantidade de biomassa que é aumentada na reprodução e deve ser tratada na linha de tratamento do lodo. O decantador secundário consegue separar a biomassa presente no mesmo através de sua capacidade de floculação, que por sua vez deve-se ao fato das bactérias possuírem uma matriz gelatinosa, que permite a aglutinação das bactérias. A partir dessa aglutinação o floco sedimenta.

O sistema de lodos ativados apresentam como vantagem a ocupação de áreas relativamente pequenas quando se compara ao sistemas de lagoas e

como desvantagens a exigência de pessoal capacitado bem como a aeração mecânica que é um processo custoso (von Sperling, 1996).

3.2.4.2- Filtro biológico

Também chamado de leito bacteriano por Branco (1972), os filtros biológicos são constituídos de material grosseiro como cascalhos, ripas ou material plástico, sobre o qual os esgotos serão aplicados na forma de gotas ou jatos.

Antes de passar pelo filtro biológico, o esgoto também passa pela tratamento primário encarregada da remoção dos sólidos grosseiros. A percolação dos esgotos (que após terem passado pela etapa do tratamento primário são compostos de água, compostos em solução e dimutas partículas em suspensão permanente , Branco,1986) pelo filtro permite o crescimento bacteriano na superfície das pedras no material de enchimento, na forma de uma película fixa. Assim a contínua percolação fará com que os microrganismos que já estão aderidos as pedras fiquem em contato com a matéria orgânica produzindo húmus ou massa gelatinosa sobre as pedras, bem como gás carbônico e sais minerais através da respiração aeróbia. O sistema é aerado naturalmente.

O sistema tem como vantagem uma eficiente remoção da DBO comparável a do sistema de lodos ativados e a energia de aeração é obtida naturalmente, como desvantagem tem uma área um pouco maior e a incapacidade de se ajustar a grandes variações dos efluentes.

3.2.4.3- Tratamento anaeróbio

No rio que recebe esgotos, a parte sólida é sedimentada no fundo, acumulando-se na forma de lodo. Dada a alta demanda de oxigênio desse lodo orgânico e, por outro lado, a difícil circulação da água e a difusão do oxigênio em seu interior, a massa orgânica se torna anaeróbia. Assim, os microrganismos procuram obter oxigênio a partir de moléculas oxidantes, como os sulfatos, os nitratos ou o próprio gás carbônico. Essas moléculas são, assim, reduzidas quimicamente, isto é, perdem o seu oxigênio e se transformam em compostos como o gás sulfídrico, o nitrogênio molecular ou o metano. Trata-se de processos de sedimentação semelhantes aos utilizados na indústria, tanto na fabricação de álcool, quanto na de ácidos orgânicos.

A oxidação da matéria orgânica não é neste caso completa. Ao contrário do processo aeróbio, quando os produtos finais da decomposição são o gás carbônico e os sais minerais, da decomposição anaeróbia resultam compostos orgânicos mais simples. Nos sistemas de tratamento anaeróbio procura-se obter metano, um gás combustível quase inodoro, de larga escala industrial.

3.2.4.4- Disposição sob o solo

Um dos processos de disposição de esgotos sob o solo é a da infiltração lenta. Esta consiste em aplicar o esgoto sobre o solo com a finalidade de fornecer a água e os nutrientes necessários para promover o crescimento das plantas. Antes da disposição propriamente dita, é feito um tratamento primário no esgoto. Um segundo processo seria o da infiltração rápida, onde os esgotos são dispostos em bacias construídas em terras, rasas e

sem revestimento. O líquido passa através do fundo poroso e percola em direção a água subterrânea. Esta percolação não é contínua, ou seja tem que ser dado um tempo ao solo para o mesmo se recompor e restabelecer as condições aeróbias. Há também a infiltração subsuperficial, onde o esgoto pré-tratado é aplicado abaixo do nível do solo.

3.2.5- Tratamento terciário

Sabe-se que o tratamento secundário é bastante eficiente no que diz respeito à remoção de DBO e de sólidos em suspensão, mas no que se refere aos microrganismos e nutrientes, como nitrogênio e fosfato, às vezes deixa a desejar e um efluente que contenha os mesmos pode ficar a princípio eutrofizado sem falar que os rios podem ser fontes de contaminação devido à presença de microrganismos patogênicos. Assim o tratamento terciário tem como objetivo a remoção de organismos patogênicos, bem como de nutrientes e da matéria orgânica não biodegradável aumentando assim a eficiência como um todo na remoção de DBO e de sólidos em suspensão.

Apesar de ter sua irrelevante importância, o tratamento terciário não é muito utilizado, devido ao seu alto custo, como também pelo fato dos tratamentos secundários atenderem às necessidades usuais em termos de redução da carga poluidora.

São exemplos de tratamentos terciários:

- filtros de areia (após o tratamento convencional);
- lodos ativados (em seqüência à filtração biológica);
- precipitação química (de fosfatos em outros compostos);
- troca iônica (remove nitratos, fosfatos e cloretos);

- filtração em leito de carvão ativado (aumenta a remoção de sólidos em suspensão e remove a matéria orgânica não biodegradável);
- flotação (para a remoção de detergentes) ;
- lagoas de maturação.

Capítulo 4

4.0 - Lagoas de Estabilização

4.1 - Histórico

Em 1901 uma lagoa de armazenamento - Lago Mitchel, com aproximadamente 280 ha - foi construída na cidade de San Antonio, Texas, com a finalidade de utilizar a água na irrigação. Com o passar do tempo viu-se que a qualidade da água tinha melhorado, ou seja que os efluentes tinham melhor qualidade que os afluentes e esta tornou-se a primeira lagoa de estabilização de que se tem conhecimento. Já em 1911, no Estado de Montana, havia uma lagoa de estabilização servindo a uma comunidade de 2.730 pessoas. Na Califórnia, o uso de lagoas de estabilização foi iniciado em 1911, quando foi construída uma lagoa para receber águas residuárias de estações de bombeamento de petróleo, de unidades geradoras de vapor e águas residuárias domésticas.

Mais tarde, em 1924, na cidade de Santa Rosa – Califórnia, para evitar o custo de uma estação de tratamento de esgotos e por recomendação do conselho da cidade, lançaram-se esgotos sobre um leito natural de pedras – cascalhos, imaginando-se que o mesmo funcionaria como um filtro natural antes da descarga final no já poluído córrego de Santa Rosa. Em pouco tempo o esgoto bruto colmatou o filtro formando uma lagoa de aproximadamente 1m de profundidade, sem apresentar odores desagradáveis. A cidade não precisou construir estação de tratamento, pois o efluente poderia ser tratado facilmente com cloro.

Outro bom caso para tomar-se como exemplo é o da primeira lagoa construída no Estado de Dakota do Norte, que entrou em operação em 1928. Essa comunidade apesar de dispor de um sistema de coleta de águas residuárias, não dispunha de um corpo receptor que pudessem receber seus efluentes, nas proximidades da cidade. Então decidiu-se descarregar essas águas numa depressão existente a aproximadamente 4km da cidade, com o objetivo específico de afastar o mau odor que provavelmente se desenvolveria devido à decomposição da matéria orgânica. O mau odor não apareceu e durante várias décadas esta lagoa natural funcionou sem gerar qualquer incômodo para a população. Além do tratamento propriamente dito, esta experiência trouxe uma maior confiança por parte dos engenheiros para projetar e construir lagoas próximo a uma comunidade, sem que a mesma sentisse incômodo no decorrer de suas operações. E assim outras lagoas surgiram, a princípio ao acaso, mas com um objetivo específico do controle da poluição hídrica e dessas observações obtidas com soluções acidentais construiu-se, em 1946, a primeira instalação americana na cidade de Maddok, Dakota do Norte, projetada com princípios técnicos e especialmente construída para a estabilização de esgotos. Em 1956, já haviam cerca de 345 instalações nos EUA, e muitas outras em estudo.

Na Austrália, que já empregava lagoas de estabilização com a finalidade de melhorar as condições dos efluentes de estações de tratamento convencionais, por volta de 1940 já fazia pesquisas para a depuração do esgoto bruto de Melbourne, empregando-se também lagoas de estabilização.

No ano de 1957, os Departamentos de Saúde Pública dos Estados de Dakota do Norte e do Sul dos EUA, publicaram um relatório conjunto, mencionando textualmente: “a redução da concentração da DBO variou de 74 a 98% durante o período que a superfície da lagoa não estava congelada, e de

70 a 96% quando a mesma se apresentava congelada. A redução do número de bactérias existentes nas águas residuárias determinada pelo método NMP sempre foi mais de 99% durante 50% do tempo, e, com exceção de determinados períodos de amostragem em duas lagoas, sempre foi igual ou maior do que 95%, durante todo o tempo” (Silva e Mara, 1979).

No Brasil, as lagoas foram introduzidas pelo Eng.º Benoit Almeida Victoretti, com a construção das lagoas de estabilização na cidade de São José do Campos – SP, em 1960 (Kellner e Pires, 1998).

Apesar disto, até 1964 havia uma tendência natural de se optar pela utilização dos processos convencionais de tratamento de esgotos existentes na época, seja pela falta do domínio propriamente dito da nova técnica, pela esporadicidade das construções de estações de tratamento ou, por fim, falta de um suporte orçamentário constante e confiável que por sua vez dependia de dotações orçamentários nos vários níveis do governo.

Depois de solucionadas as questões financeiras, pela criação de planos e convênios com outras entidades interessadas, o tratamento de esgotos através de lagoas de estabilização começou a ser desenvolvido e estudado.

Por ser uma solução economicamente viável, o Nordeste aderiu fielmente, pois dispunha de terra a um preço relativamente baixo e um clima bastante favorável.

Em 1974, a Universidade Federal da Paraíba, através do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia, sediado em Campina Grande, e convênio de um a entidade governamental, começou a construir um centro de pesquisas sobre lagoas de estabilização, com a finalidade de determinar a eficiência dos vários tipos de lagoas de estabilização, considerando as condições ambientais prevalecentes na região Nordeste e obtendo parâmetros indispensáveis à execução de projetos

tecnicamente corretos. Felizmente, este centro de pesquisas não se deteu apenas a lagoas de estabilização, mas também aos demais processos de tratamento biológico de águas residuárias.

4.2 - Nomenclatura

Segundo Silva e Mara (1979), lagoas de estabilização não devem ser confundidas com lagoas de oxidação, uma vez que pelas primeiras entende-se que são reatores de profundidade variável, escavados no solo ou contidos por taludes de terra ou de concreto, dimensionados para receber águas residuárias brutas, que serão degradadas biologicamente, já as lagoas de oxidação recebem apenas efluentes de um processo de tratamento primário (tanques sépticos, lagoas de estabilização, etc.). Assim, o termo: "lagoas de estabilização" é o termo mais abrangente e designa todos os tipos de lagoas construídas, inclusive lagoas de oxidação.

4.3 - Vantagens e desvantagens

Segundo Silva e Mara (1979), as lagoas de estabilização possuem consideráveis vantagens sobre todos os outros métodos de tratamento de águas residuárias, são elas:

- **baixo custo de operação:** a manutenção de uma lagoa de estabilização é mínima, resumindo-se ao corte regular da grama do talude e remoção da espuma da superfície da lagoa. Mesmo essa atividade sendo simples mas se faz necessário treinar um operador para efetuá-la e mantê-lo sob constante supervisão. A partir da população servida faz-se uma estimativa da mão-de-obra necessária, através da Tabela 4.1:

Tabela 4.1 - Estimativa da mão-de-obra necessária para operação de lagoas de estabilização.

Pop.servida	Supervisores	Trabalhadores
5.000	-	2
10.000	-	3
50.000	1	6
100.000	2	8

Fonte: Silva e Mara (1979).

- **simples de construir:** além de ser simples a construção, se no futuro se necessitar da área em que as mesmas estão construídas, podem ser facilmente recuperadas, remove-se as estruturas de entrada e saída da lagoa e, caso existam, das placas protetoras existentes ao nível máximo das águas da lagoa e o terreno é, então, nivelado;
- **podem alcançar qualquer grau de purificação necessário a um custo mais baixo possível e com mínimo de manutenção executada por pessoal não especializado;**
- **produzem um efluente de alta qualidade:** numa série de três lagoas observa-se um número menor que 5000CF/100ml, além de que não costuma-se encontrar ovos e cistos de parasitas intestinais em efluentes de lagoas de maturação;
- **podem absorver aumentos bruscos de cargas hidráulicas e orgânicas:** o longo tempo de detenção, já que o processo é natural, assegura a existência de diluição suficiente para fazer curtas sobrecargas;
- **usam pouco ou nenhuma energia elétrica:** o processo é inteiramente natural;
- **podem tratar águas residuárias agrícolas ou industriais, bastando para isso que as mesmas sejam biodegradáveis;**

- **o projeto pode ser facilmente alterado:** projetando-se a estrutura de saída de tal modo que o nível da superfície da lagoa possa ser modificado, variando também o tempo de detenção e conseqüentemente o grau de tratamento;
- **as algas produzidas nas lagoas têm alto valor protéico:** isto pode ser convenientemente usado na criação de peixes, e com a posterior venda dos mesmos pode até conseguir uma renda substancial capaz de diminuir os custos de operação da estação de tratamento.

As lagoas de estabilização apresentam, **como maior desvantagem**, a necessidade de grandes áreas, comparadas aos outros processos, no entanto, em países tropicais e em desenvolvimento esse não constitui propriamente em um problema uma vez que os mesmos apresentam áreas disponíveis. A Tabela 4.2 mostra as vantagens e desvantagens de diferentes tipos de tratamento de esgoto.

Tabela 4.2 – Vantagens e desvantagens de vários sistemas de tratamento de esgotos (Arthur, 1983).

Critérios	Lodos	Filtro	Acração	Valo de	Lagoas	L.E. com L.	L.E. sem L.
	Ativados	Biológico	Extendida	Oxidação	Aeradas	Anaeróbia	Anaeróbia
Remoção de DBO	Razoável	Razoável	Razoável	Bom	Bom	Bom	Bom
Remoção de CF	Ruim	Ruim	Razoável	Razoável	Bom	Bom	Bom
Remoção de SS	Bom	Bom	Bom	Bom	Razoável	Razoável	Razoável
Remoção de Helminthos	Razoável	Ruim	Ruim	Razoável	Razoável	Bom	Bom
Remoção de Vírus	Razoável	Ruim	Razoável	Razoável	Bom	Bom	Bom
Usos posteriores	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Bom	Bom	Bom
Possibilidade de uso do efluente	Ruim	Ruim	Razoável	Razoável	Bom	Bom	Bom
Simplicidade de construção	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim	Bom	Bom
Simplicidade de operação	Ruim	Razoável	Ruim	Razoável	Ruim	Bom	Bom
Necessidade de terreno	Bom	Bom	Bom	Bom	Razoável	Razoável	Ruim
Custos de manutenção	Ruim	Razoável	Ruim	Ruim	Ruim	Bom	Bom
Demanda de energia	Ruim	Razoável	Ruim	Ruim	Ruim	Bom	Bom
Minimização de remoção de lodo	Razoável	Razoável	Razoável	Ruim	Razoável	Bom	Bom

4.4 - Classificação

De acordo com o processo predominante de estabilização da matéria orgânica a ser tratada, as lagoas costumam ser classificadas em:

- anaeróbias;
- aeróbias;
- facultativas;
- alta taxa de degradação.

4.4.1 - Lagoas Anaeróbias

São lagoas projetadas para receber alta carga de matéria orgânica, assim sendo, possuem grandes profundidades (de 3,0 a 4,5m) e nenhum oxigênio dissolvido. Assim, os microrganismos presentes numa lagoa anaeróbia são no mínimo facultativos, mas com predominância dos anaeróbios.

O afluente entra na lagoa e a parte sólida começa a sedimentar-se, vindo a constituir ao longo do tempo o lodo do fundo (Silva e Mara, 1979).

Dada a alta demanda de oxigênio do lodo orgânico e, por outro lado, a difícil circulação da água e a difusão do oxigênio orgânico em seu interior, o lodo orgânico tornar-se-á anaeróbio. Os microrganismos irão obter oxigênio a partir dos sulfatos, nitratos ou o próprio gás carbônico. Essas moléculas são, assim, reduzidas quimicamente, isto é, perdem o oxigênio e se transformam em compostos como o gás sulfídrico (sulfato reduzido), nitrogênio molecular (nitrato reduzido) ou metano (gás carbônico reduzido).

No caso não ocorre a estabilização completa da matéria orgânica, pois essa oxidação não dá origem a gás carbônico e sais minerais como os processos aeróbios e sim a compostos orgânicos mais simples (Branco, 1986).

A operação deste tipo de lagoa, para ser bem sucedida, depende do equilíbrio entre as bactérias formadoras de ácido e aquelas formadoras de metano. Conseqüentemente, é necessário uma temperatura maior do que 15°C e o pH deve ser mantido acima de 6. Dessa forma a acumulação de lodo é mínima, aumentando assim o intervalo de tempo para a remoção de lodo. Nas temperaturas inferiores a 15°C, as lagoas funcionam como um tanque de estocagem de lodos (Silva e Mara, 1979).

Nos sistemas de tratamento anaeróbio procura-se obter metano, um gás combustível, quase inodoro, de largo emprego industrial.

As duas maiores vantagens do tratamento anaeróbio sobre o aeróbio, são a baixa produção de lodo biológico e o fato de não necessitar de equipamentos de aeração. As desvantagens são a estabilização incompleta, que requer um tratamento posterior, e a relativa alta temperatura necessária para o processo. As características mais importantes para que um esgoto seja tratado anaerobicamente são:

- ter um alto teor orgânico (proteínas e gorduras, principalmente);
- temperatura relativamente alta;
- ser livre de matéria tóxica;
- possuir suficientes nutrientes biológicos.

São bom exemplo de um esgoto que pode ser tratado anaerobicamente, as águas residuárias de uma indústria de processamento de carne, com DBO de 1400mg/l, 500mg/l de gorduras, temperatura de 28°C e pH neutro.

Na figura 4.1 ilustra um esquema de uma lagoa anaeróbia, empregada como primeiro estágio no tratamento de efluentes provenientes de um matadouro bovino.

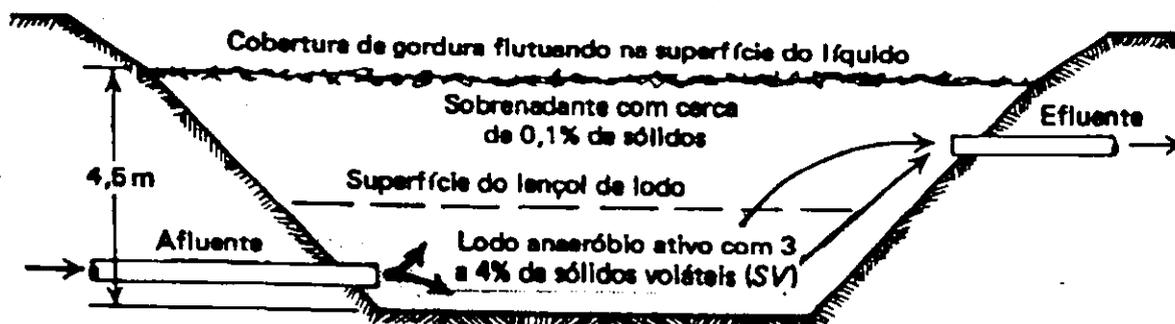


Figura 4.1 – Esquema de uma lagoa anaeróbia tratando o efluente de um matadouro de bovinos (Hammer, 1979).

O pré-tratamento do esgoto bruto inclui recuperação do sangue na forma de um produto vendável, gradeamento para remoção de sólidos maiores e flotação para redução de gordura. As lagoas são construídas com taludes de grande declividade, com 4,5m de profundidade para minimizar a área superficial em relação ao seu volume. Isso permite o acúmulo de alguns centímetros de gordura na superfície, formando uma cobertura natural que retém o calor, controla odores e mantém as condições anaeróbias. O afluente tem fluxo ascendente, de modo a se misturar com os sólidos microbianos ativos do lodo. A tubulação de descarga é localizada no extremo oposto e fica submersa em relação a camada de gordura. Sendo o fluxo ascendente na descarga, permite a decantação do floco biológico, de modo que a matéria ativa seja retida na lagoa. A recirculação do lodo não é necessária, pois a gaseificação e os dispositivos de entrada e saída provocam mistura adequada.

A operação em série não é recomendada, pois é difícil manter uma cobertura de gordura adequada na lagoa do segundo estágio.

Os problemas operacionais para lagoas de estabilização em climas temperados mais comuns resultam da temperatura reduzida do líquido, causado por uma cobertura de gordura insuficiente para isolamento térmico e proteção contra a mistura causada pelo vento. Uma carga de DBO muito baixa e um pré-tratamento eficiente podem resultar numa alimentação de gordura inadequada, não permitindo a sua acumulação. As lagoas anaeróbias não criam sérios problemas de odor, quando são propriamente operados, isto é, quando há anaerobiose completa e uma cobertura adequada. Uma exceção se dá quando a água abastecida à indústria tem alta concentração do íon de sulfato, o qual é reduzido no ambiente anaeróbio, emitindo gás sulfídrico (Hammer, 1979).

4.4.2 - Lagoas Aeróbias

São lagoas as quais predominam as condições aeróbias de degradação da matéria orgânica. Condições estas que se resumem a presença de oxigênio dissolvido, em toda massa líquida da lagoa.

As lagoas aeróbias são usadas comumente para pós tratamento, recebendo assim afluentes cuja a carga de DBO está praticamente estabilizada, sendo assim seu principal objetivo é remover nutrientes como fósforo e nitrogênio. Removem também, organismos patogênicos (vírus e bactérias), dependendo das condições climáticas locais e de outras condições adversas para os mesmos, como: concentrações elevadas de oxigênio dissolvido, altos valores de pH e extensa zona fótica, permitindo que os raios ultravioleta atinjam até as camadas mais profundas das lagoas.

A profundidade máxima para se obter as condições acima mencionadas é de até 3m. No entanto Silva e Mara (1979) recomendam profundidades de 1 a 1,5m, uma vez que a destruição dos organismos patogênicos se processa melhor em lagoas mais rasas do que em profundas.

Assim, como a DBO recebida por esta lagoa já está na sua maioria estabilizada, observa-se que suas águas são claras, e com a pouca profundidade que a mesma tem faz com que os raios solares cheguem ao longo de toda sua profundidade. Isto em conjunto com a elevada produção de oxigênio resulta na eliminação de organismos patogênicos.

Estas lagoas possuem grande eficiência quando são convenientemente projetadas, cerca de 99,99% e, claro, menos de 1000CF/100ml que é o padrão exigido para efluente ser utilizado em irrigação irrestrita (WHO, 1989).

4.4.3 - Lagoas Facultativas

São lagoas comumente projetadas para receber águas residuárias provenientes de um tratamento primário, mas podem receber também águas residuárias brutas.

O temo facultativo refere-se a dualidade das condições presentes neste tipo de lagoa. Na superfície, ou em camadas sub-superficiais, onde os raios solares atingem com maior facilidade ou até onde há a influência do vento, as condições são aeróbias. No fundo da lagoa, onde não estão presentes essas condições o ambiente é totalmente, anaeróbio.

Parte do oxigênio molecular utilizado pelas bactérias para respiração é proveniente da reaeração atmosférica, enquanto a maior parte deve-se a produção de oxigênio fotossintético das algas. Estas crescem naturalmente nas

lagoas em virtude da presença de nutrientes e energia da luz solar incidente. As algas, para realizar a fotossíntese utilizam o gás carbônico dissolvido na massa líquida e também o resultante do metabolismo bacteriano. Essa interdependência entre as algas e bactérias caracterizam uma simbiose, uma vez que a maior parte do oxigênio molecular presente nas lagoas é fornecido pelas algas, cujo processo depende da luz solar, haverá uma variação na concentração de oxigênio dissolvido no decorrer do dia, assim como haverá uma variação no nível da oxipausa (ponto abaixo da superfície, no qual o nível de oxigênio dissolvido é igual a zero).

Para Silva e Mara (1979), o pH também varia com a fotossíntese podendo chegar a 10. Isto se deve ao fato de que na demanda máxima de CO_2 , as algas retiram este em solução mais rapidamente do que a reposição pela respiração das bactérias. E, como resultado, os íons de bicarbonato presentes se dissociam produzindo o CO_2 requerido, íons de hidroxila, que aumenta o valor do pH.

O bom funcionamento de uma lagoa de estabilização facultativa deve-se a dois fatores: o vento e o calor, pois é através deles que se realizam algumas atividades importantes nas lagoas, como: minimizar a possibilidade de ocorrência de curtos-circuitos hidráulicos, a formação de zonas estagnadas, e assegura uma razoável e uniforme distribuição no sentido vertical da DBO, gás carbônico e oxigênio.

Se não houver este tipo de manutenção a maior parte da massa líquida da lagoa permanecerá permanentemente no escuro, pois, a zona fótica compreende apenas de 15 a 30cm abaixo da superfície e não havendo a mistura, as algas não flageladas não poderão serem levadas para esta zona, ficando então lá no fundo e conseqüentemente não realizando a fotossíntese e não produzindo assim oxigênio.

A mistura também é responsável pelo transporte de oxigênio da zona fótica para camadas inferiores. Uma boa mistura aumenta a carga de DBO que pode ser tratada em uma lagoa. Assim, vê-se que a mistura é um fator muito importante e para que ela aconteça se faz necessário a ausência de qualquer obstrução na lagoa. Silva e Mara (1979) estabelece uma distância mínima de um obstáculo para a lagoa de 100m, para haver uma mistura máxima.

Quando a mistura vertical não ocorre, verifica-se a estratificação térmica da massa líquida. As camadas quentes superiores são separadas pelas frias inferiores através de uma fina camada estática onde ocorre a grande mudança de temperatura, chamada de termoclina. Além disso as algas não flageladas sedimentam-se no fundo da lagoa, onde não há luz para a realização da fotossíntese, morrendo, exercendo uma demanda de oxigênio. Já as algas flageladas dirigem-se para a superfície da lagoa em busca de luz e temperaturas mais elevadas, formando então uma espessa camada (que fica de 30 a 50cm da superfície) que impede a passagem de luz. Acredita-se que na ausência de ventos, esse fenômeno possa ocasionar um maior armazenamento de energia térmica nas camadas superficiais, ocasionando um aumento de temperatura nessas camadas que pode chegar a uma temperatura de até 35°C , tornando mais acentuado o fenômeno da estratificação (Kellner e Pires, 1998).

Em áreas de pouco ou nenhum vento em contato com a superfície da lagoa esta fica permanentemente estratificada, conseqüentemente haverá uma diminuição do número de algas na zona fótica, diminuindo assim a produção de oxigênio, bem como a estabilização da matéria orgânica e por fim a eficiência da lagoa.

Para Silva e Mara (1979), a mistura que ocorre numa lagoa facultativa, durante um dia, apresenta as seguintes fases, são elas:

- pela manhã, quando há vento, haverá um período de mistura completa, durante o qual a temperatura é uniforme em toda a profundidade; porém, a temperatura tende a crescer devido a insolação;
- geralmente, durante a pequenos intervalos de calmaria, desenvolve-se uma estratificação e conseqüentemente forma-se a termoclina. Podendo haver certa quantidade de mistura acima da termoclina;
- à tarde e à noite, um segundo período de mistura pode iniciar-se como descrito a seguir: acima da termoclina as camadas superiores começam a perderem calor mais rapidamente do que as camadas do fundo. As camadas mais frias afundam, induzindo uma mistura que resulta na manutenção da temperatura abaixo da termoclina. Se as temperaturas tornarem-se iguais, desenvolve-se uma mistura que é mantida por toda a coluna líquida da lagoa. Sob condições de ventania a energia fornecida pelo vento favorece o rompimento da termoclina pela água e a estratificação desaparece com a posterior mistura (Marais, 1966).

As condições descritas acontecem também nas lagoas naturais de grandes profundidades de regiões de clima temperado ou em lagoas rasas de climas tropicais.

4.4.3.1 - Variações na concentração de oxigênio dissolvido ao longo do ciclo diário.

Nos processos metabólicos que ocorrem na massa líquida de uma lagoa de estabilização facultativa, observa-se que a concentração de oxigênio não se mantém uniforme, mas varia com o tempo. Sabe-se que o suprimento de oxigênio se dá através da reaeração atmosférica ou pela produção do mesmo através da fotossíntese pelas algas. Segundo Mudrack (1986), a

quantidade de oxigênio produzido na camada aeróbia depende da iluminação e consequentemente da fotossíntese que só é realizada nas horas iluminadas do dia. Os valores de OD ao longo do ciclo diário podem variar desde próximo à saturação até várias vezes este valor (Hartley e Weiss, 1970). As variações na concentração de oxigênio na camada aeróbia estão representadas na figura 4.2.

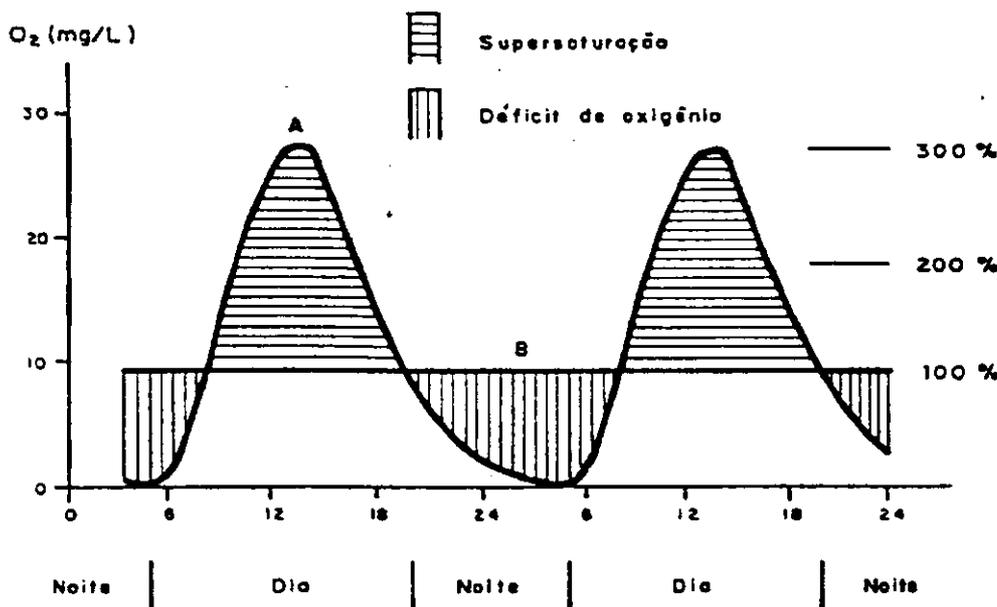


Figura 4.2 - Variações diárias da quantidade de oxigênio numa lagoa (Uhlmann, 1982).

Normalmente, a noite acontece uma grande demanda de oxigênio por parte da biota (algas, bactérias e outros organismos), observando-se neste período uma redução na concentração de oxigênio (Gloyne e Hermann, 1956) e, em particular, quando da existência de florescimento de algas, os períodos de supersaturação do ar durante as horas iluminadas do dia serão alteradas por elevada demanda de oxigênio à noite, podendo a concentração de oxigênio dissolvido da mistura chegar a zero.

4.4.4 - Lagoas de Alta Taxa de Degradação

Lagoas de alta taxa de degradação são lagoas pouco profundas, projetadas para o tratamento de águas residuárias decantadas, visando uma produção máxima de algas (Mara e Silva, 1979), ou seja, mesmo sem ter a massa líquida clara como nas lagoas aeróbias, aproveitam ao máximo a energia solar porque são ainda mais rasas (mais ou menos 50cm) e, conseqüentemente, têm alta produção de oxigênio fotossintético, mantendo assim as condições aeróbias predominantes mesmo sob altas cargas orgânicas, resultando uma alta taxa de degradação (Andrade Neto, 1997).

Assim, este tipo de lagoa deverá sempre ser usado quando houver a viabilidade do reaproveitamento de algas, pois é necessária a sua remoção do efluente. As algas podem ser parcialmente desidratadas e usadas como alimentação suplementar na criação de animais, como porcos e aves domésticas, visto que algumas delas podem ter até 50% de proteína.

4.5 - Eficiência dos processos de tratamento

Segundo Andrade Neto (1977), para comparar-se um ou outro processo de tratamento faz-se necessário o conhecimento dos cuidados tomados na operação e manutenção de cada processo, mas pode-se concluir que qualquer tratamento de águas residuárias com processos bem operados sempre resultará numa boa eficiência. A eficiência esperada de remoção de DBO_5 e coliformes fecais para os diversos processos de tratamento de esgoto é mostrado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Eficiência para os diversos processos de remoção de DBO₅ e CF.

Tipo de lagoa	Remoção de DBO (%)	Remoção de Coliformes (%)
Lagoas facultativas	75 a 95	80 a 99
Lagoas anaeróbias	50 a 80	85 a 90
Lagoas aeróbias	50 a 80	85 a 90

Fonte: Andrade Neto, 1977.

Para Andrade Neto (1997), a eficiência das lagoas de estabilização depende muito do projeto e pouco da operação do sistema.

Silva et al (1993), Tabela 4.4 mostra a eficiência acumulativa de remoção de DBO₅ e Sólidos Suspensos (%) e tempo de detenção acumulado (dias) para sistema de lagoas de estabilização em série.

Tabela 4.4 - Eficiência acumulativa para sistemas de lagoas de estabilização em série – Campina Grande (Pb).

Lagoa	Carga Orgânica (kgDBO/ha*dia)	t.d.h. (dia)	Remoção DBO ₅	Acumulada (%) SS
A	2790	1	81,2	79,5
F	262	3	86,0	81,6
M1	195	5	94,1	88,0
M2	82	7	94,1	88,0
M3	82	9	95,7	90,4
M4	60	11	96,8	90,4
M5	45	13	96,8	91,2
M6	45	15	96,2	88,3
M7	52	17	96,2	90,1
M8	52	19	95,2	83,0

(A) lagoa anaeróbia, (F) lagoa facultativa, (Mi) lagoas de maturação.

Capítulo 5

5.0 - Lagoas em série

A melhor eficiência de tratamento de águas residuárias é obtida usando-se uma série de pequenas lagoas em vez de uma única com a mesma área (Marais, 1974).

Nas lagoas anaeróbias predominam os organismos que convertem anaerobiamente a matéria orgânica, já nas lagoas facultativas predominam os organismos que sintetizam seus próprios alimentos e ajudam no estabelecimento das condições aeróbias e nas lagoas de maturação, a presença de zooplâncton implica no consumo do fitoplâncton e bacterioplâncton proveniente de uma lagoa facultativa.

Assim, nestes sistemas há um contínuo decaimento no número de bactérias envolvidas na estabilização da matéria orgânica quando a DBO cai ao longo das várias lagoas, sugerindo uma relação direta entre a atividade bacteriana e suprimento alimentar da matéria carbonácea. A taxa de remoção de DBO também decresce em lagoas em série e isto pode estar relacionado à concentração de bactérias em cada reator (Parker, 1962).

Marais (1974), afirma que a eficiência de remoção de coliformes fecais em um sistema de lagoas em série aumenta quando aumenta o número de lagoas para um tempo de retenção total fixo. Na prática, o autor sugere que para alcançar até 90% de remoção de coliformes fecais uma única lagoa é suficiente, já para alcançar até 99% é necessário duas lagoas em série e para alcançar 99,9%, três lagoas em série e assim sucessivamente.

Inúmeras vantagens são conseguidas com este sistema desde a economia de espaço até a eficiência vista anteriormente. Este sistema, na prática pode ser representado por uma lagoa anaeróbia seguida de uma facultativa e daí para N lagoas de maturação.

Capítulo 6

6.0 - Operação e manutenção das lagoas de estabilização

Como já foi dito, a utilização das lagoas de estabilização deve-se sobretudo à simplicidade e custos reduzidos dos serviços relativos à manutenção e operação do processo. Estes serviços estão comumente disponíveis a qualquer órgão de saneamento de pequenas comunidades.

A manutenção resume-se em conservar as características pré-estabelecidas em projeto e indispensáveis ao bom funcionamento do processo, ou seja, manutenção preventiva das obras e dispositivos construídos, uma vez que o processo não exige equipamentos mecanizados. Enquanto a operação, resume-se em controlar e favorecer os fenômenos físicos, químicos e biológicos que caracterizam o processo.

Após o estabelecimento da biota que dura aproximadamente 60 dias, a operação se resumirá a exames de rotina. Segundo Pessôa e Jordão (1995), três aspectos principais devem ser considerados na operação da lagoa, são eles:

- inspeção diária da lagoa;
- coleta de amostras e avaliação do desempenho;
- identificação de possíveis fatores desfavoráveis e adoção de medidas corretivas.

6.1- Inspeção Diária

O operador deve percorrer todo o perímetro da lagoa (ou lagoas), observando e anotando em boletim diário apropriado, as principais ocorrências existentes.

Para fins de orientação, poderá ser utilizado o roteiro descrito Tabela 6.1 :

Tabela 6.1 – Roteiro para inspeção diária.

Ocorrências principais	Sim	Não
Há levantamento de lodo em algum ponto da lagoa		
Manchas verdes na superfície da lagoa		
Manchas negras ou cinzentas na lagoa facultativa		
Há manchas de óleo na superfície		
Aparecimento de vegetação na lagoa ou nos taludes		
Há evidência de erosão nos taludes		
Há alguma infiltração visível		
As cercas estão em ordem		
Há presença de insetos		
Há presença de aves		
As canaletas de água pluvial estão limpas, sem areia		
A vazão foi lida no medidor de vazão		
As grades foram limpas		
A caixa de areia foi limpa		

Fonte: Pessoa e Jordão, (1995).

Além dessas observações, o operador deverá verificar as condições meteorológicas, anotando:

- a temperatura do ar (sempre no mesmo horário);
- a temperatura do esgoto, que influencia nas reações bioquímicas que se passam na massa líquida;
- as condições do céu (céu encoberto, nebuloso ou ainda claro);
- a direção predominante dos ventos;
- a intensidade dos ventos: ausente, muito fraco, moderado, forte ou ainda muito forte).

6.2- Coleta de amostras

A amostragem, segundo Pessoa e Jordão (1995), deverá ser feita de acordo com as características do sistema da lagoa. A Tabela 6.2 indica parâmetros a serem avaliados.

6.3- Problemas operacionais

Os principais problemas operacionais das lagoas anaeróbias e facultativas encontram-se nas Tabelas 6.3 e 6.4, em conjunto com as principais medidas a serem tomadas para possível solução .

Tabela 6.2 - Parâmetros a serem monitorados num programa de lagoas de estabilização.

Parâmetro	Frequência	Pto. amostragem	Observações	Lugar de determ.
Cor	Diária	E	Aparência	Própria lagoa
Odor	Diária	Ambiente		Própria lagoa
Temperatura ar	Diária	Ambiente	Descritivo	Própria lagoa
Temp. esgoto	Diária	A-L-E	10h da manhã	Própria lagoa
pH	Semanal	A-L-E	10h da manhã	Própria lagoa
Penetração da luz	Diária	L	12 horas	Própria lagoa
Sól. sedimentáveis	Diária	A-E	10h da manhã	Própria lagoa
Intensidade ventos	Diária	Ambiente	10h da manhã	Própria lagoa
Vazão	Diária	A-E	10h da manhã	Própria lagoa
Vazão	Mensal	A	24h, de h. em h.	Própria lagoa
Oxig. dissolvido	Diária	L	12 horas	Própria lagoa
Oxig. dissolvido	Mensal	L	24h, de h. em h.	Própria lagoa
Sól. em suspensão	Quinzenal	A-E	10h da manhã	Própria lagoa
Alcalin. Total	Semanal	A-E	10h da manhã	Lab. central
Sulfatos	Mensal	A-E	10h da manhã	Própria lagoa
Nitrog. Amoniacal	Mensal	A-E	10h da manhã	Lab. central
Nitrog. Orgânico	Mensal	A-E	10h da manhã	Lab. central
Nitratos	Mensal	E	10h da manhã	Lab. central
Fosfatos	Mensal	A-E	10h da manhã	Lab. central
DBO	Semanal	A-E	10h da manhã	Lab. central
DQO	Semanal	A-E	10h da manhã	Lab. central
NMP coliformes	Semanal	A-E	10h da manhã	Lab. central
Gênero de algas	Mensal	L	10-12-14-16h	Lab. central
Carga sup. Aplic.	Semanal	A	10h da manhã	-
Prof. de operação	Diária	L	10h da manhã	Própria lagoa

A= afluente, L= interior da lagoa, E= efluente.

Fonte: Pessoa e Jordão, 1995.

Tabela 6.3 - Principais problemas operacionais das lagoas Anaeróbias e suas possíveis soluções.

Lagoas Anaeróbias	
Problema : Maus odores - Causas	
<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecarga de esgotos e diminuição do tempo de detenção; - Carga baixa e elevação excessiva do tempo de detenção(a lagoa se comporta como facultativa); - Presença de substâncias tóxicas; - Queda brusca da temperatura dos esgotos. 	
Medidas de prevenção e controle	
<ul style="list-style-type: none"> - Recircular o efluente da lagoa facultativa ou de maturação para a entrada da lagoa anaeróbia(razão da recirculação de 1/6); - Melhorar a distribuição do afluente(distribuição por tubulações perfuradas no fundo); - No caso de sobrecarga, eventual by-pass parcial para lagoa facultativa(caso esta suportar elevações da carga); - No caso de longos tempo de detenção, operar com uma única lagoa anaeróbia(caso haja duas ou mais lagoas em paralelo); - Adicionar nitrato de sódio em vários pontos da lagoa; - Adicionar cal (120g/10m³ de lagoa) para elevar o pH, reduzindo as condições ácidas responsáveis pela inibição da metanogênese e pela maior presença do sulfeto na forma livre, tóxica; - Evitar a adição de cloro, pois o mesmo causará problemas posteriores para o reinício das atividades biológicas. 	
Problema: Proliferação de insetos - Causas	
<ul style="list-style-type: none"> - Material gradeado ou areia removida não dispostos convenientemente; - Crescimento de vegetação no encontro entre NA e talude interno; - Camada de espuma e óleo sempre presente nas lagoas anaeróbias; - Pouca circulação e manutenção deficiente. 	
Medidas de prevenção e controle	
<ul style="list-style-type: none"> - Aterrar o material removido das grades e caixas de areia em valas; - Cortar a vegetação ; - 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. 	
Problema: crescimento de vegetação - Causas	
<ul style="list-style-type: none"> - Manutenção inadequada. 	

Medidas de prevenção e controle
<ul style="list-style-type: none"> - Vegetação aquática que cresce no talude interno: remoção total ,evitando sua queda na lagoa; - Vegetação terrestre (cresce no talude externo): capinar o terreno, adicionar produtos químicos para controle das ervas.
Problema: manchas verdes no encontro do NA com o talude - Causas
<ul style="list-style-type: none"> - Proliferação de algas, face à pequena profundidade no trecho NA - talude.
Medidas de prevenção e controle
<ul style="list-style-type: none"> - Remover as algas.
Problema: entupimento das tubulações de entrada - Causas
<ul style="list-style-type: none"> - Tubulação de entrada obstruída.
Medidas de prevenção e controle
<ul style="list-style-type: none"> - Limpar as tubulações com vara ou arame de aço.
Problema: superfície da lagoa coberta por uma camada de espuma - Causas
<ul style="list-style-type: none"> - Espuma, óleos e plásticos.
Medidas de prevenção e controle
<p>-Não há que se tomar atitudes: a camada de espuma é totalmente normal em lagoas anaeróbias, ajudando a manter a ausência de oxigênio, e dificultando o desprendimento de maus odores.</p>

Fonte: Pessoa e Jordão(1995).

Tabela 6.4 - Principais problemas operacionais das lagoas facultativas e suas possíveis soluções.

LAGOAS FACULTATIVAS
Problema: espuma e flutuantes (impedindo a passagem da energia luminosa) - Causas
<ul style="list-style-type: none"> - Floração de algas, formando nata esverdeada; - Lançamento de material estranho, exemplo: lixo; - Placas de lodos desprendidas do fundo; - Pouca circulação e atuação do vento.
Medidas de prevenção e controle
<ul style="list-style-type: none"> - Quebrar a espuma com jatos de água ou com rastelo; - Remover a espuma com peneiras de pano, enterrando-a depois; - Desagregar ou remover placas de lodo; - Remover obstáculos para a penetração do vento (caso possível).

Problemas: maus odores causados por sobrecarga - Causas

- Sobrecarga de esgotos, causando o abaixamento do pH, queda da concentração de OD;
- Mudança na cor do efluente de verde para verde-amarelo (predominância de rotíferos e crustáceos, que se alimentam de algas);
- Aparecimento de zonas cinzentas junto ao afluente;
- Maus odores.

Medidas de prevenção e controle

- Transformar a operação de lagoas em série para lagoas em paralelo;
- Retirar temporariamente a lagoa problemática de operação, desde que haja pelo menos duas lagoas em paralelo;
- Considerar entradas múltiplas do afluente, para evitar caminhos preferenciais;
- No caso de sobrecargas consistentes, considerar a inclusão de aeradores na lagoa;
- Eventualmente adicionar nitrato de sódio, como complementação de fonte de oxigênio combinado;

Problema: maus odores causados por más condições atmosféricas - Causas

- Longos períodos de tempo nublado e temperatura baixa.

Medidas de prevenção e controle

- Diminuir a altura da lâmina d'água;
- Colocar em operação uma lagoa em paralelo;
- Instalar aeradores superficiais próximos ao afluente.

Problema: maus odores causados por substâncias tóxicas - Causas

- Substâncias tóxicas advindas das descargas industriais, gerando repentinas condições anaeróbias na lagoa;

Medidas de prevenção e controle

- 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 as possíveis providências de acordo com a legislação;
- Isolar a lagoa afetada;

Colocar uma segunda unidade em operação em paralelo, com aeração, caso seja possível.

Problema: maus odores causados por curtos-circuitos - Causas

- Má distribuição do afluente;
- Zonas mortas, advindas de excessivo aproveitamento de curvas de nível;
- Presença de vegetação aquática no interior da lagoa.

Medidas de prevenção e controle

- Coletar amostras em vários pontos da lagoa para verificar se há diferenças de ponto para ponto;
- No caso de entradas múltiplas, regularizar a distribuição uniforme da vazão afluente por todas as entradas;
- No caso de entrada simples, construir novas entradas;

Problema: maus odores causados por algas flutuantes - Causas

- Floração de algas, impedindo a penetração da energia luminosa, e causando a mortandade da população em excesso.

Medidas de prevenção e controle

- Jateamento com mangueira d'água;
- Destruição com rastelo;
- Remoção com peneiras.

Problema: elevadas concentrações de algas (SS) no efluente - Causas

- Condições atmosféricas que favorecem a ascensão de algas junto à superfície.

Medidas de prevenção e controle

- Retirar o efluente submerso, após passar por defletores, que retêm algas;
- Usar múltiplas células em série, com um reduzido tempo de detenção em cada célula;
- Efetuar pós-tratamento do efluente da lagoa, para remover excesso de SS.

Problema: presença de cianobactérias verde-azuladas - Causas

- Tratamento incompleto;
- Sobrecarga da lagoa;
- Desbalanço de nutrientes.

Medidas de prevenção e controle

- Quebrar a floração de algas;
- Adicionar criteriosamente sulfato de cobre.

Problema: presença de algas filamentosas e musgo, que impedem a penetração de luz**Causas**

- Lagoas superdimensionadas;
- Carga afluyente sazonalmente reduzida.

Medidas de prevenção e controle

- Aumentar a carga unitária, através da redução do número de lagoas em operação;
- Usar operação em série.

Problema: proliferação de insetos - Causas

- presença de vegetação nas margens dos taludes internos das lagoas.

Medidas de prevenção e controle

- Reduzir o NA, fazendo com que as larvas presas a vegetação desapareçam, quando a área secar;
- Operar a lagoa com variação do NA;
- Proteger o talude interno com placas de concreto, argamassa armada, rip-rap, etc
- Colocação de peixes na lagoa como tilápia e carpas;
- Destruir as escumas;
- Aplicar criteriosamente produtos químicos

Problema: vegetação - Causas

- Baixo nível operacional da lagoa;
- Infiltração excessiva;
- Baixa vazão de esgotos;

Medidas de prevenção e controle

- Operar as lagoas com um nível superior a 90cm;
- Cortar a vegetação nas margens internas, evitando que os mesmos caiam dentro das lagoas;
- Proteger o talude interno com placas de concreto, argamassa armada, rip-rap, etc;
- Remover a vegetação interna da lagoa com auxílio de canoas, ou dragas, abaixar o NA para facilitar a operação;
- Caso possível reduzir a permeabilidade da lagoa com uma camada de argila;
- Aplicar criteriosamente herbicidas.

Fonte: Pessoa e Jordão, 1995.

Capítulo 7

7.0 – Experiência com o monitoramento de lagoas de estabilização em escala real na Paraíba : Sapé, Guarabira e Campina Grande (Pb).

7.1 - Caracterização do sistema de lagoas de estabilização do município de Guarabira. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 131p (FLORENTINO, 1992).

Tabela 7.1.1 – Objetivos do trabalho.

Objetivo	O objetivo geral da pesquisa foi a caracterização do sistema de lagoas de estabilização da cidade de Guarabira-Pb ($6^{\circ} 51' 18''$ s; $35^{\circ} 29' 24''$ o; 98m a.n.m.), através da caracterização da vazão média diária que chega ao sistema; do monitoramento da qualidade físico-química e microbiológica do esgoto bruto e dos efluentes da lagoa anaeróbia e facultativa e análise da eficiência do sistema de lagoas.
Local	A pesquisa foi desenvolvida na ETE de Guarabira-Pb, cujo o sistema é constituído de dois módulos em paralelo (1 e 2), cada um com duas lagoas em série (anaeróbia seguida de facultativa). As lagoas de estabilização de Guarabira foram projetadas para funcionarem em duas etapas. A primeira, de 1987 a 1986, com uma população contribuinte prevista para cada módulo de 13.000 habitantes e a segunda, de 1997 a 2006, com 20.000 habitantes.
Características Operacionais	Tabela – 7.1.2
Período do experimento	27/03/90 a 12/12/90.
Análises físico-químicas e microbiológicas	Os parâmetros físico-químicos analisados foram: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, DBO ₅ , DQO, sólidos suspensos, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nítrico e fósforo. Estas análises foram feitas seguindo as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Os parâmetros microbiológicos analisados foram: clorofila a, identificação de algas, coliformes e estreptococos fecais, <i>Ascaris lumbricoides</i>
Monitoramento hidrológico,	Tabela 7.1.3
Físico-Químico e Microbiológico.	Tabela 7.1.4

Tabela 7.1.2 - Características físicas e operacionais das lagoas de estabilização da ETE de Guarabira - Pb

Lagoa	Área (m ²)	Profundidade (m)	Vazão (L/s)	λ_v (g/m ³ *dia)	λ_s (kg/ha*dia)	tdh (dias)
A*	1.018	3,7	7,6	50	1865	5,7
F*	10.920	2,2	7,6	2,5	55	36,6

A* Lagoa Anaeróbia

F* Lagoa Facultativa

Tabela 7.1.3 - Vazões médias dos 14 perfis de 24 horas, realizadas na EE2 da ETE de Guarabira - Pb.

PERFIL	DATA	VAZÃO MÉDIA GRÁFICA (L/s)
01	12 - 13 /07/90	7,1
02	19 - 20 /07/90	8,2
03	26 - 27 /07/90	6,5
04	23 - 24 /08/90	8,4
05	30 - 31 /08/90	7,0
060	06 - 07 /09/90	8,2
07	13 - 14 /09/90	7,8
08	20 - 21 /09/90	9,4
09	27 - 28 /09/90	7,1
10	04 - 05 /10/90	7,6
11	11 - 12 /10/90	9,5
12	17 - 18 /10/90	6,2
13	25 - 26 /10/90	8,4
14	13 - 14 /12/90	4,7
VAZÃO MÉDIA TOTAL DO PERÍODO (MÉDIA ARITMÉTICA)		7,6 ± 1,3

Tabela 7.1.4- Valores médios e limites (mínimos e máximos) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos observados no esgoto bruto (EB), efluentes da lagoa anaeróbia (A1) e facultativa (F1) durante o período compreendido entre 27/03/90 e 19/12/90.

Parâmetros	Esgoto Bruto	Anaeróbia 1	Facultativa 1
Vazão (L/s)	7,6 +/- 1,3	—	—
OD (mg/L)	0,3 (0,15 - 0,47)	0,6 (0,30 - 1,80)	2,3 (0,50 - 5,10)
pH (unidades)	7,1 (6,8 - 7,7)	6,9 (6,7 - 7,4)	7,8 (7,4 - 8,2)
Temperatura (°C)	28,2 (26,8 - 29,6)	28,0 (26,5 - 29,5)	28,0 (26,4 - 29,5)
Nitrato (mg N/L)	0,51 (0,34 - 0,87)	0,51 (0,27 - 1,14)	0,57 (0,38 - 0,87)
Amônia (mg N/L)	37,0 (22,5 - 58,0)	45,5 (26,8 - 61,1)	35,8 (18,8 - 60,4)
Ortofosfato Solúvel (mg P/L)	3,00 (2,08 - 3,59)	4,21 (3,22 - 5,00)	3,10 (0,68 - 4,86)
Fósforo Total (mg P / L)	6,49 (4,57 - 8,15)	5,28 (4,21 - 6,95)	4,86 (3,64 - 5,91)
DBO ₅ (mg / L)	289 (196 - 393)	92 (57 - 151)	29 (12 - 57)
DQO (mg / L)	907 (347 - 1376)	228 (135 - 342)	163 (85 - 238)
SS (mg / L)	410 (172 - 756)	41 (21 - 75)	44 (23 - 67)
Coliformes fecais (CF/100ml)	1,7 E7 (2,3E6 - 4,0E7)	3,5 E6 (1,7 E6 - 7,6 E6)	9,9 E4 (1,5 E4 - 3,5 E5)
Estreptococos fecais (EF/100ml)	6,0 E6 (1,1 E6 - 1,3 E7)	9,1 E5 (6,0 E5 - 2,0 E6)	8,6 E3 (1,0 E3 - 1,0 E4)
<i>Ascaris lumbricoides</i> (N.º ovos /L)	1079 (420 - 2000)	85 (40 - 205)	0 (0 - 1)
Clorofila a (µg /L)	—	8,8 (0,00 - 33,29)	168,4 (86,45 - 236,60)

* valor médio

(min - máx)

7.2 - Variação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos de duas lagoas de estabilização em escala real no município de Guarabira - Pb. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 100 p. (TEJO, 1993).

Tabela 7.2.1 – Objetivos do trabalho

Objetivo	O objetivo geral da pesquisa foi analisar o desempenho da ETE da cidade de Guarabira- Pb, através das variações dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos no esgoto bruto e nas unidades de tratamento.
Local	O sistema de tratamento pesquisado, localizado na cidade de Guarabira - Pb, é constituído de dois módulos paralelos, cada um com duas lagoas de estabilização em série. Em cada módulo a primeira lagoa é anaeróbia, seguida de uma lagoa facultativa. O sistema, projetado para operar em duas etapas (de 1987 a 1996 e de 1997 a 2006), visa atender uma população de 33.000 habitantes no fim do plano.
Características Operacionais	Tabela – 7.2.2
Período do experimento	Novembro/90 a Outubro/91.
Análises físico-químicas e microbiológicas	Os parâmetros físico-químicos analisados foram: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, DBO ₅ , DQO, sólidos suspensos, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nítrico e fósforo. Estas análises foram feitas seguindo as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Os parâmetros microbiológicos analisados foram: clorofila a, identificação de algas, coliformes e estreptococos fecais.
Monitoramento Físico-Químico e Microbiológico do esgoto bruto e efluentes.	Tabela – 7.2.3

Tabela 7.2.2 - Características físicas e operacionais das lagoas de estabilização da ETE de Guarabira – Pb.

Lagoa	Area (m ²)	Profundidade (m)	Vazão (L/s)	λ_v (g/m ³ *dia)	λ_s (kg/ha*dia)	tdh (dias)
A*	1.018	3,7	7,6	50	1865	5,7
F*	10.920	2,2	7,6	2,5	55	36,6

A* Lagoa Anaeróbia

F* Lagoa Facultativa

Fonte: FLORENTINO, I.Q.B. (1992). Caracterização do sistema de lagoas de estabilização do município de Guarabira. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 131p

Tabela 7.2.3 - Valores limites (mínimos e máximos) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos observados no esgoto bruto (EB), efluentes da lagoa anaeróbia (A1) e facultativa (F1) durante o período compreendido entre Novembro/90 a Outubro/91.

Parâmetros	Esgoto Bruto	Anaeróbia 1	Facultativa 1
OD (mg/L)	(0,1 - 0,50)	(0,1 - 1,90)	(3,7 a 6,4) (10)
pH (unidades)	(6,9 - 7,5)	(6,6 - 7,2)	(7,5 - 8,2)
Temperatura (°C)	(26,0 - 28,0) 23 26	(26,0 - 28,0) 23 26	(26,0 - 28,0) 23 26
Nitrato (mg N/L)	(0,0 - 1,60)	(0,0 - 1,1)	(0,2 - 1,4)
Amônia (mg N/L)	(33,0 - 66,0)	(41,0 - 73,0)	(31,0 - 54,0)
Ortofosfato Solúvel (mg P/L)	(2,0 - 5,4)	(3,1 - 6,8)	(2,8 - 6,8)
Fósforo Total (mg P / L)	(5,0 - 9,6)	(3,7 - 8,0)	(3,4 - 8,4)
DBO ₅ (mg / L)	(209 - 350) (417 - 561)	(35 - 96)	(12 - 33)
DQO (mg / L)	(277 - 765) (1376 - 1194)	(90 - 393)	(66 - 197) (152)
SS (mg / L)	(70 - 469)	(26 - 75)	(32 - 174)
Coliformes fecais (CF/100ml)	(9,4 E6 - 7,8 E7)	(3,3 E6)	(1,7 E4)
Estreptococos fecais (EF/100ml)	(1,6 E6 - 2,6 E7)	(1,1 E6)	(2,6 E4)
Clorofila a (µg /L)	—	—	(69,0 - 389,0)

*(mín - máx) Verão;

(mín - máx) Inverno;

7.3 - Variações no Ciclo Nictemeral da Qualidade do Efluente Final da ETE do município de Guarabira. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 168p. (de SOUZA, 1992).

Tabela 7.3.1 – Objetivos do trabalho

Objetivo	O objetivo geral da pesquisa foi o estudo da qualidade, no ciclo diário, do efluente final, através de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, de uma série de lagoas de estabilização profundas (2.2 - 3,7m), tratando esgoto bruto da cidade de Guarabira - Pb.
Local	O sistema de tratamento pesquisado, localizado na cidade de Guarabira - Pb, é constituído de dois módulos paralelos, cada um com duas lagoas de estabilização em série. Em cada módulo a primeira lagoa é anaeróbia, seguida de uma lagoa facultativa. O sistema, projetado para operar em duas etapas (de 1987 a 1996 e de 1997 a 2006), visa atender uma população de 33.000 habitantes no fim do plano. Os trabalhos de campo foram realizados em apenas um módulo, uma vez que apenas um terço da população servida estava efetivamente contribuindo para o sistema.
Características Operacionais	Tabela – 7.3.2
Periodo do experimento	16/08/90 a 29/07/92.
Análises físico-químicas e microbiológicas	Os parâmetros físico-químicos analisados foram: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, DBO ₅ , DQO, sólidos suspensos, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nítrico e fósforo. Estas análises foram feitas seguindo as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Os parâmetros microbiológicos analisados foram: clorofila a, identificação de algas, coliformes e estreptococos fecais.
Monitoramento Físico-Químico e Microbiológico do esgoto bruto e efluentes.	Tabela – 7.3.3

Tabela 7.3.2- Características físicas e operacionais das lagoas de estabilização da ETE de Guarabira – Pb.

Lagoa	Área (m ²)	Profundidade (m)	Vazão (L/s)	λ_v (g/m ³ *dia)	λ_s (kg/ha*dia)	tdh (dias)
A*	1.018	3,7	7,6	50	1865	5,7
F*	10.920	2,2	7,6	2,5	55	36,6

A* Lagoa Anaeróbia

F* Lagoa Facultativa

Fonte: FLORENTINO, I.Q.B. (1992). Caracterização do sistema de lagoas de estabilização do município de Guarabira. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 131p

Tabela 7.3.3 - Valores limites (mínimos e máximos) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos observados no esgoto bruto (EB) e efluente da facultativa (F1) durante o período compreendido entre 16/08/90 a 29/07/92.

Parâmetros	Esgoto Bruto	Anaeróbia I	Facultativa I
OD (mg/L)	(0,0 - 2,5)	—	(0,1 - 20,0) (7,7 - 13,4)
pH (unidades)	(5,2 - 7,6)	—	(7,4 - 9,0)
Temperatura (°C)	(26,0 - 37,0) (25,0 - 30,0)	—	(26,0 - 33,0)
Nitrato (mg N/L)	(0,5) (0,4)	—	(0,4) (0,5)
Amônia (mg N/L)	(10,6 - 104,5) (14,8 - 90,5)	—	(22,0 - 91,9) (17,6 - 107,3)
Ortofosfato Solúvel (mg P/L)	(0,4 - 6,6) (1,4 - 4,8)	—	(2,0 - 5,6) (3,9 - 6,2)
Fósforo Total (mg P / L)	(1,3 - 12,3) (3,0 - 11,7)	—	(1,7 - 8,6) (5,3 - 7,2)
DBO ₅ (mg / L)	(47,0 - 491,0) (73,0 - 499,0)	—	(4,0 - 54,0) (6,0 - 93,0)
DQO (mg / L)	—	—	—
SS (mg / L)	(48,0 - 731,0) (21,0 - 966,0)	—	(11,0 - 119,0) (2,0 - 239,0)
Coliformes fecais (CF/100ml)	(1,8 E6 - 2,5 E8) (3,3 E6 - 8,7 E7)	—	(6,5 E3 - 7,4 E5) (3,5 E3 - 7,6 E5)
Estreptococos fecais (EF/100ml)	—	—	—
Clorofila a (µg /L)	—	—	(52,0 - 720,0) (55,0 - 382,0)

* (mín - máx) Verão

(mín - máx) Inverno

7.4 - Remoção de Matéria Orgânica, Sólidos Suspensos e Indicadores Bacteriológicos em Lagoas de Estabilização em escala real do município de Guarabira. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 131p. (de SOUZA, 1994).

Tabela 7.4.1 – Objetivos do trabalho

Objetivo	O objetivo deste trabalho foi estudar os sistemas de lagoas de estabilização das cidades de Guarabira - Pb (6 ° 51'18" s e 35 ° 29'24" o; 98m a.n.m.) e Sapé - Pb (7 ° 06'00" s e 35 ° 13' 48" o; 124m a.n.m.), através da caracterização da vazão média afluyente às ETE's, do monitoramento da qualidade físico-química e microbiológica do esgoto bruto e dos efluentes de cada lagoa e da análise da eficiência dos sistemas na remoção da matéria orgânica, sólidos suspensos e indicadores bacteriológicos.
Local	A pesquisa foi desenvolvida nas ETE's de Guarabira e Sapé, ambas na Paraíba. A ETE de Guarabira é constituída de dois módulos em paralelo (1 e 2), cada um com duas lagoas em série (anaeróbia seguida de facultativa). As lagoas de estabilização de Guarabira foram projetadas para funcionarem em duas etapas. A primeira, de 1987 a 1986, com uma população contribuinte prevista para cada módulo de 13.000 habitantes e a Segunda, de 1997 a 2006, com 20.000 habitantes. O sistema de lagoas de estabilização de Sapé foi projetado em duas etapas. A primeira, com uma lagoa facultativa, de 2,6há, capaz de atender uma população contribuinte de 12.000 habitantes. A Segunda etapa será implantada quando a população acima for superada, com a construção de uma lagoa primária aerada, perfazendo um total de 3,4há. O projeto procura atender uma população de 39.000 habitantes no final do plano (ano 2000).
Características Operacionais	Tabela - 7.4.2 Tabela - 7.4.3
Período do experimento	Setembro/91 a Julho/92.
Análises físico-químicas e microbiológicas	Os parâmetros físico-químicos analisados foram: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, DBO ₅ , DQO, sólidos suspensos. Estas análises foram feitas seguindo as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Os parâmetros microbiológicos analisados foram: coliformes e estreptococos fecais.
Monitoramento hidrológico, Físico-Químico e Microbiológico do esgoto bruto e efluentes.	Tabela - 7.4.4, Tabela - 7.4.5 Tabela - 7.4.6, Tabela - 7.4.7 Tabela - 7.4.8, Tabela - 7.4.9

Tabela 7.4.2 - Características físicas e operacionais das lagoas de estabilização da ETE de Guarabira – Pb.

Lagoa	Area (m ²)	Profundidade (m)	Vazão (L/s)	λ_v (g/m ³ *dia)	λ_s (kg/ha*dia)	tdh (dias)
A*	1.018	3,7	7,6	50	1865	5,7
F*	10.920	2,2	7,6	2,5	55	36,6

A* Lagoa Anaeróbia

F* Lagoa Facultativa

Fonte : FLORENTINO, I.Q.B. (1992). Caracterização do sistema de lagoas de estabilização do município de Guarabira. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 131p

Tabela 7.4.3 - Características físicas e operacionais da lagoa de estabilização da ETE de Sapé – Pb.

Lagoa	Area (m ²)	Profundidade (m)	Vazão (L/s)	λ_v (g/m ³ *dia)	λ_s (Kg/ha*dia)	TDH (dias)
F*	26.000	2,2	10	11	234	64,9

F* Lagoa Facultativa

Tabela 7.4.4 - Vazões médias dos 06 perfis de 24 horas, realizadas na EE2 da ETE de Guarabira - Pb.

PERFIL	DATA	VAZÃO MÉDIA GRÁFICA (L/s)
01	19 - 20 /11/92	7,6
02	27 - 28 /11/92	8,2
03	10 - 11 /12/92	7,5
04	07 - 08 /01/93	8,7
05	04 - 05 /02/93	7,6
06	11 - 12 /02/93	8,4
VAZÃO MÉDIA TOTAL DO PERÍODO (MÉDIA ARITMÉTICA)		8,0 ± 0,46

Tabela 7.4.5 - Vazões médias dos 06 perfis de 24 horas, realizadas na sub-bacia A do sistema de Sapé - Pb.

PERFIL	DATA	VAZÃO MÉDIA GRÁFICA (L/s)
01	06 - 07 /05/92	7,3
02	07 - 08 /05/92	5,3
03	12 - 13 /05/92	6,9
04	15 - 16 /05/92	6,1
05	18 - 19 /05/92	6,5
06	20 - 21 /05/92	6,9
VAZÃO MÉDIA TOTAL DO PERÍODO (MÉDIA ARITMÉTICA)		6,5 ± 0,65

Tabela 7.4.6 - Vazões médias dos 06 perfis de 24 horas, realizadas na sub-bacia B do sistema de Sapé - Pb.

PERFIL	DATA	VAZÃO MÉDIA GRÁFICA (L/s)
01	02 - 03 /05/92	-
02	06 - 07 /05/92	1,4
03	07 - 08 /05/92	-
04	10 - 11 /05/92	1,2
05	13 - 14 /05/92	-
06	15 - 16 /10/92	1,5
VAZÃO MÉDIA TOTAL DO PERÍODO (MÉDIA ARITMÉTICA)		1,4

Tabela 7.4.7 - Vazões médias dos 06 perfis de 24 horas, realizadas na sub-bacia C do sistema de Sapé - Pb.

PERFIL	DATA	VAZÃO MÉDIA GRÁFICA (L/s)
01	02 - 03 /05/92	2,2
02	06 - 07 /05/92	-
03	07 - 08 /05/92	2,2
04	10 - 11 /05/92	-
05	13 - 14 /05/92	2,4
06	15 - 16 /10/92	-
VAZÃO MÉDIA TOTAL DO PERÍODO (MÉDIA ARITMÉTICA)		2,3

Tabela 7.4.8 - Valores médios e limites (mínimos e máximos) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos observados no esgoto bruto (EB), efluentes da lagoa anaeróbia (A1) e facultativa (F1) da ETE de Guarabira - Pb, durante o período compreendido entre 04/09/91 e 29/07/92.

Parâmetros	Esgoto Bruto	Anaeróbia 1	Facultativa 1
Vazão (L/s)	8,0 +/- 0,46	—	—
OD (mg/L)	0,4 (0,10 - 1,30)	0,8 (0,00 - 1,50)	9,4 (6,50 - 13,80)
pH (unidades)	7,2 (6,3 - 7,9)	6,9 (6,2 - 7,2)	7,8 (7,3 - 8,2)
Temperatura (°C)	26,0 (23,0 - 28,0)	25,5 (23,0 - 27,0)	25,0 (20,0 - 27,0)
DBO ₅ (mg / L)	327 (155 - 457)	42 (18 - 69)	22 (08 - 29)
DQO (mg / L) ⁽¹⁾	1029 (499 - 2500)	727 (90 - 2353)	655 (97 - 1513)
SS (mg / L)	296 (167 - 502)	69 (37 - 130)	63 (34 - 117)
Coliformes fecais (CF/100ml)	2,9 E7 (3,5E6 - 1,4E8)	3,5 E6 (1,5 E5 - 1,8 E7)	5,5 E4 (2,7 E3 - 2,5 E5)
Estreptococos fecais ⁽²⁾ (EF/100ml)	4,3 E6 (1,0 E5 - 9,4 E7)	3,4 E5 (6,0 E4 - 9,0 E5)	3,7 E3 (4,0 E2 - 5,7 E4)

* valor médio
(min - máx)

(1)- esse parâmetro foi analisado no período de 04/09/91 à 17/06/92;

(2)- esse parâmetro foi analisado no período de 04/09/91 à 17/06/92.

Tabela 7.4.9 - Valores médios e limites (mínimos e máximos) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos observados no esgoto bruto (EB), efluentes da lagoa anaeróbia (A1) e facultativa (F1) da ETE de Sapé - Pb, durante o período compreendido entre 04/09/91 e 17/06/92.

Parâmetros	Esgoto Bruto	Anaeróbia 1	Facultativa 1
OD (mg/L)	0,4 (0,10 - 1,60)	————	6,8 (4,50 - 8,90)
pH (unidades)	7,0 (6,1 - 7,2)	————	7,8 (7,1 - 8,4)
Temperatura (°C)	26,0 (24,5 - 27,0)	————	26,0 (23,5 - 27,0)
DBO ₅ (mg / L)	689 (190 - 1015)	————	44 (23 - 57)
DQO (mg / L)	3745 (538 - 8696)	————	885 (219 - 3421)
SS (mg / L)	752 (250 - 2547)	————	187 (108 - 350)
Coliformes fecais (CF/100ml)	8,5 E7 (4,0E7 - 2,9E8)	————	5,2 E5 (1,5 E5 - 1,9 E6)
Estreptococos fecais (⁽¹⁾ EF/100ml)	1,6 E7 (8,6 E6 - 3,9 E7)	————	2,7 E4 (4,4 E3 - 7,0 E4)

* valor médio

(mín - máx)

(1)- esse parâmetro foi analisado no período de 04/11/91 à 17/06/92;

7.5 - Rendimento do capim elefante (*Pennisetum purpureum*) irrigado com água residuária tratada. Dissertação de Mestrado - UFPb. Campina Grande - PB. 112p. (dos Santos, 1997).

7.5.1 – Objetivos do trabalho

Objetivo	O objetivo geral da pesquisa foi avaliar a produtividade do capim elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>) irrigado com esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização.
Local	Dependências da ETE de Guarabira - Pb ($6^{\circ} 51'18''$ s; $35^{\circ} 29'24''$ o; 98m a.n.m.).
Características Operacionais	Tabela – 7.5.2
Período do experimento	Novembro/95 a Dezembro/96
Análises físico-químicas	Os parâmetros físico-químicos analisados foram: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, DBO ₅ , nitrogênio amoniacal, fósforo, sólidos suspensos. Estas análises foram feitas seguindo as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.
Monitoramento Físico-Químico do esgoto bruto e efluentes.	Tabela – 7.5.3

Tabela 7.5.2 - Características físicas e operacionais das lagoas de estabilização da ETE da cidade de Guarabira - PB no período de Novembro/95 a Dezembro/96.

Lagoa	Largura (m)	Comp. (m)	Profund. (m)	Área (ha)	λ_v (gDBO ₅ /m ³ *dia)	λ_s (kgDBO ₅ /ha*dia)	tdh (dias)
A1	40	60	3,7	0,14	74	-	7,2
A2	40	60	3,7	0,14	49	-	10,7
F1	60	210	2,5	1,12	-	43	38,8
F2	60	170	2,5	0,90	-	36	45,1

Tabela 7.5.3 - Valores médios e limites (mínimos e máximos) dos parâmetros físico-químicos e observados no esgoto bruto (EB), efluentes das lagoas (A1, A2, F1 e F2) e efluente final (EF) da ETE de Guarabira - Pb durante o período compreendido entre Novembro/95 a Dezembro/96.

Parâmetros	EB	A 1	A2	F1	F2	EF
OD (mg/L)	- -	- -	- -	5,7 (0,4 - 9,6)	4,8 (1,8 - 8,6)	2,0 (0,1 - 5,5)
PH (unidades)	7,0 (6,8 - 7,3)	6,7 (6,6 - 7,0)	6,8 (6,6 - 7,0)	7,6 (7,2 - 8,0)	7,7 (7,5 - 8,0)	7,5 (7,2 - 7,9)
Temperatura (°C)	29,5 (27,5 - 31,0)	29,2 (27,3 - 31,0)	29,3 (27,3 - 31,5)	29,5 (27,8 - 31,5)	29,5 (27,5 - 31,5)	29,4 (27,5 - 31,8)
Amônia (mg N/L)	71,6 (55,2 - 90,8)	51,9 (36,8 - 60,3)	52,3 (39,5 - 58,9)	41,7 (32,6 - 47,9)	39,5 (34,1 - 47,1)	40,9 (30,2 - 48,7)
Fósforo total (mg P/L)	9,3 (7,9 - 10,7)	6,8 (4,7 - 7,8)	6,7 (4,9 - 7,6)	6,4 (5,2 - 7,7)	6,7 (5,0 - 8,1)	6,1 (3,2 - 8,0)
Ortofosfato Solúvel (mg P/L)	6,5 (4,4 - 7,9)	5,7 (3,5 - 6,7)	5,7 (3,7 - 6,8)	4,9 (2,3 - 6,3)	5,5 (3,8 - 6,9)	5,1 (3,2 - 6,4)
DBO ₅ (mg / L)	524 (310 - 1.178)	65 (24 - 138)	67 (23 - 108)	31 (10 - 60)	27 (12 - 47)	39 (10 - 76)
Condutividade elétrica (µmho/cm)	1.409 (964 - 1.794)	1.185 (836 - 1.387)	1.194 (844 - 1.390)	1.104 (827 - 1.323)	1.091 (862 - 1.285)	1.112 (872 - 1.328)
SS (mg / L)	716 (305 - 3.028)	105 (60 - 224)	72 (36 - 116)	73 (43 - 90)	60 (17 - 95)	64 (14 - 90)

* valor médio (mín - máx)

7.6 - Reuso de efluente de lagoa de estabilização : Aspectos Sanitários do capim e do solo. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 104p.

7.6.1 – Objetivos do trabalho

Objetivo	O objetivo geral da pesquisa foi analisar a contaminação do capim elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>) e do solo após a irrigação utilizando esgoto tratado.
Local	O experimento foi realizado na ETE da cidade de Guarabira-Pb ($6^{\circ} 51'18''\text{s}$; $35^{\circ} 29'24''\text{o}$; 98m a.n.m.), cujo o sistema é constituído de dois módulos em paralelo (1 e 2), cada um com duas lagoas em série (anaeróbia seguida de facultativa). As lagoas de estabilização de Guarabira foram projetadas para funcionarem em duas etapas. A primeira, de 1987 a 1986, com uma população contribuinte prevista para cada módulo de 13.000 habitantes e a segunda, de 1997 a 2006, com 20.000 habitantes.
Características Operacionais	Tabela – 7.6.2
Período do experimento	Novembro/95 a Dezembro/96.
Análises físico-químicas e microbiológicas	Os parâmetros físico-químicos analisados foram: temperatura, pH, oxigênio dissolvido, DBO_5 , condutividade elétrica. Estas análises foram feitas seguindo as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. O parâmetro microbiológico analisado foi: coliformes fecais.
Monitoramento Físico-Químico e Microbiológico do esgoto bruto e efluentes.	Tabela – 7.6.3

Tabela 7.6.2 - Características físicas e operacionais das lagoas de estabilização da ETE da cidade de Guarabira - PB no período de Novembro/95 a Dezembro/96.

Lagoa	Largura (m)	Comp. (m)	Profund. (m)	Area (ha)	λ_v (gDBO ₅ /m ³ *dia)	λ_s (kgDBO ₅ /ha*dia)	tdh (dias)
A1	40	60	3,7	0,14	74	-	7,2
A2	40	60	3,7	0,14	49	-	10,7
F1	60	210	2,5	1,12	-	43	38,8
F2	60	170	2,5	0,90	-	36	45,1

Tabela 7.6.3 - Valores médios e limites (mínimos e máximos) dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos observados no esgoto bruto (EB) e efluente final (EF) da ETE de Guarabira - Pb, durante o período compreendido entre Novembro/95 e Dezembro/96.

Parâmetros	E B	EF
OD (mg/L)	- -	2,0 (0,1 - 5,5)
pH (unidades)	7,0 (6,8 - 7,3)	7,5 (7,2 - 7,9)
Temperatura (°C)	29,5 (27,5 - 31,0)	29,4 (27,5 - 31,8)
DBO ₅ (mg / L)	524 (310 - 1.178)	39 (10 - 76)
Condutividade elétrica (µmho/cm)	1.409 (964 - 1.794)	1.112 (872 - 1.328)
Coliformes fecais (CF/100ml)	1,1E8 (1,8E7 - 4,5E8)	2,9 E5 (9,2 E6 - 2,0 E6)

* valor médio

(min - máx)

8.0 – Referências bibliográficas

- AMABIS, J. M. (1994). *Biologia das Populações: Genética, Evolução e Ecologia*. São Paulo: Moderna. 511p.
- ANDRADE NETO, C. O. de. (1997). *Sistemas Simples para Tratamento de Esgotos Sanitários. Experiência Brasileira*. Rio de Janeiro: ABES. 301p.
- ARNT, R. (1995). Clara água, cara água. *Revista Super Interessante*. N^o 5, Maio, p 48 – 55.
- BARTONE, C. R. (1986). Waste stabilization ponds and reuse of effluents – Seminário Regional de Investigación sobre Lagunas de Estabilización, CEPIS, Lima – Peru.
- BLUMENTHAL, U. J. (1988). Generalised model of the reduction in health risk associated with different control measures for the use of human wastes. *IRCWD News*. N. 24/25, Maio, 13-19p.
- BRANCO, S. M. (1972). *Poluição*. Rio de Janeiro. Ao livro técnico. Primeira edição. 157p.
- BRANCO, S. M. (1986). *Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária*. 3^a ed., CETESB. São Paulo - SP . 616p.

CARVALHO, B. de A. (1980). *Ecologia Aplicada ao Saneamento Ambiental*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Banco Nacional de Habitação: Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. 368p.

CAVALCANTE, R. B. (1997). *Reuso de efluente de lagoa de estabilização : Aspectos Sanitários do capim e do solo*. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 104p.

CROOK, J.; OKUN, D. A. (1991). *Reuso da água para fins não potáveis: seu lugar no gerenciamento de recursos hídricos*. Revista DAE – SABESP, 160: 15- 19p.

DACACH, N. G. (1984). *Sistemas Urbanos de Esgotos*. Guanabara dois. Rio de Janeiro. 257p.

DUARTE, L. G., de OLIVEIRA, L. H. & ROCHA, M. (1990). *O mundo de cada um*. Revista Super Interessante. Nº 4, Abril, p. 16-22.

de SOUZA, A. A. P. (1994). *Remoção de Matéria Orgânica, Sólidos Suspensos e Indicadores Bacteriológicos em Lagoas de Estabilização em escala real município de Guarabira*. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 131p.

de SOUZA, M. S. M. (1992). *Variações no Ciclo Nictemeral da Qualidade do Efluente Final da ETE do município de Guarabira*. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 168p.

- dos SANTOS, A. V.(1997).b Rendimento do capim elefante (*Pennisetum purpureum*) irrigado com água residuária tratada. Dissertação de Mestrado- UFPb. Campina Grande - PB. 112p.
- do Nascimento, R. S.(1996) Avaliação da Remoção de Matéria Orgânica em Reservatório Profundo de Estabilização . Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 81p.
- MEDEIROS FILHO, C.F. (1997). Esgotos Sanitários. João Pessoa: UFPb.
- FLORENTINO, I.Q.B. (1992). Caracterização do sistema de lagoas de estabilização do município de Guarabira. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 131p.
- GLOYNA, E. F. & HERMAN, E. R. (1956). Some design consideration for oxidation ponds. J. Sanit. Eng. Div. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. 82, pp. 1047-1 to 1047-20.
- GOTAAS, H. B. (1956). Composting: Sanitary disposal and reclamation of organic wastes. World Health Organization. Geneva, 205p.
- HAMMER, M. J.(1979). Sistemas de Abastecimento de água e esgotos. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos. Editora S.A. 561p.
- JORDÃO, E. P. e PESSOA, C. A . (1995). Tratamento de Esgotos Domésticos. CETESB. Vol. 1. 544p.

KELLNER, E. e PIRES, E. C.(1998). Lagoas de Estabilização: projeto e operação. Rio de Janeiro: ABES. 244p.

LA RIVIÈRE, J. W. M. (1989). Threats to the World's water. Scientific American, p 48 – 55. September.

Manual Global de Ecologia (1993): o que você pode fazer a respeito do meio ambiente. Editado por Walter H. Corson; tradução Alexandre Camer Camaru – São Paulo: Augustus. 412p.

MARAIS, G. V. R. (1966). New factors in the design, operation and performance of waste stabilization ponds. Bull. WHO. Pp. 737 – 763.

MARAIS, G. V. R. (1974). Faecal bacterial kinetics in stabilization ponds. Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, 100 (EE1), pp. 119 – 139.

METCALF, L. , EDDY, H. P. (1991). Wastewater Engineering: Treatment Disposal and Reuse. 3. Ed. New York: McGraw-Hill. 1.335p.

MOTA, S.(1988). Preservação dos Recursos Hídricos. Ed. ABES. Rio de Janeiro. 222p.

MOTA, S.(1997). Introdução à Engenharia Ambiental. Ed. ABES. Rio de Janeiro. 292p.

- MUDRACK, K. and KUNST, S. (1986). *Biology of Sewage Treatment and Water Pollution Control*. New York: Ellis Harwood Limited. 193p.
- ODUM, E. P. (1971). *Fundamentals of Ecology*. 3rd Ed, W. B. Saunder Co., Philadelphia, U.S.A.
- PARKER, C. D. (1962). Microbiological aspects of lagoon treatment. *Journal of the Water Pollution Control Federation*. 34, pp. 149 – 161.
- PORTUGAL FILHO, G. (1991). A água não é inesgotável. *Jornal o Globo*. Rio de Janeiro, 10 de Junho.
- SILVA, S. A. e MARA, D. D. (1979). *Tratamentos biológicos de águas residuárias. Lagoas de Estabilização*. Rio de Janeiro. ABES. 140p.
- STRAUSS, M. (1988). Example of wastewater and excreta use practices in agriculture and aquaculture. *IRCWD NEWS*, n. 24/25, Maio, p. 1-3.
- TEJO, C. di P. (1993). *Variação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos de duas lagoas de estabilização em escala real no município de Guarabira - Pb*. Dissertação de Mestrado. UFPb. Campina Grande. 100 p.
- von SPERLING, M. (1996). *Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Lagoas de Estabilização*. V. 3. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais.

WHO (1989). Health Guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Technical Report Series 778. Geneva: World Health Organization.