



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

LIGIANNE DYNARA CÂMARA E SILVA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FINAL DE EFLUENTES DE LAGOAS DE
ESTABILIZAÇÃO COM VISTAS AO REÚSO URBANO

Natal/RN

2012

LIGIANNE DYNARA CÂMARA E SILVA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FINAL DE EFLUENTES DE LAGOAS DE
ESTABILIZAÇÃO COM VISTAS AO REÚSO URBANO

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

Orientadora: Prof^a. Dra. Maria del Pilar Durante
Ingunza

Co-orientador: Prof. Dr. André Luís Calado Araújo

Natal/RN

2012

LIGIANNE DYNARA CÂMARA E SILVA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE FINAL DOS EFLUENTES DE LAGOAS DE
ESTABILIZAÇÃO QUE TRATAM RESÍDUOS DE TANQUE SÉPTICO COM
VISTAS AO REÚSO

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

BANCA EXAMINADORA

Dra. Maria del Pilar Durante Ingunza – Orientadora

Dr. André Luís Calado Araújo – Co-orientador

Dr. Arthur Mattos – Examinador Interno

Dr. Marco Antônio Calazans Duarte – Examinador Externo

Natal, 27 de dezembro de 2012.

Dedico este trabalho ao meu pai:

José Domonte da Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força e sabedoria, além de ter colocado pessoas em minha vida que me ajudaram a chegar até aqui.

Aos meus pais Lúgia e José Domonte e a minha irmã Lidianne por todo incentivo e confiança em mim depositados.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da UFRN, assim como a todos os seus funcionários.

A Capes pelo suporte financeiro oferecido.

À professora Pilar que sempre me apoiou, compreendeu e deu forças nas decisões tomadas. Ela foi mais que uma orientadora, foi uma mãe.

Ao professor Luis Pereira pela excelente orientação na disciplina de Iniciação à Docência.

A todos os professores do LARHISA pelos conhecimentos repassados.

À Marcella, companheira de toda uma vida acadêmica. Sem ela eu não teria iniciado o mestrado, não teria dando andamento e também não teria concluído.

A Liana, Andrea e em especial a Liliane por todos os momentos de descontração, diversão e angústias dividido ao longo desse período.

A Danilo pelo apoio prontamente dado em todos os momentos solicitado.

A Thaís pelas contribuições e conselhos para a melhoria deste trabalho.

A Thiago e Viviane pela ajuda nas análises laboratoriais e a Dayana e Guilherme pela ajuda quando solicitada.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Meu muito obrigada.

RESUMO

Lagoa de estabilização é o sistema de tratamento de esgoto mais utilizado no país, correspondendo a cerca de 90% de todos os sistemas. Os sistemas avaliados são do tipo lagoas de estabilização integrantes do sistema de tratamento de esgoto da cidade de Natal/RN.

Essa pesquisa teve como objetivo analisar os possíveis usos através de características físico-químicas e bacteriológicas dos efluentes finais dessas lagoas para usos urbanos à depender de suas características após passagem por todo o sistema de tratamento. Os parâmetros adotados foram escolhidos de acordo com os estabelecidos por Chernicharo *et al.* (2006), de modo a caracterizar o efluente. Os parâmetros avaliados foram: OD, temperatura, pH, condutividade, nitrogênio orgânico, amônia, NTK, fósforo total, série de sólidos e coliformes fecais. De forma geral, as características do efluente acompanharam a variabilidade encontrada na literatura. Os resultados encontrados mostraram que há viabilidade técnica para utilização dos efluentes finais de algumas das ETE analisadas, quando verificados parâmetros isoladamente, se enquadrando no uso urbano irrestrito, uso urbano restrito e uso predial.

Palavras-chave: reúso urbano; lagoa de estabilização; tanque séptico; esgoto doméstico.

ABSTRACT

Stabilization pond is the most used sewage treatment system in the country, corresponding to approximately 90% of all systems. The systems evaluated were stabilization ponds system of sewage treatment in the city of Natal / RN.

This research aimed to analyze the possible uses through physical-chemical and bacteriological of these final effluent ponds for urban uses depending on the characteristics after passage around the treatment system. The parameters used were chosen according to those established by Chernicharo *et al.* (2006), in order to characterize the effluent. The parameters evaluated were: DO, temperature, pH, conductivity, organic nitrogen, ammonia, NTK, total phosphorus, and series of solid fecal coliforms. Generally, the characteristics of the effluent followed variability found in the literature. The results showed an efficiency that is technically feasible to use the effluent end of some of STPs analyzed when checked parameters alone, if fitting in unrestricted urban use, restricted use and urban land use.

Keywords: urban reuse; stabilization pond; septic tank; domestic sewage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização das ETE estudadas	27
Figura 2: Vista da ETE Ponta Negra	28
Figura 3: Vista da ETE Felipe Camarão.....	29
Figura 4: Vista da ETE Guarapes	30
Figura 5: Ponto de coleta do efluente final na ETE Ponta Negra, caixa de saída da lagoa de maturação 2.....	32
Figura 6: Ponto de coleta do efluente final na ETE Felipe Camarão, tubo de saída do tanque de cloração.....	33
Figura 7: Ponto de coleta do efluente final na ETE Guarapes, tubo de saída do tanque de cloração.....	33
Figura 8: Variação de OD no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.	38
Figura 9: Variação de temperatura no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.	39
Figura 10: Variação de pH no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.	40
Figura 11: Variação de Cond. no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.	41
Figura 12: Variação de DQO no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.	42
Figura 13: Variação de nitrogênio orgânico no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011. ...	43
Figura 14: Variação de amônia no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.	44
Figura 15: Variação de NTK no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.	45
Figura 16: Variação de fósforo total no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.	46
Figura 17: Variação de sólidos totais, fixos e voláteis no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.....	47

Figura 18: Variação de sólidos suspensos totais, fixos e voláteis no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.....48

Figura 19: Variação de coliformes termotolerantes no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011. ...49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Concentrações médias de efluentes de esgotos domésticos pelo sistema Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação.	17
Tabela 2: Qualidade de esgoto sanitário para reúso urbano não potável.	21
Tabela 3: Qualidade de água para reúso urbano irrestrito não potável, e em sistemas semi-abertos de resfriamento proposto pela SABESP.	22
Tabela 4: Qualidade e recomendações para utilização de esgotos tratados nas áreas urbanas.	24
Tabela 5: Valores médios dos esgotos brutos da ETE Ponta Negra e ETE Felipe Camarão.	31
Tabela 6: Variáveis e métodos realizados nas amostras coletadas.	34
Tabela 7: Características físico-químicas e biológicas do efluente tratado nas ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes (dezembro/2010 a maio/2011).	36

LISTA DE SIGLAS

CAERN – Companhia de águas e esgotos do Rio Grande do Norte
CNRH – Conselho nacional de recursos hídricos
CONAMA – Conselho nacional de meio ambiente
Cond. – Condutividade elétrica
CTerm. – Coliformes termotolerantes
DBO – Demanda biológica de oxigênio
DQO – Demanda química de oxigênio
ETE – Estação de tratamento de esgotos
IDEMA – Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente
LARHISA – Laboratório de recursos hídricos e saneamento ambiental
NMP – Número mais provável
NTK – Nitrogênio total
OD – Oxigênio dissolvido
OMS - Organização Mundial da Saúde
PROSAB – Programa de pesquisa em saneamento básico
RN – Rio Grande do Norte
SABESP - Companhia de saneamento básico do estado de São Paulo
ST – Sólidos totais
STF – Sólidos totais fixos
STV – Sólidos totais voláteis
SST – Sólidos suspensos totais
SSF – Sólidos suspensos fixos
SSV – Sólidos suspensos voláteis
SDT – Sólidos dissolvidos totais
UFC – Unidade formadora de colônia
UFRN – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
USEPA – United States Environmental Protection Agency
UT – Unidade de turbidez

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS E HIPÓTESES	15
2.1 HIPÓTESES	15
2.2 OBJETIVO GERAL	15
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO	16
3.2 REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS	17
3.3 SITUAÇÃO NO RN	24
4. MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1 LOCALIZAÇÃO DOS SISTEMAS.....	26
4.2 PERÍODO DE AMOSTRAGEM	31
4.3 ANÁLISES LABORATORIAIS	34
4.4 TRATAMENTO DE DADOS	34
5. RESULTADOS	35
5.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	35
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	51
7. REFERÊNCIAS.....	52

1. INTRODUÇÃO

Lagoas de estabilização são sistemas simples em que os esgotos são tratados biologicamente por processos naturais e envolvem principalmente algas e bactérias. Constituem alternativa vantajosa, pois possibilita elevada remoção de matéria orgânica e microorganismos patogênicos, além de sua operação e manutenção se dar de forma simplificada e com baixo custo. Porém, necessitam de grandes áreas para sua construção.

Na década de 70 ocorreu a difusão das lagoas de estabilização em vários estados brasileiros, tendo-se firmado como processo de tratamento de esgoto bastante usual devido à simplicidade e eficiência do processo, ao baixo custo de construção e operação e às condições climáticas extremamente favoráveis, sendo um sistema posteriormente utilizado e largamente implantado no Rio Grande do Norte (RN).

Todavia, mesmo com todas as facilidades e vantagens apresentadas para a implantação de uma lagoa de estabilização, a manutenção e operação são essenciais para gerar efluente final com qualidade satisfatória que possa se enquadrar nos parâmetros exigidos para o uso do efluente final. O efluente deve portanto apresentar qualidade condizente com o que se espera resultante da estabilização da matéria orgânica através de processos biológicos realizados pela oxidação bacteriana e/ou redução fotossintética das algas (PIVELI, 2004).

A utilização de efluentes tratados por sistemas de esgotos por meio do reúso em todo o mundo tem sido bastante incrementada nas últimas décadas, principalmente nos países desenvolvidos ou em desenvolvimento, como resposta à crescente escassez dos recursos hídricos disponíveis.

Atualmente a escassez de recursos hídricos está cada vez maior, seja pela não existência de água ou pela contaminação das fontes naturais, fato que motiva estudos e pesquisas no campo da reutilização e águas residuárias, pois o futuro desses recursos exige cada vez mais soluções inovadoras, tanto na gestão da oferta quanto da demanda.

O reúso é uma das alternativas que se tem apontado para o enfrentamento do problema de escassez de água, sendo importante instrumento de gestão ambiental

do recurso água, uma vez que são conhecidas as principais tecnologias para a sua adequada utilização (MANCUSO e SANTOS, 2003).

A reutilização dos esgotos tratados deve ser adotada para fins menos exigentes do ponto de vista físico-químico e microbiológico. Esta é uma atividade realizada há décadas, que pode ser comprovada diante da vasta quantidade de estudos referente ao tema.

O uso de águas residuárias tratadas representa alternativa favorável para regiões que enfrentam problemas de escassez de recursos hídricos, uma vez que pode reduzir significativamente a demanda sobre os limitados recursos hídricos.

Porém, para que esses efluentes possam ser utilizados de forma segura e confiável há a necessidade de se estabelecer padrões de qualidade, embasados por um suporte legal, que possam ser adotados como parâmetros. Esses padrões devem ser cumpridos, por força da legislação, pelas entidades envolvidas com a água a ser utilizada e devem ser função do uso previsto.

No Brasil, Chernicharo *et al.* (2006) elaboraram normas confiáveis e seguras sobre uso de efluentes em nível nacional.

Com os avanços das tecnologias de tratamento de despejos líquidos, industriais e domiciliares, é possível a obtenção de efluentes tratados com níveis de qualidade que se enquadram nos padrões de exigência mais restritivos (METCALF & EDDY, 1991; LEON e CAVALLI, 1996 *apud* ARAÚJO, 2000).

O reúso planejado insere-se nos modernos conceitos de desenvolvimento sustentável preconizado em encontros mundiais e seminários, realizados em diversas partes do mundo, fazendo parte da estratégia global proposta para o meio ambiente, pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Com Sua implementação pretende-se alcançar simultaneamente três importantes objetivos: a manutenção da integridade dos ecossistemas, o uso sustentável da água e a universalização dos serviços de saneamento e como resultado final, a promoção da melhoria da qualidade de vida e da saúde da população.

Assim, o reúso planejado da água é hoje prática obrigatória da gestão competente dos recursos hídricos e acima de tudo, imprescindível para a preservação da sua qualidade e quantidade, necessárias à sobrevivência das futuras gerações.

Diante desta realidade este trabalho visa avaliar a qualidade de efluentes finais provenientes de lagoas de estabilização que tratam esgotos domésticos e resíduos de tanques sépticos e fossas e a viabilidade de reúso.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESES

2.1 HIPÓTESES

- Efluentes de lagoas de estabilização apresentam características variáveis dependendo da configuração do sistema de tratamento, da qualidade do esgoto a tratar e, portanto, os usos propostos para os mesmos devem ser distintos;
- As condições de operação e manutenção nas ETE influenciam na qualidade final do efluente;
- Sistemas de lagoas de estabilização que tratam resíduos de fossa séptica, quando bem projetados, executados e com manutenção adequada apresentam remoções de DQO, sólidos suspensos e coliformes.

2.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade final dos efluentes de três lagoas de estabilização que tratam resíduos de tanques sépticos e fossas e esgoto doméstico.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar qualitativamente os efluentes das lagoas estudadas, através de parâmetros físico-químicos e microbiológicos;
- Avaliar o reúso urbano tomando como base trabalhos e padrões existentes na literatura;
- Propor o uso dos efluentes estudados em fins urbanos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO

Os sistemas de tratamento de esgotos domésticos foram originalmente concebidos para remover matéria orgânica e sólidos. Posteriormente surgiu a preocupação em reduzir outros constituintes, como nutrientes e organismos patogênicos.

Os esgotos sanitários contêm inúmeros organismos vivos tais como bactérias, vírus, vermes e protozoários, que, em sua maioria, são liberados junto com os despejos humanos. Porém, alguns são de suma importância no tratamento de águas residuárias, pois decompõem a matéria orgânica complexa, transformando-a em compostos orgânicos mais simples e estáveis, enquanto que outros, denominados organismos patogênicos, são causadores de doenças (CASTRO *et al.*, 1996).

Segundo Silva e Araújo (2004), no Nordeste brasileiro o uso de lagoas de estabilização para o tratamento de esgotos é significativo, principalmente aquelas destinadas à depuração de esgotos domésticos. Uma das grandes vantagens de operação desse sistema é o potencial de remoção de matéria orgânica, patogênicos e, em menor grau, de determinados nutrientes (KELLNER; PIRES, 1998).

Os sistemas de lagoas de estabilização constituem a forma mais simples para o tratamento de esgotos. Lagoas de estabilização podem ser consideradas como um artifício usado pelo homem para tornar aplicáveis os processos naturais de tratamento das águas residuárias (ELLIS, 1983). A estabilização da matéria orgânica nas lagoas se dá pela interação de processos físicos e bioquímicos, utilizando a energia solar e as reações químicas.

Sistemas de lagoas quando comparados com outros processos de tratamento apresentam muitas vantagens, dentre elas, elevada eficiência na remoção de matéria orgânica e microorganismos patogênicos, capacidade de suportar cargas orgânicas e hidráulicas de choque, simplicidade na operação e manutenção e baixo custo de construção. No entanto, lagoas de estabilização possuem a desvantagem de necessitar de grandes áreas para sua implantação.

As lagoas de estabilização são utilizadas no tratamento de águas residuárias sujeitas a biodegradação, desde que estas não contenham substâncias tóxicas aos

microrganismos envolvidos no processo, e possibilitem a obtenção de efluentes finais com qualidade para atender aos padrões estabelecidos para diferentes finalidades (SILVA, 1992).

Na Tabela 1 verificam-se as concentrações médias de diversos parâmetros de efluentes provenientes de esgotos domésticos para um sistema de tratamento composto de lagoa anaeróbia, seguida por lagoa facultativa e sequenciada por lagoa de maturação.

Tabela 1: Concentrações médias de efluentes de esgotos domésticos pelo sistema Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação.

PARÂMETROS	UNIDADE	VALOR MÉDIO
DBO	mg/L	40 - 70
DQO	mg/L	100 - 180
SST	mg/L	50 - 80
Amônia	mg/L	10 - 15
NTK	mg/L	15 - 20
Fósforo Total	mg/L	< 4
Coliformes Termotolerantes	UFC/100mL	10^2 - 10^4
Ovos de helmintos	ovos/g	< 1

Fonte: adaptada de Chernicharo *et al.* (2006)

Além disso, por mais vantajosas que sejam as condições de implantação desses sistemas é essencial que a operação e manutenção se deem de forma contínua e eficiente, já que esse consiste em um dos fatores que influenciam na qualidade dos efluentes gerados.

3.2 REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

O intenso crescimento populacional e industrial gera maior consumo de água, que tende a diminuir a disponibilidade hídrica de corpos aquáticos que apresentam muitas vezes diminuição de sua qualidade. Aliado a isso, o desperdício de água e a contaminação de aquíferos contribuem para agravar a questão de disponibilidade dos recursos hídricos em quantidade e qualidade satisfatórias ao consumo humano, em suas diversas atividades.

Atualmente está cada vez mais presente a discussão e a adoção de medidas de reaproveitamento de água, assim como o uso de águas provenientes de estações de tratamento de esgotos.

A regulamentação da utilização de esgotos sanitários é observada em vários países, distintos em termos de características socioeconômicas e localização geográfica, exemplificados por México, Arábia Saudita, Japão, Austrália, Tunísia, Peru, Alemanha, África do Sul, Chipre, Israel, Kuwait e China (MARA, CAIRNCROSS, 1989; STRAUS; BLUMENTHAL, 1989; BLUMENTHAL et. al., 2000; STRAUS, 2001; USEPA, 2004; VAN DER HOEK; 2004 *apud* Florêncio et al. (2006)).

O Brasil não dispõe de regulamentação que estabeleça as práticas de reúso, porém é possível observar que tal atividade vem sendo exercida, seja na irrigação, em indústrias, na lavagem de veículos, na irrigação de áreas para atividades esportivas, para descarga de toaletes, dentre outros. Apesar de inexistente, a regulamentação do uso de efluente encontra-se em curso no País, pelo reconhecimento de práticas de uso que já são uma realidade. Observa-se na Resolução CNRH Nº 54 (BRASIL, 2005), que a prática de uso está colocada como uma atividade integrante das políticas de gestão de recursos hídricos.

Em algumas cidades brasileiras, como Curitiba e São Paulo, observa-se orientação para uso de efluente, principalmente em fins urbanos. O Decreto Nº 48.138/2003 do Estado de São Paulo estabelece ações a fim de orientar e reeducar agentes públicos e privados em relação à necessidade de redução de consumo de água potável, pela utilização de fontes de águas alternativas.

Águas residuárias tratadas são capazes de atender a diversos usos e podem ser reutilizadas de diversas formas, dependendo onde se deseja usá-la e o grau de qualidade que esse uso exige. Dentre muitas, incluem-se recargas de aquíferos (alimentação de lagos artificiais, de fontes ornamentais etc.), reúso urbano (irrigação de parques, jardins, cemitérios, canteiros centrais de autovias, campos de golfe, pátios de colégios, complexos turísticos, limpezas de vias públicas e de caminhões de coleta de lixo etc.), industrial (sistemas de refrigeração, lavagem e transporte de materiais etc.) e em edifícios residenciais e comerciais (limpeza de sanitários, sistemas contra incêndios), na irrigação, hidroponia e piscicultura.

Apesar de um grande número de autores tratarem do assunto e de diversas pesquisas comprovarem viabilidade, quando atendidos os parâmetros exigidos, ainda existe uma grande rejeição por parte da população que, mesmo consciente da

necessidade de reúso de águas residuárias tratadas, ainda não possui esclarecimento suficiente em relação à segurança e confiabilidade do efluente que será reutilizado.

Além disso, os usos propostos para reutilização de água devem ser em função da qualidade da água disponível. Assim como, a água reutilizada deve obedecer a parâmetros estabelecidos para cada uso previsto. Com isso é fundamental, a determinação do uso que pode ser dada a uma água, assim como o conhecimento de parâmetros e/ou recomendações associadas à esses usos.

É importante destacar que na formulação de marcos regulatórios para uso de efluentes de esgoto, o processo deve ser considerado em suas várias dimensões englobando a saúde pública, ambiental, econômica e financeira, social e cultural. A questão sócio-cultural deve incluir crenças religiosas, hábitos locais e a situação sócio-econômica dever ser adequadamente dimensionada, pois pode determinar a aceitação ou rejeição pública (WHO, 2006; HESPANHOL, 1997)

3.2.1 Modalidades de uso

Lavrador Filho (1987) e Florêncio *et al.* (2006) descreveram quatro diferentes terminologias para as diferentes possibilidades de reúso de águas residuárias: reúso indireto não planejado, reúso indireto planejado, reúso direto planejado e reúso controlado.

O reúso indireto não planejado se dá quando o efluente tratado é descartado no meio ambiente, sendo portanto diluído e novamente utilizado a jusante de maneira não intencional já que o usuário não possui conhecimento do fato. Já reúso indireto planejado ocorre quando os efluentes, após passar pelo sistema de tratamento são descartados de forma planejada nos cursos de água superficiais ou subterrâneos, para serem utilizados a jusante de forma intencional e controlada no intuito de algum benefício. No que diz respeito ao reúso direto planejado, os efluentes após convenientemente tratados são encaminhados diretamente ao local de utilização.

As três modalidades de uso descritas podem assumir como sinônimos reúso planejado e reúso intencional.

Finalizando, o reúso constitui controlado uma das modalidades, quando a utilização da água da água ocorre de forma segura do ponto de vista sanitário, sustentável do ponto de vista ambiental e viável do ponto de vista de produção.

3.2.2 Usos Urbanos

Os padrões de qualidade de água para usos urbanos potáveis são restritivos, uma vez que devem garantir segurança sanitária aos usuários. Água utilizada para beber, na preparação de alimentos e para higiene pessoal são exemplos de aplicação de água para fins potáveis, e que, portanto, requer excelentes padrões de qualidade. Por outro lado os usos urbanos não potáveis, a água não necessita ser de qualidade tão exigente quanto para os casos de usos potáveis.

A classificação do uso urbano não potável, restrito ou irrestrito, difere em função da interação que possa existir entre a água utilizada e o homem, a partir dos contatos primários, que podem resultar em maior ou menor segurança sanitária.

Hespanhol (2008) considera as seguintes atividades como urbanas não potáveis:

- Construção civil, na lavagem de agregados, preparação e cura de concreto, controle de poeira e compactação do solo;
- Sistemas de proteção de incêndio;
- Fins ornamentais, como fontes, chafarizes, espelhos de água etc.;
- Descarga sanitária em banheiros públicos e em edifícios residenciais e comerciais, públicos e privados;
- Lavagem de ruas em espaços destinados às feiras livres;
- Lavagem e desobstrução de redes coletoras de esgotos e galerias de águas pluviais;
- Irrigação de áreas verdes com restrição de acesso ao público, como praças, jardins, cemitérios, canteiros etc.

A United States Environmental Protection Agency (USEPA, 2004) determina diferentes limites de concentração de pH, DBO, turbidez, cloro residual total, coliformes termotolerantes e sólidos suspensos totais para uso urbano conforme apresentado na Tabela 2, em que são apresentadas as concentrações dos parâmetros recomendados para uso urbano não potável de esgoto sanitário, que se aplica a irrigação (campos de golfe, parques, áreas verdes de cemitérios), lavagem

de veículos, descarga de banheiro, sistemas de proteção contra incêndios, condicionadores de ar e outros usos com semelhante acesso ou exposição de água.

Tabela 2: Qualidade de esgoto sanitário para reúso urbano não potável.

PARÂMETROS	UNIDADE	VALOR
DBO	mg/L	< 10
pH	---	6 a 9
Turbidez	UT	< 2
CTerm.	---	não detectáveis
Cloro residual total	mg/L	> 1

Fonte: adaptada de USEPA (2004)

O reúso urbano não potável irrestrito de esgoto tratado é aplicável segundo Okun (2000) para irrigação de paisagismo, irrigação de áreas recreacionais - campos de golfe, tênis, playgrounds, descarga de toaletes, sistema de proteção de incêndio, limpeza de veículos e ruas, sistemas de ar condicionado, em indústrias - torres de resfriamento e valorização ambiental – lagos, fontes e riachos urbanos. São propostos de acordo com Okun (2000) os seguintes padrões de qualidade de água: ausência de coliformes termotolerantes por 100 mL; concentração mínima de cloro residual de 1 mg/L; turbidez máxima de 2 UT; e pH variando entre 6 e 9, praticamente iguais aos estabelecidos pela USEPA (2004) para reúso urbano não potável.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP, 2002) propôs parâmetros internos de reúso de esgoto tratado em sistemas semi-abertos de resfriamento, assim como, em uso urbano não potável irrestrito, conforme Tabela 3.

Tabela 3: Qualidade de água para reúso urbano irrestrito não potável, e em sistemas semi-abertos de resfriamento proposto pela SABESP.

PARÂMETROS	UNIDADE	VALOR MÁXIMO
DBO	mg/L	10
pH	---	6 a 9
Turbidez	UNT	2
Cterm.	UFC/100mL	0
Amônia	mg/L	1
SDT	mg/L	500
SST	mg/L	5

Fonte: SABESP (2002)

Em relação a riscos sanitários oriundos da presença de microrganismos patogênicos, estudos realizados por Florêncio *et al.* (2006) apontam que águas que apresentam concentrações de coliformes termotolerantes inferiores a 200 UFC/100mL e menos de 1 ovo de helminto por litro podem ser destinadas ao uso urbano irrestrito não potável, que se aplica à irrigação (campos de golfe, parques, jardins e cemitérios etc.) e usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso irrestrito ao público, limpeza de ruas e outros usos com exposição similar. Águas destinadas ao uso agrícola devem conter concentrações menores ou iguais a um ovo de nematóide por litro e menos de 1000 coliformes termotolerantes por 100 mL (BASTOS *et al.*, 2008).

Estudo realizado com efluente tratado da ETE Cambuí, no Paraná, propôs os seguintes parâmetros para uso em limpeza pública e em sistemas de proteção de incêndio: pH entre 6 e 9, DBO ≤ 10 mg/L, turbidez ≤ 2 UNT (para limpeza pública considerou-se limite de até 20 UNT), concentração mínima de cloro residual total de 1 mg/L e ausência de coliformes termotolerantes (para limpeza pública considerou-se limite de até 200 NMP/100mL) (AISSE, COHIM e KIPERSTOK, 2006).

Águas com concentrações de coliformes termotolerantes inferiores de 1×10^4 UFC/100mL e menos de 1 ovo de helminto por litro podem ser destinadas ao uso urbano restrito não potável (aplicável a irrigação de parques e canteiros de rodovias, usos ornamentais e paisagísticos em áreas de acesso controlado ou restrito ao público, abatimento de poeira em estradas vicinais, usos na construção), assim

como águas destinadas ao uso agrícola devem conter concentrações menores ou iguais a um ovo de nematoide por litro, e menos de 1×10^4 coliformes termotolerantes por 100 mL (BASTOS *et al.*, 2008).

Consideram-se usos urbanos não potáveis restritos: a irrigação de parques e canteiros de rodovias, ornamentação e paisagismo de áreas com acesso controlado ou restrito ao público e construção civil (controle de poeiras, compactação do solo, preparo de argamassa e concreto etc). Para tanto as concentrações dos esgotos sanitários tratados são pH entre 6 e 9, DBO ≤ 30 mg/L, SST ≤ 30 mg/L, coliformes termotolerantes ≤ 200 UFC/100mL e cloro residual total ≥ 1 mg/L (USEPA, 2004).

Estudos realizados por Semura *et al.* (2005) apontaram diretrizes para a utilização da água de reúso para uso urbano não potável. Para usos urbanos mais restritos, foram adotadas diretrizes a partir de análise de práticas em outros países e suas aplicabilidades à situação específica na região metropolitana de São Paulo.

No atendimento aos usos urbanos mais restritos, abrangendo áreas verdes com acesso limitado ao público, faixa decorativa ao longo das avenidas e lavagem de ruas e logradouros, foi estabelecido o uso de água proveniente do tratamento secundário, seguido de filtração e desinfecção, resguardando-se, no entanto, os cuidados necessários, como o maior empenho no monitoramento e controle dos lançamentos de efluentes industriais no sistema de esgoto.

Estudos realizados por Chernicharo *et al.* (2006), permitiram verificar as possíveis utilizações de esgotos tratados para determinados usos, como apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Qualidade e recomendações para utilização de esgotos tratados nas áreas urbanas.

TIPO DE UTILIZAÇÃO	QUALIDADE NECESSÁRIA DO EFLUENTE
Uso urbano irrestrito Irrigação (campos de esporte, parques, jardins e cemitérios etc.) e ornamentação e paisagismo em áreas com acesso irrestrito ao público, limpeza de ruas e outros usos com exposição similar.	CTerm < 200UFC/100ml Helmintos < 1ovo/L
Uso urbano restrito Irrigação (parques, canteiros de rodovias etc.) e ornamentação e paisagismo em áreas com acesso controlado ou restrito ao público, abatimento de poeira em estradas vicinais e em construção (compactação do solo, abatimento de poeira etc.).	CTerm < 1×10^4 UFC/100ml Helmintos < 1ovo/L
Uso predial Redes públicas e domiciliares de água utilizadas para descarga de vasos sanitários.	CTerm < 1×10^3 UFC/100ml Helmintos < 1ovo/L

Fonte: adaptada de Chernicharo *et al.* (2006)

3.3 SITUAÇÃO NO RN

A utilização de efluente tratado é uma prática utilizada informalmente conforme apresentado em estudo realizado por Silva Filho (2007), em que mostra que o efluente de lagoas de estabilização no RN é utilizado para “reúso não potável para fins agrícolas” conforme definição de Brega Filho e Manusco (2003) em irrigações de plantas alimentícias e não alimentícias, como pastagens e forrações. O destino mais comum dos efluentes líquidos urbanos gerados em Natal é o lançamento em corpos aquáticos, gerando condições de poluição e contaminação. Com isso a saúde pública encontra-se potencialmente ameaçada pela contaminação de suas águas de abastecimento, dos balneários e dos gêneros alimentícios, acarretando as doenças de veiculação hídrica.

Mesmo assim, diante da possibilidade de aplicação do uso de esgotos tratados, observa-se que pouco é feito no Estado. Segundo Silva Filho (2007) no Rio Grande do Norte, das 78 ETE por lagoas de estabilização existentes, 59% lançam os efluentes tratados em corpos hídricos, 28% lançam sobre o solo e 13% são reutilizados. Esses são dados fornecidos pelos órgãos gestores, mas estudos comprovam que há casos em que esses reúsos são realizados de forma não controlada conforme apresentado por Andrade Neto (1997) em que comprova a prática de reúso para fins diversos sem segurança sanitária em diversos municípios do RN.

Brito e Tinoco (2000) ao estudarem o sistema de lagoas da ETE Ponta Negra no RN, verificaram que é possível o reúso do efluente tratado, determinando os requerimentos de qualidade para águas residuárias tratadas que se destinem ao uso em limpeza de vias públicas e irrigação de canteiros urbanos, desde que o efluente fosse submetido a pós-tratamento para redução de nitrogênio, dado que as águas de limpeza viária são carreadas para as galerias de águas pluviais, e em seguida, infiltradas em lagoas de drenagem e a presença de nitrato nas mesmas poderia agravar o problema da contaminação das águas subterrâneas já existente na área de estudo. Assim como também, a realização de um tratamento terciário visando a redução de nitrogênio e de coliformes fecais. Tinoco (2003) também confirmou a viabilidade técnica para a reutilização do efluente final da ETE Ponta Negra.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DOS SISTEMAS

Os sistemas analisados estão localizados na região metropolitana de Natal, estado do Rio Grande do Norte. Foram selecionadas três diferentes configurações de sistemas de lagoas para a análise de características dos efluentes finais com vistas ao reúso urbano.

Dentre os sistemas existentes, foram selecionados para verificação da viabilidade ao reúso urbano os efluentes finais das ETE Ponta Negra, ETE Felipe Camarão e ETE Guarapes. O primeiro sob o gerenciamento da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) e os demais com gerenciamento privado, localizadas de acordo com a Figura 1.

As lagoas de estabilização selecionadas são representativas e foram adotadas devido a receberem grandes vazões e no que refere-se a ETE Felipe Camarão e ETE Guarapes são as únicas existentes para o tratamento de resíduos de tanque sépticos e fossas.

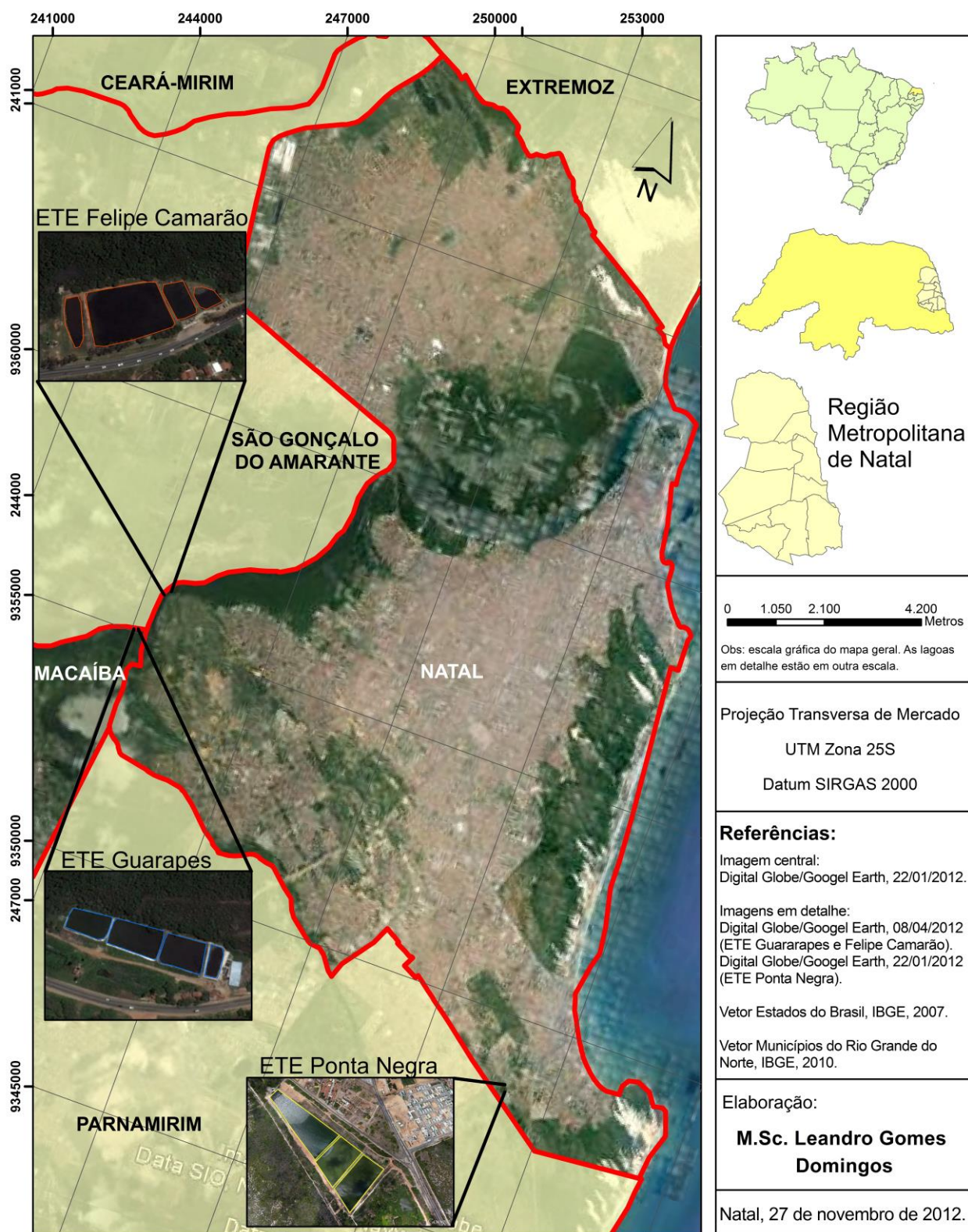


Figura 1: Mapa de localização das ETE estudadas

A ETE Ponta Negra está localizada no bairro de Ponta Negra. O sistema é composto por tratamento preliminar e lagoas de estabilização em série com disposição final do efluente no solo em valas de infiltração. A série é composta por uma lagoa facultativa primária e duas lagoas de maturação. As Figura 2 (a) e (b) mostram a ETE Ponta Negra.



Figura 2: Vista da ETE Ponta Negra

(A) – Vista aérea; (B) – Vista da lagoa de Maturação M_2 e ponto de coleta do EF
 Fonte: (A) - Banco de dados da CAERN; (B) – Acervo da autora (março/2011)

A ETE Felipe Camarão está localizada no bairro de Felipe Camarão. O sistema recebe esgotos provenientes de caminhões “limpa-fossa”, sendo constituído por tratamento preliminar e lagoas de estabilização em série e o efluente final é lançado no rio Jundiaí. A série é composta por duas lagoas anaeróbias, uma facultativa e uma de maturação. A Figura 3 (a) e (b) mostra vistas da ETE Felipe Camarão.



Figura 3: Vista da ETE Felipe Camarão

(A) – Vista aérea; (B) – Vista geral da ETE, contemplando as lagoas facultativa e de maturação
 Fonte: (A) - Google Earth (dezembro/2010); (B) – Acervo da autora (março/2011)

A ETE Guarapes está localizada no município de Macaíba, região metropolitana de Natal. O sistema recebe resíduos esgotados de tanques sépticos e fossas, através de caminhões “limpa-fossa”, e é composto por tratamento preliminar e lagoas de estabilização em série. O efluente final, assim como o da ETE Felipe Camarão é lançado no rio Jundiaí. A série é composta por lagoa anaeróbia, uma facultativa e uma de maturação. A Figura 4 (a) e (b) mostra vistas da ETE Guarapes.

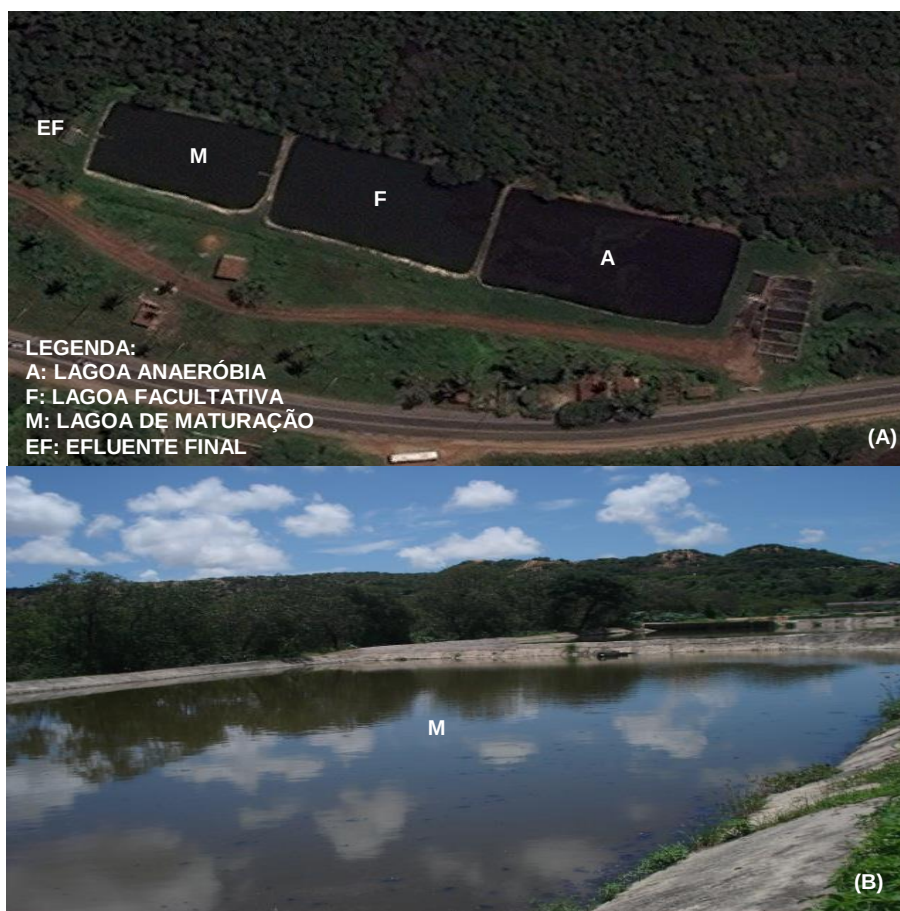


Figura 4: Vista da ETE Guarapes

(A) – Vista aérea; (B) – Vista da lagoa de maturação

Fonte: (A) - Google Earth (dezembro/2010); (B) – Acervo da autora (março/2011)

Na Tabela 5 são apresentados valores para o esgoto bruto em dois dos sistemas estudados (TORRES *et al.*, 2011; MEDEIROS, 2009).

Tabela 5: Valores médios dos esgotos brutos da ETE Ponta Negra e ETE Felipe Camarão.

PARÂMETROS	UNIDADE	ETE PONTA NEGRA ⁽¹⁾	ETE FELIPE CAMARÃO ⁽³⁾
DQO	mg/L	520	2457
OD	mg/L	0,3 ⁽²⁾	0,7
Fósforo Total	mg/L	5,7	15,8
Nitrogênio Orgânico	mg/L	25,6	32,3
Amônia	mg/L	34,7	80,2
NTK	mg/L	33	112,2
pH	---	7,4	6,2
Temperatura	°C	29	29,2
Cond.	µS/cm	---	1004
Coliformes Termotolerantes	UFC/100mL	2,90E+07	1,88E+07
ST	mg/L	683	2728
STF	mg/L	359	869
STV	mg/L	324	2036
SST	mg/L	196	1639
SSF	mg/L	76	328
SSV	mg/L	120	1519
SDT	mg/L	---	1058

Fontes: ⁽¹⁾TORRES *et al.*, 2011; ⁽²⁾ABUJAMRA, 2005; ⁽³⁾MEDEIROS, 2009

4.2 PERÍODO DE AMOSTRAGEM

As amostras foram coletadas semanalmente entre os meses de dezembro/2010 e maio/2011 em cada uma das três lagoas de estabilização estudadas. As coletas foram realizadas sempre no período da manhã, entre 7h30 e 12h. Foram realizadas 12 coletas em cada sistema, obtendo-se um total de 36 amostras. Em seguida, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos (LARHISA) da UFRN, onde foram realizadas as análises laboratoriais.

O ponto de coleta nas lagoas foi na saída do efluente final de cada ETE, como encontra-se apresentado nas Figuras 5, 6 e 7. Nesse ponto dos sistemas os efluentes das ETE já passaram por todas as etapas de tratamento e possuem a representatividade real das características da água destinada a reutilização.

Não foi possível obter doze resultados para todos os parâmetros analisados, seja por erro experimental, perda de amostra devido problemas operacionais no laboratório em que as mesmas foram analisadas ou impossibilidade de acesso a área de coleta.



Figura 5: Ponto de coleta do efluente final na ETE Ponta Negra, caixa de saída da lagoa de maturação 2.

Fonte: Acervo da autora (2010)



Figura 6: Ponto de coleta do efluente final na ETE Felipe Camarão, tubo de saída do tanque de cloração.

Fonte: Acervo da autora (2010)



Figura 7: Ponto de coleta do efluente final na ETE Guarapes, tubo de saída do tanque de cloração.

Fonte: Acervo da autora (2010)

4.3 ANÁLISES LABORATORIAIS

Para a caracterização da qualidade dos efluentes finais requer a análise de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos.

Nos efluentes finais das ETE, foram analisados os seguintes parâmetros: pH, temperatura, série de sólidos, oxigênio dissolvido (OD), demanda química de oxigênio (DQO), coliformes termotolerantes (CTerm), NTK, condutividade elétrica e fósforo total. Devido a problemas laboratoriais que impediu a execução da análise, o parâmetro demanda química de oxigênio (DBO) não foi obtido.

Todos os procedimentos analíticos seguiram as recomendações estabelecidas por APHA (1998). A Tabela 6 apresenta as variáveis analisadas e os métodos utilizados.

Tabela 6: Variáveis e métodos realizados nas amostras coletadas.

PARÂMETROS	UNIDADE	MÉTODOS
Coliformes termotolerantes	UFC/100ml	Membrana filtrante
Condutividade elétrica	µS/cm	Condutivímetro
Demanda química de oxigênio	mg/L	Refluxação fechada
Fósforo total	mg/L	Digestão ácida - cloreto estanhoso
NTK	mg/L	Micro Kjeldhal
Oxigênio dissolvido	mg/L	Oxímetro portátil
pH	---	Potenciométrico
Sólidos totais	mg/L	Gravimétrico - secagem a 103 -105°C
Sólidos fixos e voláteis	mg/L	Gravimétrico - secagem a 103 -105°C seguida de ignição a 550°C
Temperatura	°C	Potenciométrico

4.4 TRATAMENTO DE DADOS

A análise estatística dos dados e a interpretação dos resultados foram realizadas através de planilhas eletrônicas. Realizou-se a estatística descritiva dos dados coletados, obtendo-se médias, medianas, máximos, mínimos, desvios padrões e coeficiente de variação para todos os parâmetros analisados em cada sistema estudado.

Foram elaborados gráficos “Box & Whisker” para todos os parâmetros analisados.

5. RESULTADOS

5.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados das análises dos efluentes finais das lagoas estudadas encontram-se apresentados na Tabela 7, onde estão detalhados o número de amostras obtidas, a média, mediana, desvio padrão e os valores mínimos e máximos encontrados, assim como o coeficiente de variação.

Tabela 7: Características físico-químicas e biológicas do efluente tratado nas ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes (dezembro/2010 a maio/2011).

Sistema		OD (mg/L)	T (°C)	pH	Cond. (μ S/cm)	DQO (mg/L)	Nitrogênio Orgânico (mg/L)	Amônia (mg/L)	NTK (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)
Ponta Negra	Média	2,2	29,8	7,1	546	328	2,2	21,1	23,3	9,4
	Mediana	1,9	29,6	7,2	602	322	2,2	20,7	22,9	10,0
	CV	49,1	4,9	4,1	23	23	26,2	5,9	5,4	23,4
	Desvio Padrão	1,1	1,5	0,3	126	76	0,6	1,3	1,3	2,2
	Mín	0,8	28,1	6,4	317	192	1,3	19,6	20,9	6,1
	Máx	4,5	32,8	7,5	668	507	3,4	23,0	25,2	12,7
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Felipe Camarão	Média	4,2	30,3	7,5	3175	325	3,2	63,8	67,1	16,6
	Mediana	2,7	30,5	7,5	3334	314	3,1	64,5	68,7	15,9
	CV	59,5	3,4	3,2	37	30	64,5	23,5	21,4	39,4
	Desvio Padrão	2,5	1,0	0,2	1184	99	2,1	15,0	14,4	6,5
	Mín	1,7	28,3	7,1	554	167	0,5	22,4	27,4	7,8
	Máx	8,1	32,7	7,9	5420	512	6,2	87,9	88,5	33,3
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Guarapes	Média	2,8	31,2	7,6	2180	365	3,0	64,4	67,4	28,8
	Mediana	1,5	31,2	7,7	2046	351	2,4	71,5	75,0	27,0
	CV	97,3	6,0	4,7	43	22	57,4	27,6	25,2	29,2
	Desvio Padrão	2,8	1,9	0,4	942	82	1,7	17,8	17,0	8,4
	Mín	0,5	27,8	6,7	1152	256	1,1	24,7	31,3	14,7
	Máx	9,3	34,3	7,9	4805	567	6,7	74,5	76,7	40,4
	N	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Legenda: CV: coeficiente de variação; Mín: mínimo; Máx: máximo; N: número de amostras.

Tabela 7: Características físico-químicas e biológicas do efluente tratado nas ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes (dezembro/2010 a maio/2011) - continuação.

Sistema		ST (mg/L)	STF (mg/L)	STV (mg/L)	SST (mg/L)	SSF (mg/L)	SSV (mg/L)	SDT (mg/L)	CTerm (UFC/100mL)
Ponta Negra	Média	501	220	281	144	26	118	365	2,22E+04
	Mediana	511	240	250	127	24	108	355	2,17E+04
	CV	14	37	25	34	29	42	8	87,28
	Desvio Padrão	69	82	71	49	7	50	29	1,93E+04
	Mín	384	84	216	89	18	53	336	1,80E+03
	Máx	572	310	406	222	36	190	410	6,80E+04
	N	10	10	10	10	10	10	10	12
Felipe Camarão	Média	2399	2088	311	123	28	95	2277	1,08E+01
	Mediana	2822	2302	282	78	26	48	2510	0,00E+00
	CV	28	31	33	74	74	97	28	234,38
	Desvio Padrão	665	637	103	91	21	93	633	2,54E+01
	Mín	1592	1321	200	54	8	40	1484	0,00E+00
	Máx	3058	2794	520	312	68	298	2916	7,00E+01
	N	10	10	10	10	10	10	10	12
Guarapes	Média	1133	721	412	223	46	177	905	1,73E+03
	Mediana	1130	712	418	169	25	147	868	5,50E+02
	CV	21	16	31	76	108	69	20	169,56
	Desvio Padrão	234	118	126	169	50	121	185	2,92E+03
	Mín	876	576	246	96	10	80	670	0,00E+00
	Máx	1438	908	538	560	142	418	1150	9,00E+03
	N	9	9	9	9	9	9	9	12

Legenda: CV: coeficiente de variação; Mín: mínimo; Máx: máximo; N: número de amostras.

Oxigênio Dissolvido (OD)

Ocorreu uma pequena variação em relação ao OD entre as três ETE. A ETE Ponta Negra e a ETE Guarapes apresentaram valores medianos próximos (1,9mg/L e 1,47mg/L, respectivamente) e a ETE Felipe Camarão valor mais elevado (2,47 mg/L).

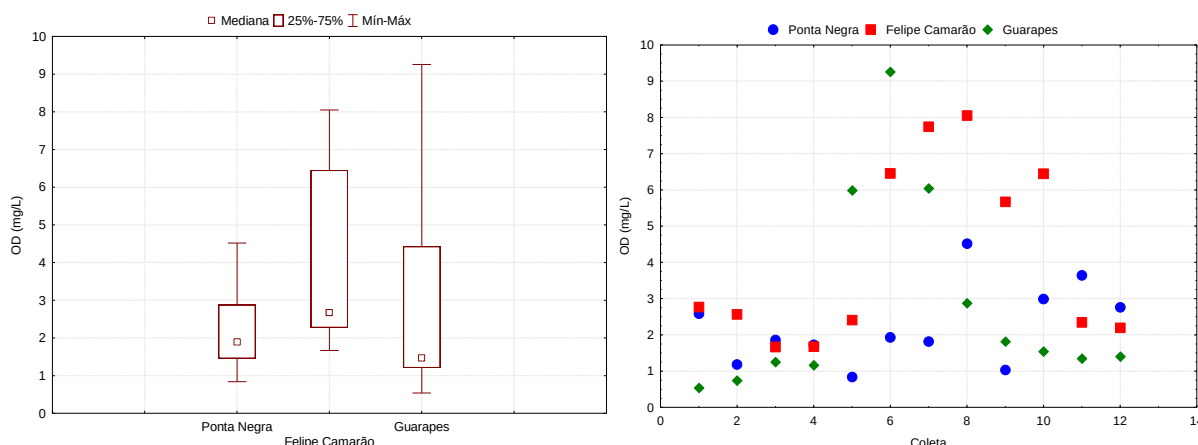


Figura 8: Variação de OD no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.

O OD do efluente final da ETE Ponta Negra apresentou mediana de 1,9 mg/L, próximo ao observado por Abujamra (2005) conforme Tabela 5 .

A ETE Felipe Camarão apresentou OD de 2,7 mg/L, próximo ao observado por Medeiros (2009), que foi de 3,8 mg/L. A concentração máximo (8,1 mg/L) e mínimo (1,8 mg/L) de OD para a ETE Felipe Camarão também encontra-se compatível com as observadas por Medeiros (2009) que foram de 6,8 mg/L e 1,3 mg/L, respectivamente.

Já a ETE Guarapes apresentou mediana de OD em seu efluente final de 1,5mg/L.

Apesar das ETE Ponta Negra e Guarapes exibirem valores próximos, a variação existente na ETE Guapares é superior ao da ETE Ponta Negra e semelhante a apresentada na ETE Felipe Camarão justificado pela origem dos afluentes da ETE Felipe Camarão e ETE Guarapes. A ETE Ponta Negra apresenta amplitude inferior aos dois sistemas estudados.

A variação de OD nas ETE Ponta Negra e Guarapes entre as coletas 5 e 10 se deu devido ao horário de coleta e ambas foram realizadas entre 7h30 e 8h30, enquanto que na ETE Guarapes a coleta ocorreu próximo ao meio-dia.

Temperatura (T)

As temperaturas dos efluentes finais se apresentaram próximas com médias variando menos de 2°C entre si, o que evidencia que as variações são pouco significativas. A ETE Ponta Negra apresentou temperatura média de 29,8°C, enquanto a ETE Felipe Camarão apresentou valor médio de 30,3°C e a ETE Guarapes apresentou temperatura de 31,2°C, sendo portanto dentre as ETE estudadas a que possui temperatura mais elevada.

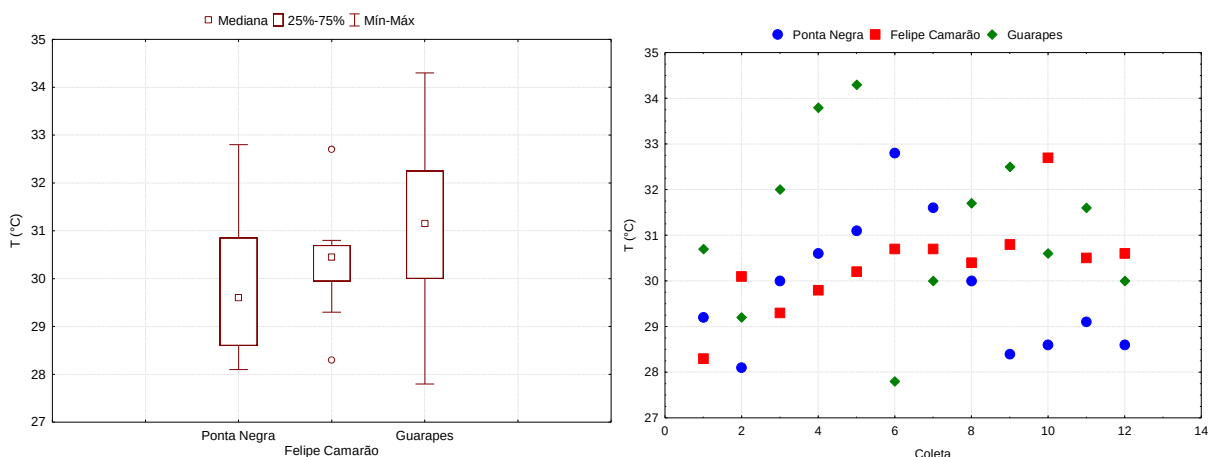


Figura 9: Variação de temperatura no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.

As temperaturas médias nas lagoas estudadas variaram pouco entre si estando em conformidade com as características climáticas da região em que estão localizadas. Além disso, a faixa de temperatura apresentada para as três lagoas deu-se devido ao horário de realização das coletas.

Os valores de temperatura determinados encontram-se coerentes com os apresentados na literatura segundo Medeiros (2009) e Torres (2011).

Como a coleta na ETE Guarapes era realizada por último explica-se o maior valor para esse parâmetro dentre as três analisadas. A coleta das amostras iniciava-se pela ETE Ponta Negra (29,8°C), seguida pela ETE Felipe Camarão (30,3°C) e por último, ETE Guarapes (31,2°C).

pH

Os pH se mostraram bastante próximos, sendo o da ETE Ponta Negra 7,1, o da ETE Felipe Camarão 7,5 e o da ETE Guarapes 7,6.

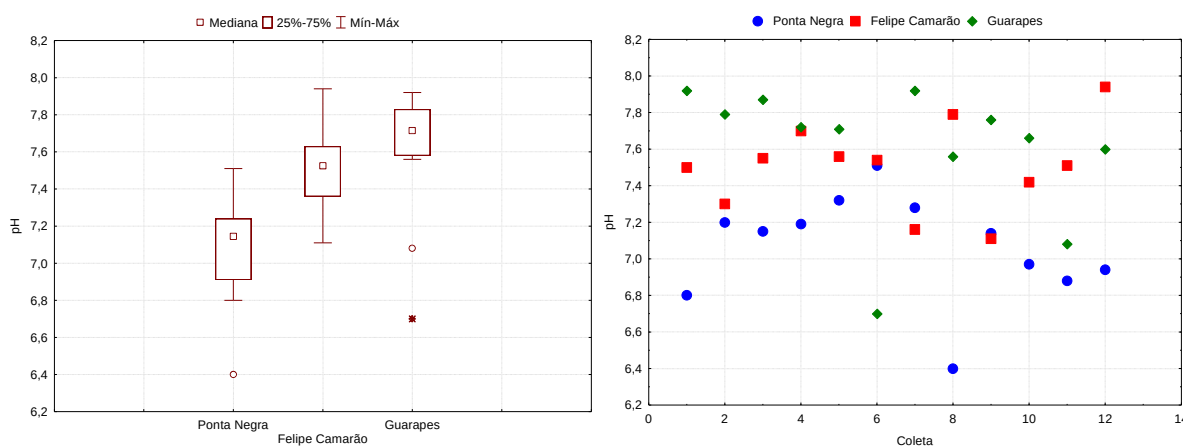


Figura 10: Variação de pH no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.

Os valores de pH encontram-se de acordo com os observados na literatura para os mesmo efluentes conforme Medeiros (2009) e Torres (2011). Obteve-se um pH de 7,1 para a ETE Ponta Negra enquanto que o determinado por Abujamra (2005) foi de 7,2. Para a ETE Felipe Camarão, o pH apresenta-se conforme o encontrado por Medeiros (2009) com o valor de 7,5. Os valores de pH próximos da neutralidade não afetam, por exemplo, a taxa de inativação de microrganismos.

Condutividade Elétrica (Cond.)

A condutividade elétrica da ETE Ponta Negra (546 $\mu\text{S}/\text{cm}$) foi inferior as da ETE Felipe Camarão (3174 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e Guarapes (2180 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Na Figura 11 estão contidos os valores desse parâmetro para as três lagoas.

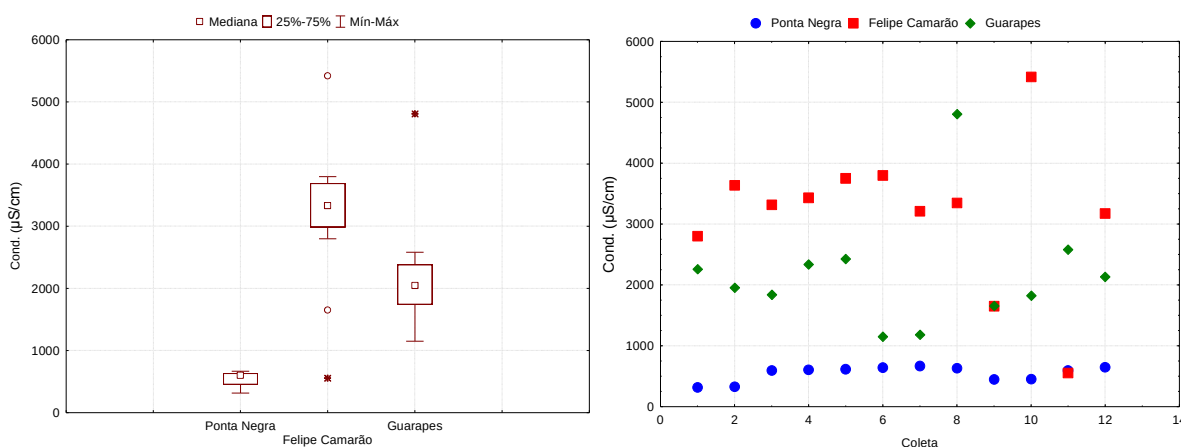


Figura 11: Variação de Cond. no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.

A condutividade na ETE Ponta Negra ($546 \mu\text{S/cm}$) apresentou a menor mediana entre as ETE, estando coerente com o valor de sólidos dissolvidos que no efluente da referida ETE também foi o mais baixo (365 mg/L). Além disso, a ETE Ponta Negra também foi a que apresentou a mais baixa variação de valores mínimo e máximo, apresentando assim menor salinidade caracterizada pela baixa quantidade de sólidos dissolvidos quando comparada com as demais ETE. A ETE Felipe Camarão apresentou condutividade elétrica mediana de $3.333 \mu\text{S/cm}$, coerente com a elevada concentração de sólidos dissolvidos de 2.510 mg/L , apresentando por sua vez alto teor de sais. A ETE Guarapes apresentou condutividade elétrica de $2.045 \mu\text{S/cm}$.

Dentre os três efluente analisados, o da ETE Felipe Camarão é o que possui a maior concentração de sais. Já esperava-se que os valores de condutividade nas ETE Felipe Camarão e Guarapes fossem superiores ao encontrado na ETE Ponta Negra, pois Ratis (2009) mostrou que os afluentes dessas ETE são mistos, provenientes de tanques sépticos, fossas, sumidouros e em alguns casos também de caixas de gordura, originários dos mais variados tipos de estabelecimentos.

Destaca-se também as elevadas condutividades nas ETE Felipe Camarão e Guarapes além das características do afluente apresentado por Ratis (2009) a proximidade em se encontram do estuário, já que as mesmas foram construídas em área de manguezal.

Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Os valores medianos de DQO variaram pouco, sendo a ETE Ponta Negra (322mg/L) e a ETE Felipe Camarão (314mg/L) com valores similares e a ETE Guarapes com valor mais elevado (351mg/L).

Como a DQO está relacionada intimamente com a matéria orgânica, verifica-se uma maior remoção na ETE Felipe Camarão e na ETE Guarapes ao analisar suas medianas.

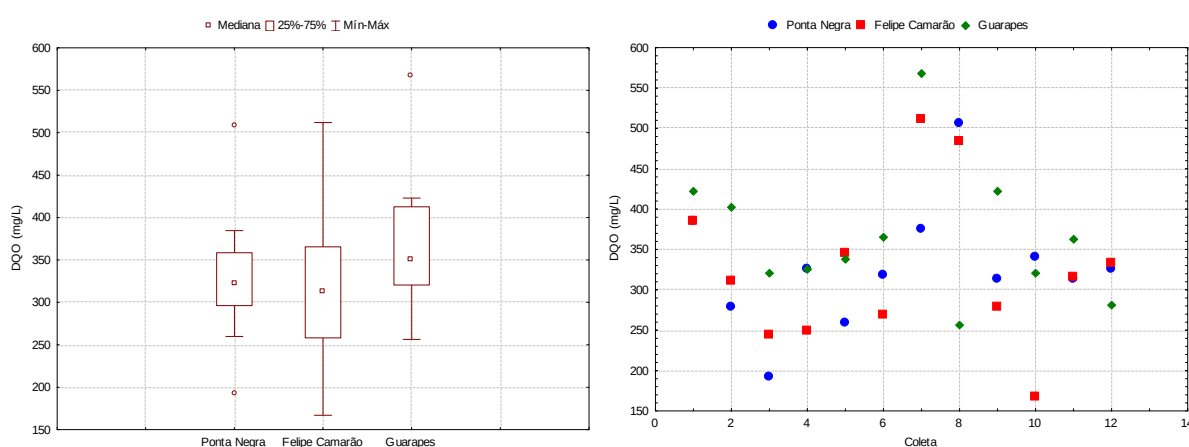


Figura 12: Variação de DQO no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.

A ETE Ponta Negra apresentou uma DQO de 322 mg/L. A ETE Felipe Camarão e Guarapes recebem grande aporte de DQO e isso se dá devido as diferentes origens dos efluentes conforme apresentado por Ratis (2009).

A similaridade nas concentrações de DQO nos efluentes finais das ETE estudadas ocorre devido a grande equalização que ocorre em lagoas de estabilização. Por se tratar de sistemas robustos a concentração de DQO que entra não sofre grande influência na quantidade que sai, apresentando-se semelhantes nos efluentes finais.

Nitrogênio Orgânico

A concentração máxima de nitrogênio orgânico ocorreu na ETE Guarapes (6,7mg/L) enquanto que a mínima foi observada na ETE Felipe Camarão (0,5mg/L). O valor mediano na ETE Ponta Negra foi de 2,2mg/L enquanto que nas ETE Felipe Camarão e Guarapes foi de 3,1mg/L e 2,4mg/L, respectivamente.

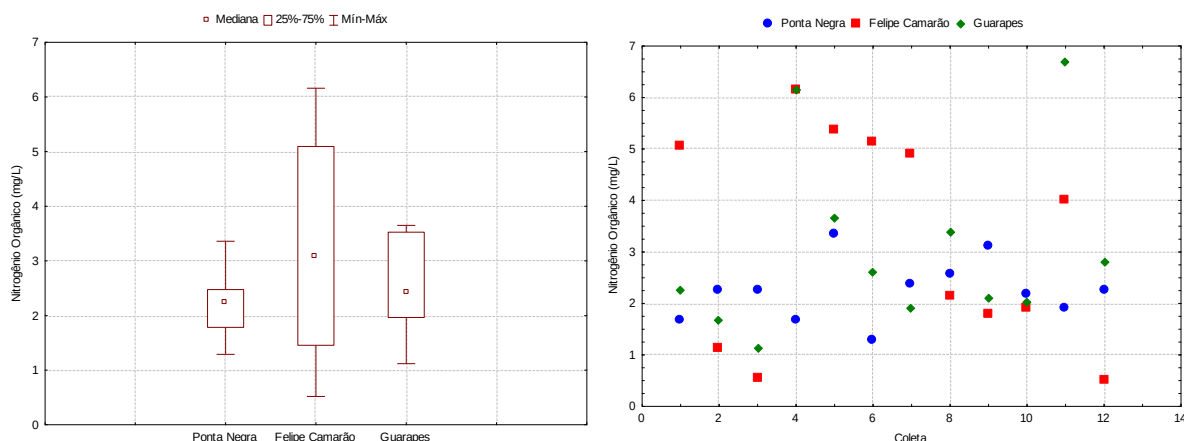


Figura 13: Variação de nitrogênio orgânico no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.

Amônia

A concentração de nitrogênio amoniacal na ETE Ponta Negra se deu praticamente de forma constante, próximos a 20mg/L. Os valores medianos da ETE Felipe Camarão (64,5mg/L) e ETE Guarapes (71,4mg/L) foram mais elevados que os da ETE Ponta Negra.

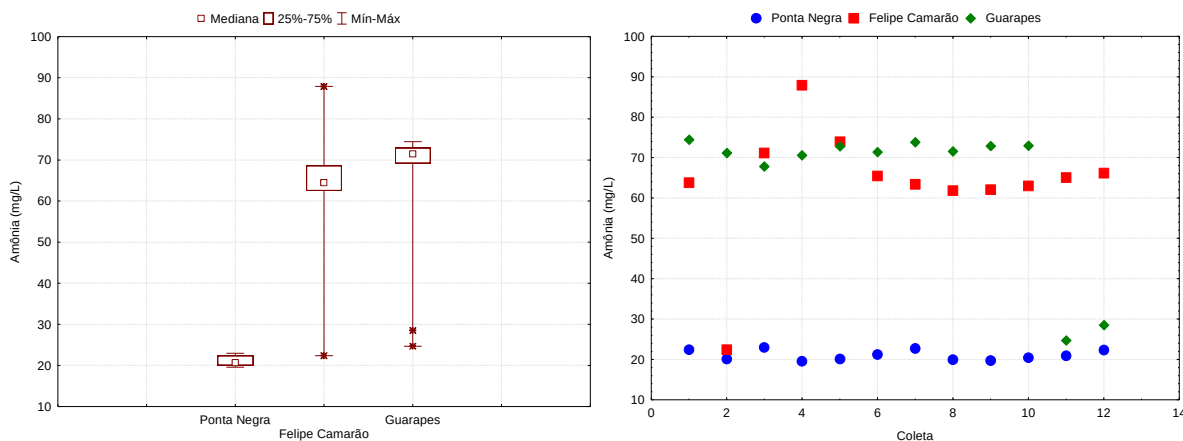


Figura 14: Variação de amônia no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.

Nas ETE Felipe Camarão e Guarapes o efluente apresentou maiores concentrações de amônia, respectivamente 64,5 mg/L e 71,5 mg/L que a ETE Ponta Negra (20,7 mg/L) devido a origem dos efluentes que as mesmas recebem. Ocorrido pelo fato dos efluentes das ETE Felipe Camarão e Guarapes sofrerem amonificação nos tanques sépticos e fossas.

Nitrogênio Total (NTK)

Os valores médios de NTK seguiram a mesma tendência de variação da amônia. Isso se deve as elevados concentrações de amônia contidas nos efluentes analisados.

Em relação ao NTK, os valores apresentados pelas Estações de Felipe Camarão (68,7mg/L) e Guarapes (74,9mg/L) foram próximos, estando esses distante do apresentado pela ETE Ponta Negra (22,9mg/L).

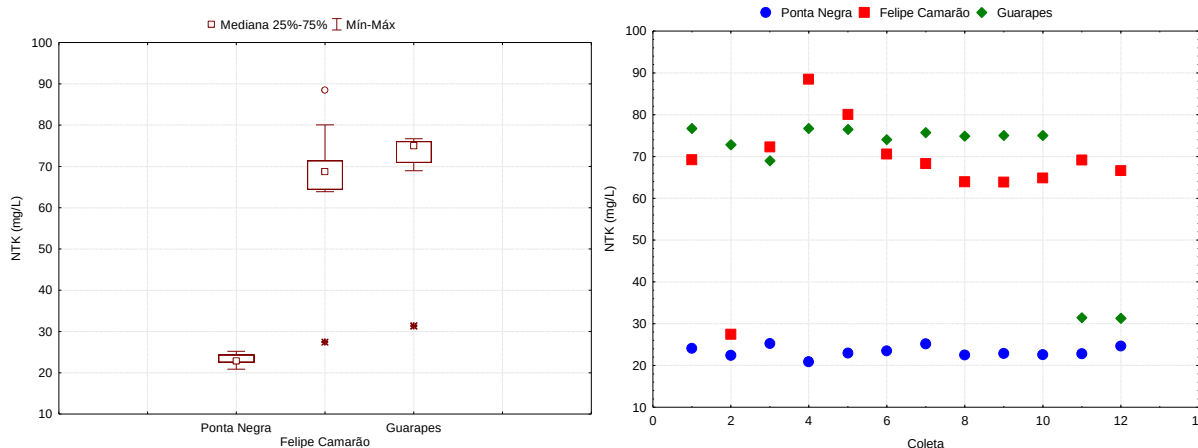


Figura 15: Variação de NTK no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.

A mesma situação ocorrida para os efluentes estudados no que diz respeito à amônia repete-se para o NTK. Como os valores de amônia são parte integrante do NTK, esse tende a seguir a mesma variação que o outro.

Nas ETE Felipe Camarão e Guarapes os resíduos possuem maiores concentrações de amônia, com isso maiores valores de NTK e apresentarem similaridade entre si com respectivamente 68,7 mg/L e 75,0 mg/L. A ETE Ponta Negra possui concentração de NTK de 22,9 mg/L. Da mesma forma que na amônia as concentrações obtidos se dão devido a influencia exercida pela origem dos efluentes que as ETE recebem.

Os valores de nitrogênio total para a ETE Ponta Negra apresentaram-se com mediana de 22,9mg/L.

Os valores da ETE Felipe Camarão e Guarapes se mostraram próximos, podendo-se atribuir ao tratamento semelhante que ambas são submetidas, assim como as características dos seus afluentes.

Fósforo Total

Para fósforo total as ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes apresentaram concentrações diferentes entre si. Isso provavelmente se deve a concentração de sólidos sedimentáveis e suspensos presentes nos efluentes, além de possuírem afluentes com características distintas.

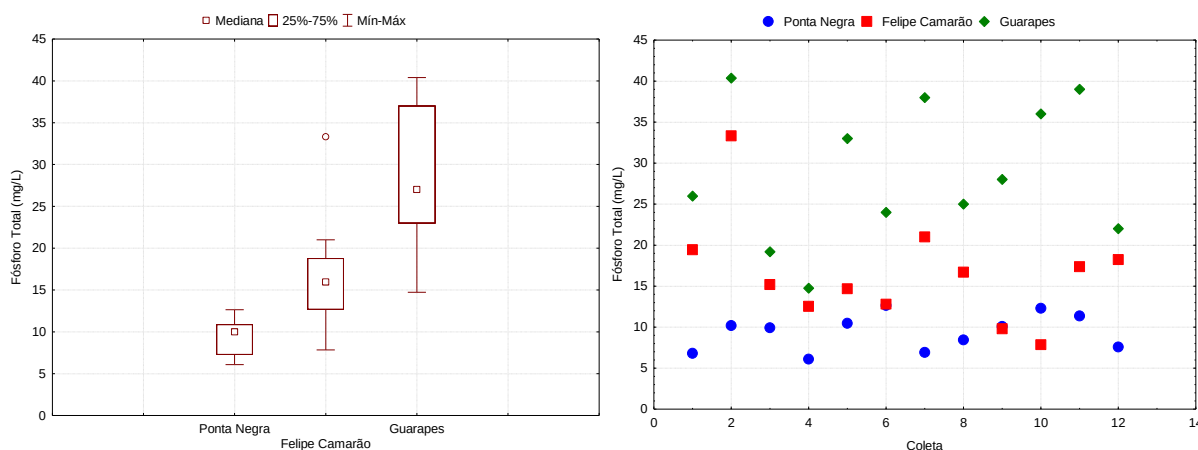


Figura 16: Variação de fósforo total no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.

Sólidos Totais, Fixos e Voláteis (ST, STF e STV)

Em relação aos valores de sólidos totais, a ETE Felipe Camarão (2822mg/L) possui uma concentração de sólidos superior a ETE Guarapes (1130mg/L) e a ETE Ponta Negra (511mg/L), sendo a última a que possui a menor concentração.

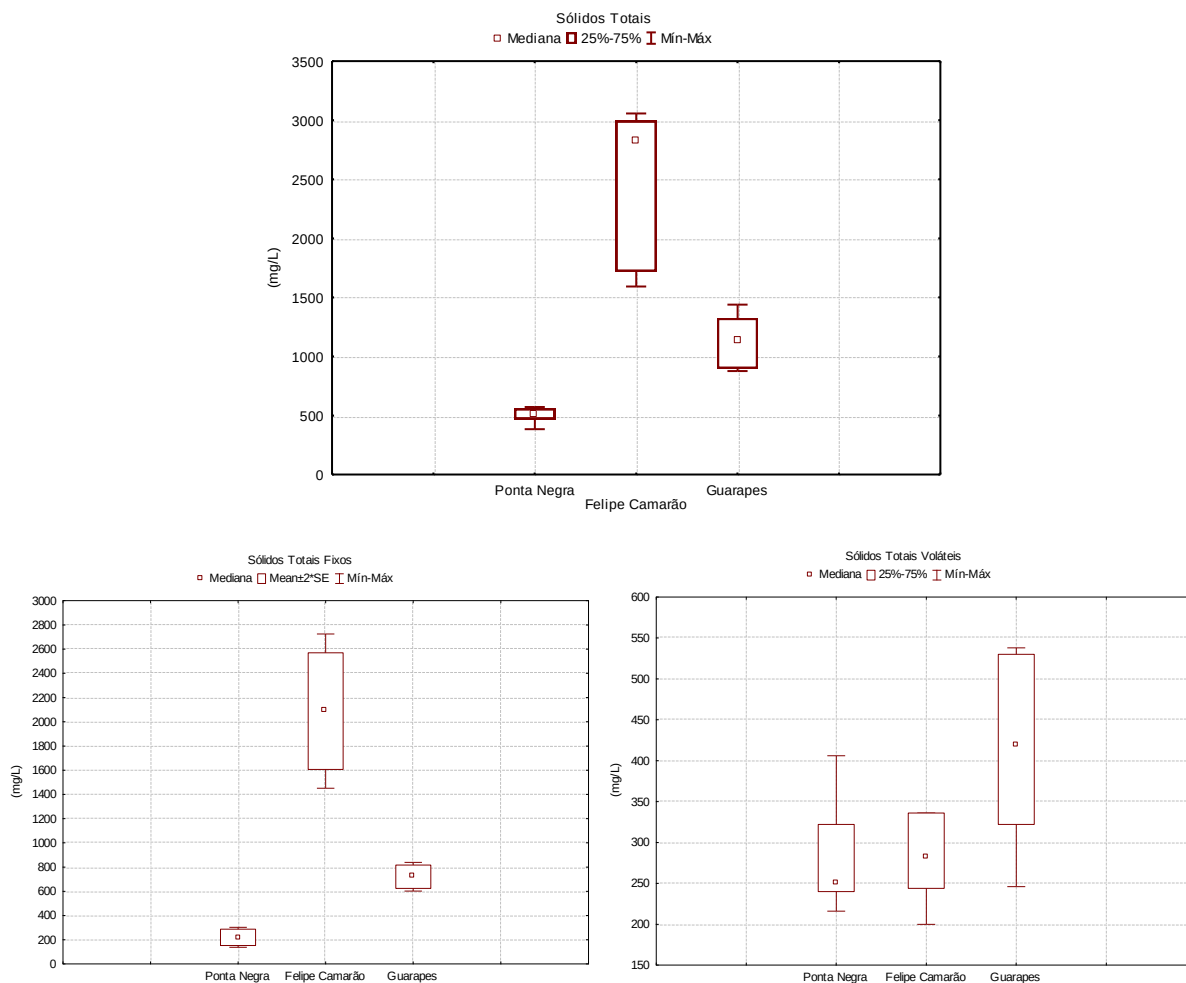


Figura 17: Variação de sólidos totais, fixos e voláteis no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.

A ETE Ponta Negra apresentou quantitativo mediano de 511 mg/L de sólidos totais, sólidos totais fixos (240 mg/L) e voláteis (250 mg/L). Em relação à ETE Felipe Camarão, a mesma apresentou 2.822 mg/L de sólidos totais, com parcela significativa de sólidos totais fixos correspondente a 2.302 mg/L. A ETE Guarapes apresentou 1.130 mg/L de sólidos totais com a maior parcela de sólidos totais fixos (712 mg/L).

Os valores encontrados nas ETE Felipe Camarão e Guarapes são relevantes quando relacionados com a origem dos afluentes e confirmados pelos sólidos dissolvidos totais presentes, sendo de 2.510 mg/L na ETE Felipe Camarão e 868 mg/L na ETE Guarapes. Também vale citar a coerência com os valores de condutividade e sais dissolvidos existentes.

Sólidos Suspensos Totais, Fixos e Voláteis (SST, SSF e SSV)

Quanto aos sólidos suspensos totais as ETE estudadas apresentaram valores que variaram entre si.

A ETE Guarapes apresentou maior concentração (169mg/L), enquanto que a ETE Ponta Negra apresentou mediana de 127mg/L.

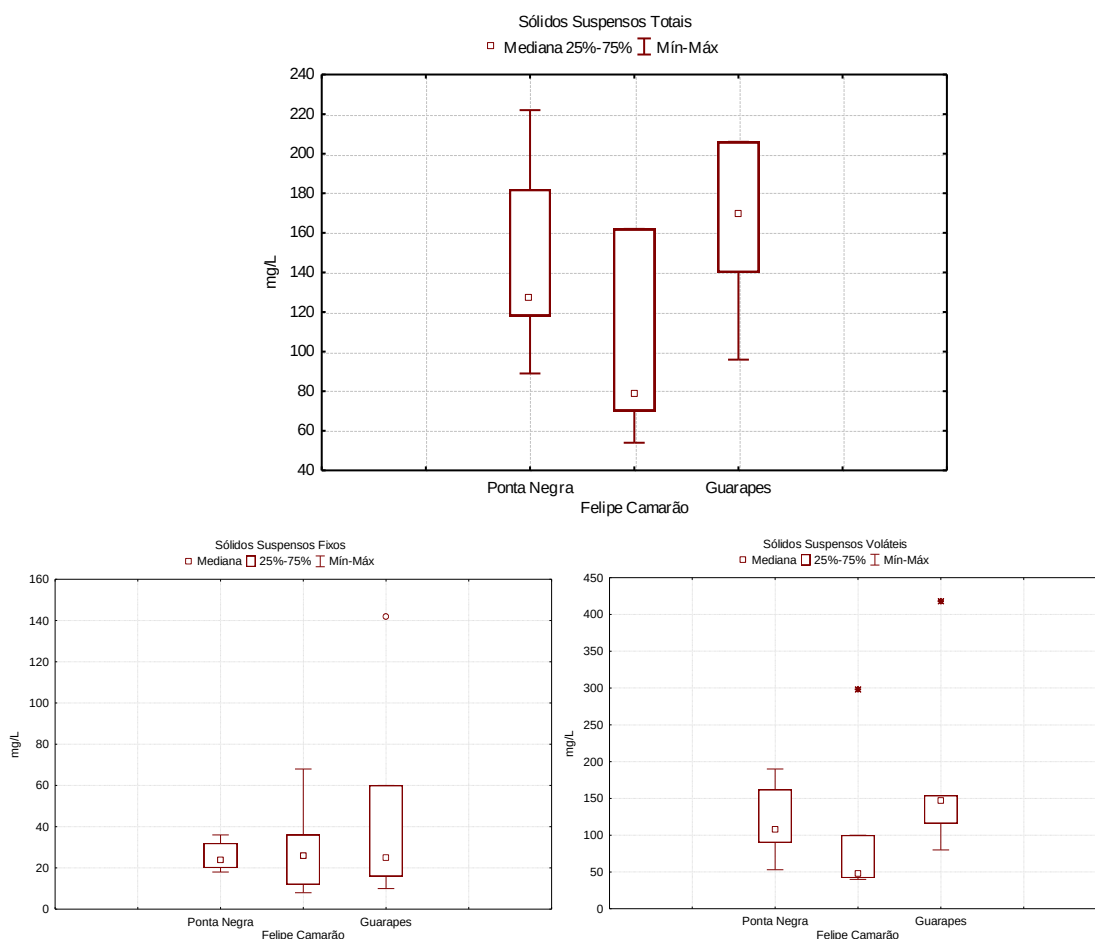


Figura 18: Variação de sólidos suspensos totais, fixos e voláteis no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.

Os efluentes das ETEs estudadas apresentaram elevados valores de sólidos suspensos totais devido a grande presença de algas.

Coliformes Termotolerantes (CTerm)

A variável coliformes termotolerantes foi a que apresentou maior diferença entre os efluentes finais das ETE analisadas, como observa-se na Tabela 7. A ETE Ponta Negra apresentou mediana de $2,17 \times 10^4$ UFC/100mL e a ETE Guarapes $5,50 \times 10^3$ UFC/100mL, enquanto que a ETE Felipe Camarão não apresentou coliformes termotolerantes em sua mediana. A inexistência de coliformes termotolerantes apresentado na ETE Felipe Camarão é devida a dosagem de desinfetante que o efluente final recebe.

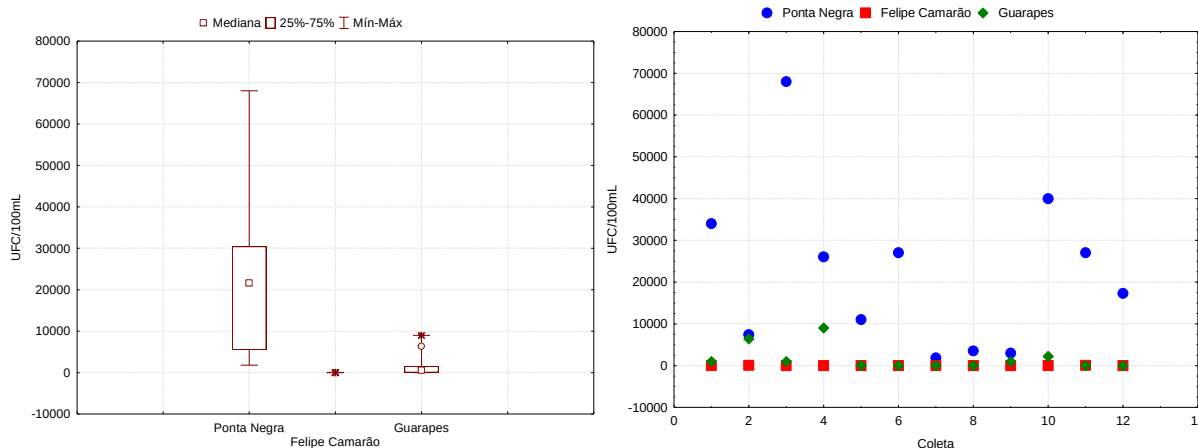


Figura 19: Variação de coliformes termotolerantes no efluente tratado das ETE Ponta Negra, Felipe Camarão e Guarapes no período de dezembro/2010 a maio/2011.

A concentração de CTerm na ETE Ponta Negra foi de $2,17 \times 10^4$ UFC/100mL.

O efluente final da ETE Felipe Camarão apresentou concentração irrisória para coliformes termotolerantes, com valor médio de $1,08 \times 10^1$ UFC/100mL, apresentando em várias amostras ausência dos mesmos, inclusive sendo essa a sua mediana. Isso se deu devido a cloração que é realizada na etapa final do tratamento desse efluente.

A concentração de CTerm na ETE Guarapes apresentou valor de $5,50 \times 10^2$ UFC/100mL.

Para os coliformes termotolerantes, assim como para oxigênio dissolvido, observa-se que os efluentes da ETE Felipe Camarão apresentam a melhor qualidade.

De acordo com os estudos realizados por Chernicharo *et al.* (2006) os efluentes das ETE Felipe Camarão e Guarapes podem ser usados para uso urbano irrestrito, uso urbano restrito e uso predial de acordo com Tabela 4, aplicando-se as utilizações descritas.

Sólidos Dissolvidos Totais

Houve diferença significativa entre os sólidos dissolvidos dos três efluentes estudados. A ETE Ponta Negra apresentou mediana de 355 mg/L, enquanto que para a ETE Felipe Camarão o valor encontrado foi de 2.510 mg/L e na ETE Guarapes 868 mg/L.

Os valores medianos do efluente das três ETE não se mostraram adequados para utilização proposta pela SABESP (2002) para usos urbanos não potáveis restritos.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em relação à qualidade final dos efluentes estudados pode-se concluir que a qualidade dos efluentes das ETES estudadas está intimamente relacionada à origem dos resíduos e ao tipo de tratamento utilizado.

- As ETES Felipe Camarão e Guarapes recebem aporte de DQO quatro vezes superior a recebida pela ETE Ponta Negra (322 mg/L).
- As ETE Felipe Camarão e Guarapes possuem maiores valores de NTK e apresentam similaridade entre si com respectivamente 68,7 mg/L e 75,0 mg/L. A ETE Ponta Negra possui concentração de NTK de 22,9 mg/L. Da mesma forma que na amônia, as concentrações obtidas se dão devido a influência exercida pela origem dos efluentes que as ETE recebem.
- A variável coliformes termotolerantes foi a que apresentou maior diferença entre os efluentes finais das ETE analisadas. A concentração de CTerm na ETE Ponta Negra foi de $2,17 \times 10^4$ UFC/100mL. O efluente final da ETE Felipe Camarão apresentou concentração com valor médio de $1,08 \times 10^1$ UFC/100mL, apresentando em várias amostras ausência dos mesmos. Isso se deu devido à cloração que é realizada na etapa final do tratamento desse efluente. A concentração de CTerm na ETE Guarapes apresentou valor de $5,50 \times 10^2$ UFC/100mL.

Tendo em vista o reúso urbano desses efluentes, conclui-se que:

- Os valores medianos de SDT do efluente das três ETE não se mostraram adequados para utilização proposta pela SABESP (2002) para usos urbanos não potáveis restritos.
- Os resultados obtidos, confirmados por em estudos anteriores (Tinôco, 2003 e Andreoli *et al.*, 2009) expressam a viabilidade técnica para utilização do efluente final das ETE Felipe Camarão e Guarapes quando analisados os valores de coliformes termotolerantes para uso urbano irrestrito, uso urbano restrito e uso predial de acordo com Chernicharo *et al.* (2006).

7. REFERÊNCIAS

ABUJAMRA, R.C.P. *et. al.* **Avaliação da remoção do nitrogênio amoniacal em uma série de lagoas de estabilização no Nordeste do Brasil.** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2005.

AISSE, M.M.; COHIM, E.; KIPERSTOK, A. **Reúso urbano e Industrial.** In: FLORÊNCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. (Org.). Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

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

ANDREOLI, C.V. (Coordenador). **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento e destino final.** PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater.** American Public Health Association. 20th ed. Washington, 1998.

ARAÚJO, L.F.P. **Reúso com Lagoas de Estabilização, potencialidades no Ceará.** Fortaleza: SEMACE, 2000.

ARAÚJO, A. L. C.; DUARTE, M. A. C. **Avaliação preliminar de duas séries de lagoas de estabilização na grande Natal-RN.** 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2001.

ARAÚJO, G.M.; MOTA, S.; ARAUJO, A.L.C.; OLIVEIRA, E.C.A. **Avaliação do potencial do reúso das águas residuárias tratadas, provenientes do sistema de lagoas de estabilização de Ponta Negra em Natal – RN.** 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2005.

ARAÚJO, A. L. C. et. al. **Avaliação da ETE Ponta Negra (Natal-RN): Remoção de matéria orgânica e ciclo do fósforo**. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2003.

BASTOS, R. K. X.; KIPERSTOK, A.; CHERNICHARO, C. A. de L.; FLORENCIO, L.; MONTEGGIA, L. O.; VON SPERLING, M.; AISSE, M. M.; BEVILACQUA, P. D.; PIVELI, R. P. Subsídios à regulamentação do reúso de água no Brasil. Utilização de esgotos sanitários tratados para fins agrícolas, urbanos e piscicultura. **Revista DAE**, [São Paulo], v. 177, p. 50-62, 2008.

BRANDÃO, L. P.; MOTA, S.; MAIA, L. F. **Perspectivas do uso de efluentes de lagoas de estabilização em irrigação**. VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2002. Anais. Vitória/ES, 2002.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357 - 17 mar. 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 14 dez 2012.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 54 - 28 nov. 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes para a prática de reúso direto não potável de água e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 9 mar. 2006.

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

BRITO, L.P.; TINÔCO, J.D. **Reutilização de águas residuárias tratadas em limpeza viária na cidade de natal – RN**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. AIDIS. 2000.

CASTRO, A. A., COSTA, A. M. L. M., CHERNICHARO, C. A. L., VON SPERLING, E., MOLLER, L. E., HELLER, L., CASSEB, M. M. S., VON SPERLING, M., BARROS,

R. T. **Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios: saneamento.** 2a ed. rev. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. Vol. 2, 1996.

CHERNICHARO, C.A.L.; FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; PIVELI, R.P.; VON SPERLING, M.; MONTEGGIA, L.O. **Tratamento de esgotos e produção de efluentes adequados a diversas modalidades de reuso da água.** In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. (Org.). Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

DUARTE, M. A. C.; PEREIRA, E. H. N.; CEBALLOS, B. S. O. **Avaliação comparativa da eficiência de três sistemas de tratamento de esgotos domésticos em Natal-RN.** XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2000.

ELLIS, K. V. **Satabilization ponds: design and operation.** Critical Reviews in Environmental Control, 13 (2), 1983.

FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V.; PREVEDELLO, B. M. S. **Viabilidade de ovos de helmintos em lodo de esgoto tratado termicamente em leitos de secagem.** Revista Técnica da SANEPAR – Sanare. Paraná. v17, 2002.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. (Coord.). **Tratamento e Utilização de esgotos sanitários.** PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

GASI, T.M.T.; ROSSIN, A.C. **Remoção de Microorganismo Indicadores e Patogênicos em Reator UASB Operando com Esgotos Domésticos.** 17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Rio de Janeiro, 1993.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira.** In: Técnicas de orçamento de capital. 10 ed. São Paulo: Editora Pearson, 2006. p. 342-343.

HESPANHOL, I. **Esgotos como recursos hídricos. Parte I: Dimensões políticas, institucionais, legais, econômico-financeiras e sócio-culturais.** Engenharia, v.55, n. 523, 1997.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, [s.l], v. 22, p. 131-156, 2008.

JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 5. Ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

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

LAVRADOR FILHO, J. **Contribuição para o entendimento do reúso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil.** Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 1987.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. **Reúso de água.** São Paulo: Manole, 2003.

MEDEIROS, D.D.V. **Avaliação da eficiência de lagoas de estabilização no tratamento de resíduos esgotados de fossas sépticas.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2009.

OKUN, D.A. **Water reclamation and unrestricted nonpotable reuse: a new tool in urban water management.** Public Health, 2000.

PIVELI, R.P. **Tratamento de esgotos sanitários.** São Paulo: Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2004.

RATIS, A.N.F.A. **Caracterização dos resíduos esgotados de sistemas de tratamento individual de esgotos de Natal.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2009.

REGO, J. L.; OLIVEIRA, E. L. L.; CHAVES, A. F.; ARAÚJO, A. P. B.; BEZERRA, F. M. L.; SANTOS, A. B.; MOTA, S. **Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.9, (Suplemento), p.155-159. Campina Grande/ PB, 2005.

SABESP. Relatório Síntese dos Estudos Desenvolvidos – Relatório Final, contrato SABESP/CH2MHILL – **Estabelecimento de diretrizes técnicas, econômicas e institucionais e de programa ação implementação de sistema de reúso de esgoto na RMSP**. São Paulo, 2002.

SANTOS, M. L. F. ; AISSE, M. M. ; BASTOS, R. K. X. ; PIVELI, R. P. **Utilização de Esgotos Sanitários - Marcos Conceituais e Regulatórios**. In: FLORÊNCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. (Org.). Tratamento e Utilização de Esgotos Sanitários. PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

SÃO PAULO. Decreto Estadual nº 48.138, de 07 de outubro de 2003. Institui medidas de redução de consumo e racionalização do uso de água no âmbito do estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislação/162916/decreto-48138-03-sao-paulo-sp>>. Acesso em: 22 de novembro de 2011.

SEMURA, K. A.; RICCITELLI, M.; GONÇALVES, M. C. **Estudo para implantação de reúso e proposição de parâmetros de qualidade para usos urbanos não potáveis a partir das ETES da RMSP**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2005

SILVA, J. L. M. **Utilização de esgoto tratado em sistemas de lagoas de estabilização como água de amassamento e cura de concreto**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza/CE, 2008.

SILVA, J. L. B. **Estudo sobre a remoção de fósforo em uma série longa de dez lagoas de estabilização tratando esgotos domésticos em região de clima tropical**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992.

SILVA, O.A.L. **Remoção de matéria orgânica em sistemas de lagoas de estabilização no Nordeste brasileiro.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2011.

SILVA FILHO, P.A. **Diagnóstico operacional de lagoas de estabilização.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2007.

SILVA, S.T.B. **Uso urbano não potável de água de lagoas do sistema de drenagem de Natal.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2011.

SILVA, F.J.A.; ARAÚJO, L.F.P. **Trinta anos de lagoas de estabilização no Ceará.** X Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. Natal/RN, 2004.

SILVA FILHO, P.A.; ARAUJO, A.L.C.; MEDEIROS, F.B.B.; ANDRADE NETO, C.O.; DUARTE, M.A.C. **Diagnóstico de efluentes de lagoas de estabilização lançados nas bacias hidrográficas do Rio Grande do Norte.** 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2007.

SILVA FILHO, P.A.; ARAUJO, A.L.C.; MEDEIROS, F.B.B.; ANDRADE NETO, C.O.; DUARTE, M.A.C. **On the performance of 78 waste stabilization ponds series in notheast of Brazil.** 2In: IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds-Advances and Innovations in Pond Treatment Technology, 8., 2009, Belo Horizonte. Proceedings... Belo Horizonte: ABES, 2009.

SOUZA, A., CLEMENTE, A. **Decisões financeiras e análises de investimentos: Fundamentos, Técnicas e Apliações.** In: Risco e Incerteza. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2004. p. 132-134.

SOUSA, J. T.; LEITE, V. D.; LUNA, J. G. **Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.1, p.107-110. Campina Grande/PB, 2001.

TINOCO, J. D. **Caracterização do efluente de Estação de Tratamento de Esgoto de Ponta Negra, visando sua reutilização em irrigação de canteiros públicos na cidade de Natal**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2003.

TORRES, D.M. **Decaimento bacteriano em lagoas de estabilização no Nordeste brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2011.

TORRES, D.M.; LIMA E SILVA, O.A.; ARAÚJO, A.L.C.; ANDRADE NETO, C.O. **Operação de lagoas de estabilização no Rio Grande do Norte**. 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, 2011.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse**, Washington DC: USEPA, 2004. Disponível em <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 09 fev 2011.

VALE, M. B. **Avaliação da eficiência da remoção de matéria orgânica e microbiológica de três sistemas de lagoas de estabilização em série na grande Natal/RN: Beira Rio, Jardim Lola I e Jardim Lola II**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN, 2007.

VON SPELING, M. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3º Ed. – Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

VON SPELING, M. **Lagoas de estabilização**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 1986.

WHO. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture.** Technical Report Series, N° 778. World Health Organization. Geneva: Switzerland, 1989.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.** Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva: WHO, 2006.