



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

Selma Thaís Bruno da Silva

**USO URBANO NÃO POTÁVEL DE ÁGUA DE LAGOAS DO SISTEMA DE
DRENAGEM DE NATAL**

Natal/RN
2011

Selma Thaís Bruno da Silva

**USO URBANO NÃO POTÁVEL DE ÁGUA DE LAGOAS DO SISTEMA
DE DRENAGEM DE NATAL**

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

Orientador: Prof^o. Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto
Co-orientador (a): Prof^a. Dra. Maria del Pilar Durante Ingunza

Natal-RN
2011

Selma Thaís Bruno da Silva

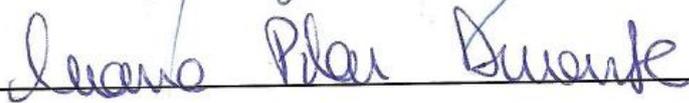
**USO URBANO NÃO POTÁVEL DE ÁGUA DE LAGOAS DO SISTEMA
DE DRENAGEM DE NATAL**

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.

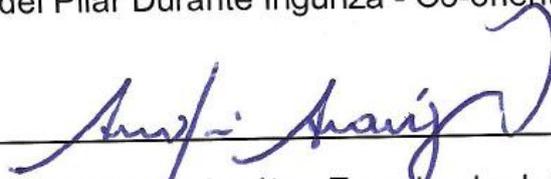
BANCA EXAMINADORA



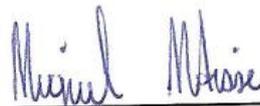
Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto - Orientador



Dra. Maria del Pilar Durante Ingunza - Co-orientadora



Dr. André Luiz Calado Araújo - Examinador Interno



Dr. Miguel Mansur Aisse - Examinador Externo

Natal, 27 de junho de 2011.

AGRADECIMENTOS

A Deus por mais este momento da minha vida;

À minha família, Selma e Bruna que sempre incentivaram, confiaram e apoiaram minhas escolhas;

À Anderson, por sempre ter ficado ao meu lado, e compreendido as minhas ausências com todo amor do mundo;

Ao orientador e Prof. Cícero Onofre, que desde início do curso despertou em mim o interesse pelas suas áreas de pesquisa; por todo o apoio e ensinamento, e por ser uma pessoa que contribuiu não apenas na minha formação profissional, mas também pessoal;

À professora Pilar, minha co-orientadora, que com toda a sua praticidade e objetividade me motivaram a trabalhar com ela;

Ao professor André Calado, que sempre esteve disposto a ajudar nas análises estatísticas;

Aos demais professores do PPgES, que com certeza foram fundamentais para a minha formação;

Aos membros da banca, pelas correções e sugestões;

À Sandro e Aline, técnicos do laboratório, que me ajudaram e esclareceram dúvidas, e aos demais funcionários do programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária;

Aos bolsistas de Iniciação Científica, Viviane e Kedson;

Aos funcionários da UFRN e da URBANA que me auxiliaram e acompanharam durante os meses de coleta;

Ao CNPq pelo apoio oferecido através da bolsa;

Aos amigos e colegas da turma. Em especial Caco, Dayana, Flavinha, Leandro, Odênia, Raniere e Weliton;

Os agradecimentos são a todos aqueles que direta ou indiretamente me auxiliaram ou apoiaram durante todo o decorrer do mestrado.

Sou muito grata a todos, e deixo aqui o meu obrigada.

RESUMO

As lagoas de retenção e infiltração do sistema de drenagem urbana geralmente possuem a função de proteger a população contra os efeitos indesejáveis de enchentes. Geralmente as águas de tais lagoas não são utilizadas e o seu potencial é desperdiçado. Por estarem disseminadas nas cidades pode-se reduzir os custos com transporte de água, além de permitir a preservação de águas de melhor qualidade. Alguns dos possíveis usos são irrigação de áreas verdes, uso em caldeiras, torres de resfriamento, e outros usos industriais, na compactação do solo, limpeza de vias públicas, na piscicultura, em sistemas de combate a incêndio, etc. A qualidade destas águas sofre influência de lançamentos indevidos de esgotos sanitários na rede de drenagem. O estudo foi realizado em seis lagoas de retenção e infiltração do sistema de drenagem de Natal, com o objetivo de verificar as condições de uso não potável de suas águas no meio urbano. Indiretamente também objetiva incentivar a utilização das águas destas lagoas como uma fonte de água com potenciais de outros usos no meio urbano. As lagoas são representativas das características de lagoas de retenção e infiltração que estão disseminadas em Natal, assim como no Brasil. As lagoas apresentaram as seguintes similaridades: três delas apresentaram aparentemente boa qualidade de suas águas, outra lagoa apresentou uma condição de qualidade intermediária, e outras duas lagoas apresentam águas poluídas. Foram realizadas vinte coletas em cada lagoa de retenção e infiltração. Os parâmetros analisados foram: pH, temperatura, oxigênio dissolvido, turbidez, condutividade elétrica, coliformes termotolerantes, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, NTK, nitrato, fósforo total, alcalinidade total, bicarbonatos, cloretos, dureza total, dureza de cálcio, dureza de magnésio, sólidos totais, SST, SDT, DQO e RAS°. Para a utilização em piscicultura recomenda-se o uso das águas das lagoas que apresentaram as melhores qualidades. Em torres de resfriamento apenas a água de uma das lagoas, a que apresentou a maior carga de poluentes, não é adequada. O teor de sólidos em suspensão restringiu o uso das águas de todas as lagoas em caldeiras. Para uso das águas das lagoas em compactação do solo, limpeza de vias públicas, e em sistemas de proteção contra incêndio as águas das lagoas não são adequadas. Entretanto, os limites recomendados nas referências pesquisadas são para esgotos domésticos, e em função disto, os parâmetros são restritivos para que se diminuam os riscos sanitários que podem ser oferecidos com a utilização. A velocidade de infiltração das águas das lagoas analisadas impôs uma condição de uso moderado, mas os efeitos são potencializados apenas em solos pouco arenosos, que não ocorre em Natal. Recomenda-se a utilização em irrigação irrestrita para as águas da lagoa que possui a melhor qualidade, e, exceto para a de pior qualidade, a recomendação é para uso em irrigação restrita. Para as águas da lagoa com maior carga de poluentes recomenda-se tratamento complementar para que riscos sanitários sejam eliminados. Em uma única lagoa foi encontrado apenas um ovo de helminto, e em função das fórmulas para conversão dos resultados, foi encontrado para todas as lagoas a concentração de menos de 1 ovo de helminto/litro.

Palavras-chave: Água de reúso; Uso de águas pluviais; Qualidade de Água; Usos urbanos não potáveis; Lagoas de retenção e infiltração.

ABSTRACT

The detention and infiltration ponds of urban drainage system has function to protect the population from undesirable effects of floods. In general these ponds are not completely used and its potential is wasted. As it is disseminated at different places in cities it can reduce costs with water transport and permit water preservation of best quality. Some of its utilities include use in green areas irrigation, industrial among them cooling towers and boiler, soil compaction, cleaning urban road, pisciculture and fire fighting system. The quality of this water is influenced by unauthorized sewage in the drainage system. This study was performed in six detention and infiltration ponds at the drainage system of Natal, which aim was to verify the non-potable use of these ponds in an urban environment. An indirect aim would be to incentivize the water utilization of these ponds as a water source for other uses in an urban environment. These ponds represent the characteristics of detention and infiltration of Natal city and consequently of Brazil. As for the water quality, the ponds present the following characteristics: three have apparently good quality, others showed intermediate condition and two had water polluted. Were performed twenty samples in each pond and the following parameters assessed: pH, temperature, dissolved oxygen, turbidity, electrical conductivity, coliform thermotolerant, ammonia, organic nitrogen, TKN, nitrate, total phosphorus and alkalinity, bicarbonate, chloride, total hardness, calcium and magnesium hardness, total solids, TSS, TDS, COD and SAR°. For utilization in pisciculture we recommend use in ponds which present the best quality. Only one pond presented higher pollutants and it is not being appropriated for use in cooling tower. The content of solids suspension restricted the water use in all ponds in boilers. As for water use in soil compaction, cleaning urban road and fire fighting system the water from these ponds is not appropriated. However, the recommended limits from literature are for domestic sewage, due to this, the parameters are restrictive to diminish the sanitary risk that could be offered with its utilization. The infiltration velocity of water in these assessed ponds restricts a moderate use, however the effects are potentiated only in soil less sandy, which does not occur in Natal. It is recommended the unrestricted irrigation utilization in ponds with best quality of water, and a restricted irrigation to ponds with worst quality of water. As for load of pollutants, it is recommended a complementary treatment in those ponds with higher load to diminish sanitary risks. In only one pond was found one helminth egg and due to the conversion formula of results, it was found for all ponds less than 1 helminth/liter eggs.

Key words: Reuse water; Stormwater; Water quality; Non-potable urban use; Detention and infiltration ponds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vistas da cisterna construída em Tóquio. A, B, C e D) Cisterna construída em Tóquio com canalizações de 32 m de diâmetro, conectadas por 64 km de túnel	21
Figura 2: Exemplo de dispositivo para desvio dos primeiros milímetros de água de chuva.....	22
Figura 3: Exemplo de acúmulo de resíduos sólidos em lagoa de retenção e infiltração (lagoa da Petrobrás) de Natal/RN. Destaque em vermelho.....	25
Figura 4: A) Lagoa do Makro, sem estruturas de urbanização; B) Lagoa da Petrobrás, com estrutura de urbanização.....	26
Figura 5: Lançamento de água residuária em lagoa de retenção (lagoa do Preá) em Natal. Destaque em vermelho.....	30
Figura 6: A) Inclinação de talude e ausência de rampas de acesso na lagoa de Alagamar; B) Inclinação de taludes da lagoa da Petrobrás.....	31
Figura 7: Evidência de acúmulo de resíduos sólidos na lagoa do Makro.....	32
Figura 8: Distribuição das bacias nas zonas leste, oeste e sul do município de Natal.....	62
Figura 9: Imagens da lagoa do CTG. A) e B) Aspecto geral da lagoa. Alguns usos observados para as águas da lagoa: C) Recreação de contato primário; D) Pesca de peixes; E) e F) Retirada de água para uso na construção civil em controle de poeira.....	64
Figura 10: Lagoa do Makro. A) a D) Aspectos gerais; E) Imagem aérea da lagoa; F) Imagem da lagoa do Makro com ausência de proteção em um de suas margens....	66
Figura 11: Imagens da lagoa Manoel Felipe. A) e B) Aspecto geral; C) Deposição de areia retirada do fundo da lagoa. Destaque em vermelho; D) Ligação existente entre a lagoa Manoel Felipe e o Canal do Baldo; E) Imagem aérea da lagoa, e em destaque o Canal do Baldo.....	68
Figura 12: Visualização de vegetação crescida nos taludes e presença de macrófitas na água da lagoa de Alagamar.....	70
Figura 13: Lagoa de Alagamar, e em destaque a estação elevatória de esgotos situada na sua área interna.....	70
Figura 14: Imagens da lagoa da Petrobrás. A) Imagem aérea do sistema de lagoas da Petrobrás, com seta vermelha indicando a lagoa estudada; B) e C) Aspectos gerais da lagoa; D) Inclinação de taludes, formação de banco de areia, e presença de resíduos sólidos.....	72
Figura 15: Imagens da lagoa do Preá. A) e B) Chegada de água servida na lagoa; C) Imagem aérea da lagoa do Preá; D) Imagem da lagoa.....	74
Figura 16: Captação de água na caixa de saída de água da lagoa de Alagamar.....	78
Figura 17: Organograma do teste estatístico realizado.....	85
Figura 18: A) e B) Histograma de frequência, evidenciando comportamento normal para os parâmetros pH e temperatura respectivamente, para todas as lagoas agrupadas.....	89
Figura 19: A) Gráfico de pH evidenciando que não foi observada diferença significativa entre as lagoas estudadas; B) Gráfico de temperatura para as lagoas estudadas evidenciando diferença significativa para os dados das lagoas do Preá e Manoel Felipe.....	90
Figura 20: Box da concentração de oxigênio dissolvido observada nas águas das lagoas estudadas.....	91
Figura 21: Box da concentração de turbidez observada nas águas das lagoas estudadas.....	93

Figura 22: Box da concentração de condutividade elétrica observada nas águas das lagoas estudadas	94
Figura 23: Box da concentração do \log_{10} Cter nas águas das lagoas estudadas	95
Figura 24: Porcentagem e distribuição das frações de NTK (medianas) das lagoas estudadas, em dois diferentes grupos de distribuição.....	99
Figura 25: Box da concentração de nitrogênio amoniacal observada nas águas das lagoas estudadas	100
Figura 26: Box da concentração de nitrogênio orgânico observada nas águas das lagoas estudadas	101
Figura 27: Box da concentração de nitrato observada nas águas das lagoas estudadas.....	101
Figura 28: Box da concentração de fósforo total observada nas águas das lagoas estudadas.....	102
Figura 29: Box da concentração de alcalinidade total observada nas águas das lagoas estudadas	104
Figura 30: Box da concentração de cloretos observada nas águas das lagoas estudadas.....	105
Figura 31: Box da concentração de dureza total observada nas águas das lagoas estudadas.....	106
Figura 32: Porcentagem e distribuição das frações de dureza total das lagoas estudadas, considerando dois diferentes grupos de distribuição	106
Figura 33: Box da concentração de sólidos totais observada nas águas das lagoas estudadas.....	107
Figura 34: Porcentagem e distribuição das frações de sólidos totais das lagoas estudadas, considerando dois diferentes grupos de distribuição	108
Figura 35: Box da concentração de sólidos em suspensão totais observada nas águas das lagoas estudadas.....	108
Figura 36: Porcentagem e distribuição das frações de sólidos em suspensão considerando a mediana, em dois agrupamentos distintos.....	109
Figura 37: Box da concentração de sólidos dissolvidos observada nas águas das lagoas estudadas	110
Figura 38: Box da concentração de DQO observada nas águas das lagoas estudadas.....	111
Figura 39: Box da concentração de RAS° observada nas águas das lagoas estudadas.....	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Qualidade de esgoto sanitário para reúso urbano não potável	36
Quadro 2: Qualidade de água para reúso urbano irrestrito não potável, e em sistemas semi-abertos de resfriamento proposto pela SABESP	37
Quadro 3: Padrão de qualidade de água doce estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05.....	40
Quadro 4: Padrão de salinidade em função do teor de SDT	42
Quadro 5: Concentrações típicas de sólidos em esgoto doméstico bruto	43
Quadro 6: Concentração de Ca ^o obtida através da condutividade elétrica e da relação entre bicarbonato e cálcio da água.....	45
Quadro 7: Diretrizes para interpretar a qualidade de água usada em irrigação	46
Quadro 8: Tolerância do cloreto de algumas espécies de fruteiras.....	49
Quadro 9: Padrões de qualidade de água para utilização em pesca e aquicultura, de acordo com a Resolução CONAMA 357/05	54
Quadro 10: Padrões de qualidade de água para utilização em piscicultura propostos por estudos no âmbito do PROSAB	55
Quadro 11: Qualidade de água recomendada para torres de resfriamento	56
Quadro 12: Qualidade de água recomendada para caldeiras	57
Quadro 13: Risco de infecção em diferentes cenários de exposição a irrigação com esgoto sanitário	59
Quadro 14: Resumo das principais características das lagoas de detenção e infiltração estudadas	75
Quadro 15: Parâmetros analisados e seus respectivos métodos de determinação ..	77
Quadro 16: Tipos de recipientes e volumes coletados de amostra	79
Quadro 17: Valores de medianas ou médias, desvio padrão, e mínimos e máximos encontrados para os parâmetros analisados.....	87
Quadro 18: Esquema representativo das diferenças observadas entre as águas das lagoas em relação à concentração de OD	90
Quadro 19: Esquema representativo das diferenças observadas entre as águas das lagoas em relação à concentração de turbidez	92
Quadro 20: Esquema representativo das diferenças observadas entre as águas das lagoas em relação à concentração de coliformes termotolerantes.....	95
Quadro 21: Esquema representativo das diferenças observadas entre as águas das lagoas em relação à concentração de NTK.....	98
Quadro 22: Esquema representativo das diferenças observadas entre as águas das lagoas em relação à concentração de RAS ^o	112
Quadro 23: Classificação das águas das lagoas para uso na irrigação, considerando-se a velocidade de infiltração	114
Quadro 24: Resumo das possibilidade de uso urbano não potável aplicáveis as lagoas estudadas	115

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte

CEa – Condutividade Elétrica

CTer – Coliformes Termotolerantes

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DBO – Demanda Biológica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

E. Coli – *Escherichia Coli*

LARHISA – Laboratório de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

MS – Ministério da Saúde

NBR – Normas Brasileiras

NMP – Número Mais Provável

NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl

OD – Oxigênio Dissolvido

PDDMAP – Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da Cidade do Natal

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

UFC – Unidade Formadora de Colônia

RAS – Razão de Adsorção do Sódio

SD – Sólidos Dissolvidos

SSF – Sólidos Suspensos Fixos

SST – Sólidos Suspensos Totais

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

STF – Sólidos Totais Fixos

STV – Sólidos Totais Voláteis

ZPA – Zona de Proteção Ambiental

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 HIPÓTESES E OBJETIVOS	17
2.1 HIPÓTESES	17
2.2 OBJETIVO GERAL	17
2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1 ÁGUA PLUVIAL COMO RECURSO HÍDRICO	18
3.1.1 Dispositivos de Acumulação de Água de Chuva	21
3.1.1.1 Cisternas	21
3.1.1.2 Valas de Infiltração	23
3.1.1.3 Lagoas de Detenção e Infiltração	23
3.2 SITUAÇÃO ATUAL DO SANEAMENTO E SISTEMA DE DRENAGEM DE NATAL	27
3.2.1 Abastecimento de Água	27
3.2.2 Esgotos Sanitários	29
3.2.3 Coleta e Disposição Final dos Resíduos Sólidos	30
3.3 REÚSO DE ÁGUA	32
3.4 USOS URBANOS NÃO POTÁVEIS	34
3.4.1 Uso Urbano Não Potável Irrestrito	36
3.4.2 Uso Urbano Não Potável Restrito	38
3.5 PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA	39
3.6 PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO	41
3.6.1 Salinidade	42
3.6.2 Infiltração e RAS°	44
3.6.3 Toxicidade por Íons Específicos	47
3.6.3.1 Cloretos	48
3.6.3.2 Sódio	50
3.6.4 Excesso de Nutrientes	50
3.7 PARÂMETROS E PADRÕES PARA REÚSO DE ÁGUA EM PISCICULTURA ..	51
3.8 PARÂMETROS PARA REÚSO DE ÁGUA EM INDÚSTRIA	55
3.9 REÚSO DE ÁGUA EM ÁREAS VERDES DESTINADAS A PRÁTICAS ESPORTIVAS	57
3.10 RISCOS SANITÁRIOS	58
4 MATERIAL E MÉTODOS	61
4.1 ÁREA DE ESTUDO	61
4.1.1 Lagoa do CTG	62
4.1.2 Lagoa do Makro	65

4.1.3 Lagoa Manoel Felipe	67
4.1.4 Lagoa de Alagamar	69
4.1.5 Lagoa da Patrobrás	71
4.1.6 Lagoa do Preá	72
4.2 MÉTODOS	76
4.3 ANÁLISES LABORATORIAIS	76
4.3.1 Procedimento e Frequência de Coleta	76
4.4 MÉTODOS ANALÍTICOS USADOS E TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS	80
4.4.1 Métodos Analíticos	80
4.4.1.1 Oxigênio Dissolvido	80
4.4.1.2 DQO	80
4.4.1.3 Turbidez	80
4.4.1.4 Temperatura	80
4.4.1.5 Fósforo Total	81
4.4.1.6 Coliformes Termotolerantes	81
4.4.1.7 Contagem de Ovos de Helmintos	81
4.4.1.8 Cloretos	82
4.4.1.9 Condutividade Elétrica	82
4.4.1.10 Dureza	83
4.4.1.11 NTK	83
4.4.1.12 Nitrato	83
4.4.1.13 Alcalinidade Total	83
4.4.1.14 Sólidos Totais, em Suspensão e Dissolvidos	84
4.4.2 Tratamento Estatístico dos Dados	84
5 RESULTADOS	86
5.1 OXIGÊNIO DISSOLVIDO	90
5.2 TURBIDEZ	92
5.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA	94
5.4 COLIFORMES TERMOTOLERANTES	95
5.5 OVOS DE HELMINTOS	97
5.6 NTK	98
5.7 NITROGÊNIO AMONIACAL	99
5.8 NITROGÊNIO ORGÂNICO	100
5.9 NITRATO	101
5.10 FÓSFORO TOTAL	102
5.11 ALCALINIDADE TOTAL	103
5.12 CLORETOS	104

5.13 DUREZA TOTAL	105
5.14 SÓLIDOS TOTAIS	107
5.15 SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS	108
5.16 SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS	109
5.17 DQO	110
5.18 RAS° E VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO.....	112
5.19 SÍNTESE DOS RESULTADOS	114
6 CONCLUSÕES	119
7 PROPOSTA DE REGULAMENTAÇÃO.....	121
REFERÊNCIAS.....	122

1 INTRODUÇÃO

Tem sido desprezado o potencial de aproveitamento de águas do sistema de drenagem armazenadas em lagoas de retenção e infiltração, seja pelo desconhecimento de suas possíveis aplicações no meio urbano, ou por ações que não promovam a preservação das suas qualidades como, por exemplo, o lançamento de esgotos clandestinos na rede de drenagem.

No meio urbano as lagoas de retenção e infiltração integram o sistema de macrodrenagem e, em geral, possuem a função de proteger uma determinada população dos transtornos causados por enchentes.

O reaproveitamento de água das lagoas de retenção e infiltração do sistema de drenagem destaca-se como uma alternativa interessante de reaproveitamento de água no meio urbano, resolvendo não só problemas relacionados a enchentes e inundações, como também, contribuindo para a conservação de fontes de água potável para fins nobres. Para tal, é necessário que a qualidade seja compatível com o uso proposto ou pretendido.

Segundo Melo e Andrade Neto (2007), a água de chuva geralmente apresenta boa qualidade química, podendo ser, portanto, aproveitada em várias situações, como irrigação, refrigeração, caldeiras, diluições, lavagens etc. Entretanto, a água de chuva desde o seu contato com a atmosfera, no processo de precipitação, passando pelo escoamento na superfície, até alcançar o corpo receptor sofre variação de qualidade em função do carreamento de substâncias presentes tanto na atmosfera quanto na superfície por onde percorre.

Sendo assim, as águas acumuladas em lagoas de retenção e infiltração em distintos pontos de acumulação podem ser bastante diversificadas, podendo apresentar compatibilidade com usos também distintos.

São várias as possibilidades de utilização destas águas no meio urbano, como por exemplo, irrigação de parques, jardins, vegetação de praças, áreas verdes de cemitérios, canteiros centrais de autovias, limpeza de vias públicas etc.

Em Natal há a formação de bacias de drenagem fechadas, com conversão do fluxo gerado para depressões que se transformam em lagoas em períodos de forte precipitação. Tais características são função do relevo ondulado de formação de

dunas e das condições do litoral da cidade. Existe um grande número de lagoas de retenção e infiltração espalhadas pela cidade. A localização destas lagoas, quase sempre situadas próximas às áreas de utilização, pode representar diminuição de custos com o transporte de água. Além disso, o uso de tais águas, que são geralmente desperdiçadas, implica na economia de água potável.

Dessa maneira, propõe-se uma nova abordagem para as águas de drenagem acumuladas nas lagoas de retenção e infiltração: utilização das águas acumuladas nestes dispositivos no meio urbano, aumentando assim, a fonte de água necessária para suprir a demanda requerida em utilizações não potáveis.

Em se tratando da água armazenada em lagoas de retenção e infiltração, considera-se a sua qualidade variável e relacionada com a ocupação da bacia, tanto no que se refere à área ocupada quanto ao tipo de ocupação (FERREIRA, 2008; RIGHETTO, A. M.; MOREIRA, L. F.F.; SALES, T. E. A., 2009), ou seja, quanto maior a área de ocupação e maior o potencial contaminante das atividades exercidas na bacia, maiores são as possibilidades de incorporação de contaminantes às águas armazenadas nas lagoas do sistema de drenagem.

O Brasil não dispõe de regulamentos que estabeleçam a reutilização de águas, apesar de avanços serem observados nessa área. Muitas recomendações adotadas são baseadas em estudos internacionais. Entretanto, é preciso que seja incorporado ao processo de gestão de águas, inclusive a partir do reúso, ações de monitoramento de qualidade de água para que sejam estabelecidos os padrões adequados às características e condições existentes no Brasil. Enquanto tais regulamentos específicos para o país não são estabelecidos, é importante que sejam observados resultados de estudos e padrões de qualidade de água para que estes possam, de certa forma, nortear a utilização de águas das lagoas de drenagem.

Várias são as possibilidades de reúso de água, seja no meio urbano ou meio rural. No presente trabalho será dada uma abordagem para o reúso urbano não potável, que pode ser considerado aquele que não necessita receber tratamento tão exigente quanto o necessário para reúso de água para beber, preparo de alimentos e irrigação de hortaliças e vegetais consumidos crus, ou em higiene pessoal, por exemplo. Ademais, este trabalho vem apresentar um primeiro passo no processo de

aproveitamento das águas armazenadas em lagoas de infiltração e retenção: informação acerca da qualidade destas.

Por ser de fundamental importância as ações que visem uma gestão sustentável de águas pluviais, assim como preservação de águas tanto superficiais quanto subterrâneas, o uso planejado de águas de lagoas de retenção e infiltração, para fins urbanos não potáveis, possuem como vantagens:

- Preservação de águas de melhor qualidade para fins mais nobres;
- Possibilidade de redução de custos com aquisição e/ou transporte de água;
- Melhorar os aspectos visuais do meio urbano por meio da expansão de áreas verdes.

2 HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1 HIPÓTESES

- As águas das lagoas de retenção e infiltração do sistema de drenagem possuem qualidade que permitem utilização das mesmas para fins urbanos não potáveis;
- A água das lagoas do sistema de drenagem apresenta qualidade variável, e, portanto, os usos propostos para as mesmas devem ser distintos;
- A diferença na qualidade das águas das lagoas é função da ocupação da bacia onde estão inseridas, e da condição de saneamento existente na região contribuinte.

2.2 OBJETIVO GERAL

Verificar a adequação e viabilidade do uso urbano não potável da água de lagoas de retenção e infiltração, situadas na cidade de Natal.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar qualitativamente a água de seis lagoas de retenção e infiltração que são representativas da qualidade das águas de lagoas em Natal;
- Indicar quais as possibilidades de uso urbano não potável para a água de cada uma das lagoas, a partir do conhecimento das suas características;
- Averiguar se uma das lagoas analisadas, que possui utilização recreativa, apresenta compatibilidade com o uso.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ÁGUA PLUVIAL COMO RECURSO HÍDRICO

A utilização de água pluvial como recurso hídrico tem sido colocada num plano secundário e, dessa forma, tem-se desperdiçado essa fonte de água que muitas vezes é adequada para o consumo humano direto, ou requer simplificados processos de tratamento. Estudos apontam a viabilidade de uso da água de chuva, por exemplo, na diluição de águas salobras; dessedentação de animais; diversos usos domésticos; usos na construção civil; em alguns casos para uso potável, etc.

Os deflúvios decorrentes de chuvas intensas em áreas urbanas podem ser direcionados para dispositivos de armazenamento, e receber tratamento para posterior utilização no meio urbano. Nos próprios reservatórios, com a retenção temporária do volume de chuva escoado, é possível contribuir com a melhoria qualitativa da água armazenada. Obviamente medidas de tratamento e proteção mais eficientes podem ser necessárias às águas armazenadas, na medida em que se pretende melhorar a qualidade destas, e aumentar as possibilidades de uso.

É possível afirmar que nos reservatórios são armazenados consideráveis volumes de água que não são utilizados, e desperdiçados constantemente. Esse desperdício é relacionado ao manejo de águas pluviais que é associado quase exclusivamente apenas para ações que visam à diminuição dos efeitos indesejáveis das enchentes, que se intensificam devido à intensa impermeabilização do solo e/ou ocupação de calhas secundárias de rios.

Em regiões com grande escassez de água, como o semiárido brasileiro, o manancial meteórico é a principal fonte de água, e algumas soluções são encontradas para aproveitamento da água de chuva. Entretanto, é preciso que a população dessa região adote medidas de proteção sanitária para garantir o consumo seguro de água.

As medidas que devem ser adotadas são função do conhecimento de que os primeiros milímetros de chuva é que apresentam as piores qualidades de água, e os maiores riscos de contaminação.

Andrade Neto (2010) mostra em estudo que os primeiros milímetros da água de chuva exercem influência na qualidade da água captada em cisternas, assim como, propõe dispositivo simples e eficiente para o descarte dos primeiros milímetros de água precipitados.

A superfície de captação da água de chuva, assim como, características atmosféricas da região onde está havendo a captação exercem forte influência no processo de contaminação da água armazenada em cisternas.

Estudo realizado no âmbito do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) em Vitória (ES) mostrou variação da qualidade de água ao se comparar amostras coletadas da atmosfera e outras coletadas após a água da chuva passar por superfície de captação. Após passagem pela superfície de captação houve a seguinte variação dos parâmetros: turbidez de 0,9 para 1,4 UT; DQO de 8,9 para 32,2 mg/L; cloretos de 4,1 para 14,5 mg/L; dureza de 8,4 para 19,8 mg/L; sólidos dissolvidos totais de 39,6 para 57,9 mg/L (PHILIPPI *et al.*, 2006).

Melo e Andrade Neto (2007) realizaram estudo e mostraram a interferência da atmosfera de pontos distintos da cidade de Natal (RN) na qualidade da água de chuva, assim como, concluíram que após o terceiro milímetro de chuva a característica da água teve melhoras consideráveis.

Estudo realizado em duas lagoas de retenção e infiltração em Natal visou a verificação da variação da qualidade da água de chuva ao longo de eventos chuvosos. Para este estudo não foi possível observar claramente a tendência de decaimento nas concentrações dos parâmetros monitorados, especialmente em função dos mostradores utilizados que requereram ajustes (RIGHETTO *et al.*, 2009).

Independente do dispositivo de acumulação é importante que haja uma separação dos milímetros de água que carregam o maior aporte de contaminantes, e que favorecem os maiores riscos de contaminação das águas de chuva. Seja em cisternas ou dispositivos com maior capacidade de acumulação, como as lagoas de retenção e infiltração ou outros, o desvio destes milímetros permite a obtenção de água de melhor qualidade e amplia a possibilidade de utilização destas.

Alguns estados brasileiros já instituíram legislações sobre a coleta de água de chuva, com o objetivo principal de contenção de enchentes. Entretanto, indiretamente a conservação da água e seu uso racional são previstos. Dessa maneira, tais legislações contribuem para incentivar o uso produtivo de água de chuva para alguns usos, em substituição a outra fonte de água.

Em São Paulo, a Lei Nº 13.276/02 e no Rio de Janeiro, o Decreto Municipal Nº 23.940/04, estabelecem que empreendimentos com áreas impermeabilizadas acima de 500 m² devem coletar a água de chuva e direcioná-la para reservatórios que retardem o escoamento superficial, com posterior infiltração no solo, lançamento

na rede de drenagem ou para ser direcionada a outro reservatório para ser utilizada em fins não potáveis.

Em Curitiba, a Lei Nº 10.785/03 dispõe sobre os critérios do uso e conservação racional da água em edificações, além de outras providências. Dentre os critérios, cita-se a conservação e uso racional da água, com uso de aparelhos economizadores de água, medição individualizada do consumo em apartamentos, captação e armazenamento de águas de chuva em cisterna para uso em fins que não exijam qualidade de água tratada, como por exemplo, irrigação de jardins e hortaliças, lavagem de roupa, veículos, vidros, calçadas e pisos.

Ademais, instituições como a International Rainwater Catchment Systems Association - IRCSA, a American Rainwater Catchment Systems Association - ARCSA, e a Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva – ABCMAC realizam encontros e congressos para discussão e apresentação de estudos sobre o aproveitamento de água de chuva.

Ao se gerenciar o uso das águas de chuva, utilizando-as no meio urbano ou rural, tem-se vantagens econômicas, ambientais e também sociais. As vantagens econômicas estão relacionadas à possibilidade de redução dos custos com transporte de água, uma vez que o consumo se dá no mesmo local de armazenamento; ambientalmente é uma boa alternativa por possibilitar a redução do uso de águas de mananciais subterrâneos ou superficiais, reservando o uso desses para fins mais nobres; e é socialmente vantajoso porque pode promover solução difusa e independente de abastecimento de água para as populações (ao utilizar água de chuva como fonte de abastecimento de água humano).

A percepção de uma, senão das três vantagens citadas anteriormente, tem motivado a utilização de águas de chuva em países como Alemanha, EUA, China e Japão para diversos fins.

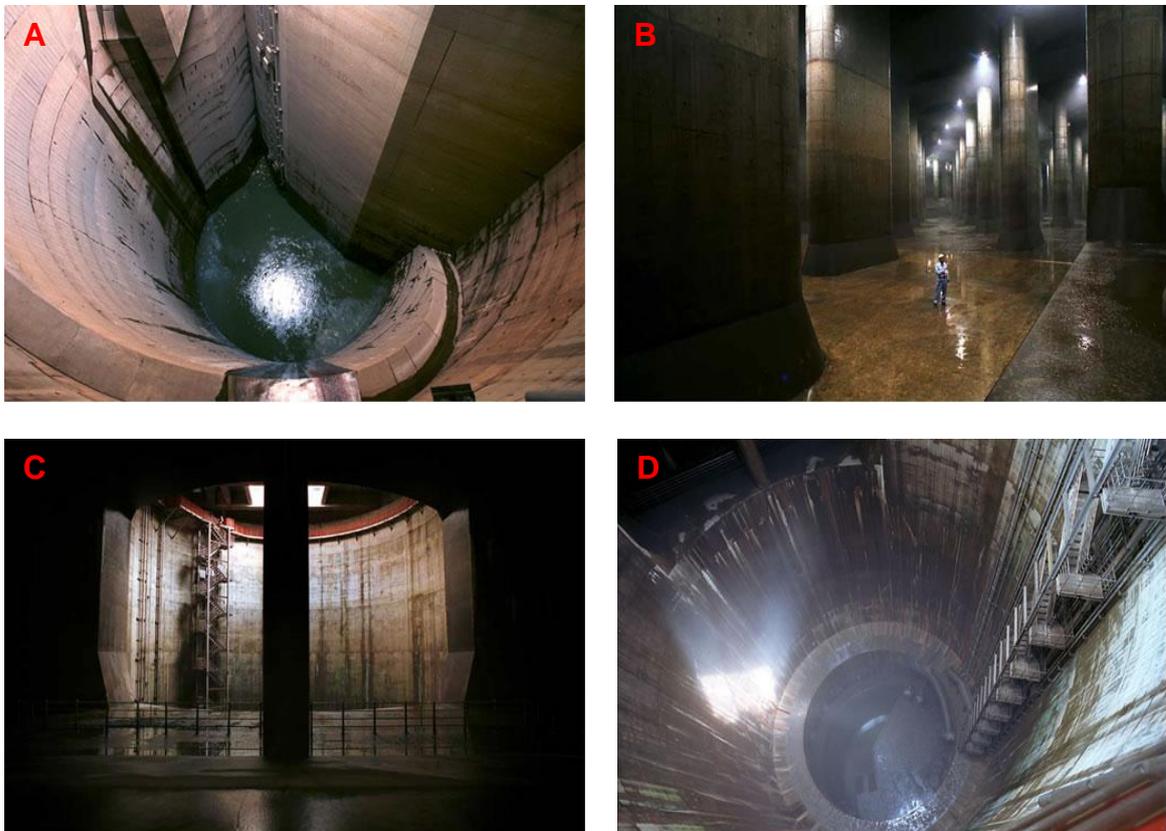
3.1.1 Dispositivos de Acumulação de Água de Chuva

3.1.1.1 Cisternas

As cisternas são dispositivos de acumulação da água de chuva que percorre os telhados, e que são direcionadas para o interior das mesmas através de calhas. É uma tecnologia milenar, mas que ainda vem sendo bastante difundida pelo mundo, a exemplo de países como China, Alemanha, Brasil, etc, que promoveram programas internos para instalação e disseminação das mesmas em seus territórios.

As cisternas muitas vezes são erroneamente associadas à alternativa construtiva de país pobre ou subdesenvolvido. Entretanto, a utilização de cisternas é capaz de solucionar tanto problemas individuais quanto problemas que atingem maiores escalas, além de poderem ser construídas utilizando modernas técnicas construtivas. Como exemplo tem-se uma gigantesca cisterna construída em Tóquio (Figura 1) que servirá não apenas para evitar inundações, transbordamento de grandes rios, como também para o consumo humano após tratamento (PLÍNIO, 2010).

Figura 1 – Vistas da cisterna construída em Tóquio. A) B, C e D) Cisterna construída em Tóquio com canalizações de 32 m de diâmetro, conectadas por 64 km de túnel.

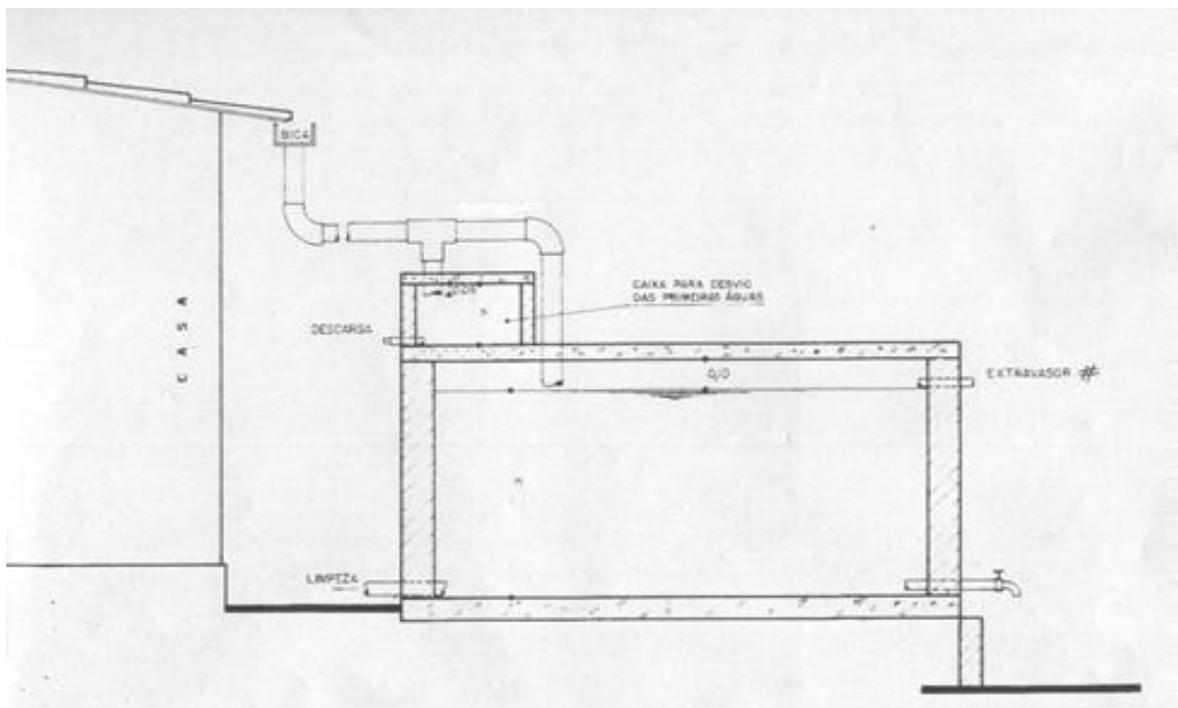


Fonte: PLÍNIO (2010).

Especificamente no Brasil, na sua grande maioria, a destinação dada às águas armazenadas em cisternas é o consumo humano, e estão principalmente localizadas na região semiárida. É justamente o uso proposto comumente para essas águas que deve determinar a qualidade a ser conservada ou atingida. Para as águas armazenadas em cisternas os problemas de contaminação são relacionados principalmente à superfície de captação (telhados), contaminação na atmosfera e contaminação ocasionada no manuseio dessa água.

Andrade Neto (2004) propõe dispositivo para desvio automático das primeiras águas de chuva que serão acumuladas em cisternas, retirando assim, da linha de fluxo a água que representa maior possibilidade de contaminação (Figura 2). Trata-se de um tanque construído para receber os primeiros milímetros precipitados, através de um “tê” instalado na entrada da cisterna, que direciona o fluxo de água inicialmente para o tanque, e após este ser preenchido, a água é encaminhada para a cisterna. A água armazenada neste dispositivo pode ser usada para fins menos nobres, e a perda em volume é pequena.

Figura 2 – Exemplo de dispositivo para desvio dos primeiros milímetros de água de chuva.



Fonte: ANDRADE NETO (2004).

3.1.1.2 Valas de Infiltração

Outro dispositivo para armazenamento de águas de chuva são as valas de infiltração, mas diferentemente das cisternas, e como o próprio nome sugere, as valas de infiltração servem para infiltrar a água de chuva no solo, e em geral o seu uso é associado à contenção de efeitos danosos de enchentes e inundações. São comumente usadas paralelas às ruas, estradas, estacionamentos, conjuntos habitacionais, e outros. Nelas há um armazenamento do fluxo gerado nas adjacências, e a infiltração ocorre ao longo do seu comprimento. O seu volume deve ser tal que não ocorra alagamento, em períodos de precipitação intensa. Nos períodos secos, este reservatório mantém-se seco.

Esses dispositivos consistem em pequenos barramentos que desaceleram o escoamento, aumentam o tempo de retenção e, conseqüentemente, aumentam a capacidade de infiltração. É possível comentar também que possivelmente a retenção da água armazenada exerce influência sobre a qualidade desta ao longo do tempo.

Silva *et al.*, (2010) mostraram, em estudo realizado em Belo Horizonte, a possibilidade de controle de escoamento e também de poluentes durante o período chuvoso nas valas de infiltração. Foi possível perceber nesse estudo a redução de carga proveniente de sistemas rodoviários, principalmente de material suspenso, metais pesados e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs).

3.1.1.3 Lagoas de Detenção e Infiltração

Dentre os dispositivos com grande capacidade de acumulação citam-se as lagoas de retenção e infiltração.

São estruturas abertas construídas para retenção do escoamento que é gerado na bacia, seguidas muitas vezes ou de lançamento na rede de drenagem situada à jusante, ou seguida de retenção dessas águas com infiltração percentual das mesmas. Dessa forma, tem-se um controle maior do fluxo de água, e atenuação dos efeitos provocados pela impermeabilização no meio urbano. Podem possuir, dependendo do uso que se propõe destinar as águas, um dispositivo de tratamento das águas, tanto à montante da rede de drenagem quanto no local de lançamento no corpo receptor.

Segundo SEMOPI (2009),

Lagoas de retenção e infiltração são estruturas que acumulam temporariamente as águas pluviais com a função de amortecer as vazões de cheias e reduzir os riscos de inundações a jusante. Quando mantido seco na estiagem, o reservatório é chamado de reservatório (ou bacia) de retenção. Quando o reservatório mantém um volume permanente de água, é chamado de reservatório (ou bacia) de retenção.

Em uma definição mais abrangente pode-se comentar que as lagoas de retenção possuem a finalidade de estocagem temporária das águas, permitindo um rearranjo temporal das vazões; as lagoas de retenção tem a finalidade de infiltrar as águas pluviais, determinando um volume de escoamento nulo à jusante; e as lagoas de retenção e infiltração, mantêm características das duas, infiltrando partes das águas escoadas e reduzindo o volume à jusante.

O fato das lagoas de retenção ou retenção e infiltração acumularem água, mantendo um volume de água permanente, ou com percentual de redução por evaporação, faz com que nestes dispositivos haja uma eficiência no tratamento da água armazenada, uma vez que a água escoada é armazenada, havendo, por exemplo, sedimentação de sólidos. Dessa forma, além da função clara de atenuação dos impactos de enchentes nos ambientes urbanos, as lagoas de retenção e infiltração, apesar de em alguns casos só armazenarem água nos períodos chuvosos, reservam grandes quantias de água que podem ser utilizadas, exercendo assim, um papel secundário, mas não menos importante de fonte de água.

Entretanto, ligações clandestinas de esgotos na rede de drenagem podem ser capazes de promover contaminação dessas águas. Porto, Martins e Armelin (2009) realizaram estudo em reservatórios de contenção de cheias em São Paulo, numa região atendida por rede de esgoto, e constataram que não se confirmava a hipótese de que a precipitação era a única ocorrência que afeta a concentração de constituintes da poluição. O aporte de contaminantes mesmo em períodos sem precipitação era responsável por estabelecer quadro de contaminação.

As seguintes vantagens podem ser apontadas para as lagoas de drenagem: melhorias no microclima local; possibilidade de utilização da área das lagoas nos períodos secos como campos para atividades esportivas; e recarga do aquífero. Como desvantagens pode-se mencionar a necessidade de manutenção constante

para evitar obstrução, por resíduos sólidos lançados nas vias públicas, dos dispositivos de entrada e saída (Figura 3); ocupação de grandes áreas; risco de proliferação de insetos e doenças transmitidas por estes nas áreas próximas às lagoas.

Especificamente em relação à proliferação de vetores pode-se comentar sobre a dengue e seu agente transmissor, que encontra nas águas das lagoas de detenção e infiltração condições ideais para o seu desenvolvimento por apresentarem água limpa (exceto as lagoas que recebem contribuição de esgoto), parada (especialmente nas lagoas que funcionam com detenção e manutenção de lâmina d'água constante), e com elevada temperatura.

Em Natal o controle efetuado nas lagoas de detenção para evitar a proliferação do *Aedes aegypti* é através de carros do tipo fumacê que aplicam veneno nas ruas que circundam as lagoas.

Ademais as condições encontradas nas lagoas também são propícias para a proliferação de muriçocas, e para o controle destas é necessária à retirada de lixo acumulado e redução de vegetação.

Figura 3 – Exemplo de acúmulo de resíduos sólidos em lagoa de detenção e infiltração (lagoa da Petrobrás) de Natal/RN. Destaque em vermelho.



Fonte: Foto da autora.

Em relação à estrutura de revestimento dos taludes, recomenda-se a aplicação de colchão Reno, placas pré-moldadas de concreto porosas com aberturas que permitam a infiltração, sempre aplicadas sobre manta geo-têxtil.

Em Natal existem trinta e cinco lagoas de detenção e infiltração, distribuídas pelas quatro zonas da cidade; dezenove destas dispõem de dispositivo de

bombeamento das águas acumuladas para bacias maiores, onde se localizam os drenos naturais, como cursos naturais e o mar.

Algumas lagoas já foram construídas inseridas em projetos de urbanização, contemplando arborização do entorno, acessibilidade, iluminação, instalação de bancos, lixeiras, etc. Em outras lagoas que ainda não foram urbanizadas, aproveitou-se as depressões naturais ou existência de parque no entorno para instalação das mesmas (Figura 4).

Figura 4- A) Lagoa do Makro, sem estruturas de urbanização; B) Lagoa da Petrobrás, com estrutura de urbanização.



Fonte: Fotos da autora.

Alguns estudos são realizados em lagoas de detenção e infiltração que serão utilizados como referência para a qualidade de água de chuva armazenada nestes dispositivos.

Righetto *et al.*, (2009) realizaram estudo em uma lagoa de infiltração em Natal e obtiveram aproximadamente os seguintes valores medianos: pH de 7,2; condutividade elétrica de 95,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 25,7 mg/L de DQO; nitrato de 0,9 mg/L e coliformes termotolerantes de $1,7 \times 10^3$ UFC/mL. Para este estudo foi utilizado coletor automático (modelo ISCO 6712), e foi constatada dificuldade no monitoramento em razão da ausência de sensor medidor de vazão que acompanhasse o amostrador automático utilizado.

Porto, Martins e Armelin (2009) constataram os seguintes valores médios em águas de reservatório de contenção de cheias em São Paulo: DQO entre 50 e cerca de 150 mg/L, e coliformes termotolerantes aproximadamente entre 5×10^5 e $1,5 \times 10^6$ UFC/100 mL.

Campana, Bernardes e Silva Júnior (2007) realizaram estudo em duas lagoas de detenção e retenção em Brasília. Numa das lagoas, a alagada, constataram os

seguintes valores médios para os parâmetros de qualidade das águas: pH de 6,7; condutividade elétrica de 60, 88 $\mu\text{S}/\text{cm}$; DQO de 55,3 mg/L; sólidos suspensos de 95,1 mg/L; nitrato igual a 1,1 mg/L e coliformes termotolerantes de 7×10^4 UFC/100 mL.

3.2 SITUAÇÃO ATUAL DO SANEAMENTO E SISTEMA DE DRENAGEM DE NATAL

Para que se comente sobre as questões relevantes da drenagem urbana do município é necessário estabelecer as relações existentes entre os outros patamares do saneamento básico. Dessa maneira, procura-se fazer um levantamento da atual situação do saneamento em Natal, evidenciando características e problemas relacionados ao abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, e coleta e disposição final de resíduos sólidos.

Nascimento e Heller (2005) tecem comentários a respeito de temas que representem potencial de inovação no saneamento, assim como soluções de problemas atuais do contexto brasileiro entre recursos hídricos e saneamento. Dentre eles destaca-se: a baixa cobertura de sistemas de coleta e tratamento de esgotos a nível nacional, o que acarreta muitas vezes em lançamentos indevidos de esgotos na rede de drenagem; a urbanização que contribui com a impermeabilização de extensas áreas no meio urbano; presença de resíduos sólidos não coletados que depositados em locais indevidos oferecem riscos de poluição física, química e biológica, além de produzirem distúrbios ao funcionamento de estruturas de drenagem quando carregados por água de escoamento pluvial.

3.2.1 Abastecimento de Água

Cerca de 99% (SEMOPI, 2009) dos domicílios do município dispõem de sistema de abastecimento de água, através da captação, adução e tratamento de água das lagoas do Jiqui e de Extremoz, e da captação de água de poços tubulares. A maior porcentagem do abastecimento é feito através da coleta de água de poços tubulares, que retiram água do aquífero Dunas/Barreiras.

Os dois mananciais superficiais usados encontram-se em condições de uso preocupante, com problemas relacionados à ocupação cada vez mais próxima às

suas margens, contaminação de suas águas, e condições de uso próximas às limites.

Outra situação preocupante é a do teor de nitrato encontrado na água de alguns poços abertos pela Companhia de Águas e Esgoto do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN). Muitos deles estão hoje desativados, uma vez que as concentrações de nitrato na água ultrapassam ou margeiam valores próximos aos recomendados como limítrofes pelo Ministério da Saúde para águas destinadas a abastecimento humano (10 mg/L $\text{NO}_3\text{-N}$), ou estão tendo as suas águas misturadas com águas provenientes de mananciais superficiais.

Cabral, Righetto e Queiroz (2009), em estudo para verificar o comportamento do nitrato em poços do aquífero Dunas/Barreiras em Natal, evidenciaram que, em distintos pontos da cidade, foi observado que há tendência de avanço da contaminação por nitrato ao longo dos anos, assim como, o aumento deste cresce correspondentemente ao aumento da densidade populacional, e ausência de sistema de saneamento apropriado na cidade.

Nessa atual situação é necessário pensar em soluções que aumentem a segurança sanitária dos usuários atuais e futuros de água fornecida pelo sistema de abastecimento público, tais como: uso das águas captadas em poços que encontram-se hoje desativados; captação de água em distintos mananciais de superfície; diminuição de perdas de água nos sistemas de adução; preservação das margens de mananciais; redução do consumo de água potável, em substituição a outras fontes de água, menos exigentes em relação a qualidade.

O fato de alguns poços encontrarem-se hoje desativados em virtude dos altos teores de nitrato é justificado pelo baixo percentual de cobertura de coleta e tratamento de esgotos na cidade, e sendo assim, outras alternativas são adotadas para armazenamento e tratamento dos esgotos gerados, como por exemplo, uso de fossas sépticas e sumidouros nem sempre construídos de acordo com normas técnicas sanitárias. Nelas, o esgoto acaba por contaminar o solo, atingindo também as águas armazenadas no manancial subterrâneo.

É histórico o fato de que ocorreu no município sempre uma maior cobertura do sistema de abastecimento de água em comparação ao sistema de coleta e tratamento de esgoto. Tal proporção também é observada não só na cidade, como em toda a região Nordeste e em todo o País.

3.2.2 Esgotos Sanitários

A cidade dispõe de baixo índice de cobertura nos serviços de coleta e tratamento dos esgotos gerados. Atualmente em torno 33% do esgoto gerado no município é direcionado para redes coletoras e uma porcentagem ainda menor, da ordem de 12% recebe tratamento; a outra parcela dos domicílios que não são contemplados com sistema de coleta e tratamento dos esgotos utilizam soluções individuais para disposição destes. Além disso, é importante destacar que os sistemas de tratamento de esgotos disponíveis são considerados ineficientes para atingir os padrões de lançamento nos corpos receptores.

Como grande parcela dos esgotos gerados são destinados para fossas sépticas/sumidouros, ou fossas rudimentares, observa-se um comprometimento na qualidade de água de aquífero no município, reduzindo o potencial de exploração deste.

Em algumas regiões da cidade, onde são inexistentes sistemas de coleta e tratamento de esgotos, e que são ocupadas por população de baixa renda, é comum o lançamento de água servida nas vias públicas, ou ligações clandestinas de esgotos nos sistemas de drenagem pluvial (Figura 5), o que contribui para deteriorar a qualidade da água de chuva que percorre as vias públicas e que, em alguns casos, se armazena em lagoas de detenção, ou é lançada diretamente nos meios receptores, contaminando-os.

No Plano Diretor de Drenagem do município, concluído em 2009, é feita alusão ao problema que o sistema de esgotamento sanitário acarreta ao sistema de drenagem, quando este último é existente: recebimento de excedentes do sistema de esgotos, devido a transbordamentos, rompimentos e falhas operacionais.

Figura 5- Lançamento de água residuária em lagoa de detenção (lagoa do Preá) em Natal.
Destaque em vermelho.



Fonte: Foto da autora.

Durante a elaboração deste estudo encontram-se em execução alguns projetos de expansão da rede coletora e de estações de tratamento dos esgotos gerados. Entretanto, mesmo com o aumento de cobertura de tais sistemas, a porcentagem ainda será insuficiente, e será necessário que nos atuais sistemas de tratamento vigentes sejam feitas melhorias no intuito de aumentar os níveis de tratamento para que se atinjam os padrões de lançamento dos corpos receptores dos esgotos tratados.

3.2.3 Coleta e Disposição Final dos Resíduos Sólidos

A Lei Municipal Nº 4.748/1996 regulamenta a limpeza urbana no município do Natal, e também dispõe de informações acerca da limpeza dos dispositivos de drenagem da cidade. Para tal, existem equipes de funcionários da Companhia de Serviços Urbanos (URBANA) que se revezam na limpeza de galerias, poços de visita, bocas de lobo, e das áreas internas e talude das lagoas de drenagem.

A limpeza das lagoas e dos dispositivos de drenagem é praticamente toda manual. O único equipamento mecânico usado na limpeza de bocas de lobo, tubos de ligação das bocas de lobo aos poços de visita, poços de visita e em pequenas desobstruções nas redes de maior diâmetro é um veículo combinado simultâneo de alta pressão e sucção a alto vácuo. Em algumas lagoas é disponível funcionário fixo

para limpeza dos taludes das lagoas de drenagem, como ocorre na lagoa da Petrobrás.

O Plano Diretor de Drenagem vigente no município aponta os principais problemas relacionados à limpeza dos dispositivos de drenagem. Dentre eles, vale destacar um que é frequente em algumas das lagoas do município, e mais precisamente nas lagoas abordadas neste estudo: inclinação elevada dos taludes e ausência de rampas de acesso, o que dificulta os processos de capina, roçagem, remoção de material sedimentado, e raspagem de fundo. Tal característica pode ser observada nas imagens das lagoas de Alagamar e Petrobrás (Figura 6):

Figura 6 – A) Inclinação de talude e ausência de rampas de acesso na lagoa de Alagamar;
B) Inclinação de taludes da lagoa da Petrobrás.



Fonte: Fotos da autora.

Além deste, a limpeza das lagoas não segue um cronograma regular, e preservação de estruturas como gradeamentos, portões, e outros, que contribuam para isolamento e preservação da área interna das lagoas, dessa forma, é comum observar vegetação bastante desenvolvida na área interna das lagoas, além da presença de resíduos sólidos (Figura 7).

Figura 7 – Evidência de acúmulo de resíduos sólidos na lagoa do Makro.



Fonte: Foto da autora.

3.3 REÚSO DE ÁGUA

É imperiosa a adoção de medidas de reaproveitamento de água em qualquer ambiente, seja no meio rural ou urbano como, por exemplo, em indústrias, em residências, em órgãos públicos e privados, em obras públicas, etc. Muito possivelmente os motivadores da reutilização de água surgiram em função de condições de escassez da mesma. Entretanto, os atuais motivos para reutilização estão também baseados no gerenciamento dos recursos naturais de modo a garantir água em quantidade e qualidade para as gerações futuras.

O intenso crescimento populacional e industrial tende a diminuir a disponibilidade hídrica de corpos aquáticos que, apesar de manterem sua vazão constante, apresentam muitas vezes decréscimo de sua qualidade. Aliado a isso, o desperdício de água e a contaminação de aquíferos contribuem para agravar o quadro de disponibilidade dos recursos hídricos em quantidade e qualidade satisfatórias ao consumo humano, em suas mais diversas atividades. Dessa forma, ações que visem a reutilização, assim como a conservação de água de melhor qualidade são extremamente necessárias nos dias atuais.

O reúso deve ser entendido como uma atividade constituinte do processo de gestão de recursos hídricos. O Brasil não dispõe de regulamentos que estabeleçam

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 disponíveis para atividades esportivas, para descarga de toaletes, etc.

O Decreto 48138/2003 do Estado de São Paulo estabelece ações a fim de orientar e reeducar agentes tanto públicos quanto privados em relação à necessidade de redução de consumo de água potável, por substituição a fontes de águas alternativas, como por exemplo, água de reúso em lavagem de ruas, calçadas, praças, pisos e áreas de lazer, além de dar diretrizes para a frequência de aguentos de áreas verdes, lavagem de veículos, e de lavagens de caixas d'água e/ou reservatórios similares.

A água de reúso pode ser proveniente, por exemplo, de esgoto doméstico tratado, de águas cinza claras, de águas cinza escura, de água pluvial, etc. Anderson (2003) destaca a necessidade de gerenciamento integrado das águas urbanas, sejam elas provenientes de estações de tratamento de esgotos ou de águas pluviais, além disso, fez um levantamento de exemplos de países como África do Sul, Austrália, Singapura, China, México e Estados Unidos que usaram água de reúso para diversos fins urbanos não potáveis, e fins potáveis, graças a avançados processos de tratamento, e muitos anos de monitoramento de qualidade da água a ser reutilizada.

Uma prática antiga, e exercida em diversos países, como por exemplo, Israel, Estados Unidos, México, Peru, e outros é a aplicação de esgotos domésticos no solo, como forma de tratamento dos mesmos e/ou com finalidades agrícolas. Para esta última aplicação comenta-se como vantagens não apenas o suprimento de água em abundância que requer a agricultura, como também a destinação de resíduos líquidos de maneira segura no ambiente. Porém, diversas aplicações podem ser dadas a esgotos domésticos. Brito e Tinôco (2000), destacam as seguintes possibilidades de reúso de águas residuárias no meio urbano: irrigação de parques, jardins, cemitérios, canteiros centrais de autovias, campos de golfe, pátios de colégios, complexos turísticos, limpezas de vias públicas, de caminhões de coleta de lixo, limpeza de sanitários, em sistemas de combate a incêndios, alimentação de lagos artificiais, de fontes ornamentais, e de lâminas d'água em geral, entre outros. Além do reúso na irrigação e aplicação de efluentes domésticos tratados no meio urbano, outras formas de reúso de esgoto podem ser observadas, como, por

exemplo, reúso industrial, recarga gerenciada de aquíferos, reúso na aquicultura e reúso para recreação.

A água de chuva também vem sendo armazenada e reutilizada há vários anos. No Brasil o armazenamento e aproveitamento da água de chuva é mais frequente em regiões áridas e/ou semiáridas. Entretanto, as águas de chuva são uma fonte de água que possuem potencial de utilização mais abrangente, uma vez que geralmente possuem boa qualidade. Esta característica deveria ser vista como um incentivo promovedor do seu uso de forma mais disseminada pelo país. Água de chuva pode inclusive, em alguns casos, ser usada em fins potáveis. Nolde (2007) destaca que a gestão sustentável de águas pluviais é extremamente urgente, principalmente em regiões densamente povoadas, e com intenso tráfego urbano, onde tanto a poluição quanto o consumo de água são maiores do que em regiões rurais.

Os usos propostos para reutilização de água devem ser função da qualidade da água disponível. Assim como, a água reutilizada deve obedecer a parâmetros estabelecidos para cada uso previsto. Por exemplo, para reutilizar esgoto doméstico tratado na irrigação, deve-se levar em consideração o teor de nitrogênio, de sais dissolvidos, etc, para que não sejam acarretados problemas tanto para a cultura irrigada quanto para o solo onde está sendo aplicado o esgoto. Outro exemplo é o reúso de água em caldeiras de indústria. Para este caso, um dos critérios a ser avaliado é a dureza, uma vez que esta pode provocar incrustações, reduzindo a área de escoamento e provocando aumento de perda de carga, que são indesejáveis. É fundamental, portanto, o conhecimento dos possíveis usos que pode ser dada a uma água, assim como o conhecimento de parâmetros e/ou recomendações associadas a cada uso.

3.4 USOS URBANOS NÃO POTÁVEIS

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 em fins potáveis, e que, portanto, requerem excelentes padrões de qualidade de água. Por outro lado sabe-se que para os usos urbanos não

potáveis, a água utilizada não necessita ser de qualidade tão exigente quanto para os casos de usos potáveis.

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 aquáticos, como fontes, chafarizes, espelhos d'água e etc;
- descarga sanitária em banheiros públicos e em edifícios residenciais e comerciais, públicos e privados;
- lavagem de ruas em espaços destinados à 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 USEPA (United States Environmental Protection Agency) é uma das instituições internacionais que fornece orientações para reúso de água. Para tal, diferentes categorias de reúso são apresentadas, assim como, diferentes limites de concentração de pH, DBO, turbidez, cloro residual total, coliformes termotolerantes e sólidos suspensos totais.

O Quadro 1 mostra a concentração dos parâmetros recomendados pela USEPA 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, em sistemas de proteção contra incêndios, condicionadores de ar, e outros usos com semelhante acesso ou exposição de água.

Quadro 1 – Qualidade de esgoto sanitário para reúso urbano não potável.

TIPO DE REÚSO	QUALIDADE DA ÁGUA DE REÚSO	TRATAMENTO SUGERIDO
Uso urbano Não Potável	<ul style="list-style-type: none"> • pH = 6 a 9 • < 10 mg/l DBO • < 2 UT • coliformes termotolerantes não detectáveis • mínimo de 1 mg/l de cloro residual total 	Secundário + Filtração + Desinfecção

Fonte: Adaptado de USEPA (2004).

A classificação do uso urbano não potável quanto 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.

Muitos padrões para reutilização de água adotados no Brasil baseiam-se em exemplos internacionais e são especificamente direcionados ao reúso de esgotos. Apesar do entendimento de que as águas das lagoas de retenção e infiltração possam possuir diferenças entre os esgotos domésticos brutos e os tratados, os parâmetros apresentados a seguir servirão para uma análise inicial das possibilidades de utilização das águas das lagoas. Entretanto, é preciso levar em consideração que os parâmetros, por serem baseados na reutilização de esgotos, podem ser bastante restritivos.

As exigências de remoção de matéria orgânica (DBO) e sólidos suspensos totais de águas destinadas à reúso são justificadas em termos de inconvenientes estéticos (aparência e geração de maus odores), disponibilidade de nutrientes para o crescimento bacteriano e comprometimento da desinfecção. Coliformes são utilizados devido a sua indicação de eficiência da desinfecção, e turbidez como indicar estético e indicador auxiliar da remoção de patógenos.

3.4.1 Uso Urbano Não Potável Irrestrito

Para reúso urbano não potável irrestrito de esgoto tratado, aplicável segundo Okun (2000) para os seguintes usos: irrigação de paisagem, irrigação de áreas recreacionais - campos de golfe, tênis, playgrounds, e outros, descarga de toaletes, em sistema de proteção de incêndio, limpeza de veículos e ruas, sistemas de ar

condicionado, em indústrias - em torres de resfriamento ou em processamento, e em valorização ambiental – lagos, fontes e riachos urbanos; são propostos 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.

A SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) propôs parâmetros internos de reúso de esgoto tratado em sistemas semi-abertos de resfriamento, assim como, em uso urbano não potável irrestrito, conforme pode ser observado no Quadro 2:

Quadro 2 – Qualidade de água para reúso urbano irrestrito não potável, e em sistemas semi-abertos de resfriamento proposto pela SABESP.

PARÂMETROS	VALOR MÁXIMO
Alcalinidade Total (mg/L CaCO ₃)	100
Cloretos (mg/L)	100
DBO ₅ (mg/L)	10
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1
pH	6 a 9
Sílica Total (mg/L SiO ₂)	50
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	500
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	5
Sulfatos (mg/L SO ₄)	200
Turbidez (NTU)	2
Coliformes Fecais (NMP/ 100 mL)	0

Fonte: SEMURA, RICCITELLE e GONÇALVES (2005)

Mais precisamente em relação a riscos sanitários oriundos da presença de microrganismos patogênicos, os estudos no âmbito do PROSAB apontam que as águas que apresentam concentrações inferiores a 200 UFC/100mL de coliformes termotolerantes 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 nematoide por litro, e menos de 1000 coliformes termotolerantes por 100 mL. (BASTOS *et al.*, 2008).

Estudo realizado no âmbito do PROSAB 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 \leq 10 mg/L, turbidez \leq 2 UT (para limpeza pública considerou-se limite de até 20 UT), 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).

3.4.2 Uso Urbano Não Potável Restrito

Águas com concentrações menores de 1×10^4 UFC/100mL de coliformes termotolerantes, 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 10000 coliformes termotolerantes por 100 mL. (BASTOS *et al.*, 2008).

A USEPA (2004) define os seguintes usos como urbanos não potáveis restritos: irrigação de parques e canteiros de rodovias, usos ornamentais e paisagísticos em áreas com acesso controlado ou restrito ao público, e usos na construção civil, (controle de poeiras, compactação do solo, preparo de argamassa e concreto, etc). As concentrações dos esgotos sanitários tratados são: pH entre 6 e 9, DBO \leq 30 mg/L, SST \leq 30 mg/L, coliformes termotolerantes \leq 200 UFC/100mL e cloro residual total \geq 1 mg/L.

No âmbito dos estudos do PROSAB, o efluente da ETE Cambuí – Paraná apresentou as seguintes concentrações dos parâmetros: pH entre 6 e 9, DBO \leq 25 mg/L, SST \leq 45 mg/L, turbidez \leq 20 UT, coliformes termotolerantes \leq 200 UFC/100mL e cloro residual total \geq 1 mg/L. Tais concentrações foram comparadas com referências encontradas na literatura nacional e internacional, e em função

destas, foi considerado adequado para uso em compactação do solo e controle de poeira.

3.5 PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA

Para águas destinadas à recreação de contato primário, a Resolução CONAMA N° 274/2000, estabelece que é considerada Satisfatória a água destinada a este fim que, apresentar no máximo 10^3 coliformes termotolerantes/100 mL, em 80% ou mais, num conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores de coleta e análise; Muito Boa a água que apresentar concentração máxima de 5×10^2 coliformes termotolerantes/100 mL em 80% ou mais, num conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores de coleta e análise; e Excelente a água que conter no máximo 250 coliformes termotolerantes/100 mL em 80% ou mais, num conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores de coleta e análise.

A legislação federal brasileira estabelece padrões de qualidade de água, não especificamente para reúso, em função do uso atribuído às águas. Dessa forma, servem como orientação da qualidade que as águas devem possuir, em função dos usos que se propõe estabelecer. Dentre tais legislações destacam-se a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde, que é relacionada a normas de qualidade de água para consumo humano, a Resolução CONAMA N° 357/05, que fornece informações para o enquadramento de corpos aquáticos.

A Resolução CONAMA N° 357/05 dispõe sobre a classificação e dá diretrizes para o enquadramento dos corpos d'águas superficiais, estabelecendo padrões de qualidade de águas, classes e usos para qual se destinam. O Quadro 3 sintetiza alguns padrões de qualidade para água doce, estabelecidos por esta resolução.

Quadro 3 – Padrão de qualidade de água doce estabelecido pela Resolução CONAMA N° 357/05.

PARÂMETRO	UNIDADE	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
pH	-	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Turbidez	UT	≤ 40	≤ 100	≤ 100	-
DBO	mg/L O ₂	≤ 3	≤ 5	≤ 10	-
OD	mg/L O ₂	≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 2
SDT	mg/L	≤ 500	≤ 500	≤ 500	-
Fósforo Total	mg/L	≤ 0,025	≤ 0,05	≤ 0,075	-
Nitrato	mg/L	≤ 10	≤ 10	≤ 10	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	3,7 para pH=7,5 2 para 7,5<pH ≤ 8 1 para 8<pH≤8,5 0,5 para pH>8,5	3,7 para pH=7,5 2 para 7,5<pH ≤ 8 1 para 8<pH≤8,5 0,5 para pH>8,5	13,3 para pH≤7,5 5,6 para 7,5<pH≤8 2,2 para 8<pH≤8,5 1 para pH >8,5	-
Cloretos	mg/L	≤ 250	≤ 250	≤ 250	-
E. Coli e CT	NMP/100 mL	≤ 200*	≤ 1000*	≤ 2500*	-

* em 80% ou mais, de pelo menos seis amostras durante o período de um ano, com frequência bimestral.

Abaixo são apresentadas as classes distintas nas quais são enquadradas os corpos aquáticos de água doce pela Resolução CONAMA N° 357/05, e seus respectivos usos:

Classe 1 – Abastecimento para consumo humano, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;

Classe 2 – Abastecimento para consumo humano, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto, aquicultura e atividades de pesca;

Classe 3 – Abastecimento para consumo humano, irrigação de culturas arbóreas, pesca, recreação de contato secundário, dessedentação de animais;

Classe 4 – Navegação e harmonia paisagística.

A NBR 13969/97 é uma norma brasileira que, dentre outras, traz recomendações para a disposição final dos efluentes líquidos armazenados em

tanques sépticos. Para tal, propõe diferentes classes nas quais se enquadram os efluentes, em função dos teores de turbidez, CTer, SDT, pH e cloro residual, e destinação em função da qualidade obtida para os efluentes nesses tanques.

Apesar de se tratar de reuso de efluente de tanques sépticos, tais recomendações poderão ser observadas, com bastante cautela, por apresentar proposta para reuso urbano não potável de efluentes.

As classes para enquadramento, e os respectivos usos recomendados pela NBR 13969/97 para os efluentes de tanques sépticos são detalhados a seguir:

Classe 1 - Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador incluindo chafarizes. Padrões de qualidade: turbidez \leq a 5 UT; coliforme termotolerante – inferior a 200 NMP/100ml; sólidos dissolvidos totais inferior a 200 mg/l; pH entre 6 e 8; cloro residual entre 0,5 mg/l e 1,5 mg/l.

Classe 2 – Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes. Padrões de qualidade: turbidez - inferior a 5 UT; coliforme termotolerante – inferior a 500 NMP/100ml; cloro residual superior a 0,5 mg/l.

Classe 3 – Reuso nas descargas dos vasos sanitários. Padrões de qualidade: turbidez - inferior a 10; coliforme termotolerante – inferior a 500 NMP/100ml;

Classe 4 – Reuso para irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Padrões de qualidade: coliforme termotolerante – inferior a 5.000 NMP/100ml; oxigênio dissolvido acima de 2,0 mg/l.

3.6 PADRÕES DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

São muitos os problemas que a água usada na irrigação pode conferir ao solo e a culturas vegetais, como por exemplo, problemas de infiltração, excesso de nutrientes, salinização, deficiências de alguns elementos, toxicidade à íons específicos, etc.

Alguns parâmetros são essenciais para a verificação qualitativa de uma água para fins de irrigação, dentre estes destacam-se a salinidade, a velocidade de infiltração, substâncias tóxicas, e nutrientes.

3.6.1 Salinidade

A salinidade pode ser avaliada pela capacidade da água transmitir corrente elétrica devido a presença de matéria dissolvida, que se dissociam em cátions e ânions.

Pode ser estimada tanto pela condutividade elétrica (CEa), assim como, pela concentração de sólidos totais dissolvidos (SDT). Os problemas da salinidade estão associados à quantidade total de sólidos dissolvidos na água, e os efeitos destes no desenvolvimento das plantas, podendo afetar a disponibilidade de água para as culturas, devido à redução do potencial osmótico da água presente no solo. O Quadro 4 mostra o padrão de salinidade em água de irrigação em função da concentração de sólidos dissolvidos totais.

Quadro 4 – Padrão de salinidade em função do teor de SDT.

CLASSIFICAÇÃO	SDT (mg/L)
Água para a qual os efeitos prejudiciais da salinidade não são percebidos	< 500
Em culturas sensíveis os efeitos da salinidade podem ser percebidos.	500 – 1000
Água que pode exercer efeitos adversos em muitas culturas, requerendo técnicas de gestão.	1000 - 2000
Água que pode ser usada por plantas tolerantes a salinidade, em solos permeáveis, e requerendo técnicas de gestão para o uso.	2000 - 5000

Fonte: Adaptado de USEPA (2004)

Para efeito de comparação, tem-se no Quadro 5 as concentrações de sólidos totais e dissolvidos consideradas para esgoto doméstico bruto. Observa-se que a

concentração de 500 mg/L de sólidos dissolvidos totais é considerada característica de esgoto considerado médio, e que com esta concentração já são capazes de serem percebidos os efeitos de salinidade em culturas sensíveis.

Quadro 5 – Concentrações típicas de sólidos em esgoto doméstico bruto.

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE SÓLIDOS NO ESGOTO BRUTO			
MATÉRIA SÓLIDA	FORTE (mg/L)	MÉDIO (mg/L)	FRACO (mg/L)
Sólidos Totais	1160	730	370
Sólidos Dissolvidos Totais	800	500	250

Fonte: Jordão e Pessoa (2009)

De maneira similar, mas em função da condutividade elétrica, Westcot e Ayers (1990) apontam que água cuja condutividade elétrica está situada abaixo de 0,7 dS/m não apresenta problema relacionado à salinidade, dispensando técnicas de gestão. Já àquelas com CEa entre 0,7 e 3,0 dS/m, possuem salinidade moderada, podendo ser necessária alguma técnica de gestão especial para seu uso. Para águas com CEa maior que 3,0 dS/m as técnicas de gestão necessárias já serão mais intensas, e em alguns casos será preciso substituir o cultivo por outro que apresente maior tolerância à salinidade.

Os efeitos marginais da salinidade atuam durante todas as fases do desenvolvimento das plantas, porém é na fase inicial de crescimento dos vegetais que os efeitos da salinidade são mais observados. (SÁ, 1999, apud CAVALCANTE *et al.*, 2002).

Alguns íons são capazes de interagir com constituintes do solo, promovendo a sua dispersão, e conseqüentemente uma obstrução dos poros. Tal ação diminui a permeabilidade do solo, dificultando a reposição de água no solo pela irrigação, o que pode promover uma escassez de água nas plantas, comprometendo o rendimento de culturas.

A água usada na irrigação pode contribuir com o aumento da salinidade do solo, através de um processo gradual de acumulação de sais. Assim como, nível freático alto pode aumentar a concentração de sais no solo, através da ascensão destes acima da zona radicular.

Os sais que provocam a salinidade são solúveis, portanto, o processo de lixiviação é fundamental para o controle da salinidade. Porém, se o solo for pouco permeável e a salinidade muito alta a lixiviação poderá ser pouco eficiente.

3.6.2 Infiltração e RAS°

A presença de alguns íons específicos na água de irrigação pode interagir com o material constituinte do solo. Dessa forma, poderá haver uma dispersão desse material constituinte ou uma tendência de agregação destes.

Os íons envolvidos nesse processo são o sódio, o cálcio e o magnésio. O cálcio contribui para a estabilidade dos agregados e estrutura do solo. O sódio ao contrário, é responsável por uma dispersão do material constituinte, que pode acarretar uma obstrução de poros e aumento da dificuldade de transporte de fluidos. O excesso de magnésio trocável no solo pode provocar uma deficiência de cálcio. A relação entre os três íon é expressa pela RAS (Razão de Adsorção de Sódio), dada pela seguinte equação:

$$RAS = Na^+ / [(Ca^{+2} + Mg^{+2} / 2)]^{1/2},$$

onde Ca^{+2} , Mg^{+2} e Na^+ representam as concentrações de cálcio, magnésio e sódio em meq/L.

Entretanto, deve-se levar em consideração os teores de Ca da água do solo, que poderão ser afetados tanto durante quanto após a irrigação devido à dissolução de sais de Ca por diluição e pelo dióxido de carbono dissolvido na água do solo, ou através da precipitação, geralmente na forma de carbonato de cálcio (diminuindo a sua concentração no solo). Portanto, é necessário que seja calculada a RAS levando-se em consideração o valor do teor de cálcio corrigido - Ca^o . A RAS é então denominada de RAS corrigida – RAS°, e seu valor, por ser mais restritivo, é sempre superior ao valor da RAS. O cálculo da RAS° é dado pela seguinte equação:

$$RAS^o = Na / [(Ca^o + Mg / 2)]^{1/2},$$

onde as concentrações de Na e Mg (em meq/L) são obtidas da análise da água, e a concentração de Ca^o (meq/L) pode ser obtida com auxílio do Quadro 6*: a partir da interpolação dos valores de condutividade elétrica (dS/m) e da razão entre as

concentrações de bicarbonato e cálcio (HCO_3/Ca meq/L), obtidos através da análise da água, será obtido o valor de Ca° .

Quadro 6 – Concentração de Ca° obtida através da condutividade elétrica e da relação entre bicarbonato e cálcio da água.

		Salinidade da água aplicada (CEa) - dS/m											
		0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0
Valor de HCO_3/Ca da água	0,05	13,20	13,61	13,92	14,40	14,79	15,26	15,91	16,43	17,28	17,97	19,07	19,94
	0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,35	10,89	11,32	12,01	12,56
	0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,90	8,31	8,64	9,17	9,58
	0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13	7,57	7,91
	0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15	6,52	6,82
	0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44	5,77	6,04
	0,35	3,61	3,72	3,80	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91	5,21	5,45
	0,40	3,30	3,40	3,48	3,60	3,70	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49	4,77	4,98
	0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,80	4,00	4,15	4,41	4,61
	0,50	2,84	2,93	3,00	3,10	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87	4,11	4,30
	0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,70	2,84	2,95	3,14	3,28
	1,00	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44	2,59	2,71
	1,25	1,54	1,59	1,63	1,68	1,73	1,78	1,86	1,92	2,02	2,10	2,23	2,33
	1,50	1,37	1,41	1,44	1,49	1,53	1,58	1,65	1,70	1,79	1,86	1,97	2,07
	1,75	1,23	1,27	1,30	1,35	1,38	1,43	1,49	1,54	1,62	1,68	1,78	1,86
	2,00	1,13	1,16	1,19	1,23	1,26	1,31	1,36	1,40	1,48	1,54	1,63	1,70
	2,25	1,04	1,08	1,10	1,14	1,17	1,21	1,26	1,30	1,37	1,42	1,51	1,58
	2,50	0,97	1,00	1,02	1,06	1,09	1,12	1,17	1,21	1,27	1,32	1,40	1,47
	3,00	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	1,00	1,04	1,07	1,13	1,17	1,24	1,30
	3,50	0,78	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,94	0,97	1,02	1,06	1,12	1,17
4,00	0,71	0,73	0,75	0,78	0,80	0,82	0,86	0,88	0,93	0,97	1,03	1,07	
4,50	0,66	0,68	0,69	0,72	0,74	0,76	0,79	0,82	0,86	0,90	0,95	0,99	
5,00	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74	0,76	0,80	0,83	0,88	0,93	
7,00	0,49	0,50	0,52	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74	
10,00	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,48	0,51	0,53	0,56	0,58	
20,00	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,35	0,37	
30,00	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28	

Fonte: SUAREZ (1981), apud AYERS E WESTCOT (1991).

* cálcio do solo proveniente do calcário ou silicatos; não existe precipitação do magnésio; pressão parcial do CO_2 perto da superfície do solo (PCO_2) é 0,0007 atmosferas.

Para a engenharia sanitária, uma grande importância relacionada a velocidade de infiltração de águas usadas na irrigação está no fato de que em locais onde se tenha uma baixa velocidade de infiltração, o acúmulo de água poderá ser propício para o desenvolvimento de vetores transmissores de doenças, como por

exemplo, a malária, a esquistossomose, etc. Entretanto, outros problemas potenciais podem ser observados, como por exemplo, apodrecimento do sistema radicular, formação de crostas, falta de aeração, etc.

Tanto a salinidade quanto a sodicidade, expressa pela RAS^o, afetam a velocidade de infiltração de uma água no solo. Dessa maneira, a avaliação de infiltração deve ser feita conjuntamente através dos parâmetros de salinidade e da RAS^o. O Quadro 7 indica as principais diretrizes usadas para interpretar a qualidade da água usada na irrigação. Neste deve-se observar como a infiltração deve ser avaliada baseando-se nos valores tanto da RAS^o quanto da salinidade.

Quadro 7 – Diretrizes para interpretar a qualidade de água usada em irrigação.

Parâmetro	Restrição de uso		
	Nenhuma	Ligeira - Moderada	Severa
Infiltração			
RAS^o	CEa (dS/m)		
0-3	> 0,7	0,7 - 0,2	< 0,2
3-6	> 1,2	1,2 - 0,3	< 0,3
6-12	> 1,9	1,9 - 0,5	< 0,5
12-20	> 2,9	2,9 - 1,3	< 1,3
20-40	> 5,0	5,0 - 2,9	< 2,9

Fonte: Adaptado de University of California Committee of Consultants (1974), apud AYERS e WESTCOT (1991).

É preciso considerar que segundo a metodologia apresentada por University of California Committee of Consultants, alterações nas diretrizes técnicas sejam necessárias caso se utilize águas em condições muito diferentes das apresentadas no Quadro 7, para estes casos podem ser necessárias modificações e adaptações às condições locais através de ensaios de campos, observações ou resultados de pesquisa. No caso de água com qualidade correspondente ao limite entre duas situações, deve-se ter cuidado para que se evite que desvios importantes da suposição possam dar lugar a usos incorretos de água. Considera-se também que os solos abrangem textura que variem de franco arenoso a franco argiloso, com boa drenagem interna.

A aplicação de corretivos no solo ou na água de irrigação visando melhorar a velocidade de infiltração, em geral atuam ou aumentando o teor de cálcio no solo,

como por exemplo o gesso, ou provocando a dissolução do calcário contido no solo, por meio de ácidos ou substâncias que formam ácidos, como por exemplo o enxofre que ao ser oxidado por *Thiobacillus* promove a geração de ácido sulfúrico. Stamford *et al.* (2001) analisaram a viabilidade do uso do enxofre inoculado com *Thiobacillus* para deslocamento de sais do solo, especialmente sódio, e conseqüentemente a redução da salinidade do solo; verificaram uma maior eficiência do enxofre em relação ao gesso nesse processo de deslocamento de sais do solo. Entretanto, a aplicação de corretivos seja no solo ou na água de irrigação deve preceder estudos de campo e de viabilidade econômica.

3.6.3 Toxicidade por Íons Específicos

A transpiração tem papel fundamental na acumulação de sais tóxicos. A absorção da água contida no solo pelas raízes carrega não apenas a água como também certos sais tóxicos, que através da transpiração passam a se acumular nos tecidos vegetais. Dessa maneira, quanto maior a taxa de transpiração maior a possibilidade de acumulação de íons nos vegetais, assim como, diminuindo-se tal taxa há uma redução da possibilidade de acumulação dos íons tóxicos. Entretanto, o acúmulo desses íons deve se dar em concentrações capazes de serem danosas ao vegetal, para que os efeitos da toxicidade sejam observados.

A magnitude dos danos depende da tolerância das culturas aos íons, da concentração de íons e do volume de água transpirado. Logo, em regiões que apresentam elevadas temperaturas, é de se esperar que os efeitos da toxicidade sejam acentuados.

Segundo Ayers e Westcot (1991) os problemas de toxicidade frequentemente complicam e complementam os problemas de salinidade ou infiltração, prejudicando ainda mais a produtividade das culturas vegetais.

Dentre os íons mais comumente tóxicos, apontam-se o cloreto, o boro e o sódio. É importante mencionar que os íons cloretos e sódio também podem ser absorvidos através da absorção foliar provocada, por exemplo, por irrigação por aspersão, e acentuada em períodos de baixa umidade e elevada temperatura. Sendo esta, portanto, uma fonte extra para acentuar a toxicidade.

3.6.3.1 Cloretos

É observado que a transpiração também exerce influência no processo de acumulação de cloretos em espécies vegetais. Necrose e queimadura nas folhas dos vegetais são alguns dos sintomas da presença de cloretos em níveis tóxicos em vegetais. É mais comum que a toxicidade seja provocada pelo cloreto contido nas águas de irrigação.

O controle do teor de cloretos presente no solo, por lixiviação, pode eliminar ou diminuir concentrações de cloretos excessivas no solo, que poderiam ser absorvidos pelas raízes, agravando os efeitos de toxicidade.

Em irrigação superficial, concentrações de cloretos na água menores que 140 mg/L não apresentam restrição ao uso, concentrações que variem entre 140 e 350 mg/L são consideradas de restrição moderada, e concentrações de cloreto maiores que 350 mg/L apresentam restrição severa ao uso. No caso de aplicação de irrigação por aspersão, concentrações de cloretos na água menores que 100 mg/L não são capazes de provocar efeitos tóxicos, entretanto, valores maiores que este limite apresentam restrição ao uso. O Quadro 8 mostra as concentrações máximas permitidas para algumas variedades de fruteiras.

Quadro 8 – Tolerância ao cloreto de algumas espécies de fruteiras.

Fruteira	Variedade ou porta-enxerto)	Nível máximo de cloretos ¹ – meq/l	
	Porta-enxerto	Na zona radicular (Cles)	Na água de irrigação ^{2,3} (Cla)
Abacateiro (Persea americana)	West Indian	7,5	5,0
	Guatemalan	6,0	4,0
	Mexican	5,0	3,3
Citros (Citrus sp.)	Tagerina sunki	25,0	16,6
	Grape-fruit		
	Tangerina cleópatra		
	Lima rangpur	15,0	10,0
	Tangelo sampsom		
	Limoeiro		
	Laranja amarga ou azeda		
	Tangerine ponkn	10,0	6,7
	Citrumelo 4475		
	Laranja trifoliata		
	Pomelo cubano		
	Calamondim		
	Laranjeira		
Citrango savage			
Citrango rusk			
Citrango troyer			
Videira (Vitis sp.)	Salt creek, 1613-3	40,0	27,0
	Dog ridge	30,0	20,0
Fruteiras de caroço (Prumus sp.)	Mariana	25,0	17,0
	Shalil lovel	10,0	6,7
	Yunnan	7,5	5,0
	VARIEDADES		
Amoreira (Rubus spp.)	Boysemberry	10,0	6,7
	Olallie backberry	10,0	6,7
	Indian summer raspberry	5,0	3,3
Videira (Vitis sp.)	Thompson seedless	20,0	13,3
	Perlette	20,0	13,3
	Cardinal	10,0	6,7
	Black rose	10,0	6,7
Morangueiro (Frugaria spp.)	Lassen	7,5	5,0
	Shasla	5,0	3,3

Fonte: MASS (1984) apud AYERS e WESTCOT (1991)

1 Para algumas culturas, a concentração mencionada pode ultrapassar o seu limite de tolerância e provocar diminuição nos rendimentos, além dos causados pela toxicidade dos íons cloreto.

2 Os valores citados são para concentração máxima na água de irrigação. Os mesmos foram determinados mediante os dados de extrato de saturação (CEes), supondo em média 15 a 20% de lixiviação e CEes = 1,5 CEa

3 Valores máximos aplicáveis apenas para culturas irrigadas por superfície irrigação por aspersão pode causar queimadura das folhas a níveis inferiores a esses (ver secção 4.3).

3.6.3.2 Sódio

A toxicidade por sódio é observada como função de alta proporção de sódio na água, seja em função do potencial de sódio trocável (PST) ou da RAS°.

Estudos em solos com problema de salinidade têm mostrado que o aumento na concentração de Na⁺ é acompanhado pelo decréscimo na concentração de Ca²⁺ trocável, resultando em um desequilíbrio iônico que pode afetar o crescimento das plantas (LACERDA *et al.*, 2004; AYERS e WESTCOT, 1991).

O sódio também pode ser absorvido diretamente pelas folhas, nos casos de irrigação por aspersão. Concentrações de RAS° menores que 3 em águas onde se realize irrigação superficial não apresentam restrição ao uso; valores entre 3 e 9 (RAS°) apresentam restrição moderada; e valores de RAS° maiores que 9 possuem restrição severa ao uso. Para a irrigação por aspersão valores de sódio menores que 70 mg/L não apresentam restrição ao uso; e concentrações maiores que 70 mg/L de sódio apresentam restrição ao uso.

3.6.4 Excesso de Nutrientes

Dentre os elementos nutritivos de importância para a gestão agrícola destaca-se o nitrogênio, o fósforo e ocasionalmente o potássio, o zinco, o boro, o ferro, e o enxofre. O nitrogênio é destes o mais benéfico, mas também o que pode mais rapidamente chegar a níveis excessivos. Por essa razão será dada maior ênfase ao excesso de nitrogênio em águas usadas em irrigação.

O nitrogênio para as plantas é tanto nutriente quanto estimulante ao seu desenvolvimento. Os efeitos da aplicação de quantidades excessivas podem ser: aumentar o crescimento, retardar a maturação ou provocar colheitas de baixa qualidade.

A sensibilidade das culturas às altas concentrações de nitrogênio varia segundo as fases de crescimento. Dessa forma, os altos níveis de nitrogênio podem ser benéficos durante as primeiras fases e, ter efeito contrário na floração e frutificação, por exemplo.

Considera-se para culturas mais sensíveis que valores de nitrato superiores a 5 mg/L são suficientes para afetá-las, e para as culturas mais resistentes entende-se

que somente valores superiores a 30 mg/L é que são considerados excessivos (AYERS E WESTCOT, 1991).

Um das alternativas que pode ser adotada para minimizar os efeitos do nitrogênio sobre culturas seria a substituição destas por outra mais resistente ou a redução das concentrações de nitrogênio através de tratamento ou mistura de água.

As formas de nitrogênio que são mais facilmente assimiladas são o nitrato e o amônio. Em águas de irrigação a forma mais frequente é o nitrato.

3. 7 PARÂMETROS E PADRÕES PARA REÚSO DE ÁGUA EM PISCICULTURA

O uso de esgoto tratado na piscicultura visa a obtenção de energia ou alimento para as espécies, através da assimilação dos nutrientes presentes no esgoto, sendo dessa forma, possível aumentar a produtividade, e possivelmente a produção lucrativa dos peixes. Além disso, cita-se a melhoria da qualidade do efluente de estações de tratamento de esgotos, uma vez que funciona como pós-tratamento de águas residuárias.

Felizatto, Starling e Souza (2000) realizaram estudo na ETE Samambaia, em Brasília, priorizando a remoção adicional, principalmente de nitrogênio e fósforo, usando como pós-tratamento da ETE (dois módulos em paralelo com três lagoas em série cada um) os tanques piscícolas (após a ETE dois tanques em paralelo e operando em regime contínuo, um contendo peixes e o outro não, com tempo de detenção hidráulica de 12 dias). As espécies cultivadas foram tilápia do nilo e carpa prateada. Dentre os resultados deste estudo cita-se a tendência de remoção tanto de DQO quanto de sólidos em suspensão total, contribuindo para o polimento do efluente; inadequação de criação de carpa prateada devido os teores de amônia que foram limitantes para a espécie; e a inobservância de remoção de nitrogênio e fósforo.

A utilização de esgotos sanitários em piscicultura em países em desenvolvimento é relativamente baixa, mas na Índia, Alemanha, México, Peru, EUA, Indonésia, China e Israel, tal prática é bastante difundida e antiga.

Na piscicultura pode ser praticada a monocultura ou policultura de espécies de peixes, para este último caso as espécies podem viver cada uma em diferentes profundidades dos tanques, em função da concentração de oxigênio dissolvido

disponível. Algumas das espécies que comumente são cultivadas em forma de policultura são tilápia do nilo, e carpa comum ou prateada. Destaque deve ser dado a tilápia do nilo, pela sua capacidade de adaptação mesmo em ambientes com baixos teores de oxigênio, além de possuir relativa tolerância a amônia.

Bastos (2003) afirma que dentre os principais parâmetros da qualidade de água de interesse na piscicultura destaca-se o pH, a alcalinidade, a transparência, o oxigênio dissolvido, a condutividade elétrica, a temperatura, nutrientes (nitrogênio e fósforo) e clorofila.

De maneira geral, o efeito do pH sobre peixes é indireto, e está relacionado com a solubilidade, com a forma e toxicidade de diversas substâncias que podem ser tóxicas às espécies. Em relação ao teor de oxigênio dissolvido, a sua concentração é variável entre as espécies, assim como sofre variação decorrente principalmente da respiração e da taxa de fotossíntese. A temperatura, assim como o pH tem influência sobre a solubilidade de certas substâncias, além de influenciar no metabolismo de peixes.

Em se tratando de condutividade elétrica, altos valores podem indicar elevada salinidade e acentuada decomposição; e baixos valores estão relacionados a uma intensa produção primária.

A tolerância de peixes ao nitrogênio é variável em função do estágio de vida, assim como, da forma de nitrogênio predominante. Entretanto, na forma de amônia livre estão os maiores problemas de toxicidade, e o íon amônio pode ter grandes implicações ecológicas, como por exemplo, influenciar fortemente na dinâmica de oxigênio dissolvido do meio (ESTEVEZ, 1998).

A amônia na sua forma livre (NH_3) tem relações diretas tanto com o pH quanto com a temperatura. Em $\text{pH} > 11$, praticamente toda a amônia está na sua forma livre. A relação existente entre a proporção de amônia livre, avaliando-se a temperatura e o pH é expressa pela fórmula abaixo (Emerson *et al.*, 1975 apud VON SPERLING, 2005):

$$\frac{\text{NH}_3 \text{ livre}}{\text{Amônia total}} (\%) = 100 / 1 + 10^{[0,09018 + (2729,92/T + 273,20)] - \text{pH}}$$

Buras *et al.* (1986), apud Felizatto, Starling e Souza (2000), afirmam que para a carpa prateada e comum a concentração limite para o valor de nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) é de 4 mg/L, e para a amônia na sua forma livre ($\text{NH}_3 - \text{N}$) é entre 0,2 e 0,4 mg/L. Para a tilápia do nilo a concentração limite para o valor de

nitrogênio amoniacal é de 8 mg/L, e para a amônia na sua forma livre é entre 0,3 e 0,6 mg/L.

O fósforo é considerado um nutriente limitante à produtividade em viveiros, e a sua forma mais predominante nos viveiros é de ortofosfato. Entretanto, em pH elevado (maior que 9), pode ocorrer a precipitação de fósforo, já que é formado o fósforo insolúvel.

Para Bastos (2003) o cultivo de peixes tropicais, deve apresentar entre outros parâmetros, o pH entre 6,5 e 9,5; o OD entre 4 e 6 mg/L; e a temperatura variando entre 20° e 30° C, sendo estas consideradas condições ideais.

A criação de tilápia do nilo em canais de irrigação, se desenvolveu sob boas condições, conforme estudo proposto por Lima *et al.*, (2008). As concentrações dos parâmetros analisados foram os seguintes: OD variou entre 5 e 6 mg/L; pH entre 6,6 e 7,9; alcalinidade apresentou variação entre 29 e 19,3 mg/L; dureza entre 22 e 66 mg/L; e condutividade elétrica entre 0,166 e 0,055 μ S/cm.

Santos *et al.*, (2009) adotaram a espécie tilápia do nilo para análise de adequação do cultivo, em termos de crescimento das espécies e riscos sanitários oriundos da presença de coliformes termotolerantes, *salmonella* e *Estafilococcus* nos músculos, pele e brânquias dos peixes. Nesse estudo foram realizadas comparações em três tanques com diferentes qualidades de água: um com esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização, outro com esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização, mas com fornecimento de aeração por aerador mecânico, e um terceiro com água bruta proveniente de poço. Os resultados mostraram que no tanque de esgoto doméstico tratado sem introdução de aeração mecânica houve contaminação nas brânquias por *Salmonella* e na pele por *Estafilococcus* das tilápias introduzidas, o que não se observou nos músculos. Para os demais tanques não foi observada contaminação, garantindo condições sanitárias satisfatórias para o consumo humano. Em relação ao crescimento, observou-se alta sobrevivência nos tanques abastecidos com água bruta e com esgoto doméstico tratado, seguido de sistema de aeração. Para o tanque de esgoto doméstico tratado sem aeração considerou-se haver boa sobrevivência das espécies.

O estudo realizado por Santos *et al.*, (2009) leva em consideração uma importante informação a ser investigada em ao se praticar a piscicultura: o risco de contaminação microbiológica de peixes que são cultivados em tanques abastecidos com esgoto doméstico tratado. Há possibilidade de contaminação por helmintos,

bactérias, protozoários, vírus, além de problemas relacionados à toxicidade e bioacumulação, por transferência de contaminantes através da cadeia alimentar. Os riscos podem estar relacionados tanto aos trabalhadores que manipulam os tanques quanto aos consumidores dos peixes.

Aquino, Gradwohl e Santos (2007) apontam que a possibilidade de bactérias atingirem o músculo de peixes, ocorre apenas quando o cultivo é realizado em meio líquido com concentração maior que 10^4 a 10^5 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes e *Salmonella*.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/05 para as atividades de pesca e aquicultura em água doce, as águas destinadas a essa utilização devem possuir os padrões de qualidade apresentados no Quadro 9:

Quadro 9 – Padrões de qualidade de água para utilização em pesca e aquicultura, de acordo com a Resolução CONAMA 357/05.

Destinação	Tipo	Classe	Padrões
Pesca e aquicultura	Água doce	2	<p>pH: 6 a 9 turbidez: ≤ 100 UT DBO ≤ 5 mg/L OD ≥ 5 mg/L SDT ≤ 500 mg/L Fósforo Total: $\leq 0,05$ mg/L Nitrogênio Amoniacal: 3,7 mg/L N para $\text{pH} \leq 7,5$ 2 mg/L N para $7,5 < \text{pH} \leq 8$ 1 mg/L N para $8 < \text{pH} \leq 8,5$ 0,5 para $\text{pH} > 8,5$ Cloretos: ≤ 250 mg/L E.Coli e CT: ≤ 1000 NMP/100 mL</p>

Os padrões recomendados pelo PROSAB são relacionados ao risco microbiológico oferecido, a partir da utilização de esgoto doméstico tratado em tanques de piscicultura. O Quadro 10 mostra a concentração de coliformes termotolerantes e de ovos de helmintos no afluente e no tanque piscícola.

Quadro 10 – Padrões de qualidade de água para utilização em piscicultura propostos por estudos no âmbito do PROSAB.

Ponto de Amostragem	CT/100 mL ⁽¹⁾	Ovos de helmintos	
		Nematóides intestinais humanos ⁽²⁾	Trematóides
Afluente ao tanque piscícola	$\leq 1 \times 10^4$	≤ 1	ND
No tanque piscícola	$\leq 1 \times 10^3$	≤ 1	ND

Fonte: Adaptado de Bastos e Bevilacqua (2006)

(1) Coliformes termotolerantes; média geométrica, alternativa e preferencialmente pode-se determinar E. Coli

(2) Média aritmética

ND: não detectável

3.8 PARÂMETROS PARA REÚSO DE ÁGUA EM INDÚSTRIA

Práticas de reúso de água em indústrias trazem benefícios não somente para o meio ambiente, como também para a própria indústria, com a redução de custos operacionais e melhoria da imagem da mesma frente à sociedade.

Os inúmeros processos produtivos podem fornecer grandes possibilidades de reutilização de águas dentro de um mesmo sistema de produção. Em alguns casos, a separação das correntes, ou seja, a separação das águas residuárias a partir de cada processo pode resultar em maior eficiência no tratamento e custos mais baixos (CASANI *et al.*, 2005).

As características das águas para reúso industrial são altamente variáveis, dependentes não só sobre o tipo de indústria, mas também para as indústrias de uma mesma categoria, pode haver variação baseada na organização específica de trabalho e formas de uso da água (CALENDA, 1997).

De forma geral, os parâmetros que devem ser atendidos dependem dos riscos que esta poderá trazer ao processo, sistema ou produto. O conhecimento do processo produtivo mais profundamente é que determinará quais os parâmetros deverão ser analisados, para que se garanta segurança ao sistema de produção.

A prática de reúso pode ser estendida em sistema de lavagem de gases, em caldeiras, em torres de resfriamento, em água de processos, além de outros usos urbanos, tais como, em sistema de combate a incêndio, em lavagem de veículos, descarga de toaletes, em irrigação de áreas verdes do seu entorno, ou irrigação de

espécies vegetais necessárias aos processos produtivos como, por exemplo, em indústrias sucroalcooleiras, etc.

Para Mierzwa e Hespanhol (2005) as principais aplicações de reúso de água em indústrias são: refrigeração, alimentação de caldeiras, água de processo, construção pesada, lavagem de pisos e peças e irrigação de áreas verdes. Para os autores essas atividades são as que mais consomem água, e exceto para uso como água de processo, os padrões de qualidade de água não são muito exigentes.

Os Quadros 11 e 12 mostram respectivamente alguns dos parâmetros que devem ser considerados para efeito de reúso de água em torres de resfriamento e em caldeiras.

Quadro 11 – Qualidade de água recomendada para torres de resfriamento.

Parâmetro	Unidade	Sem recirculação	Com recirculação
		Água doce	Água doce
Cálcio	mg/L	200	50
Magnésio	mg/L	*	*
Amônia	mg/L	*	*
Bicarbonatos	mg/L	600	24
Cloretos	mg/L	600	500
Sólidos Dissolvidos	mg/L	1000	500
Dureza	mg/L	850	650
Alcalinidade	mg/L	500	350
pH		5 a 8,3	*
Oxigênio Dissolvido	mg/L	Presente	*
Temperatura	°C	*	*
Sólidos Suspensos	mg/L	5000	100

* Aceito como recebido

Fonte: Adaptado de METCALF & EDDY (2003).

Quadro 12 – Qualidade de água recomendada para caldeiras.

Parâmetro	Unidade	Baixa pressão	Pressão Intermediária	Alta Pressão
Cálcio	mg/L	*	0,4	0,01
Magnésio	mg/L	*	0,25	0,01
Amônia	mg/L	0,1	0,1	0,1
Bicarbonatos	mg/L	170	120	48
Cloretos	mg/L	*	*	*
Sólidos Dissolvidos	mg/L	700	500	200
Dureza	mg/L	350	1	0,07
Alcalinidade	mg/L	350	100	40
pH		7 a 10	8,2 a 10	8,2 a 9
Oxigênio Dissolvido	mg/L	2,5	0,007	0,007
Temperatura	°C	*	*	*
Sólidos Suspensos	mg/L	10	5	0,5

* Aceito como recebido

Fonte: Adaptado de METCALF & EDDY (2003).

3.9 REÚSO DE ÁGUA EM ÁREAS VERDES DESTINADAS A PRÁTICAS ESPORTIVAS

A utilização de água para irrigação de áreas verdes destinadas a realização de práticas esportivas, como por exemplo, campos de futebol e campos de golfe, requer quantias significativas de água.

Muitos estudos investigam a possibilidade de utilização de esgoto tratado em estações de tratamento de esgoto na irrigação de campos destinados a práticas esportivas. Castro (2005) utilizando esgoto doméstico tratado em sistema de lagoas de estabilização (1 lagoa anaeróbia, 1 lagoa facultativa, e duas lagoas de maturação em série), apontou viabilidade de uso de esgoto com concentração de coliformes $\leq 1000/100$ mL na irrigação de campos esportivos.

De acordo com a Resolução do CONAMA Nº 357/05 águas doces destinadas a irrigação de campos de esporte e lazer devem apresentar os seguintes padrões de qualidade: pH variando entre 6 e 9; turbidez menor ou igual a 100 UT; DBO menor ou igual a 5 mg/L; OD maior ou igual a 5 mg/L; concentração de Sólidos Dissolvidos Totais menor ou igual a 500 mg/L; Fósforo Total menor ou igual a 0,05 mg/L; valores

máximos de nitrato de 10 mg/L; concentrações de 3,7 mg/L de nitrogênio amoniacal (para pH = 7,5); concentração máxima de cloretos de 25 mgCl⁻/L; e coliformes termotolerantes de 10³ UFC/100 mL.

Entretanto, o teor de coliformes tolerantes ganha destaque na análise de qualidade de água para irrigação de áreas verdes destinadas a práticas esportivas. Para o caso do futebol, a água utilizada não pode oferecer risco sanitário aos jogadores, que pode ser ocasionado devido ao atrito com o gramado.

Bastos e Bevilacqua (2006) recomendam, com boa margem de segurança, que águas destinadas a fins urbanos não potáveis, dentre elas a irrigação de áreas verdes para práticas esportivas, tenham teores de coliformes termotolerantes menores que 10³ UFC/100 mL.

3.10 RISCOS SANITÁRIOS

Esgoto sanitário utilizado como água de reúso pode estar contaminado por vírus, bactérias, protozoários e helmintos. Esses patogênicos poderão contaminar culturas alimentares, o solo, água de superfície, água de aquífero, além de poderem trazer danos a trabalhadores, aos consumidores de vegetais que possam estar contaminados, ou no caso da aquicultura, os peixes que poderão ser posteriormente consumidos.

A WHO (2006) avaliou o risco de infecções virais (rotavírus) em diferentes cenários de exposição, seja por irrigação restrita ou irrestrita com esgotos sanitários. Os resultados estão expressos no Quadro 13. Nota-se que para as duas culturas analisadas, alface e cebola, esgoto com concentração de E. Coli entre 10³ e 10⁴, o risco de infecção por pessoa ao ano é considerado baixo. Assim como, nos casos de riscos aos trabalhadores, em diferentes condições de exposição e de característica de esgoto, o risco de infecção foi igual, e também considerado baixo.

Quadro 13 – Risco de infecção em diferentes cenários de exposição a irrigação com esgoto sanitário.

Cenário de exposição	Qualidade da água (E. Coli/100 mL esgoto ou E. Coli/100 g de solo)	Mediana do risco de infecção por pessoa/ano	Observações
Irrigação irrestrita			
Alface	$10^3 - 10^4$	10^{-3}	Consumo de 100 g de alface por pessoa a cada 2 dias; 10 - 15 mL de esgoto em 100 g de alface irrigada.
Cebola	$10^3 - 10^4$	5×10^{-2}	Consumo de 100 g de cebola por pessoa, por semana, durante 5 meses; 1 - 5 mL de esgoto em 100 g de cebola irrigada.
Irrigação restrita (agricultores ou outras pessoas com elevado grau de exposição)			
Altamente mecanizada	10^5	10^{-3}	100 dias de exposição ao ano; 1 -10 mg de solo consumido por exposição.
Trabalho intensivo	$10^3 - 10^4$	10^{-3}	150-300 dias de exposição ao ano; 10 -100 mg de solo consumido por exposição.

Fonte: WHO (2006)

Dessa maneira, é possível comprovar que para a mudança de uma condição de exposição a esgotos, até o desenvolvimento de doenças provenientes da interação entre o homem e esgotos, é preciso levar em consideração fatores que podem interferir nesse processo. Dentre eles destacam-se:

- Carga excretada;
- Latência;
- Sobrevivência no meio ambiente (persistência);
- Capacidade de se multiplicar no meio;
- Existência de hospedeiros intermediários;
- Resistência dos patógenos aos processos de tratamento de esgotos;
- Dose infectante;
- Imunidade;
- Condições gerais de saúde, etc.

Ademais, a aplicação de esgotos no solo que contenham ovos de helmintos e cistos de protozoário, devido o tamanho relativamente grande, promove uma

eliminação destes nas primeiras camadas do solo por filtração. Vírus e bactérias podem ser mais móveis no solo, por possuírem menores dimensões (WHO, 2006).

Para o PROSAB esgotos sanitários com concentrações de coliformes termotolerantes menores que 200 UFC/100 mL e menos de 1 ovo de helminto por litro podem ser destinadas a usos não potáveis irrestritos e esgotos sanitários com concentrações de coliformes termotolerantes menores que 1×10^4 e menos de 1 ovo de helminto por litro podem ser usados em fins não potáveis restritos (BASTOS e BEVILACQUA, 2006).

4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em Natal, no estado do Rio Grande do Norte, em seis lagoas de retenção e infiltração denominadas: lagoa do CTG, lagoa do Makro, lagoa Manoel Felipe, lagoa de Alagamar, lagoa da Petrobrás e lagoa do Preá.

Foram escolhidas, em uma primeira aproximação, lagoas de drenagem que representam distintos patamares de qualidade de água, supostamente variando entre pouco poluída e muito poluída.

Considera-se que a qualidade da água da lagoa do CTG, Makro e Manoel Felipe são aparentemente pouco poluídas, para Petrobrás e Preá acredita-se que possuam a pior qualidade de água entre as lagoas estudadas, principalmente a do Preá, e a lagoa de Alagamar aparentemente ocupa uma posição intermediária de qualidade.

Entre estas, a lagoa Manoel Felipe, situada no Parque Cidade da Criança, já é destinada oficialmente para uso recreacional, e na lagoa do CTG foi possível verificar a retirada de água para uso no controle de poeira em obra pública que estava sendo realizado em Natal. Este uso para a lagoa do CTG é considerado informal, uma vez que não há regulamentação para uso das águas para este fim por parte dos órgãos públicos.

A quantidade de lagoas adotadas é representativa, correspondendo a cerca de 17% do total de lagoas do município, como também são representativas das características de lagoas de retenção e infiltração que estão disseminadas em Natal, assim como no Brasil.

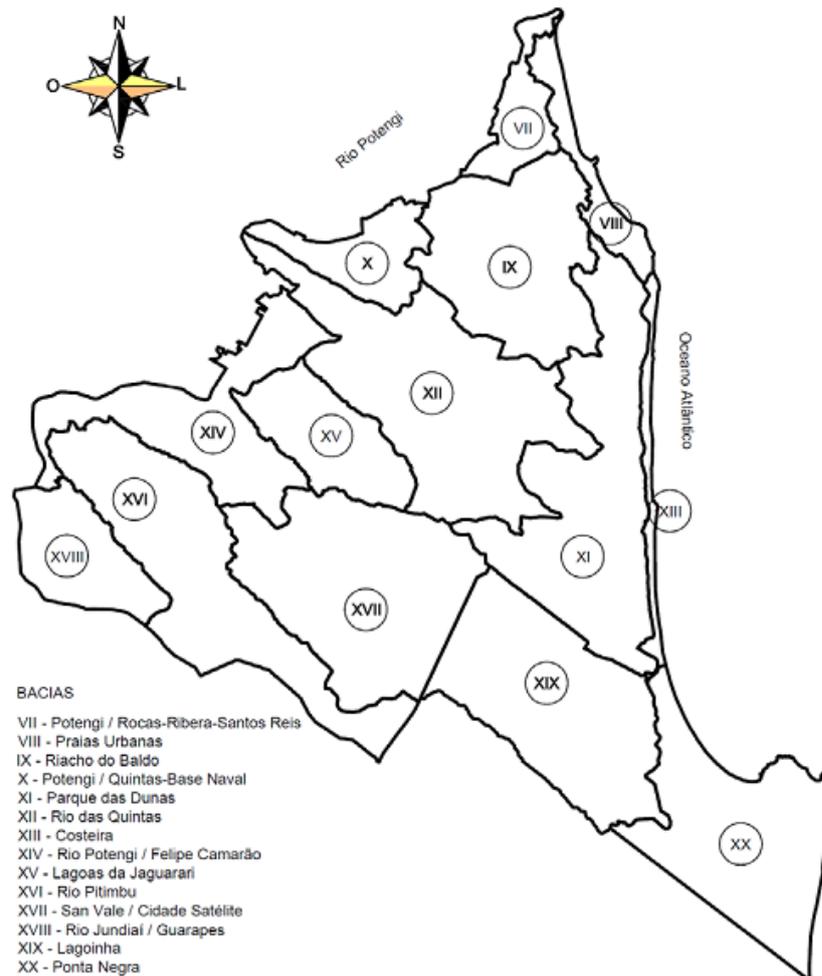
O sistema de drenagem de Natal, de acordo com o vigente Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da Cidade do Natal (PDDMAP) elaborado por SEMOPI (2009), é constituído por vinte bacias de drenagem (Figura 8), sendo que seis dessas bacias estão na zona norte da cidade, e quatorze encontra-se nas zonas leste, oeste e sul, drenando uma área total de 14.200,3 ha.

As lagoas estudadas estão situadas nas seguintes bacias:

- Lagoa CTG: Bacia XIX
- Lagoa Makro: Bacia XIX
- Lagoa Manoel Felipe: Bacia IX
- Lagoa Alagamar: Bacia XX
- Lagoa Petrobrás: Bacia XV

- Lagoa Preá: Bacia XII

Figura 8 – Distribuição das bacias nas zonas leste, oeste e sul do município de Natal.



Fonte: SEMOPI, 2009

4.1.1 Lagoa do CTG

No contexto do PDDMAP em vigor a lagoa do CTG está situada na bacia de drenagem XIX, na sub-bacia XIX-2. O bairro onde a lagoa está é Capim Macio, na zona sul da cidade. Esta bacia de drenagem possui área total de 1016,0 ha, e é considerada fechada. O volume da lagoa é de 95612 m³ (SEMOPI, 2009).

A sub-bacia XIX.2 encontra-se sub-dividida nas sub-bacias XIX.2 A, B, C, D e E, nelas inseridas as lagoas de CTG e outras cinco lagoas. A lagoa do CTG está inserida na sub-bacia XIX.2 E. Em todas as lagoas, e muitas vezes entre elas, há galerias estabelecendo um sistema de drenagem.

A urbanização feita por meio de conjuntos habitacionais de casas e prédios geralmente destinados à classe média promoveu uma ocupação regular na bacia. Recentemente, tem-se observado elevada verticalização na área, o que vem promovendo maior adensamento no sítio.

A taxa de drenagem na bacia, de acordo com SEMURB (2010) está situada em torno de 80%, com exceção da sub-bacia XIX-5, em função da presença da ZPA-05.

Na bacia de drenagem em estudo há relativa captação dos esgotos gerados, especialmente os gerados no bairro de Ponta Negra e pequena porcentagem de Capim Macio. Estes são direcionados à Estação de Tratamento de Esgotos de Ponta Negra. A outra porcentagem de esgotos não coletados é disposta em tanques sépticos.

Especificamente a sub-bacia XIX.2 E, onde a lagoa do CTG está localizada, a coleta de esgotos é praticamente inexistente, e reside nesta sub-bacia população de alto padrão social. Dessa forma, é pouco observado o lançamento de águas servidas nas vias públicas.

Dentre as águas das lagoas analisadas esta é a que possui a melhor aparência estética o que pode, em partes, ser explicado pelo fato de que com a escavação da lagoa, atingiu-se o lençol freático, havendo afloramento de água do aquífero.

As condições de manutenção da área da lagoa também foram as melhores encontradas (Figura 9-A e 9-B). A lagoa é urbanizada, e suas estruturas de isolamento, e dispositivos de iluminação, bancos públicos e lixeiras, estavam em boas condições de manutenção.

A lagoa do CTG foi recentemente construída, e não havia sido estabelecido o sistema de bombeamento das águas pluviais, durante o período do estudo.

Houve a presença constante de funcionários da empresa responsável pela construção das estruturas da lagoa no local.

A captação das águas na lagoa do CTG era realizada na caixa de saída da lagoa.

As atividades consideradas viáveis para as águas desta lagoa são a irrigação de áreas verdes, uso recreacional, piscicultura, controle de poeira em vias públicas, limpeza de vias públicas. Destaca-se que durante a pesquisa foi observada a

utilização das águas da lagoa para controle de poeira em obras realizadas no prolongamento de uma grande avenida da cidade, a Prudente de Moraes, assim como para recreação de contato primário. A presença de peixes também foi observada durante o período analisado.

As Figuras 9-C a 9-F mostram algumas das aplicações atribuídas pela população às águas da lagoa durante o período de coleta.

Figura 9 – Imagens da lagoa do CTG. A) e B) Aspecto geral da lagoa. Alguns usos observados para as águas da lagoa: C) Recreação de contato primário; D) Pesca de peixes; E) e F) Retirada de água para uso na construção civil em controle de poeira.



Fonte: Fotos da autora.

4.1.2 Lagoa do Makro

A lagoa do Makro está situada no bairro de Neópolis, zona sul de Natal, e segundo o PDDMAP faz parte da bacia de drenagem XIX, sub-bacia XIX-1. Esta bacia de drenagem é considerada fechada e possui área total de 1016,0 ha. O volume da lagoa é de 57084 m³ (SEMOPI, 2009).

A urbanização feita por meio de conjuntos habitacionais de casas e prédios geralmente destinados à classe média promoveu uma ocupação regular na bacia.

Na sub-bacia onde a lagoa está inserida percebeu-se a presença de residências, e de estabelecimentos relativos ao setor terciário, mas apresenta no entorno da lagoa relativa área desocupada.

Na bacia de drenagem em estudo há relativa captação dos esgotos gerados, especialmente os do bairro de Ponta Negra e pequena porcentagem de Capim Macio. Estes são direcionados à Estação de Tratamento de Esgotos de Ponta Negra. A outra porcentagem de esgotos não coletados é disposta em tanques sépticos.

Especificamente na sub-bacia XIX.1 não há rede coletora de esgotos.

A lagoa não é urbanizada, e o aspecto geral das águas é de pouca poluição, em função de relativa preservação de suas margens por vegetação (Figura 10-A a 10-E)).

A inexistência de cerca ou outro dispositivo de proteção de suas margens (Figura 10-F) possibilita o uso indevido das suas áreas livres para deposição de resíduos sólidos, que podem vir a contaminar suas águas.

Praticamente durante todo o período de realização das coletas a vegetação no entorno na lagoa estava bastante crescida.

As bombas usadas para recalque das águas encontravam-se quebradas, e foi presenciada em muitos momentos a tentativa de conserto ou manutenção de tais dispositivos por funcionários da prefeitura.

A captação da água foi realizada à frente da caixa de saída, visto que em geral as grades de proteção da mesma encontravam-se trancadas durante a manhã (período de realização das coletas), sendo abertas apenas à noite por funcionário da prefeitura.

Não foi observada a utilização das águas das lagoas em nenhum fim produtivo durante o período de coleta, entretanto, cita-se como usos viáveis para

suas águas: recreacional, na piscicultura, na irrigação, controle de poeira e limpeza de vias públicas.

Figura 10 – Lagoa do Makro. A) a D) Aspectos gerais; E) Imagem aérea da lagoa.



Fonte: Fotos A a D da autora; foto E: SEMURB, 2010.

4.1.3 Lagoa Manoel Felipe

A lagoa Manoel Felipe está inserida na bacia de drenagem denominada IX, na sub-bacia IX-2, segundo o PDDMAP, na zona leste da cidade, no bairro de Tirol.

A bacia ocupa também uma pequena porção da zona sul da cidade, possui área total de 714,8 ha, é considerada aberta e o corpo d'água receptor é o rio Potengi. O volume da lagoa é de aproximadamente 24.562,13 m³ (SEMOPI, 2009).

A lagoa Manoel Felipe está inserida dentro do parque Cidade da Criança (Figura 11-A, 12-B e 12-E).

No entorno da lagoa, assim como ao longo de toda a sub-bacia IX-2 onde está inserida, a ocupação é em grande parte residencial, co-existindo casas térreas, pequenos prédios e torres altas. A maioria do solo é recoberto por asfalto ou pavimentação poliédrica. Não há na bacia grandes vazios urbanos ou relevantes alterações no relevo.

A bacia possui sistema de captação de esgotos, especialmente nos bairros de Tirol, Alecrim, Lagoa Seca e Barro Vermelho. Nesta bacia está inserido um coletor geral (CG-2), que direciona os esgotos *in natura* desta bacia e de outras regiões da cidade para o rio Potengi.

Tendo em vista que a presença de rede coletora de esgoto na bacia, além do alto padrão econômico da população residente em considerável porcentagem da bacia, é pouco observado o lançamento indevido de águas servidas nas vias públicas.

Durante o estudo o Parque Cidade da Criança encontrava-se em obras, e com acesso restrito ao público. Dentre as obras que estavam sendo realizadas cita-se a escavação e retirada de areia do fundo da lagoa para aumento de sua profundidade.

O aspecto geral da água era turvo, e provavelmente função das escavações que estavam sendo realizadas (Figura 11-C).

Existe um sangradouro para tal lagoa, o Canal do Baldo (Figura 11-D), que direciona as águas da lagoa Manoel Felipe para o Rio Potengi por gravidade.

A captação da água para análise foi realizada no vertedouro das águas da lagoa para o Canal do Baldo.

A lagoa é formalmente utilizada para fins recreacionais, e pedalar pelas águas da lagoa com auxílio de pedalinhas era atividade comumente realizada enquanto o Parque Cidade da Criança encontrava-se aberto, entretanto, apontam-se os

seguintes usos como viáveis: piscicultura, irrigação, além de recreacional que já é exercido.

Figura 11 – Imagens da lagoa Manoel Felipe. A) e B) Aspecto geral; C) Deposição de areia retirada do fundo da lagoa. Destaque em vermelho; D) Vertedouro existente entre a lagoa Manoel Felipe e o Canal do Baldo; E) Imagem aérea, e em detalhe o canal do Baldo.



Fonte: Foto A a D da autora; foto E: SEMURB, 2010.

4.1.4 Lagoa de Alagamar

A lagoa de Alagamar está situada na Bacia de Drenagem XX, na sub-bacia XX-2, de acordo com o PDDMAP, no bairro de Ponta Negra, zona Sul da cidade. A bacia possui área total de 949,3 ha, é considerada aberta, e o corpo receptor é a praia de Ponta Negra. O volume da lagoa é de 4600 m³ (SEMOPI, 2009).

A taxa de drenagem na bacia, de acordo com SEMURB (2010) está situada em torno de 70%.

O adensamento vem se intensificando a cada dia, principalmente em razão da verticalização. Nessa bacia, o relevo é bastante acidentado, o que, associado à impermeabilização do solo, propicia o escoamento das águas pluviais para lagoas existentes. Na área, a maioria das vias é calçada por paralelepípedos ou asfaltada.

Há construções de muitos apart-hotéis em grande parte da sub-bacia, e de casas térreas.

Na bacia de drenagem há dispositivos para coleta dos esgotos domésticos gerados de grande porcentagem da bacia XX. Os esgotos coletados são direcionados para a Estação de Tratamento de Esgotos de Ponta Negra – ETE Ponta Negra.

Para a lagoa de Alagamar, o maior problema não é exatamente a ausência de sistema coletor de esgoto. O problema em potencial é a instalação de uma estação elevatória de esgotos na sua área interna, que com a ocorrência de problemas operacionais pode vir a contaminar as águas de drenagem.

A lagoa apresenta elevada inclinação de taludes e ausência de rampas de acesso, o que dificulta a limpeza de sua área interna. Durante a pesquisa a lagoa apresentou vegetação crescida, e foi percebido o desenvolvimento de macrófitas em suas águas (Figura 12). Em alguns momentos a presença dessas macrófitas se assemelhava a um “tapete esverdeado” que ocupava toda a área da lagoa.

Na área interna da lagoa encontra-se uma estação elevatória de esgotos que é responsável pelo encaminhamento de toda a carga de efluentes coletada em Ponta Negra e porcentagem da Via Costeira, sendo posteriormente recalçados para a ETE Ponta Negra (Figura 13).

Esta estação elevatória de esgotos é denominada EE3-NS, e possui capacidade de 504 m³/h, 32 mca. A EE3-NS funciona com uma bomba em atividade e duas de reserva, uma submersível e uma re-auto-escorvante.

Problemas operacionais que resultam em extravasamento de esgoto em PVs a montante da lagoa, assim como àqueles ocorridos na própria estação elevatória podem contribuir para o aporte de esgoto na lagoa.

A lagoa possui sistema de recalque das águas pluviais, e é considerada urbanizada.

A captação da água foi realizada na caixa de saída de águas da lagoa, que era facilitado pela presença constante de funcionário da CAERN, que trabalhava na Estação Elevatória de Esgotos situada na área da lagoa.

Não foi observada nenhuma utilização produtiva das águas da lagoa durante o período estudado, entretanto, é possível que suas águas possuam viabilidade de uso para irrigação.

Figura 12 – Visualização de vegetação crescida nos taludes e presença de macrófitas na água da lagoa de Alagamar.



Fonte: Fotos da autora.

Figura 13 – Lagoa de Alagamar, e em destaque a estação elevatória de esgotos situada na sua área interna.



Fonte: Foto da autora.

4.1.5 Lagoa da Petrobrás

A lagoa está inserida na bacia XV, de acordo com o PDDMAP, no bairro de Candelária, zona sul de Natal. A área total da bacia é de 431,8 ha.

O sistema de lagoas da Petrobrás é formado por quatro lagoas que funcionam em série (Figura 14-A). Entretanto, a coleta das águas foi realizada em apenas uma das lagoas, a primeira da série (situada próxima a rua Nelson Geraldo Freire, no bairro de Lagoa Nova) porque no início das coletas era a única que possuía água armazenada (Figura 14-B e 14-C) . O volume da lagoa é de 22475 m³ (SEMOPI, 2009).

A bacia XV é fechada e as lagoas da Petrobrás são o destino predominante das águas que nesta bacia percorrem, sendo, portanto, de fundamental importância para a região.

Com relação à ocupação urbana, a área ainda não é muito adensada. Há muitas casas térreas residenciais, coexistindo com condomínios horizontais, de alto padrão. Contudo, observa-se que a densidade tende a aumentar devido ao início do processo de verticalização no sítio, com construção de prédios residenciais destinados à classe média-alta.

Na Bacia XV há a presença de grandes equipamentos urbanos, como a sede da Petrobrás e o Terminal Rodoviário de Natal. Nesses espaços, e em espaços vazios como áreas dunares presentes na bacia, há satisfatória permeabilidade das águas pluviais, apesar de ainda assim existirem problemas de inundação.

Na bacia XV não há sistema de coleta dos esgotos gerados.

A lagoa estudada é considerada urbanizada, possui elevada inclinação dos taludes, o que dificulta os processos de capina, roçagem, raspagem de fundo, e remoção de bancos de areia que são formados (Figura 14-D).

Além disso, constatou-se elevada presença de resíduos sólidos acumulados nas águas da lagoa (Figura 14-D).

Esta era a única lagoa que havia a presença constante de funcionário da URBANA, que era responsável por limpeza da vegetação dos taludes.

A lagoa possui sistema de recalque das águas, entretanto não foi observado o funcionamento das bombas.

A captação da água nesta lagoa ocorreu sempre à frente da caixa de saída, em função da grade de proteção da mesma encontrar-se sempre trancada durante o período de coleta.

Não foi observado nenhum uso produtivo das águas das lagoas durante o período de coleta; assim como não há uma viabilidade (baseada em observações em campo) de uso de suas águas no meio urbano sem prévio tratamento.

Figura 14 – Imagens da lagoa da Petrobrás. A) Imagem aérea do sistema de lagoas da Petrobrás, com seta vermelha indicando a lagoa estudada; B) e C) Aspectos gerais da lagoa; D) Inclinação de taludes, formação de banco de areia, e presença de resíduos sólidos.



Fonte: Fotos da autora.

4.1.6 Lagoa do Preá

No contexto do PDDMAP a lagoa do Preá está localizada na bacia XII, sub-bacia XII-4. Tal bacia compreende 12 bairros, e uma área de 1264,8 ha, e é considerada aberta. O corpo receptor das águas é o rio Potengi. O volume total da lagoa é de aproximadamente 4747,8 m³ (SEMOPI, 2009).

A lagoa do Preá era uma depressão natural onde a água pluvial se acumulava, e após alguns anos foi inserida no sistema de drenagem do município.

O uso da área da bacia XII é predominantemente residencial, abarcando diferentes edificações e com condições sócio-econômicas heterogêneas.

A bacia XII é a maior entre as bacias estudadas, relaciona-se com duas importantes áreas ambientais do município: o Rio Potengi e o Parque das Dunas, além de apresentar sete lagoas e um riacho.

Há poucos espaços com solo natural, havendo predominantemente o solo impermeabilizado. Entretanto, há a presença de algumas quadras de grandes dimensões onde funcionam equipamentos urbanos, e estes possuem grandes áreas vazias. Nestas áreas há a absorção das águas pluviais em função dos seus espaços livres, como por exemplo, o Centro Administrativo do Estado e a UFRN.

A bacia dispõe de insuficiente sistema de coleta de esgotos. Possui duas estações elevatórias, situadas no bairro de Morro Branco (EE2-GS(D-11)) e outra no Parque das Dunas (EE3-GS).

As estações elevatórias EE2-GS(D-11) e (EE3-GS) recebem esgoto exclusivamente do bairro Morro Branco e do Parque das Dunas, respectivamente.

A lagoa do Preá está situada numa área que apresenta condição socioeconômica heterogênea, no bairro de Nova Descoberta, que não dispõe de sistema de coleta de esgotos, e é ocupado em relativa porcentagem por população de baixa renda. Tal fato explica o grande lançamento de águas servidas nas vias públicas, que culminam por alcançar os dispositivos de drenagem, e mais especificamente a lagoa do Preá, contribuindo para deterioração da qualidade da água ali armazenada (Figura 15-A e 15-B). A prefeitura da cidade já realizou ações de fiscalização no bairro com o intuito de coibir tais lançamentos através da aplicação de multas e estabelecimento de prazo para disposição das águas em sumidouros, entretanto, tais ações não foram suficientes para diminuir significativamente o volume das águas servidas que chegam à lagoa.

É constante a geração de maus odores na lagoa, em virtude do lançamento de águas servidas.

As cercas que envolvem a área da lagoa estavam danificadas, durante o período estudado, e um dos portões de acesso encontrava-se quebrado, facilitando o acesso à área interna da mesma, inclusive por moradores de rua.

A vegetação na lagoa permaneceu bastante crescida durante o período do estudo, e foi observado muito resíduo sólido em suas águas.

O recalque de águas da lagoa se dá através de bombeamento.

A captação da água nesta lagoa ocorreu sempre à frente da caixa de saída, em função da grade de proteção da mesma encontrar-se sempre trancada durante o período de coleta.

Não foi observada a utilização produtiva das águas da lagoa durante o período estudado; assim como não há uma viabilidade (baseada em observações em campo) de uso de suas águas no meio urbano sem prévio tratamento.

Figura 15 – Imagens da lagoa do Preá. A e B) Chegada de água servida na lagoa; C) Imagem da lagoa do Preá; D) Imagem aérea da lagoa.



Fonte: Fotos A a C da autora; foto D: SEMURB, 2010.

O Quadro 14 mostra uma síntese dos aspectos mais relevantes acerca das lagoas de retenção e infiltração estudadas. Todas as informações reunidas no quadro abaixo já foram previamente apresentadas.

Dentre os aspectos cita-se: bacia de drenagem e área (ha) onde cada lagoa está inserida; aspectos relacionados com a qualidade da água das lagoas, tais como, frequência regular de coleta de lixo na bacia, lançamento de água servida na via pública ou em dispositivos de drenagem; aspectos gerais de conservação de água, e dos dispositivos como taludes, casa de bombas, cercas, portões, etc.

Quadro 14 – Resumo das principais características das lagoas de retenção e infiltração estudadas.

Lagoas	Bacia/sub-bacia	Área bacia (ha)	Aspecto geral da água	Aspecto geral das estruturas	Usos percebidos ou existentes	Recalque das águas	Condições de saneamento na bacia*	Local da coleta de água
CTG	XIX / XIX.2 E	1016,0	Pouco poluída	Boa conservação	Controle de poeiras em obras; recreação de contato primário; pesca	Por bombeamento	Baixa cobertura de rede coletora de esgotos	Caixa de saída
MAKRO	XIX / XIX-1	1016,0	Pouco poluída	Má conservação. Ausência de cercas e vegetação crescida.	Não percebido	Por bombeamento	Baixa cobertura de rede coletora de esgotos	Frente à caixa de saída
MANOEL FELIPE	IX / IX-2	714,8	Turva	Estrutura em obras	Recreacional	Por gravidade	Grande cobertura de rede coletora de esgoto	Vertedouro das águas da lagoa para o Canal do Baldo.
ALAGAMAR	XX / XX-2	949,3	Razoável poluição; presença de macrófitas	Elevada inclinação de taludes; vegetação bastante crescida; presença de estação elevatória na área da lagoa; cercas e portões bem conservados.	Não percebido	Por bombeamento	Grande cobertura de rede coletora de esgoto.	Caixa de saída
PETROBRÁS	XV / não possui sub-bacias	431,8	Razoável poluição; presença de resíduos sólidos; indícios de recebimento de esgotos.	Elevada inclinação de taludes; vegetação bastante crescida; formação de bancos de areia; cercas mal conservadas.	Não percebido	Por bombeamento	Não há coleta de esgotos.	Frente à caixa de saída
PREÁ	XII / XII-4	1264,8	Elevada poluição; presença de resíduos sólidos; recebimento de esgotos.	Vegetação bastante crescida; cerca e portões de proteção quebrados.	Não percebido	Por bombeamento	Baixa cobertura de rede coletora de esgoto.	Frente à caixa de saída

* Em todas as bacias há coleta regular de resíduos sólidos, ocorrendo duas vezes por semana.

4.2 MÉTODOS

A avaliação da qualidade de água foi analisada juntamente com os dados da precipitação pluviométrica ocorrida no período destinado às coletas de amostra de água das lagoas. Os dados de precipitação foram obtidos junto à Estação Climatológica da UFRN (latitude Sul: 5°12'14" e longitude Oeste: 35°12'28"), e corresponde ao período de 01 de janeiro a 10 de setembro de 2010. Os dados fornecidos foram das médias diárias de precipitação registradas no pluviômetro da referida estação.

4.3 ANÁLISES LABORATORIAIS

A investigação da qualidade de água, para fins de utilização não potável no meio urbano, requer a análise de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos. Por se tratarem de amostras de águas de lagoas de retenção, não é adequado considerá-las com características iguais às de água de chuva, justamente porque elas carregam impurezas contidas nas superfícies por onde percorreram, alterando suas características. Deve-se considerar também que em alguns casos a água apresenta características inerentes aos esgotos, já que tem-se o conhecimento de que a falta de cobertura de rede coletora de esgotos em uma grande porcentagem dos domicílios nas áreas de contribuição das bacias resultam em lançamentos indevidos na via pública, e uma vez que esses esgotos alcançam os dispositivos de drenagem acabam alcançando as águas das lagoas, contaminando-as. Logo, devido às variadas possibilidades de qualidade, faz-se necessário ampliar os parâmetros analisados, afim de melhor caracterizar as águas das lagoas estudadas.

Serão detalhados a seguir os procedimentos adotados durante a coleta e manuseio das amostras coletadas no laboratório, assim como serão mostrados os principais parâmetros analisados, justificando o porquê da sua utilização.

4.3.1 Procedimento e Frequência de Coleta

As amostras foram coletadas entre fevereiro e agosto de 2010, sempre no turno matutino, entre às 8:00 h e 10: 00 h. O ponto de coleta adotado foi a caixa de saída das lagoas que coincide com o ponto de bombeamento e recalque das águas.

Entretanto, nem todas as lagoas possuem caixa de saída de água com dispositivos de bombeamento, como é o caso da lagoa Manoel Felipe, ou em outros casos a caixa de saída era protegida por grades e estava trancada nos momentos em que as coletas foram realizadas, como ocorreu, por exemplo, na lagoa do Preá, Petrobrás e Makro. Dessa forma, nos casos da impossibilidade de coleta de água nas caixas de saída, optou-se por realizar a coleta da água o mais próximo destas caixas, e geralmente a sua frente; e para a lagoa Manoel Felipe, que não dispõe de sistema de bombeamento, o local de retirada de água foi situado na jusante da lagoa, onde as águas são direcionadas para o canal do Baldo.

Buscou-se assim que os pontos de coleta fossem os mais representativos das reais características da água destinada a utilização no meio urbano.

Os parâmetros analisados, assim como os métodos de determinação e local de execução de análise estão detalhados no Quadro 15:

Quadro 15 – Parâmetros analisados e seus respectivos métodos de determinação.

PARÂMETRO	MÉTODO DE ANÁLISE	REFERÊNCIA	CÓDIGO STANDARD
pH	Potenciométrico	APHA <i>et al</i> , 1998	4500-H ⁺ B
Temperatura	Aparelho multifunção com eletrodo para medição de temp.	APHA <i>et al</i> , 1998	2550 B
Cond. elétrica	Conducométrico	APHA <i>et al</i> , 1998	2510 B
Turbidez	Turbidimétrico	APHA <i>et al</i> , 1998	2130 B
OD	Método de Winkler (modificação da azida)	APHA <i>et al</i> , 1998	4500-O C
Col. Termot.	Membrana Filtrante	APHA <i>et al</i> , 1998	9222
Ovos helmintos	Contagem de ovos de helmintos	BAILINGER, 1979*	
DQO	Refluxação Fechada	APHA <i>et al</i> , 1998	5220 C
NTK	Destilação Titulação (Semi-micro Kjeldahl)	APHA <i>et al</i> , 1998	4500
Nitrato	Salicilato de sódio	RODIER, 1975	
Fósforo Total	Digestão em meio ácido	APHA <i>et al</i> , 1998	4500-P E
Potássio	Espectrofotometria de absorção atômica	APHA <i>et al</i> , 1998	3500-K B
Sódio	Espectrofotometria de absorção atômica	APHA <i>et al</i> , 1998	3500-Na B
Magnésio	Através da dureza de magnésio	APHA <i>et al</i> , 1998	3500-Mg B
Cálcio	Através da dureza de cálcio	APHA <i>et al</i> , 1998	3500-Ca D
Bicarbonatos	Através da alcalinidade	APHA <i>et al</i> , 1998	2320 B
Cloretos	Método Argentimétrico (Método de Mohr)	APHA <i>et al</i> , 1998	4500-Cl ⁻ B
Dureza	Titulométrico do EDTA	APHA <i>et al</i> , 1998	2340 C
Alcalinidade	Titulação potenciométrica	APHA <i>et al</i> , 1998	2320 B
Sól. Totais	Gravimétrico	APHA <i>et al</i> , 1998	2540 B

Sól. Suspensos	Gravimétrico	APHA <i>et al</i> , 1998	2540 D
Sól. Dissolvidos	Gravimétrico	APHA <i>et al</i> , 1998	2540

* modificado

As análises de pH, temperatura, condutividade elétrica, turbidez, oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, cloretos, dureza total, de cálcio e de magnésio, DQO, nitrato, fósforo total, NTK, sólidos (totais, dissolvidos e suspensos), bicarbonatos e alcalinidade foram efetuadas semanalmente; a contagem de ovos de helmintos foi realizada quinzenalmente. Foram efetuadas oito determinações dos parâmetros sódio e potássio, e as amostras foram coletadas em dias posteriores a eventos chuvosos.

No total foram realizadas cento e vinte coletas, distribuindo-se vinte amostras para cada lagoa de detenção e utilização estudada. Entretanto, não foi possível obter, em alguns casos, vinte resultados para cada um dos parâmetros analisados, seja por erro experimental ou perda de amostra devido problemas operacionais no laboratório.

A coleta d'água nas caixas de saída, em pontos à sua frente ou à jusante das lagoas, foi realizada com auxílio de balde plástico (Figura 16).

Figura 16 - Captação de água na caixa de saída de água da lagoa de Alagamar.



Fonte: Foto da autora.

Os parâmetros pH, condutividade elétrica e temperatura eram mensurados *in loco* com o medidor portátil multifunção HACH (Sensor 156), capaz de mensurar pH

que varie de 2 a 19,99, condutividade elétrica de 0 a 1999 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 2 a 199,9 mS/cm e temperatura de -10 a 110°C .

Posteriormente à coleta, diferentes volumes de água eram dispostos em também diferentes recipientes, que variaram de acordo com o tipo ou grupo de análise que seria realizada. O Quadro 16 relaciona os tipos de recipientes usados nos procedimentos de amostragem.

Quadro 16 – Tipos de recipientes e volumes coletados de amostra.

Análise	Recipiente	Volume
Coliformes Termotolerantes	Plástico autoclavável	250 mL
Físico-Químicas	Plástico	2 L
Contagem de Ovos de Helmintos	Plástico	10 L
Sódio e Potássio	Frasco âmbar	1 L

As amostras que foram encaminhadas para análise de metais no CTgás eram armazenadas em recipiente âmbar, com capacidade para 1 litro, e preservadas com 2 ml de ácido nítrico PA a uma temperatura de 4°C . Todos os frascos que foram destinados ao armazenamento de amostras foram lavados com água e sabão, e posteriormente com ácido clorídrico a 10%. Para as amostras necessárias a análise de coliformes termotolerantes utilizou-se frasco de polietileno, que foram anteriormente esterilizados em autoclave por 15 minutos, numa temperatura de 121°C . As amostras coletadas correspondiam a $2/3$ do volume do frasco e eram armazenadas temporariamente (transporte até o Laboratório de Análises Químicas do LARHISA) em isopor limpo com álcool 70% e preenchido com gelo.

4.4 MÉTODOS ANALÍTICOS USADOS E TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

4.4.1 Métodos Analíticos

4.4.1.1 Oxigênio Dissolvido

Considerando-se o teor de oxigênio dissolvido unicamente para água de chuva, pode-se considerar que sua concentração frequentemente está nos valores de saturação. E quanto maior o nível de poluição, menor tende a ser a concentração de oxigênio dissolvido, podendo inclusive obter-se ausência do mesmo.

A análise da concentração de oxigênio dissolvido deve ser avaliada ao se propor o uso de águas em torres de resfriamento, caldeiras, piscicultura, etc.

4.4.1.2 DQO

A análise da DQO foi realizada em face à importância da verificação, mesmo que indireta, dos teores de matéria orgânica, que auxilia na caracterização do nível de poluição de corpos aquáticos.

4.4.1.3 Turbidez

A análise da turbidez é um parâmetro relevante a ser considerado, uma vez que está sendo analisada a possibilidade de uso das águas das lagoas de retenção e infiltração no meio urbano, e os sólidos em suspensão podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos, o que requer a aplicação de técnicas de desinfecção para garantia de segurança sanitária dessas águas.

A análise de turbidez é um importante parâmetro para avaliação da possibilidade, juntamente com outros parâmetros, de uso de águas em limpeza pública, compactação do solo, em sistemas de proteção contra incêndio, e outros usos urbanos não potáveis.

4.4.1.4 Temperatura

A interpretação da temperatura é significativa por que pode dar indícios, por exemplo, de despejos industriais, e de águas de torres de resfriamento, além de também ser importante pela sua influência na solubilidade de gases como o O₂ e na taxa de transferência de gases.

4.4.1.5 Fósforo Total

Elevados teores de fósforos podem ser responsáveis pela eutrofização de corpos aquáticos, que traz como consequências problemas estéticos, mortandade de peixes, elevados custos para tratamento de água, que indesejáveis quando se pensa em utilização das águas das lagoas de retenção e infiltração. Além disso, algumas das fontes antrópicas de fósforo, como por exemplo, despejos industriais e domésticos, lançamentos de fertilizantes, detergentes, e excrementos de animais podem ocorrer na área de contribuição das bacias onde as lagoas estudadas estão inseridas, contribuindo para o aumento do aporte de fósforo. Buscou-se analisar o teor de fósforo total por este corresponder a somatória de todas as formas de fósforo presente na água estudada.

4.4.1.6 Coliformes Termotolerantes

Provavelmente a principal fonte de organismos patogênicos em águas de lagoas de retenção e infiltração são os lançamentos de esgotos na via pública que acabam por alcançar as sarjetas e dispositivos de drenagem, alcançando-as. Outra provável fonte é a de dejetos de animais presentes nos dispositivos de drenagem.

A escolha das bactérias do grupo coliforme como indicadoras de contaminação fecal nas águas das lagoas de retenção e infiltração é justificada pelos motivos que fazem desse grupo de coliformes o mais comumente utilizado para tal fim: elevada proporção nas fezes humanas; resistência levemente superior à maioria das bactérias intestinais; mecanismo de remoção similar aos de bactérias patogênicas; e técnica bacteriológica rápida e barata.

A análise de coliformes é fundamental para avaliação dos riscos sanitários oferecidos por águas ao utilizá-las na irrigação e piscicultura. Esses riscos podem ser associados ao consumo de culturas vegetais ou peixes que possam ser contaminados, ou o risco associado aos trabalhadores que na sua atividade manuseiam águas que possam estar com elevadas concentrações de coliformes termotolerantes.

4.4.1.7 Contagem de Ovos de Helmintos

Foi realizada apenas a contagem de ovos de helmintos, não incluindo a viabilidade dos possíveis ovos encontrados por que acreditava-se que a quantidade

de ovos encontrados seria baixa, dispensando portanto, técnicas mais acuradas e demoradas para identificação de viabilidade de ovos.

Tal método faz referência a análise em esgotos sanitários, onde propõe a utilização de 1 litro de esgoto bruto ou 10 litros de esgoto caso esse seja tratado, como amostra. Para o presente trabalho adotou-se o volume de 10 litros de água das lagoas de retenção e infiltração como amostra.

A determinação de ovos de helmintos apresenta importância similar a da análise de coliformes termotolerantes, em termos de utilização de águas para atividades urbanas não potáveis.

4.4.1.8 Cloretos

A determinação dos íons cloretos é justificada pelo fato de que a concentração do íon cloreto ser maior em águas residuárias domésticas, do que nas águas brutas, porque o cloreto de sódio está presente na dieta humana (VON SPERLING, 2005). Dessa forma, a investigação da concentração de íon cloreto nas amostras das águas das lagoas de retenção e infiltração analisadas pode apontar ou não indícios de contribuição de esgotos na mesma.

Este é um parâmetro que deve ser analisado ao se propor o uso das águas das lagoas de retenção e infiltração em irrigação, já que em determinadas concentrações são conhecidos os seus efeitos tóxicos, assim como deve ser avaliada sua concentração para avaliar possibilidade de uso em caldeiras e torres de resfriamento.

4.4.1.9 Condutividade Elétrica

O teor de condutividade possui relação com sais dissolvidos, o que permite com a sua análise a estimativa da concentração de íons dissolvidos na água analisada. Alguns dos íons que podem estar dissolvidos nas amostras de água, e que portanto, aumentarão os teores de condutividade elétrica, são o cloreto, o sódio, cálcio, magnésio, etc, que podem apresentar problemas relacionados à toxicidade e salinidade em água de irrigação, por exemplo.

4.4.1.10 Dureza

O teor de dureza é um dos parâmetros a ser analisado ao se propor a utilização de águas em indústrias, a fim de se identificar riscos associados à incrustação de tubulações, especialmente em caldeiras.

4.4.1.11 NTK

Foram realizados testes para determinação do Nitrogênio Total Kjeldahl, por ser esta uma somatória das duas principais formas de nitrogênio presentes em esgoto doméstico bruto. Dessa forma, é possível identificar indícios de lançamento de esgotos nas águas das lagoas estudadas, assim como estimar o estágio da poluição causada por algum lançamento de esgotos. Além disso, a investigação dos teores de amônia na sua forma livre é importante ao se analisar a possibilidade de utilização das águas em piscicultura.

Os processos de conversão de nitrogênio que possam ocorrer nas águas das lagoas podem resultar, por exemplo, em alterações nos teores de oxigênio e alcalinidade, e na sedimentabilidade do lodo formado no fundo.

4.4.1.12 Nitrato

A determinação da concentração de nitrato é importante porque este pode provocar toxicidade em vegetais em determinadas concentrações, contribuir para a eutrofização de corpos aquáticos, além de dar indícios do estágio de poluição.

4.4.1.13 Alcalinidade Total

Foi escolhido o método da titulação potenciométrica para a análise da alcalinidade total, pois uma das amostras, a da lagoa do Preá, apresentou coloração escura, dificultando a visualização do ponto de equilíbrio químico. Dessa forma, para uniformizar o procedimento a todas as amostras, adotou-se esse método de análise. Além disso, entende-se que este parâmetro é importante na redução da dureza e prevenção da corrosão em tubulações, uma vez que baixos valores de alcalinidade podem dificultar a saturação de água por carbonato, que previne a corrosão. Sendo desta maneira, importante para a avaliação da qualidade de água destinada a usos industriais, especialmente em caldeiras e torres de resfriamento.

4.4.1.14 Sólidos Totais, em Suspensão e Dissolvidos

Foi realizada a análise da série de sólidos devido ao fato destes serem importantes parâmetros relativos à caracterização de esgotos domésticos, assim como, nos padrões de qualidade de água para processos industriais este é um importante parâmetro a ser considerado. Para tal não foi realizado nenhum pré-tratamento, e objetivou-se ter uma representação das condições das amostras nas lagoas.

4.4.2 Tratamento Estatístico dos Dados

A análise e interpretação dos resultados obtidos foram realizadas com auxílio de planilhas eletrônicas.

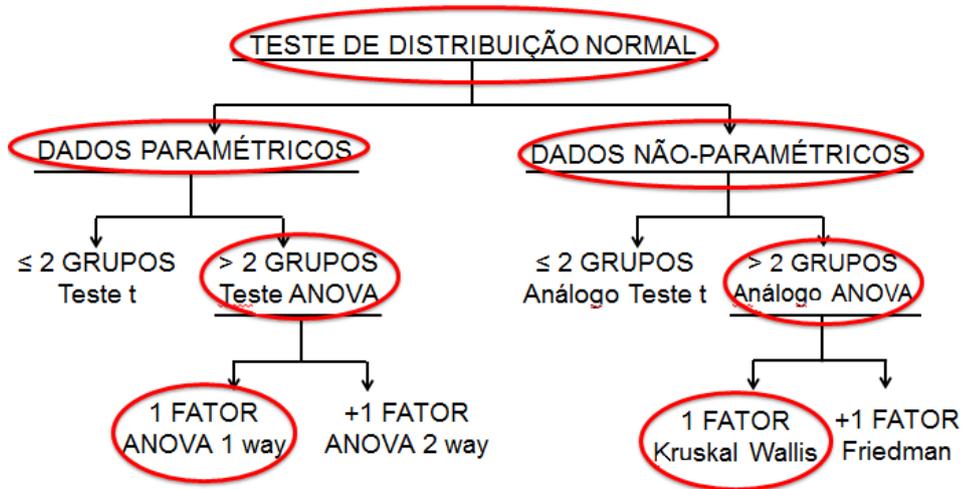
Foram realizados teste de normalidade para verificar se os dados analisados apresentavam ou não distribuição normal. Para tal, utilizou-se o teste Shapiro-Wilks. Realizou-se também a estatística descritiva dos dados coletados.

Em relação a estatística indutiva, foram realizados testes tanto para os dados que apresentaram distribuição paramétrica quanto para os dados não-paramétricos, levando em consideração nos dois casos o número de grupos maior que dois (2), e um (1) fator. Os testes realizados foram:

- **Paramétricos:** testes de Tukey HSD, Fisher LSD, Unequal N HSD, Bonferroni, Scheffé, além da ANOVA gráfica e;
- **Não-Paramétrico:** Kruskal-Wallis, uma vez que apenas um fator foi adotado como referencial de agrupamento.

A Figura 17 mostra o organograma utilizado para o tratamento estatístico dos dados utilizados na pesquisa.

Figura 17 – Organograma do tratamento estatístico realizado.



5 RESULTADOS

Para mostrar os resultados obtidos nas análises das águas das lagoas estudadas, foi elaborado o Quadro 17, no qual estão detalhados o número de amostra utilizada para cada lagoa (n), a mediana ou média obtida \pm o desvio padrão (DP), e os valores mínimos e máximos (mín-máx) encontrados.

Apenas os resultados encontrados para pH e temperatura apresentaram distribuição normal, e portanto, a medida de tendência central adotada é a média. Para os demais parâmetros adotou-se a mediana.

O número de amostras adotadas para cada parâmetro foi de vinte, exceto para Fósforo Total e RAS°. Para estes o número de amostra total foi de quinze e oito respectivamente. A menor quantidade de amostras para estes dois parâmetros se deu devido erros experimentais (Fósforo Total), e devido a realização de análise em laboratório terceirizado, que representou custo para a execução (RAS°).

Quadro 17–Valores de medianas ou médias, desvio padrão, e mínimos e máximos encontrados para os parâmetros analisados.

Parâmetros	CTG (20)	Makro (20)	Manoel Felipe (20)	Alagamar (20)	Petrobrás (20)	Preá (20)
pH *	6,0 a 7,0 ± 0,54 (6,43-8,31)	7,0 a 8,0 ± 0,60 (6,06-8,82)	6,0 a 7,0 ± 0,74 (6,16-8,69)	6,0 a 7,0 ± 0,74 (6,01-8,45)	7,0 a 8,0 ± 0,48 (6,13-7,72)	6,0 a 7,0 ± 0,41 (5,90-7,35)
OD (mg/L)	3,30 ± 1,46 (1,2 -5,3)	2,40 ± 2,06 (0,23-6,38)	1,40 ± 1,38 (0,00-4,81)	1,00 ± 0,77 (0,0-2,6)	0,80 ± 0,97 (0,00-3,42)	0,00 ± 0,22 (0,0-0,8)
Turbidez (UT)	34 ± 8 (17,00-53,10)	30 ± 15 (14,80-72,40)	38 ± 21 (20,60-76,20)	17 ± 18 (6,97-71,70)	19 ± 21 (4,43-80,00)	54 ± 21 (24,20-98,00)
Temperatura (°C) *	25,40 ± 1,31 (23,5-28,0)	25,90 ± 1,67 (22,2-29,5)	27,00 ± 1,85 (23,2-30,6)	25,00 ± 2,07 (23,2-29,6)	25,70 ± 1,68 (22,6-29,2)	26,90 ± 1,92 (23,4-29,7)
Condutividade Elétrica (µS/cm)	153,25 ± 45,79 (105,60-265,30)	147,70 ± 64,00 (116,60-295,00)	176,30 ± 30,61 (128,60-241,30)	145,75 ± 103,75 (31,40-379,10)	285,40 ± 157,61 (82,36-583,40)	517,05 ± 119,20 (212-601,00)
log ₁₀ CTT (UFC/100mL)	2,60 ± 0,70 (1,0-3,7)	3,00 ± 0,57 (2,0-3,9)	3,50 ± 0,65 (2,0-4,7)	3,90 ± 0,96 (3,0-5,9)	4,30 ± 0,86 (3,0-5,8)	5,70 ± 0,72 (4,0-7,9)
Nit. Amoniacal (mg/L)	0,00 ± 0,41 (0,00-1,68)	0,56 ± 0,46 (0,00-1,68)	0,56 ± 0,50 (0,00-1,68)	0,56 ± 2,05 (0,00-6,72)	1,12 ± 1,53 (0,00-4,48)	4,20 ± 2,99 (0,00-8,96)
Nit. Orgânico (mg/L)	0,56 ± 0,78 (0,00-2,80)	0,56 ± 0,90 (0,00-2,80)	0,56 ± 0,57 (0,00-1,68)	0,56 ± 0,85 (0,00-3,10)	0,84 ± 0,77 (0,00-2,8)	0,84 ± 0,95 (0,00-2,80)
NTK (mg/L)	0,56 ± 1,00 (0,00-3,36)	1,12 ± 1,09 (0,00-3,36)	1,12 ± 0,82 (0,00-3,08)	1,26 ± 2,29 (0,00-8,40)	2,52 ± 1,65 (0,56 - 5,60)	5,60 ± 2,79 (0,84-10,08)
Nitrato (mg/L)	1,70 ± 0,67 (0,76-3,04)	2,39 ± 1,63 (0,39-5,90)	6,53 ± 1,35 (3,90-8,76)	2,35 ± 1,34 (0,55-5,78)	1,33 ± 0,73 (0,03-2,4)	1,96 ± 1,04 (0,97-4,30)
Fósforo Total (mg/L) **	0,06 ± 0,03 (0,04-0,13)	0,07 ± 0,03 (0,04-0,13)	0,10 ± 0,04 (0,05-0,24)	0,11 ± 0,04 (0,05-0,19)	0,20 ± 0,20 (0,05-0,53)	0,20 ± 0,10 (0,07-0,40)
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	7,80 ± 1,96 (5,40-12,40)	7,20 ± 1,92 (4,60-12,00)	7,60 ± 2,03 (1,40-11,00)	8,00 ± 3,53 (4,20-15,40)	11,65 ± 5,84 (4,00-21,60)	15,80 ± 3,74 (8,20-19,40)
HCO ₃ (mg CaCO ₃ /L)	190,32 ± 47,73 (131,76-302,56)	175,68 ± 46,78 (112,24-292,80)	185,44 ± 49,54 (34,16-268,40)	195,20 ± 86,12 (102,48-375,76)	284,26 ± 142,58 (97,60-527,04)	385,52 ± 91,33 (200,08-473,36)
Cloretos (mg Cl ⁻ /L)	4,98 ± 4,32 (1,00-16,93)	11,95 ± 11,93 (2,99-37,84)	19,42 ± 11,08 (5,98-46,81)	11,45 ± 10,19 (1,99-33,86)	38,34 ± 27,00 (1,00-74,70)	65,72 ± 12,33 (29,90-83,65)
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	7,40 ± 1,18 (5,80-10,00)	6,60 ± 0,68 (5,80-8,00)	7,70 ± 0,87 (5,90-9,5)	7,05 ± 1,37 (5,80-10,00)	6,80 ± 2,20 (5,00-12,70)	7,20 ± 1,44 (4,90-11,10)
Dureza de Cálcio (mg CaCO ₃ /L)	2,80 ± 1,10 (1,20-5,60)	2,10 ± 0,61 (1,20-4,00)	2,00 ± 0,47 (1,10-2,80)	2,00 ± 0,63 (1,20-3,70)	1,70 ± 0,43 (1,00-2,75)	2,00 ± 0,98 (1,00-4,30)

Continuação Quadro 17.

Parâmetros	CTG (20)	Makro (20)	Manoel Felipe (20)	Alagamar (20)	Petrobrás (20)	Preá (20)
Dureza de Magnésio (mg CaCO₃/L)	4,37 ± 1,06 (0,90-5,00)	4,80 ± 1,16 (3,40-7,80)	5,70 ± 0,80 (3,80-7,5)	4,90 ± 1,23 (1,00-6,30)	5,05 ± 1,42 (3,40-9,0)	4,90 ± 1,27 (2,90-7,90)
ST (mg/L)	148,00 ± 69,37 (52,0-312,0)	168,00 ± 84,40 (20,0-316,0)	263,00 ± 117,73 (92,0-514,0)	266,00 ± 133,82 (34,0-412,0)	244,00 ± 123,93 (48,0-418,0)	434,00 ± 177,31 (260,0-830,0)
STF (mg/L)	85,00 ± 43,00 (6,0-158,0)	114,00 ± 90,70 (2,0-284,0)	149,00 ± 63,35 (26,0-244,0)	109,00 ± 62,84 (8,0-204,0)	132,00 ± 69,27 (14,0-206,0)	252,00 ± 82,99 (70,0-358,0)
STV (mg/L)	46,00 ± 47,82 (10,0-160,0)	48,00 ± 84,85 (2,0-308,0)	125,00 ± 99,19 (20,0-378,0)	141,00 ± 78,23 (24,0-244,0)	114,00 ± 83,51 (22,0-262,0)	249,00 ± 184,24 (24,0-524,0)
SST (mg/L)	20,00 ± 16,60 (6,0-74,0)	20,00 ± 14,81 (4,0-56,0)	36,00 ± 26,25 (6,0-104,0)	16,00 ± 24,27 (4,0-86,0)	32,00 ± 19,10 (6,0-56,0)	42,00 ± 22,33 (6,0-98,0)
SSF (mg/L)	10,00 ± 11,03 (6,0-74,0)	4,00 ± 8,33 (0,0-26,0)	11,00 ± 16,78 (2,0-58,0)	4,00 ± 14,17 (4,0-46,0)	6,00 ± 7,38 (2,0-26,0)	14,00 ± 22,33 (2,0-24,0)
SSV (mg/L)	9,00 ± 11,01 (2,0-40,0)	8,00 ± 11,02 (2,0-38,0)	17,00 ± 24,86 (2,0-88,0)	10,00 ± 15,28 (2,0-48,0)	24,00 ± 16,49 (4,0-50,0)	24,00 ± 23,70 (2,0-96,0)
SD (mg/L)	134,00 ± 69,79 (26,0-298,0)	110,00 ± 77,30 (62,0-308,0)	198,00 ± 105,45 (54,0-388,0)	253,00 ± 176,07 (18,0-606,0)	183,00 ± 150,82 (38,0-528,0)	368,00 ± 178,55 (136,0-814,0)
DQO (mg/L)	33 ± 20 (5,92-73,47)	58 ± 42 (19,46-161,68)	32 ± 27 (7,78-102,13)	34 ± 22 (3,92-81,00)	73 ± 61 (15,63-245,10)	204 ± 85 (39,22-285,00)
RAS° ***	0,30 ± 0,12 (0,14 - 0,50)	0,30 ± 0,01 (0,30 - 0,31)	0,30 ± 0,05 (0,25 - 0,41)	0,80 ± 0,58 (0,08 - 1,52)	3,00 ± 1,11 (0,38 - 3,90)	2,50 ± 1,20 (1,22 - 6,10)

* são adotados valores médios

** quinze amostras

*** consideradas oito amostras de águas coletadas de cada lagoa

Representação na tabela:

Lagoa (n)

X ± DP

(mín-máx), onde:

n: número de amostra

X: mediana ou média

DP: desvio padrão

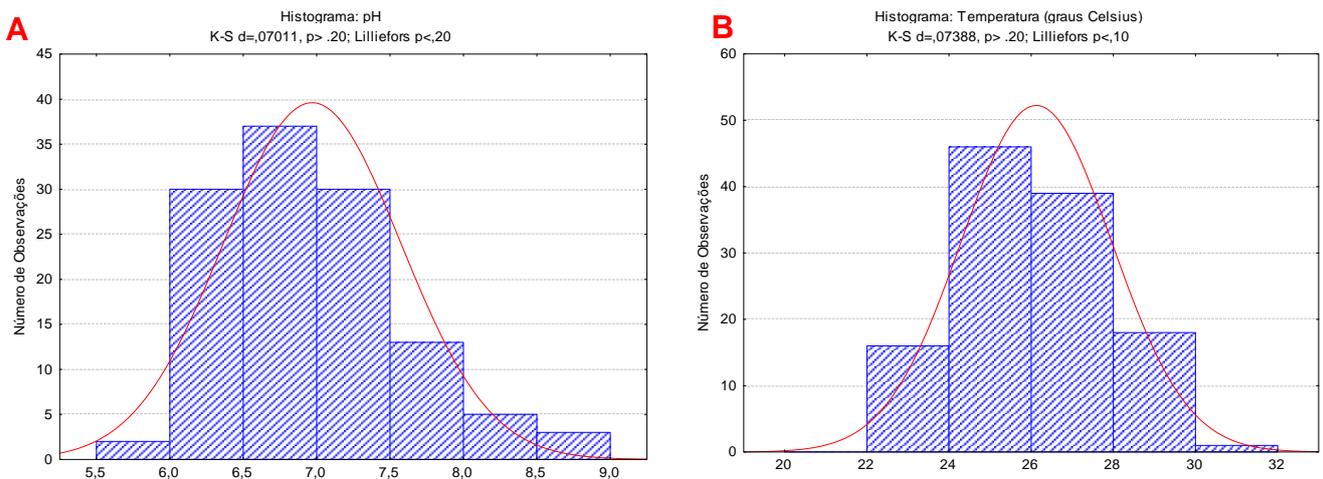
mín: mínimo

máx: máximo

- **Análise Descritiva**

Como o estudo fez análise qualitativa das características das águas de seis lagoas de retenção e infiltração distintas, situadas em diferentes bacias, era de se esperar que houvesse distinção entre a qualidade das águas das lagoas analisadas. Tais diferenças entre esses dados implicam em tratamento estatístico também distinto para o conjunto dos dados. A análise inicial para averiguar a distribuição dos dados foi feita pelo teste de Kormogorov-Smirnov, a qual apontou que para a maioria dos dados apresentaram-se sem distribuição normal ($p < 0,05$). Com exceção dos parâmetros pH e temperatura, conforme distribuição é observada na Figura 18-A) e 18-B), os demais parâmetros não apresentaram distribuição normal. Dessa forma, adotou-se para pH e temperatura a média, e para os demais parâmetros a mediana como medida de tendência central.

Figura 18 – A) e B) Histograma de frequência, evidenciando comportamento normal para os parâmetros pH e temperatura respectivamente, para todas as lagoas agrupadas.



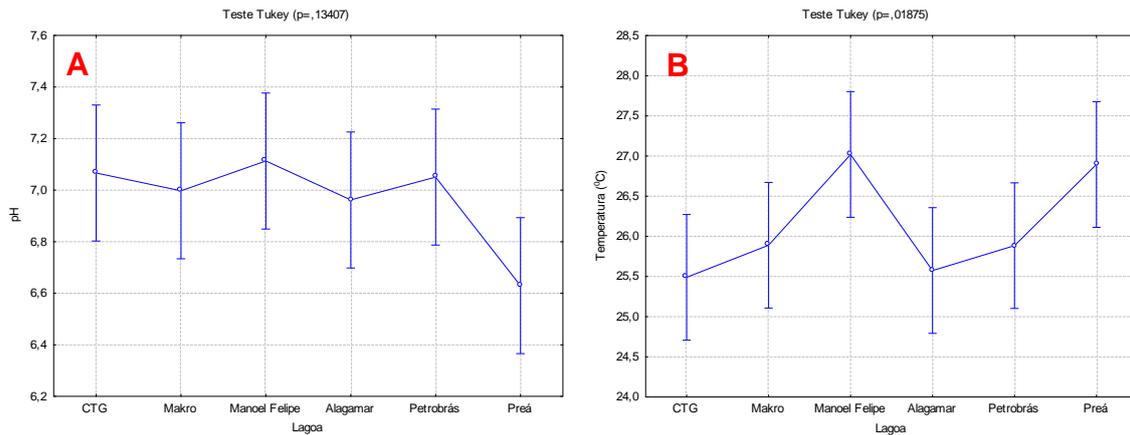
- **Análise de Inferência**

A condução do tratamento estatístico de inferência foi a partir de testes para os dados paramétricos e para os não-paramétricos. Para o conjunto de dados paramétricos, realizou o teste de ANOVA, uma vez que a quantidade de grupos analisados é igual a seis, portanto maior que dois grupos de dados. E para os dados não paramétricos realizou-se o teste análogo à ANOVA.

Para pH e temperatura, ou seja, os dados paramétricos, realizou-se a ANOVA 1 way, teste de Tukey para confirmar se o valor de p indicou existência de diferença

significativa entre os grupos de lagoas analisadas. Para o pH, a análise dos dados da lagoa do Preá apresentaram $p > 0,05$, portanto, p não significativo (Figura 19-A). Para os dados de temperatura o p foi significativo para as lagoas de Preá e Manoel Felipe (Figura 19-B).

Figura 19 – A) Gráfico de pH evidenciando que não foi observada diferença significativa entre as lagoas estudadas. B) Gráfico de temperatura para as lagoas estudadas evidenciando diferença significativa para os dados das lagoas do Preá e Manoel Felipe.



Para os dados não-paramétricos foi usado o teste de Kruskal Wallis para confirmar se o valor de p indicou existência de diferença significativa entre os grupos de lagoas estudadas.

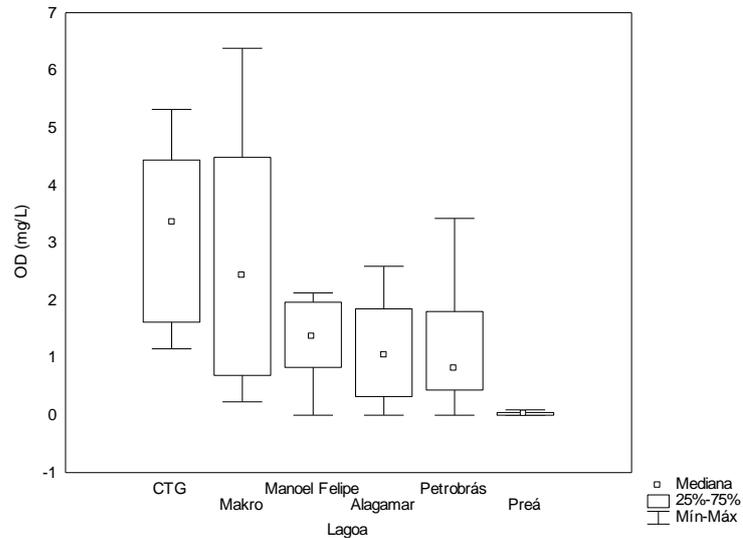
5.1 OXIGÊNIO DISSOLVIDO

As diferenças observadas a partir da análise de inferência estão apresentadas no Quadro 18. Observando-se os valores medianos de OD na Figura 20, nota-se que a maior concentração foi observada nas águas da lagoa do CTG, e a menor nas águas da lagoa do Preá.

Quadro 18: Esquema representativo das diferenças observadas entre as águas das lagoas em relação à concentração de OD.

	CTG	MAKRO	MANOEL FELIPE	ALAGAMAR	PETROBRÁS	PREÁ
CTG				≠	≠	≠
MAKRO						≠
MANOEL FELIPE						≠
ALAGAMAR	≠					≠
PETROBRÁS	≠					≠
PREÁ	≠					

Figura 20 – Box da concentração de oxigênio dissolvido observada nas águas das lagoas estudadas.



Em função da concentração de oxigênio dissolvido é possível estabelecer dois grupos distintos de qualidade: um relacionado às águas do CTG, que possuem maior quantidade de oxigênio dissolvido na água, representando, portanto, melhor qualidade; e um segundo grupo relacionado às águas do Preá, que possuem pior qualidade quando se avalia este parâmetro.

Analisando-se a possibilidade de reúso destas águas, e considerando-se a Resolução CONAMA N° 357/05, assim como, apenas o teor de OD, as únicas lagoas que podem ter suas águas compatíveis a algum uso preconizado por tal Resolução são as águas das lagoas do CTG e Makro, que se adequam à navegação e harmonia paisagística, por possuírem valores medianos maiores que 2 mg/L de OD.

Para a piscicultura os valores médios recomendados para peixes de águas tropicais variam entre 4 e 6 mg/L (Bastos et al., 2003), sendo assim, as águas das lagoas CTG, Makro e Manoel Felipe chegaram a apresentar, como valores máximos, concentrações situadas nesse intervalo.

Para uso industrial em torres de resfriamento, com exceção das águas da lagoa do Preá, todas as lagoas podem ser destinadas, uma vez que de acordo com Metcalf & Eddy (2003) é necessário apenas que seja presente oxigênio dissolvido, independente da sua concentração.

Para uso em caldeiras, em condições de baixas pressões apenas a lagoa do CTG poderia ser destinada, e tanto em pressão alta quanto intermediária todas as águas poderiam ser destinadas.

5.2 TURBIDEZ

A análise de inferência apontou diferenças significativas entre as águas das lagoas, e estas estão representadas no Quadro 19.

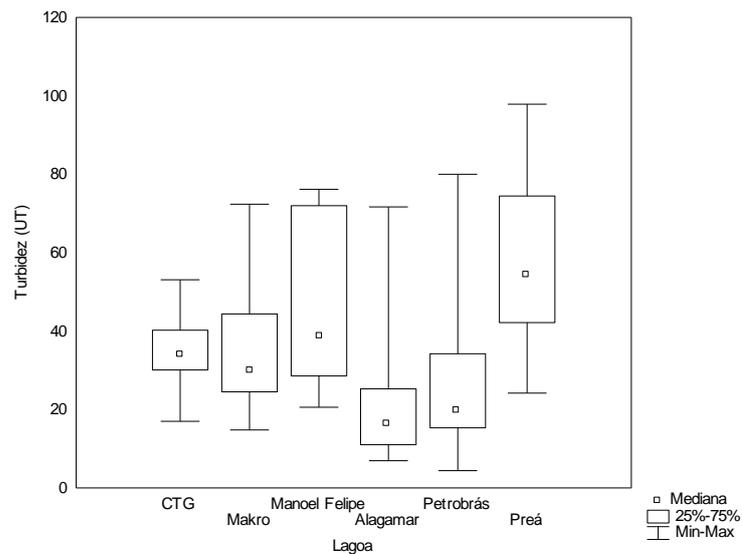
Quadro 19: Esquema representativo das diferenças observadas entre as águas das lagoas em relação à concentração de turbidez.

	CTG	MAKRO	MANOEL FELIPE	ALAGAMAR	PETROBRÁS	PREÁ
CTG						
MAKRO						≠
MANOEL FELIPE				≠		
ALAGAMAR			≠			≠
PETROBRÁS						≠
PREÁ		≠		≠	≠	

A Figura 21 mostra elevada variação dos dados obtidos para as águas da lagoa da Petrobrás, o que de fato foi observado em campo: relativa alteração na qualidade desta durante o período coletado, possivelmente devido o lançamento de água servida.

Observa-se também que o valor mediano obtido para as águas da lagoa Manoel Felipe, podem ter sido influenciado pela escavação do fundo da lagoa, com aumento de sua profundidade. O Parque da Cidade da Criança encontrava-se em obras durante o período da pesquisa, e é possível que a movimentação de terra no fundo da lagoa tenha contribuído para o aumento da turbidez. Entretanto, não foi possível confirmar esta hipótese porque as obras no Parque perduraram por tempo superior ao período de coleta.

Figura 21 – Box da concentração de turbidez observada nas águas das lagoas estudadas.



Para a lagoa do CTG provavelmente os teores de turbidez são provenientes de material sólido inerte, especialmente areia, que foi observado nas amostras de tais águas, não representando portanto, um risco.

Dentre os padrões recomendados para reúso urbano não potável, observa-se que em geral são referentes a esgotos tratados e, sendo assim, para que seja garantida segurança sanitária pela água de reúso, os limites recomendados de turbidez são baixos, variando, por exemplo, de 2 UT (USEPA, 2004; OKUN, 2000; SEMURA, RICCITELLE E GONÇALVES, 2005) a 10 UT (NBR 13969/97). Dessa forma, as águas das lagoas não se enquadram aos usos propostos por estas diretrizes.

Os estudos realizados no âmbito do PROSAB (Florêncio, Bastos e Aisse, 2006) indicam que para uso de água de esgoto tratado na limpeza pública e compactação do solo, é permitido o teor de até 20 UT para turbidez. Dessa forma, para este uso tanto as águas da Petrobrás quanto de Alagamar se enquadram, já que apresentaram valores medianos de 19 UT e 17 UT respectivamente.

Observando-se a CONAMA N° 357/05, e considerando-se apenas a turbidez as águas de CTG, Makro, Manoel Felipe, Alagamar e Petrobrás são compatíveis com a Classe 1 (recreação de contato primário, irrigação de hortaliças consumidas cruas, e outros); Preá com as Classe 2 ou 3, por possuir valor mediano de turbidez menor que 100 UT .

5.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

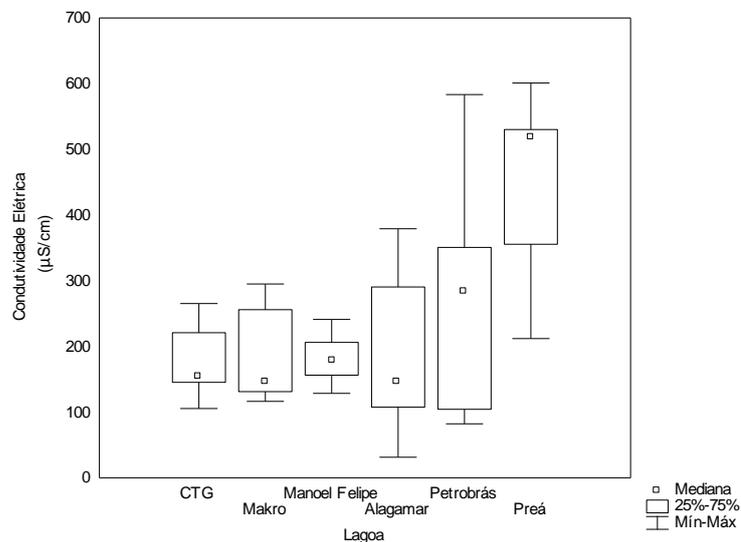
A condutividade elétrica pode ajudar a detectar fontes poluidoras nos ecossistemas aquáticos. Além disso, a análise da sua concentração fornece indícios para a avaliação de qualidade de água para irrigação em relação à salinidade.

A análise de inferência mostrou que as águas da lagoa do Preá são significativamente diferentes das águas das outras lagoas.

A análise da condutividade elétrica da água da lagoa do Preá apresentou a maior mediana dentre as águas analisadas, sendo cerca de três vezes maior que a mediana encontrada nas águas das lagoas CTG, Makro, Manoel Felipe e Alagamar, e cerca de duas vezes maior que a mediana encontrada para as águas da lagoa da Petrobrás.

As medianas de condutividade das águas das lagoas situaram-se em torno de 100 e 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou 0,1 e 0,5 dS/m (Figura 22), caracterizando águas com nenhuma restrição ao uso em irrigação, ao se analisar a salinidade. Os valores encontrados nas águas de todas as lagoas são maiores que o valor encontrado em estudo de Righetto, *et al.* (2009).

Figura 22 – Box da concentração de condutividade elétrica observada nas águas das lagoas estudadas.



5.4 COLIFORMES TERMOTOLERANTES

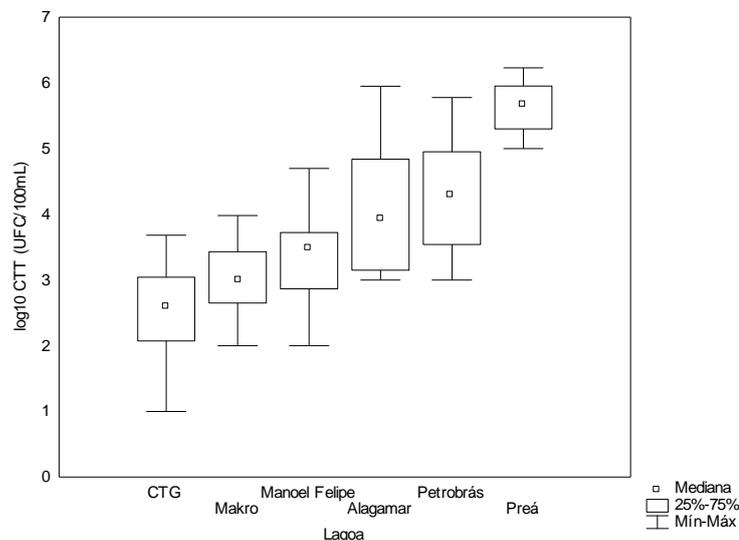
O Quadro 20 mostra a diferença observada entre as águas das lagoas, em relação aos parâmetros de coliformes termotolerantes.

Quadro 20: Esquema representativo das diferenças observadas entre as águas das lagoas em relação à concentração de coliformes termotolerantes.

	CTG	MAKRO	MANOEL FELIPE	ALAGAMAR	PETROBRÁS	PREÁ
CTG				≠	≠	≠
MAKRO				≠		≠
MANOEL FELIPE						≠
ALAGAMAR	≠	≠				≠
PETROBRÁS	≠					
PREÁ	≠	≠	≠	≠		

Pela análise da Figura 23, e informações do Quadro 17, pode-se observar os valores medianos obtidos para as águas das lagoas estudadas. Observa-se que dois grupos com três lagoas cada um, apresentam similaridade, a saber: lagoa do CTG, Makro e Manoel Felipe, representa um desses grupos com baixo valores medianos, de 10^2 , 10^3 e 10^3 UFC/100 ml respectivamente; e Preá, Alagamar e Petrobrás, representam o segundo grupo, que possui medianas maiores de CTer, 10^5 , 10^4 e 10^4 UFC/100 ml respectivamente.

Figura 23 – Box da concentração do log₁₀ CTer nas águas das lagoas estudadas.



Para este parâmetro, assim como para oxigênio dissolvido, observa-se que as águas da lagoa do CTG apresentam a melhor qualidade, e a pior é observada nas águas da lagoa do Preá. Tais observações são resultados da condição de saneamento existente na bacia onde as lagoas estão inseridas. Para a lagoa do CTG não foram observadas ligações clandestinas, e além disso, a lagoa está localizada numa área de alto padrão social, o que é, em alguns casos, determinante para o não lançamento de água servida na via pública, com a disposição destas em sumidouros, por exemplo. Pode-se comentar também que durante o período de coleta a lagoa do CTG não estava efetivamente recebendo as águas de drenagem de outras lagoas, assim como, com a escavação da lagoa houve afloramento do lençol freático, que possui água de boa qualidade. Já para a lagoa do Preá, observou-se o recebimento de esgoto durante o período de coleta, o que refletiu nas concentrações de coliformes termotolerantes nas águas da lagoa.

O valor máximo da mediana encontrada para as águas da lagoa do Preá situou-se em uma faixa, que segundo Oliveira, S. M. A; von Sperling, M. (2005), é considerada típica para esgoto predominantemente doméstico no Brasil, ou seja, entre 10^6 a 10^9 UFC/100ml. O resultado para esta lagoa é semelhante ao obtido em reservatório de contenção de cheia em São Paulo (PORTO, MARTINS E ARMELIN, (2009)).

A concentração de coliformes encontrada na lagoa da Petrobrás é semelhante ao encontrado na lagoa estudada por Campana, Bernardes e Silva Jr (2007), que foi igual a 7×10^4 .

Em relação a utilização das águas das lagoas estudadas, e seguindo-se a CONAMA N° 357/05, e observando apenas o teor de coliformes termotolerantes, as águas das lagoas do CTG são compatíveis com a Classe 1, as águas da lagoa do Makro com a Classe 2 e as águas da lagoa Manoel Felipe com a Classe 3.

De acordo com os estudos realizados no âmbito do PROSAB somente as águas das lagoas do CTG e Makro podem ser destinadas a irrigação irrestrita, e apenas as águas da lagoa do CTG podem ser usadas na compactação do solo e limpeza de vias públicas.

É possível a utilização das águas das lagoas de Manoel Felipe, Alagamar e Petrobrás na irrigação restrita.

Para a piscicultura, Aquino, Gradvohl e Santos (2007) afirmam que os riscos da presença de coliformes nos músculos dos peixes se dá quando a concentração destes na água está situada entre 10^4 e 10^5 UFC/100 mL. Sendo assim, as águas das lagoas do CTG, Makro, Manoel Felipe e Alagamar oferecem baixo risco de contaminação.

Baseando-se por estudos realizados no âmbito do PROSAB (Bastos e Bevilacqua, 2006) é possível afirmar que as águas das lagoas CTG e Makro podem ser destinadas ao abastecimento de tanques piscícolas.

5.5 OVOS DE HELMINTOS

As concentrações de ovos de helmintos em todas as lagoas foram menores que 1 ovo/litro. É importante comentar que apenas na lagoa do Preá, e em uma única amostra foi encontrado um (1) ovo, para as demais amostras, e para as outras lagoas, o resultado encontrado foi zero (0) ovos. A mesma concentração de ovos de helmintos foi encontrada para todas as lagoas em função da expressão de resultados que é feita a partir de fórmula que considera para efeito de cálculo o número médio de ovos encontrados, e diferentes volumes.

Entretanto, não significa que nas águas das lagoas estudadas não exista ovos de helmintos. Como estes são relativamente densos, é possível que tenham decantado e se acumulado no fundo das lagoas.

Para esta pesquisa interessa a qualidade de água das lagoas para fins de reúso e, sendo assim, não foi realizada análise no material sedimentado para verificar se houve sedimentação de ovos de helmintos.

Com os resultados pode-se confirmar que as águas da lagoa do CTG e Makro são adequadas para utilização em irrigação irrestrita, e as águas das lagoas de Manoel Felipe, Alagamar e Petrobrás são adequadas para uso em irrigação restrita.

5.6 NTK

A análise de inferência observada para as águas das lagoas estão apresentadas no Quadro 21.

Quadro 21: Esquema representativo das diferenças observadas entre as águas das lagoas em relação à concentração de NTK.

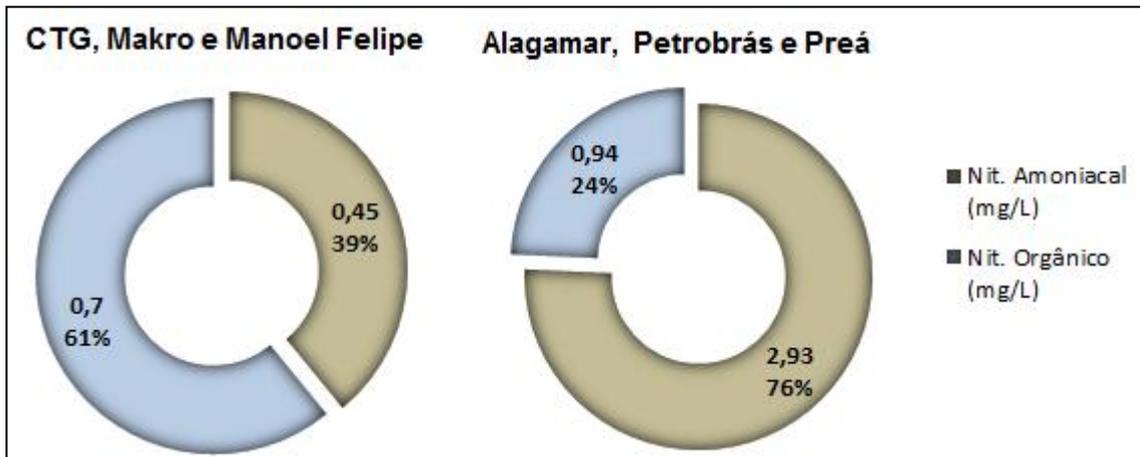
	CTG	MAKRO	MANOEL FELIPE	ALAGAMAR	PETROBRÁS	PREÁ
CTG					≠	≠
MAKRO			≠			≠
MANOEL FELIPE		≠				≠
ALAGAMAR						≠
PETROBRÁS	≠					
PREÁ	≠	≠	≠	≠		

Para a verificação da distribuição e porcentagem de nitrogênio amoniacal e nitrogênio orgânico nas águas das lagoas, optou-se por agrupar as lagoas em dois grupos distintos, que representavam similaridade quanto aos parâmetros analisados. Um dos grupos está a lagoa do CTG, Makro e Manoel Felipe, e o segundo grupo estão as lagoas Petrobrás e Preá, e a de Alagamar mesmo tendo sido significativamente diferente da lagoa do Preá.

Para as lagoas de CTG, Makro e Manoel Felipe observou-se que a fração orgânica (61%) foi superior a fração amoniacal (39%) (Figura 24).

Nas águas das lagoas de Alagamar, Petrobrás e Preá houve predominância da fração amoniacal, que correspondeu a 76%, ou 2,93 mg/L, e a fração orgânica correspondeu a 24%, com concentração de 0,94 mg/L.

Figura 24 – Porcentagem e distribuição das frações de NTK (medianas) das lagoas estudadas, em dois diferentes grupos de distribuição.



De maneira geral, a concentração de NTK, e de suas frações são consideradas baixas, e similares. Tais observações dão indícios que o método semi-micro Kjeldahl através de destilação titulação utilizado não foi preciso para a detecção das baixas concentrações encontradas. Segundo o Standard Methods (1998) este método é recomendado para amostras com concentrações maiores que 5 mg/L, o que não foi observado em nenhuma das amostras.

5.7 NITROGÊNIO AMONIACAL

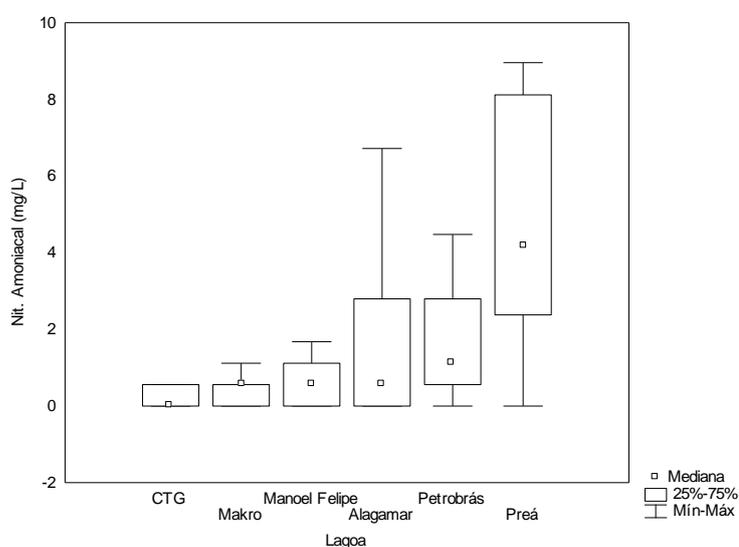
As baixas concentrações de oxigênio, e em alguns casos a observância de condições de anaerobiose nas águas das lagoas de Preá e Petrobrás, favoreceram a ocorrência da amonificação conforme pode ser observado os maiores valores medianos através do Quadro 17 e Figura 25.

A análise de inferência mostrou diferença significativa entre a lagoa do Preá e todas as outras lagoas, exceto a lagoa da Petrobrás.

As medianas obtidas para as águas das lagoas de Alagamar, CTG, Makro e Manoel Felipe foram respectivamente de 0,56; 0,00; 0,56 e 0,56 mg/L. Foi observado também que para estas lagoas o valor de pH é levemente superior, exceto ao da lagoa da Petrobrás. Para as demais lagoas maiores teores de amônia são observados.

Através da Figura 25 fica fácil visualizar que apesar do valor máximo de nitrogênio amoniacal obtido para as águas da lagoa do Preá ter sido elevado, a sua mediana situou-se em torno de 4 mg/L. Dessa maneira não há impecílio para a prática de peixamento nesta lagoa, nem nas demais, considerando-se a concentração limite para carpa prateada e tilápia do nilo entre 4 e 8 mg/L (Felizatto, Starling e Souza (2000)).

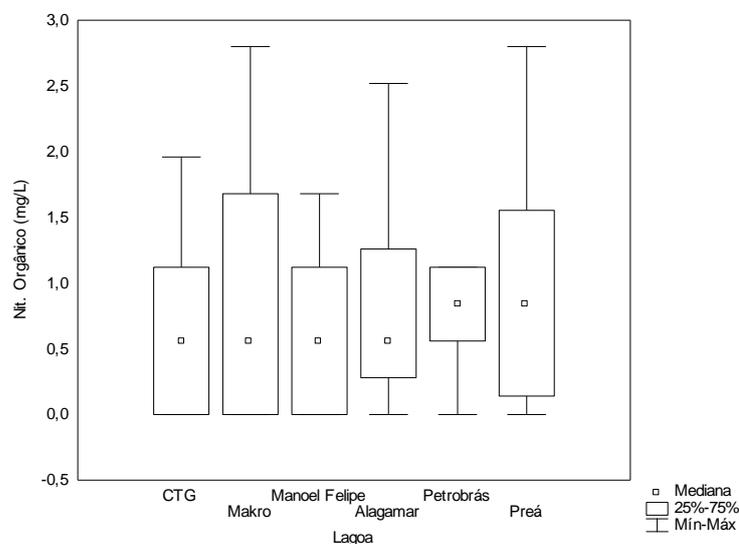
Figura 25 – Box da concentração de nitrogênio amoniacal observada nas águas das lagoas estudadas.



5.8 NITROGÊNIO ORGÂNICO

Os teores de nitrogênio orgânico encontrados nas águas das lagoas estudadas foram relativamente baixos, e apresentaram valores de mediana similares, inclusive comprovada pela análise de inferência, que demonstrou não haver diferença significativa entre as águas das lagoas estudadas analisando-se esse parâmetro (Figura 26). É possível que as baixas concentrações sejam função da sedimentação dos sólidos em suspensão orgânicos, para a formação do lodo. Porém, apenas um estudo também no material sedimentado e lodo flutuante poderia ser capaz de esclarecer.

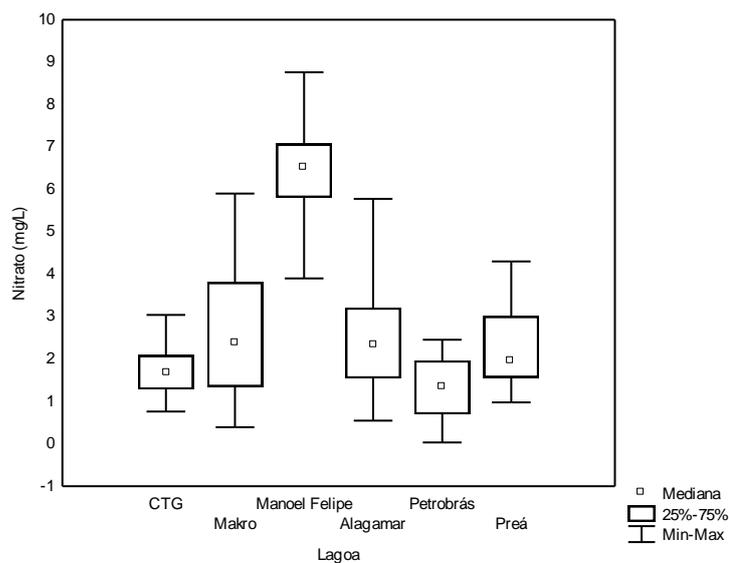
Figura 26 – Box da concentração de nitrogênio orgânico observada nas águas das lagoas estudadas.



5.9 NITRATO

A partir da observação da Figura 27 é fácil perceber que as águas da lagoa Manoel Felipe foram significativamente diferentes das demais águas das lagoas estudadas, o que se confirmou pela análise de inferência.

Figura 27 – Box da concentração de nitrato observada nas águas das lagoas estudadas.



As medianas do teor de nitrato para as lagoas de CTG, Alagamar, Makro, Preá e Petrobrás foram baixas, e tiveram variação situada entre 1,33 e 2,39 mg/L.

Os valores encontrados em todas as lagoas são superiores ao encontrado por Righetto *et al.* (2009), que foi de 0,9 mg/L.

Para as águas de Manoel Felipe observou-se que houve um favorecimento para a ocorrência de nitrificação, assim como para as águas da lagoa do Preá, o que não era esperado por apresentar baixas concentrações de oxigênio dissolvido, e em alguns casos anaerobiose.

O teor de nitrato encontrado em todas as águas das lagoas são compatíveis com os valores estabelecidos na Classe 1 da Resolução CONAMA N° 357/05.

Para uso em irrigação, o teor de nitrato encontrado nas águas das lagoas, exceto na lagoa do Preá, não são capazes de causar efeitos danosos nem mesmo em espécies vegetais consideradas sensíveis.

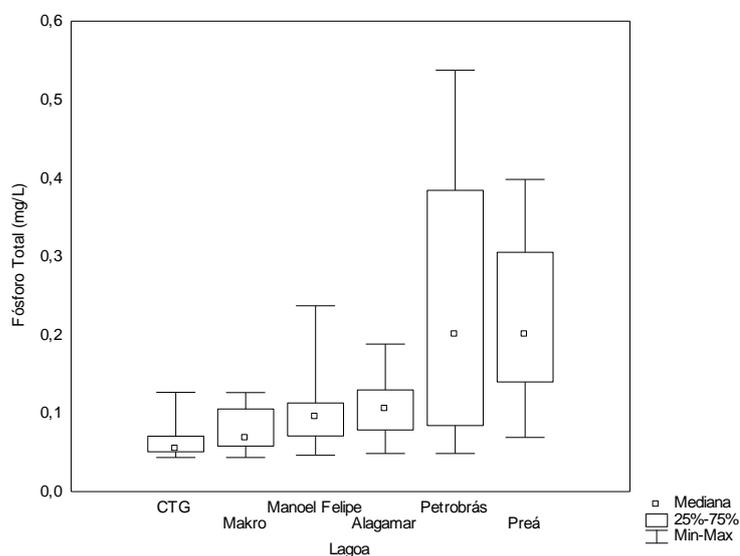
Em todas as lagoas os valores medianos de nitrato foram menores que 10 mg/L, o que não representa problemas para a contaminação do aquífero com a infiltração das águas das lagoas no solo.

5.10 FÓSFORO TOTAL

As concentrações de fósforo total encontradas nas águas das lagoas estudadas foram baixas (Figura 28).

Os maiores valores medianos foram das lagoas do Preá e da Petrobrás, de 0,20 mg/L para ambas.

Figura 28 - Box da concentração de fósforo total observada nas águas das lagoas estudadas.



A análise de inferência mostrou que existe diferença significativa entre as águas das lagoas estudadas, mais especificamente entre as águas das duas lagoas que apresentaram os menores valores medianos – (CTG e Makro), em relação às águas das duas lagoas que apresentaram os maiores valores medianos – (Preá e Petrobrás). Dessa forma, confirma-se a similaridade entre CTG e Makro, assim como entre as lagoas Preá e Petrobrás.

Para as águas das lagoas do Preá e Petrobrás também foram observados os maiores valores medianos de DQO, o que pode ter influenciado no valor do fósforo orgânico, que corresponde a uma fração do fósforo total.

Os valores medianos encontrados nas águas das lagoas do CTG e Makro são compatíveis com os valores estabelecidos na Classe 3 proposta pela Resolução CONAMA N° 357/05.

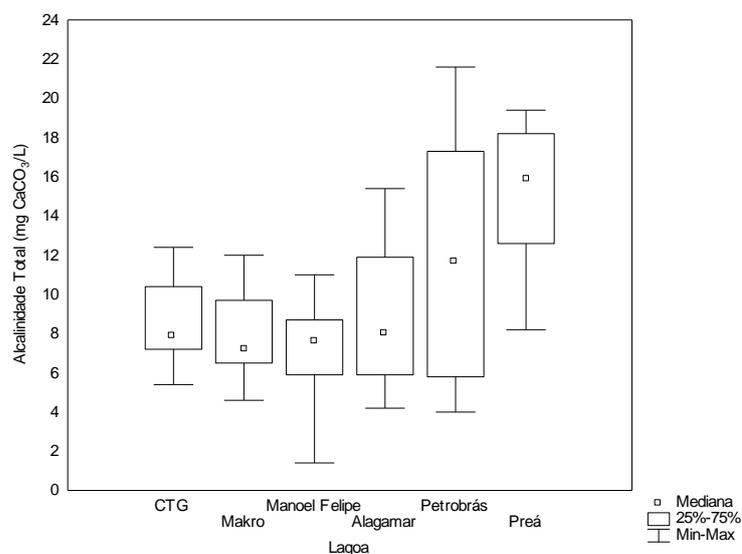
5.11 ALCALINIDADE TOTAL

Os maiores valores medianos foram das águas de Preá e Petrobrás, com concentrações de 15,80 e 11,65 mgCaCO₃/L respectivamente. Dessa forma, as águas das lagoas do Preá se mostraram significativamente diferentes das demais, com exceção das águas da lagoa da Petrobrás. Essa foi a única diferença significativa observada. Para as demais lagoas, observou-se que as medianas foram próximas de 8 mg/L (Figura 29).

Para as águas das lagoas Manoel Felipe e Makro observa-se os menores valores de alcalinidade, o que pode ser justificado em função de características geológicas, ou devido o consumo de alcalinidade em virtude da nitrificação que possa ter ocorrido.

Quanto a possível utilização destas águas, todas se mostraram adequadas para reúso urbano não potável, de acordo com o proposto pela SABESP (2004), assim como se enquadram nos limites proposto por Metcalf & Eddy (2003) para utilização em torres de resfriamento e caldeiras.

Figura 29 – Box da concentração de alcalinidade total observada nas águas das lagoas estudadas.

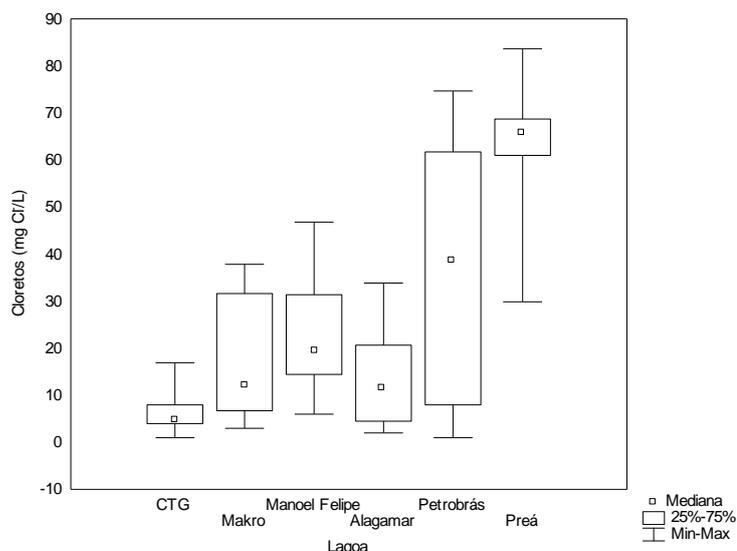


5.12 CLORETOS

A análise de inferência mostrou que a água da lagoa do Preá foi significativamente diferente de todas as outras, assim como as águas da lagoa do CTG se mostraram significativamente diferentes das águas de Petrobrás e Manoel Felipe.

A Figura 30 mostra que as maiores concentrações foram para as águas de Preá (65,72 mg Cl⁻/L) e Petrobrás (38,34 mg Cl⁻/L). É importante destacar a diferença entre as medianas de cloretos obtida para as lagoas, especialmente se tratando das águas da lagoa do Preá: cerca de seis vezes maior que o valor da mediana da lagoa de Alagamar, cinco vezes maior que a da lagoa do Makro, três vezes maior que a da lagoa Manoel Felipe, e quase treze vezes maior que a mediana encontrada para as águas de CTG.

Figura 30 – Box da concentração de cloretos observada nas águas das lagoas estudadas.



Apesar dos valores medianos obtidos nas águas de Preá e Petrobrás não serem elevados, os seus resultados superiores aos das demais lagoas confirmam impressões e comprovações levantadas em campo, de lançamento de água servida em suas águas.

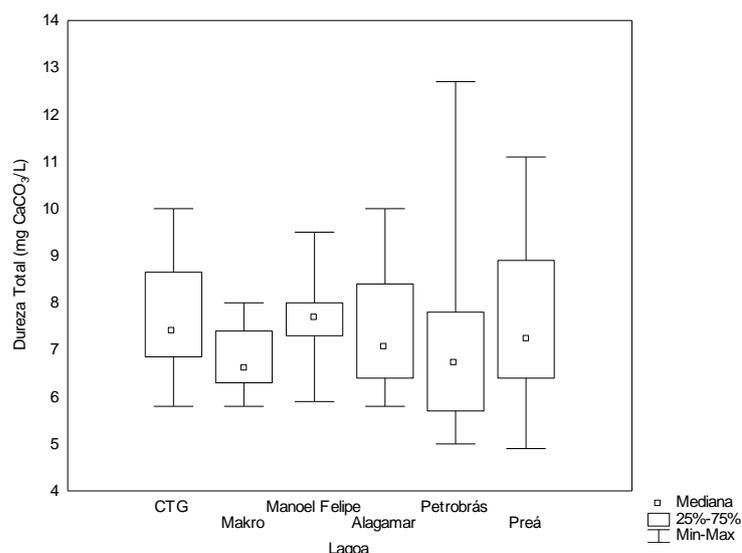
Em relação às restrições impostas pela presença de cloretos na água de irrigação, em concentrações capazes de promover toxicidade a culturas sensíveis, as águas das lagoas não apresentam restrição em sistemas de irrigação seja superficial ou por aspersão.

5.13 DUREZA TOTAL

Para a análise de dureza total não observou-se diferença significativa entre as águas das lagoas estudadas.

Para a utilização dessas águas em torres de resfriamento não é observada nenhuma restrição, entretanto, para uso em caldeiras é recomendável apenas em condições de baixas pressões.

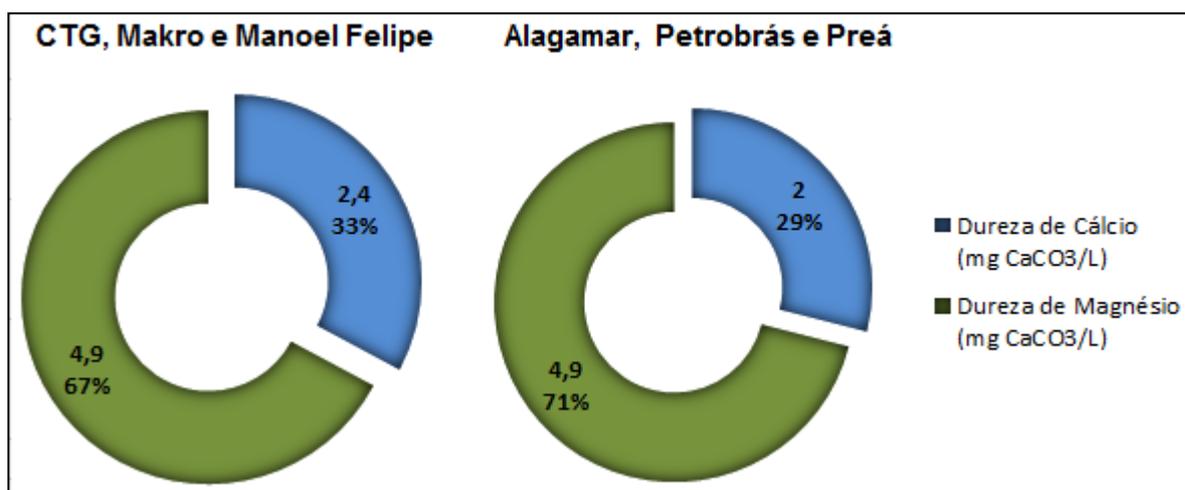
Figura 31 – Box da concentração de dureza total observada nas águas das lagoas estudadas.



Além disso, analisando-se a concentração dos dois principais íons responsáveis pela dureza, cálcio e magnésio, observou-se que o íon magnésio é o principal responsável pela dureza das águas de todas as lagoas, conforme pode ser observada a sua porcentagem em relação ao íon cálcio, na Figura 32.

Apesar da separação dos resultados em dois grupos de lagoas, os valores obtidos mostram equivalência entre os grupos quanto a distribuição e porcentagem dos íons cálcio e magnésio, com predomínio do íon magnésio.

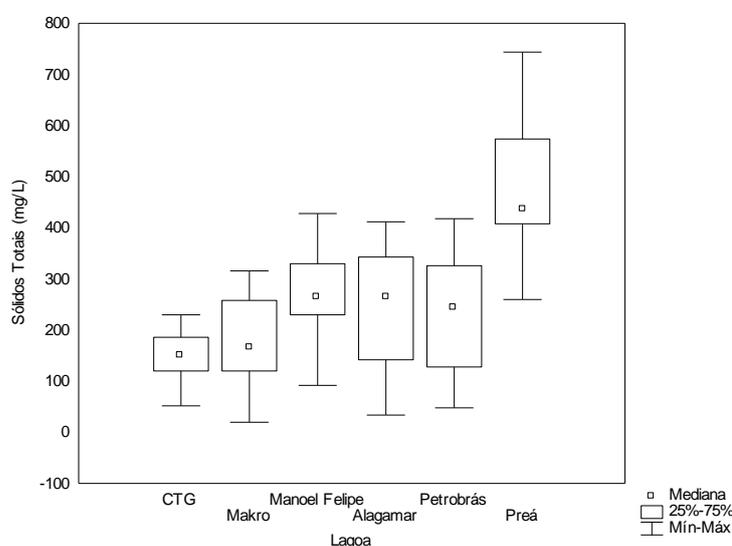
Figura 32 – Porcentagem e distribuição das frações de dureza total das lagoas estudadas, considerando dois diferentes grupos de distribuição.



5.14 SÓLIDOS TOTAIS

Para a análise de sólidos totais observou-se que houve diferença significativa entre as águas das seguintes lagoas: CTG e Manoel Felipe, CTG e Preá, e Makro e Preá. A maior mediana foi observada para as águas da lagoa do Preá, com valor de 434 mg/L e a menor mediana para a lagoa do CTG com valor de 148 mg/L (Figura 33). Tais concentrações são equivalentes a esgoto considerado fraco.

Figura 33 – Box da concentração de sólidos totais observada nas águas das lagoas estudadas.

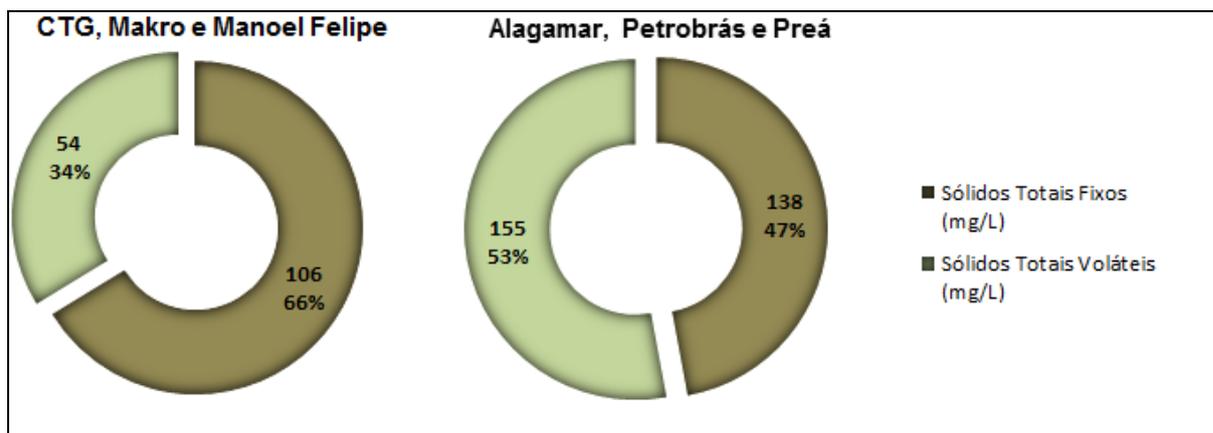


Para a verificação da distribuição e porcentagem de sólidos totais em sólidos totais fixos, e sólidos totais voláteis, optou-se por agrupar as lagoas em dois grupos distintos, que representavam similaridade quanto aos parâmetros analisados. Um dos grupos está a lagoa do CTG, Makro e Manoel Felipe, e o segundo grupo estão as lagoas de Alagamar, Petrobrás e Preá.

A análise das frações de sólido total mostrou para o grupo formado pelas águas de CTG, Makro e Manoel Felipe maior porcentagem de sólidos fixos nas amostras, correspondendo a 57% do total ou 113 mg/L.

Para as águas das lagoas de Alagamar, Petrobrás e Preá observou-se quase equivalência entre as frações de sólidos totais, mas com a concentração de sólidos totais voláteis maior, conforme pode ser observado na Figura 34. Dessa forma, é possível sugerir que a concentração de sólidos orgânicos foi relativamente superior a fração de sólidos minerais.

Figura 34 – Porcentagem e distribuição das frações de sólidos totais das lagoas estudadas, considerando dois diferentes grupos de distribuição.

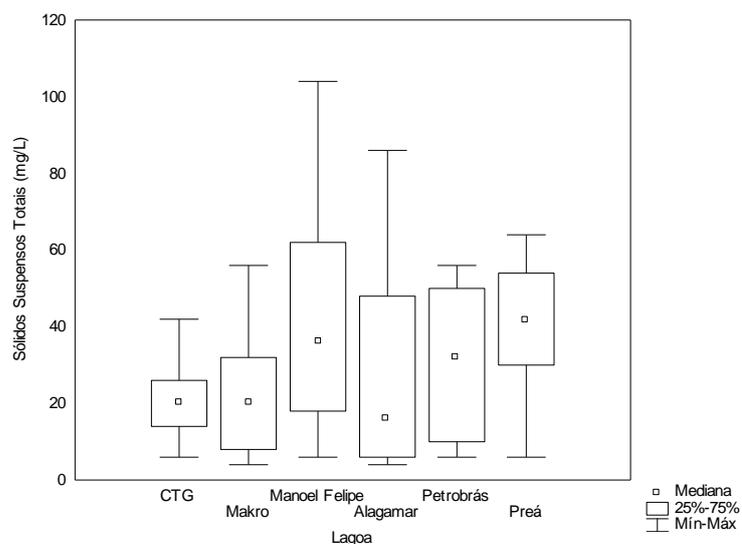


5.15 SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS

Não foi observada diferença significativa entre as águas das lagoas ao se observar a concentração de sólidos suspensos.

Conforme pode ser observado na Figura 35 as medianas para todas as lagoas situaram-se entre 16 e 50 mg/L. Tais concentrações não apresentam problemas relacionados à obstrução em sistemas de irrigação localizada.

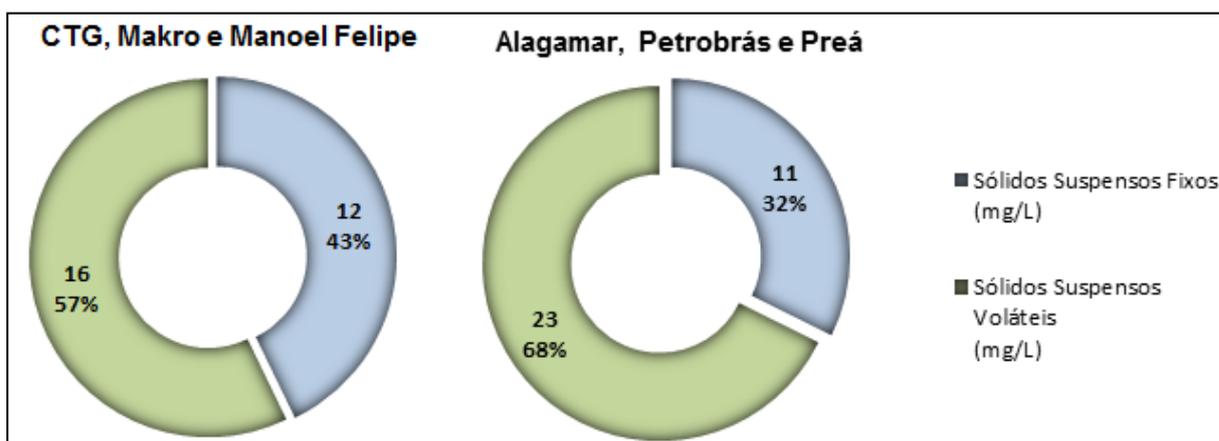
Figura 35 – Box da concentração de sólidos suspensos totais observada nas águas das lagoas estudadas.



As águas das lagoas são adequadas para utilização em torres de resfriamento, porém não se adequam para uso em caldeiras, de acordo com o proposto por Metcalf & Eddy (2003).

Apesar da distribuição das lagoas em dois grupos distintos (um grupo formado por CTG, Makro e Manoel Felipe, e o outro grupo formado por Alagamar, Petrobrás e Preá), os resultados das frações de sólidos suspensos foram similares para todas as lagoas. As medianas de sólidos suspensos voláteis foram maiores que as medianas de sólidos suspensos fixos, correspondendo a 57% para as águas de CTG, Makro e Manoel Felipe, e 68% para as águas de Alagamar, Petrobrás e Preá (Figura 36).

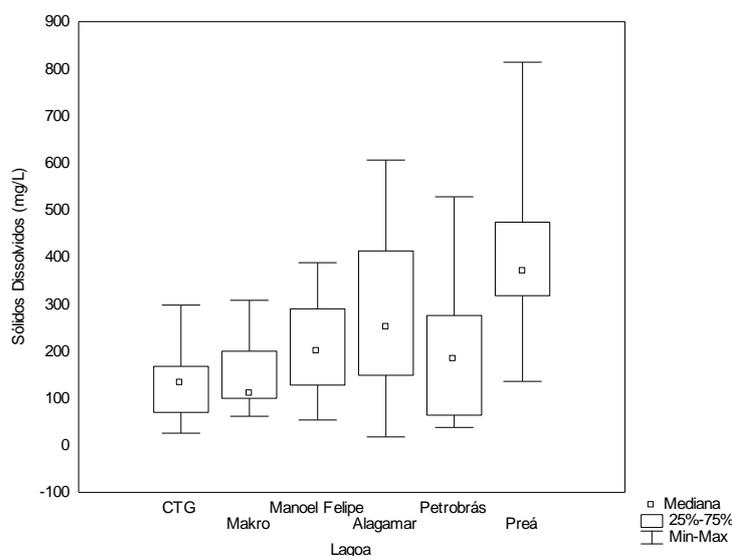
Figura 36 – Porcentagem e distribuição das frações de sólidos em suspensão considerando a mediana em dois agrupamentos distintos.



5.16 SÓLIDOS DISSOLVIDOS TOTAIS

Foi constatado que houve diferença significativa entre as águas da lagoa de CTG e Preá, e de Preá em relação a Makro. Os valores medianos variaram entre 110 mg/L (lagoa do Makro) a 368 mg/L (lagoa do Preá), conforme pode ser observado na Figura 37. Estes valores são considerados baixos, e mostraram correspondência com a mediana da condutividade observada para as lagoas. Dessa forma, as águas das lagoas possuem baixa salinidade, e não apresentam restrição ao uso em irrigação.

Figura 37 – Box da concentração de sólidos dissolvidos observada nas águas das lagoas estudadas.



Para a utilização destas águas em torres de resfriamento não há restrição, e para caldeiras, a única restrição é feita para as águas da lagoa do Preá, que só são recomendadas para situações de baixa ou intermediária pressão.

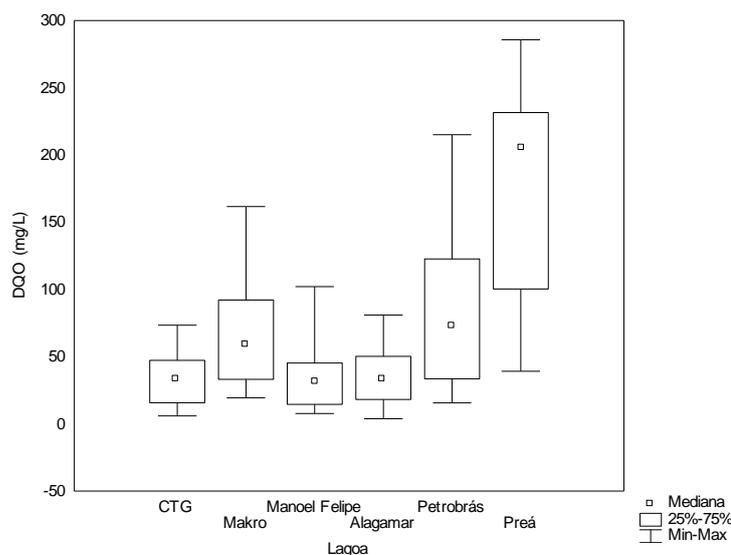
Os valores medianos também se mostraram adequados para utilização proposta pela SABESP (2004), assim como são compatíveis com os valores determinados na Classe 1 da Resolução CONAMA N° 357/05.

5.17 DQO

Há diferença significativa entre as águas das lagoas de Alagamar e Preá, CTG e Preá, e Preá e Manoel Felipe.

Para as águas da lagoa do Preá foi encontrada a maior mediana, 204,41 mg/L, e as menores medianas foram observadas para as águas das lagoas de Alagamar, CTG e Manoel Felipe, com concentrações de 34,10, 33,12 e 31,78 e mg/L respectivamente (Figura 38).

Figura 38 – Box da concentração de DQO observada nas águas das lagoas estudadas.



Os resultados encontrados por Porto, Martins e Armelin (2009) em análise da qualidade de água de reservatórios de contenção de cheias situaram-se entre 50 e 120 mg/L. As águas das lagoas do Makro e Petrobrás apresentaram mediana de DQO situada neste intervalo. As águas da lagoa do Makro também mostraram similaridade com as águas de lagoa de detenção em Brasília, cujo valor médio de DQO foi de 55,3 mg/L (CAMPANA, BERNARDES E SILVA JÚNIOR (2007).

Considerando-se as lagoas de Preá e Manoel Felipe, a concentração de DQO nas águas da primeira foi aproximadamente sete vezes maior que nas águas da lagoa Manoel Felipe, e quase seis vezes maior do que a concentração observada nas águas da lagoa do CTG e Alagamar. Dessa forma, considera-se que a DQO encontrada para a lagoa do Preá é moderada, e dá indícios de contaminação das suas águas por esgoto considerado fraco; para as demais lagoas, os baixos valores de DQO não permitem que sejam feitos comentários semelhantes.

Mesmo sendo um parâmetro muito eficaz para determinação de contaminação tanto de origem doméstica como de origem industrial, a legislação federal, estadual e municipal não contemplam este parâmetro como padrão de qualidade de água.

5.18 RAS° E VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO

As diferenças significativas obtidas pela análise de inferência estão apresentadas no Quadro 22.

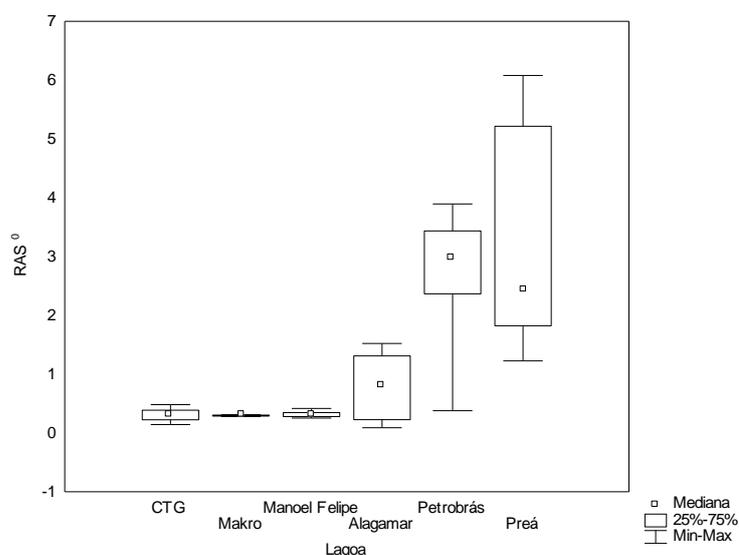
Quadro 22: Esquema representativo das diferenças observadas entre as águas das lagoas em relação à concentração de RAS⁰.

	CTG	MAKRO	MANOEL FELIPE	ALAGAMAR	PETROBRÁS	PREÁ
CTG					≠	≠
MAKRO					≠	≠
MANOEL FELIPE					≠	≠
ALAGAMAR						
PETROBRÁS	≠	≠	≠			
PREÁ	≠	≠	≠			

Esses resultados mostram novamente que é possível fazer associação entre dois grupos de lagoas: um deles é formado pela lagoa do CTG, Makro e Manoel Felipe; e o outro grupo composto por Petrobrás e Preá. A lagoa de Alagamar ocupa uma posição intermediária entre os dois grupos.

Os maiores valores da RAS⁰ foram encontrados nas águas das lagoas de Petrobrás e Preá, com medianas de 3 e 2,5 respectivamente (Figura 39).

Figura 39 – Box da concentração de RAS⁰ observada nas águas das lagoas estudadas.



A RAS° encontrada para as águas das lagoas é considerada baixa, o que indica tendência para estabilidade dos agregados e estrutura do solo. Entretanto, a análise da velocidade de infiltração, que é estimada em função da RAS° e da condutividade elétrica, apontou que as águas de todas as lagoas apresentaram restrição moderada ao uso na irrigação.

Os padrões de utilização de água em irrigação adotados neste estudo são da Universidade da Califórnia (AYERS E WESTCOT, 1991), e neles são levantadas hipóteses tidas como referência para elaboração das diretrizes para interpretar a qualidade de água usada. Uma das hipóteses apresentada é relacionada à textura dos solos que serão irrigados. Para tal, consideram-se solos variando entre franco arenoso a franco argiloso. O solo de Natal é considerado arenoso, e mesmo sendo um solo previsto para a elaboração das diretrizes adotadas pela Universidade da Califórnia, é feita recomendação para estudos mais detalhados que se adequem às condições locais, principalmente em função da qualidade da água da lagoa da Petrobrás que correspondeu ao limite entre duas situações: restrição moderada e restrição severa.

O valor da RAS° encontrado para a lagoa da Petrobrás é limite entre duas possibilidades distintas de uso de água na irrigação: uso com restrição severa e uso com restrição moderada, considerando-se a condutividade de 0,29 dS/m que foi encontrada. Apesar disto, as águas da lagoa da Petrobrás apresentaram a mesma restrição que as águas das demais lagoas, que apresentaram baixos valores de RAS°, da ordem de 0,3 e 0,8.

O Quadro 23 mostra as medianas tanto da RAS° quanto da condutividade elétrica encontradas para as lagoas, assim como a classificação imposta em função desses dois parâmetros por Bastos e Bevilacqua (2006).

É importante destacar que apesar das lagoas serem enquadradas em uma mesma classificação para uso de água em irrigação, os valores da RAS° mostraram diferença significativa entre as águas das lagoas.

Quadro 23 – Classificação das águas das lagoas para uso na irrigação, considerando-se a velocidade de infiltração.

	Alagamar	CTG	Preá	Makro	Petrobrás	Manoel Felipe
CEa (dS/m) (mediana*)	0,26	0,23	0,52	0,25	0,29	0,18
RAS° (mediana)	0,8	0,3	2,5	0,3	3	0,3
Classificação	Restrição moderada					

* mediana calculada tendo como base oito amostras coletadas, que correspondem as amostras também utilizadas para análise da RAS°.

5.19 SÍNTESE DOS RESULTADOS

O Quadro 24 mostra um resumo das possibilidades de uso urbano não potável observado para as águas das lagoas estudadas.

Para alguns usos propostos observou-se, em alguns casos, que apenas um dos parâmetros analisados restringiu a utilização das águas das lagoas, como por exemplo, para uso em caldeiras apenas a concentração de sólidos em suspensos totais foi limitante; e para compactação do solo, limpeza pública ou em sistema de proteção de incêndio a concentração de coliformes termotolerantes ou da turbidez foi limitante para tais usos.

Quadro 24 – Resumo das possibilidades de uso urbano não potável aplicáveis as lagoas estudadas.

LAGOAS	USOS URBANOS NÃO POTÁVEIS							CLASSES CONAMA N° 357/05
	PISCICULTURA	TORRES DE RESFRIAMENTO	CALDEIRAS	COMPACT. DO SOLO LIMP. PÚBLICA PROT. DE INCÊNDIO	IRRIGAÇÃO***	IRRIGAÇÃO IRRESTRITA	IRRIGAÇÃO RESTRITA	
CTG	x	x	*	**	x	x		4
MAKRO	x	x	*	**	x	x		4
MANOEL FELIPE	x	x	*	**	x		x	NA****
ALAGAMAR		x	*	**	x		x	NA****
PETROBRÁS		x	*	**	x		x	NA*****
PREÁ			*	**				NA*****

* Uso não recomendado em função dos teores de sólidos em suspensão das águas

** Uso não recomendado em função dos teores de turbidez ou da concentração de coliformes termotolerantes

*** Considerando os parâmetros: condutividade elétrica, nitrato, sólidos dissolvidos totais, cloretos, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, e adotando-se restrição moderada devido a velocidade de infiltração.

**** Não é compatível com nenhuma das classes propostas pela CONAMA 357/05 em função dos valores encontrados para oxigênio dissolvido e fósforo total.

***** Não é compatível com nenhuma das classes propostas pela CONAMA 357/05 em função dos valores encontrados para oxigênio dissolvido, fósforo total, e coliformes termotolerantes.

A seguir será apresentada a síntese dos resultados obtidos para cada lagoa individualmente:

- Lagoa do CTG:

Apresentou a maior concentração do oxigênio dissolvido, com mediana de 3,3 mgO₂/L, e dessa forma não apresentou restrição ao uso dessa água tanto em torres de resfriamento quanto em caldeiras.

Mesmo possuindo a maior concentração de OD, seu valor mediano é compatível com o estabelecido na Classe 4 (CONAMA N° 357/05), considerando suas águas adequadas, portanto, para navegação e harmonia paisagística.

Outros parâmetros analisados, como turbidez, coliformes termotolerantes, nitrato e sólidos dissolvidos totais, permitem o seu enquadramento na Classe 1, disponível portanto, para recreação de contato primário, irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas.

A baixa concentração de coliformes termotolerantes, além dos ovos de helmintos em concentrações menores que um ovo/litro, mostra a qualidade desta água, e segurança sanitária que pode ser obtida com a sua utilização. Analisando o teor de coliformes termotolerantes, tais águas são inclusive recomendadas pelo PROSAB (BASTOS e BEVILACQUA, 2006), para uso urbano irrestrito não potável.

- Lagoa do Makro

As análises nas águas da lagoa do Makro revelaram similaridade aos teores encontrados para as águas da lagoa do CTG. Dentre estes, destaca-se: OD, turbidez, cloretos e coliformes termotolerantes.

A concentração de OD encontrada é compatível com o estabelecido na Classe 4 (CONAMA N° 357/05).

Outros parâmetros analisados, como turbidez, nitrato e sólidos dissolvidos totais, permitem o seu enquadramento na Classe 1. O teor de OD, a concentração de nitrogênio amoniacal e de coliformes termotolerantes não são considerados restritivos para utilização destas águas na piscicultura.

A concentração de coliformes termotolerantes, e dos ovos de helmintos, permitem a sua utilização urbana irrestrita não potável.

- Lagoa Manoel Felipe

Supõe-se que a turbidez observada nas águas da lagoa Manoel Felipe sofreu interferência das obras realizadas na estrutura do Parque Cidade da Criança, onde está inserida, inclusive com remoção de material do fundo da lagoa para aumentar a sua profundidade.

Os teores de OD, nitrogênio amoniacal e coliformes termotolerantes permitem o uso das águas em piscicultura.

A concentração de coliformes termotolerantes e de ovos de helmintos permitem o uso urbano restrito não potável de suas águas.

Baseando-se pela Resolução CONAMA N° 274/2000, que estabelece critérios de qualidade para destinação de águas à recreação de contato primário, as águas da lagoa Manoel Felipe são consideradas satisfatórias para tal fim. Dessa maneira comprovou-se viabilidade com o uso que lhe é dado.

- Lagoa de Alagamar

A análise de todos os resultados para as águas da lagoa de Alagamar indicam posição intermediária de qualidade de água. Muitos parâmetros, como por exemplo, oxigênio dissolvido, nitrato, fósforo, alcalinidade e RAS°, possuem medianas que indicam que a água apresenta melhor qualidade quando comparadas às águas das lagoas do Preá e Petrobrás, e o contrário é observado quando a comparação é feita com as outras lagoas.

Os menores valores medianos de condutividade elétrica e turbidez foram encontrados nas águas da lagoa de Alagamar.

Os valores de coliformes termotolerantes, com medianas de \log_{10} 4,1 UFC/100 mL, restringem o seu uso, e requer a necessidade prévia de tratamento de suas águas. Tal concentração de coliformes é indício da interferência exercida pela condição de saneamento. Para esta lagoa a interferência se dá pela presença de estação elevatória de esgotos na sua área interna.

- Lagoa da Petrobrás

As águas da lagoa da Petrobrás mostraram similaridade com as águas da lagoa do Preá em vários parâmetros, dentre eles destaca-se: coliformes termotolerantes, nitrogênio amoniacal, NTK, fósforo total, alcalinidade, sólidos em suspensão totais, DQO e RAS°, assim como para a alcalinidade e nitrogênio amoniacal, as amostras das águas da lagoa do Preá só não apresentaram diferença significativa com as amostras das águas da lagoa da Petrobrás.

Ademais, a concentração de coliformes termotolerantes impõe restrição ao uso não potável de suas águas no meio urbano, sendo necessário, portanto, tratamento prévio.

- Lagoa do Preá

A única lagoa analisada que não se enquadra para utilização em torres de resfriamento é a Preá. A mediana de 0,00 mgO₂/L encontrada restringe a sua utilização tanto em torres de resfriamento como em piscicultura.

Para esta lagoa são geralmente observadas as maiores concentrações dos parâmetros.

Especialmente a análise dos parâmetros de DQO e cloretos permite a identificação de diferença entre os sistemas estudados. Principalmente em relação à lagoa do CTG é estabelecida uma relação de contrariedade. Enquanto a lagoa do CTG geralmente apresenta valores medianos dos parâmetros estudados como indicativos de qualidade de água, para a lagoa do Preá são observados valores medianos que indicam o oposto. Dentre eles destaca-se a concentração de coliformes termotolerantes que com valores medianos de log₁₀ 5,7 UFC/100mL, restringe a utilização das suas águas no meio urbano, e requer a necessidade prévia de tratamento de suas águas.

Na lagoa do Preá observa-se a maior interferência na qualidade da água exercida pela condição de saneamento na bacia. Os lançamentos constantes de esgotos nas vias públicas, que atingem os dispositivos de drenagem, e posteriormente a lagoa, comprometem a qualidade da sua água e restringem a utilização desta no meio urbano. A qualidade da água pode ser considerada similar a esgoto fraco.

6 CONCLUSÕES

- Os usos previstos para as águas das lagoas são, em muitos casos, distintos em função das diferenças observadas através dos testes de inferência.
- A hipótese de que a condição de saneamento exerce influência na qualidade de água das lagoas é claramente observada para as lagoas de CTG, Preá e Alagamar. A concentração de coliformes termotolerantes amplia (para a lagoa CTG) ou restringe (para as lagoas de Alagamar e Preá) o uso não potável destas no meio urbano.
- Os testes de inferência mostraram que há diferença significativa entre as águas das lagoas estudadas.
- Não são observados riscos sanitários provenientes da presença de ovos de helmintos nas amostras coletadas das águas das lagoas. A concentração encontrada para todas as amostras foi de menos de um (1) ovo de helminto/litro.
- Para uso das águas em irrigação, ao se analisar os parâmetros de condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais, RAS°, cloretos e sólidos em suspensão totais, pode-se concluir que a velocidade de infiltração foi o único parâmetro que impôs restrição moderada de uso. Entretanto, tal limitação não significa empecilho para o uso das águas em Natal, uma vez que o solo da cidade é arenoso.
- A utilização das águas das lagoas em piscicultura é possível apenas para as águas das lagoas do CTG, Makro e Manoel Felipe. Apesar do nitrogênio amoniacal não ter se apresentado em concentrações tóxicas (por exemplo, para as espécies carpa prateada e tilápia do nilo)
- Apesar de alguns parâmetros indicarem condições de uso das águas das lagoas em caldeiras, ou restrição apenas para certas condições de pressão, a concentração de sólidos em suspensão encontrada não permite a utilização das águas neste dispositivo, não sendo, portanto, recomendada a sua utilização sem remoção dos sólidos em tratamento complementar.
- Os estudos utilizados como referência para uso urbano não potável em sistema de proteção contra incêndios, limpeza de vias públicas e compactação do solo usam como água de reúso esgotos domésticos tratados e, em função disso, os parâmetros são restritivos, especialmente as concentrações de coliformes

termotolerantes e teores de turbidez. Dessa forma, as águas das lagoas não se adequaram as utilizações propostas por estes estudos.

7 PROPOSTA DE REGULAMENTAÇÃO

Recomenda-se o estabelecimento de mecanismos que auxiliem numa proposta de regulamentação de uso de águas das lagoas de drenagem do município, entre a Secretaria Municipal de Obras Públicas e Infraestrutura (SEMOPI) e usuários, com a finalidade de promover o incentivo ao uso de águas de lagoas de drenagem, ambientalmente e sanitariamente seguro.

A concessão para utilização de água das lagoas de retenção e infiltração deve ser realizada seguindo três vertentes básicas: o monitoramento temporal das características da água, o enquadramento destas em uso urbano não potável e autorização ou permissão de uso da água através de licenciamentos entre a prefeitura municipal – SEMOPI e usuários. Para tal, sugere-se que a regulamentação seja baseada nos seguintes itens:

1. A água das lagoas de retenção e infiltração não poderá ser utilizada para fins urbanos potáveis;
2. Em todos os dispositivos de retirada de água, ou veículos de transporte, deverá haver a informação de que não se trata de água potável;
3. O usuário deverá apresentar os usos que pretende destinar as águas das lagoas de drenagem;
4. O usuário somente poderá retirar e utilizar a água se a mesma apresentar compatibilidade com o uso proposto;
5. É de responsabilidade do órgão municipal o monitoramento da qualidade da água e posterior enquadramento das águas em possíveis usos urbanos não potáveis;
6. A retirada de água por usuários deverá obedecer aos critérios de qualidade e quantidade das mesmas;
7. O órgão municipal deverá informar aos usuários das águas quais períodos do ano que as mesmas apresentam compatibilidade com o uso requerido pelo usuário, assim como deverão ser apresentados os períodos de incompatibilidade de uso;
8. A água deve ser utilizada unicamente para os fins estabelecidos e firmados na licença obtida. A utilização da água para outros usos poderá resultar no cancelamento da licença e/ou aplicação de multas.

REFERÊNCIAS

AISSE, M. M.; COHIM, E.; KIPERSTOK, A. Reúso urbano e rural. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (Coords.) Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ANDERSON, J. The environmental benefits of water recycling and reuse. **Water science and technology**: Water Supply, Australia, v. 3, p. 1–10, 2003.

ANDRADE NETO, C O de. Influência do Início da Precipitação na Qualidade da Água da Chuva. In: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 14., 2010, Cidade do Porto, Pt. **Anais...** Porto: APESB/APRH/ABES, 2010.

ANDRADE NETO, C. O de. Proteção sanitária das cisternas rurais. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 11., 2004, Natal. **Anais ...** Natal: ABES/APESB/APRH, 2004.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20ed. Washington D. C. 1998.

AQUINO, M. D. de; GRADVOHL, S. T. S.; SANTOS, E. S. Reúso em Piscicultura. In: MOTA, S.; AQUINO, M. D.; SANTOS, A. B. (orgs) **Reúso de águas em irrigação e piscicultura**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará/Centro de Tecnologia, 2007.

AYRES, R. M.; MARA, D. **Analysis of wastewater for use in agriculture: a laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques**. Geneva: WHO, 1996.

AYERS, R. S.; WETCOT, D. W. **A Qualidade da Água na Agricultura**. Tradução GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. de; DAMASCENO, F. A. V. do. Campina Grande: UFPB, 1991. Tradução de: Water Quality for Agriculture. Rome: FAO, 1985. Tradução.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D. Normas e critérios de qualidade para reúso de água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (Coords.) **Tratamento e utilização de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

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.

BASTOS, R. K. X.; PEREIRA, C. M.; PIVELLI, R. P.; LAPOLLI, F. R.; LANNA, E. A. T. Utilização de esgotos sanitários em piscicultura. In: BASTOS, R. K, X. (Coord.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 274 de 29 de novembro de 2000. Dispõe sobre instrumentos para avaliar a evolução da qualidade de água, em relação aos níveis estabelecidos para a balneabilidade, de forma à assegurar as condições necessárias à recreação de contato primário. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=272>>. Acesso em: 13 jan 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 13 jan 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Disponível em:<http://portal.saude.gov.br/portal/saude/area.cfm?id_area=1474>. Acesso em: 20 dez 2010.

BRITO, L. P. de; TINÔCO, J. D. Reutilização de águas residuárias tratadas em limpeza viária na cidade de Natal-RN. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABES/APESB/APRH, 2000.

CABRAL, N. M. T.; RIGHETTO, A. M.; QUEIROZ, M. A. Comportamento do nitrato em poços do aquífero Dunas/Barreiras nas explorações Dunas e Planalto, Natal, RN, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s.l.], v. 14, n. 3, p. 299-306, 2009.

CALENDA, G. Qualità dele acque. In: ARTINA, S. et al. (Coord.). **Sistemi di fognatura**: manuale di progettazione. Milano: HOEPLI, 1997.

CAMPANA, N. A.; BERNARDES, R. S.; SILVA JÚNIOR, J. A. Controle qualitativo e quantitativo do escoamento pluvial urbano com bacias de retenção. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 2, p. 98-113, 2007.

CASANI, S.; ROUHANYB, M.; KNOCHER, S. A discussion paper on challenges and limitations to water reuse and hygiene in the food industry. **Water Research**, Dinamarca, v. 39, p. 1134–1146, 2005.

CASTRO, F. J. F. de; CAIXETA, C. E. T; MENEZES, M. A. S. Reutilização do efluente do sistema de lagoas de estabilização em série, para rega do estádio municipal em Quixadá/CE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais ...** Campo Grande: ABES/APESB/APRH, 2005.

CAVALCANTE, L. F.; SANTOS, J. B. dos; SANTOS, C. J. O.; FEITOSA FILHO, J. C.; LIMA, E. M. de; CAVALCANTE, I. H. L. Germinação de sementes e crescimento inicial de maracujazeiros irrigados com água salina em diferentes volumes de substrato. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, SP, v. 24, n. 3, p. 748-751, 2002. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbf/v24n3/15131.pdf>>. Acesso em: 30 nov 2009.

CURITIBA. Lei nº 10.785 de 18 de setembro de 2003. Cria no município de Curitiba o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações – PURAE. Disponível em: <<http://www.recicloteca.org.br/agua/lei-Ctba.htm>>. Acesso em: 12 abr 2011.

ESTEVEES, F. de A. **Fundamentos de limnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FELIZATTO, M. R.; STARLING, F. L. R. M.; SOUZA, M. A. A. Reúso de água em piscicultura: análise da possibilidade de aplicação de efluente de lagoas de estabilização em série. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre: ABES/APESB/APRH, 2000.

FERREIRA, L. C. A. **Variação da qualidade da água do escoamento superficial de duas bacias de drenagem de Natal/RN – Brasil**. 2008. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

FLORÊNCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Recife, PE: ABES, 2006.

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

LACERDA, C. F.; CAMBRAIA, J.; OLIVA, M. A.; RUIZ, H. A. Influência do cálcio sobre o crescimento e solutos em plântulas de sorgo estressadas com cloreto de sódio. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, [s.l.], v. 28, p. 289-295, 2004.

LIMA, C. B.; OLIVEIRA, E. G.; ARAÚJO FILHO, J. M.; SANTOS, F. J. S.; PEREIRA, W. E. Qualidade de água em canais de irrigação com cultivo intensivo de tilápia nilótica (*Oreochromis niloticus*). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 4, p. 531-539, 2008.

MELO, L. R. C.; ANDRADE NETO, C. O. de. Variação da qualidade da água de chuva em três pontos distintos da cidade de Natal – RN. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. **Anais ...** Belo Horizonte: ABES/APESB/APRH, 2007.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering, treatment and reuse**. New York: McGraw-Hill Companies, 2003.

MIERZWA, C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria: uso racional e reúso**. São Paulo: Oficina de textos, 2005.

NASCIMENTO, N. de O.; HELLER, L. 2005. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s.l], v. 10, n. 1, p. 36-48, 2005.

NATAL. **Lei nº 4748**, de 30 de abril de 1996. Regulamenta a limpeza urbana do município de Natal e dá outras providências.

NOLDE, E. Possibilities of rainwater utilization in densely populated areas including precipitation runoffs from traffics surfaces. **Desalination**, Alemanha, v. 215, p. 1-11, 2007.

OKUN, D. A. Water reclamation and unrestricted nonpotable reuse: a new tool in urban water management. **Public Health**, [s.l], v. 21, p. 223-245, 2000.

OLIVEIRA, S., M., A., C.; SPERLING, M.; V. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1 - análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s.l], v. 10, n. 4, p. 347-357, 2005.

PHILIPPI, L. S.; VACCARI, K. P.; PETERS, M.R.; GONÇALVES, R. F. Aproveitamento de água de chuva. In: GONÇALVES, R. F. (org.) **Uso racional de água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

PLÍNIO, T. Tóquio ganhará “piscinão” futurista de 65 km. 2010. Disponível em: <<http://www.aguadechuva.com>>. Acesso em: 28 dez 2010.

PORTO, M.; MARTINS, J. R.; ARMELIN, L. F. Qualidade da água em reservatórios de contenção de cheias urbanas. In: RIGHETTO, A. M. (org) **Manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

RIGHETTO, A.M.; MOREIRA, L.F.F.; SALES, T. E. A. Manejo de águas pluviais urbanas. In: RIGHETTO, A. M. (org) **Manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

RIGHETTO, A.M.; ANDRADE NETO, C.O.; BRITO, L. P.; SALES, T. E. A.; MEDEIROS, V. M. A.; FERREIRA, L. C. A.; LIMA, R.R.M. Estudo quali-quantitativo e de manejo de águas pluviais em área de drenagem piloto na cidade de Natal, Rio Grande do Norte (RN). In: RIGHETTO, A. M. (org) **Manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

RIO DE JANEIRO. Decreto Municipal nº 23.940, de 30 de janeiro de 2004. Torna obrigatório, nos casos previstos, a adoção de reservatórios que permitam o retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem. Disponível em <http://200.141.78.79/dlstatic/10112/148105/DLFE-4114.pdf/23_DEC2394004aguaspluv.pdf>. Acesso em: 21 maio 2011.

SANTOS, E.S.; OLIVEIRA, M. A.; MOTA, S.; AQUINO, M. D.; VASCONCELOS, M. M. Crescimento e qualidade dos avelinos de tilápia do Nilo produzidos em esgotos domésticos tratados. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v. 40, n. 2, p.232-239, 2009.

SÃO PAULO. Decreto Estadual nº 48138, 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/legislacao/162916/decreto-48138-03-sao-paulo-sp>>. Acesso em: 20 maio 2011.

SÃO PAULO. Lei Nº 13.276, de 4 de janeiro de 2002. Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500m². Disponível em: <http://www.sindusconsp.com.br/downloads/juridico/lei/lei13276_040102.pdf>. Acesso em 20 maio 2011.

SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE E URBANISMO. **Anuário Natal 2010**. Natal: SEMURB, 2010.

SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS PÚBLICAS E INFRA-ESTRUTURA. **Plano diretor de drenagem e manejo de águas pluviais**. Natal: [s.n.], 2009.

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. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais ...** Campo Grande: ABES/APESB/APRH, 2005.

SILVA, A.; NASCIMENTO, N.; SEIDL, M.; VIEIRA, L. SWITCH in Belo Horizonte, Brazil: infiltration and detention systems for more sustainable

stormwater control in Belo Horizonte. **Rev Environ Sci Biotechnol**, [s.l.], v.9, p. 7-13, 2010.

STAMFORD, N. P.; SILVA, A. J. N.; FREITAS, A. D. S.; ARAÚJO FILHO, J. T. Effect of sulphur inoculated with *Thiobacillus* on soil salinity and growth of tropical tree legumes. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 81, p. 53-59, 2002.

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

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

WESTCOT, D. W.; AYERS, R. S. Criterios de Calidad del Agua de Riego. IN: MUJERIEGO, Rafael (trad.). **Manual práctico de riego com agua residual municipal regenerada**. Barcelona: Edicions de La Universitat Politecnica de Catalunya, 1990. p. 35-67.

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