



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E
MEIO AMBIENTE



CLARA YASMIM DE SOUZA LUCENA

**AMBIENTES LÊNTICOS URBANOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: UMA
ANÁLISE DOS IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES DO USO E OCUPAÇÃO DO
SOLO E PROPOSTAS DE MITIGAÇÃO**

JOÃO PESSOA – PB
AGOSTO – 2022

CLARA YASMIM DE SOUZA LUCENA

**AMBIENTES LÊNTICOS URBANOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: UMA
ANÁLISE DOS IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES DO USO E OCUPAÇÃO DO
SOLO E PROPOSTAS DE MITIGAÇÃO.**

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente da
Universidade Federal da Paraíba, para
obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. MARIA
CRISTINA BASÍLIO CRISPIM DE
SOUZA

JOÃO PESSOA – PB

AGOSTO – 2022

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

L935a Lucena, Clara Yasmim de Souza.

Ambientes lênticos urbanos no semiárido brasileiro :
uma análise dos impactos das alterações do uso e
ocupação do solo e propostas de mitigação / Clara
Yasmim de Souza Lucena. - João Pessoa, 2022.
82 f. : il.

Orientação: Maria Cristina Basílio C. de Souza.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Meio ambiente hidrosférico - Eutrofização. 2.
Ações antrópicas. 3. Recuperação ambiental. 4.
Semiárido. I. Souza, Maria Cristina Basílio C. de. II.
Título.

UFPB/BC

CDU 502.51(043)

CLARA YASMIM DE SOUZA LUCENA

**AMBIENTES LÊNTICOS URBANOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO: UMA
ANÁLISE DOS IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES DO USO E OCUPAÇÃO DO
SOLO E PROPOSTAS DE MITIGAÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA – da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

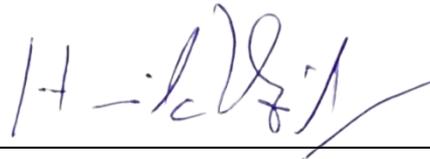
Trabalho Aprovado. João Pessoa, 29 de agosto de 2022.

BANCA EXAMINADORA



**Prof. Dra. MARIA CRISTINA BASILIO CRISPIM DA
SILVA**

Universidade Federal da Paraíba



Prof. Dr. HAMILCAR JOSE ALMEIDA FILGUEIRA

Universidade Federal da Paraíba



Prof. Dra. REBECCA LUNA LUCENA

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

“Saber muito não lhe torna inteligente. A inteligência se traduz na forma que você recolhe, julga, maneja e, sobretudo, onde e como aplica esta informação.” (Carl Sagan)

RESUMO

O uso e a ocupação do solo influenciam diretamente na quantidade e na na quantidade e na qualidade de água nos mananciais hídricos. As modificações que ocorrem na bacia hidrográfica decorrentes das ações antrópicas provocam o aumento da entrada de nutrientes fosfatados e nitrogenados nesses corpos de água, podendo acelerar o processo de eutrofização. A lagoa natural que dá nome ao município de Lagoa Nova, RN, vem sofrendo há alguns anos com os problemas decorrentes das ações antrópicas no entorno. O aumento da entrada de nutrientes na mesma, provenientes do lançamento irregular de efluentes domésticos acarretou na eutrofização desse ecossistema e conseqüente em episódios esporádicos de mortandade dos peixes. É preocupante a ausência de conhecimento científico acerca dos impactos ambientais que o processo de ocupação provoca no solo, na biodiversidade dos ecossistemas e no âmbito socioeconômico no município. Nesse contexto, o presente trabalho teve por objetivo de avaliar o impacto do uso e ocupação da terra na qualidade da água da lagoa natural e apresentar dados que possam contribuir para o planejamento de ações que viabilizem a recuperação deste ambiente e proporcionem melhoria na qualidade de vida das populações. Para isso foi feito um levantamento referente ao impacto do uso e ocupação da terra na qualidade da água e uma avaliação da qualidade da água da mesma, visando propor alternativas sustentáveis para a recuperação desse ecossistema.

Palavras-chave:

Eutrofização, Ações antrópicas, Recuperação Ambiental, Semiárido

ABSTRACT

Land use and occupation directly influence the quantity and quantity and quality of water in water sources. The changes that occur in the watershed resulting from human actions cause an increase in the entry of phosphate and nitrogen nutrients into these bodies of water, which can accelerate the eutrophication process. The natural lagoon that gives its name to the municipality of Lagoa Nova, Rio Grande

do Norte State, Brazil, has been suffering for some years with problems arising from human actions in its surroundings. The increase in the entry of nutrients in the same, from the irregular release of domestic effluents led to the eutrophication of this ecosystem and consequent sporadic episodes of fish mortality. The lack of scientific knowledge about the environmental impacts that the occupation process causes on the soil, on the biodiversity of ecosystems and on the socioeconomic scope of the municipality is worrying. In this context, the present work has the objective of evaluating the impact of land use and occupation on the water quality of the natural lagoon and to present data that can contribute to the planning of actions that enable the recovery of this environment and provide an improvement in the quality of water. populations' lives. For this, a survey was carried out on the impact of land use and occupation on water quality and an assessment of its water quality, in order to propose sustainable alternatives for the recovery of this ecosystem.

Key words:

Eutrophication. Anthropogenic actions. Environmental Recovery, Semiarid

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Mapa de localização e de drenagem urbana do município de Lagoa Nova-RN.....	27
Figura 02: Baraúna (<i>Schinopsis brasiliensis</i>) presente próximo a lagoa natural.....	29
Figura 03: Gameleira (<i>Ficus glabra</i> Vell.), presente próximo a lagoa natural.....	29
Figura 04: Cota altimétrica da lagoa.....	31
Figura 05: Mapa de caracterização da área e drenagem da área no entorno da lagoa de Lagoa Nova, RN.....	31
Figura 06: Galeria que transporta as águas da drenagem urbana para a lagoa.....	32
Figura 07: Imagem aérea da lagoa/ETE.....	32
Figura 08: Encanamento quebrado (a e b) que transporta os efluentes da ETE de Lagoa Nova nas imediações da lagoa.....	33
Figura 09: Florações de cianobactérias na lagoa de Lagoa Nova, RN.....	35
Figura 10: Presença de animais mortos (a e b) no entorno da lagoa de Lagoa Nova, RN.....	39/40
Figura 11: Gráfico da série histórica (1985-2020) vegetação Lagoa Nova – RN.....	44
Figura 12: Gráfico da série histórica (1985-2020) agropecuário Lagoa Nova – RN.....	45
Figura 13: Gráfico comparativo das séries históricas (1985-2020) de vegetação e agropecuário Lagoa Nova – RN.....	45
Figura 14: Mapa de uso e ocupação do município de Lagoa Nova/RN - Ano 1985.....	47
Figura 15: Mapa de uso e ocupação do município de Lagoa Nova/RN - Ano 1992.....	47
Figura 16: Mapa de uso e ocupação do município de Lagoa Nova/RN - Ano 1999.....	48
Figura 17: Mapa de uso e ocupação do município de Lagoa Nova/RN - Ano 2006.....	48

Figura 18: Mapa de uso e ocupação do município de Lagoa Nova/RN - Ano 2013.....	49
Figura 19: Mapa de uso e ocupação do município de Lagoa Nova/RN - Ano 2020.....	49
Figura 20: Valores de condutividade elétrica na água da lagoa de Lagoa Nova, RN e da ETE.....	51
Figura 21: Presença de vegetação do tipo halófito nas margens da lagoa.....	51
Figura 22: Valores de temperatura, na água da lagoa de Lagoa Nova, RN e da ETE.....	52
Figura 23: Gráfico de STD – Sólidos Totais Dissolvidos.....	53
Figura 24: Valores de pH na lagoa e ETE em Lagoa Nova, RN.....	54
Figura 25: Valores de potencial de oxirredução na ETE e lagoa em Lagoa Nova, RN.....	56
Figura 26: Concentrações de oxigênio dissolvido na Lagoa e na ETE em Lagoa Nova, RN.....	56
Figura 27: Concentrações de amônia na lagoa e ETE em Lagoa Nova, RN.....	57
Figura 28: Concentrações de nitrito na lagoa e ETE em Lagoa Nova, RN.....	58
Figura 29: Concentrações de nitrato na lagoa e ETE em Lagoa Nova, RN.....	60
Figura 30: Concentrações de clorofila <i>a</i> na lagoa e ETE em Lagoa Nova, RN.....	61
Figura 31 – Efluente gerado pelo TEWetland incompleto (só fossa).....	65
Figura 32: <i>Heliconia psittacorum</i>	66
Figura 33: <i>Canna indica</i>	66
Figura 34 – Substratos artificiais colocados no Rio Ferverça, Portugal, como forma de aumento do biofilme para agir como biorremediador.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Limites estabelecidos para cianotoxinas na água para os seguintes cenários de exposição: água potável (vitalícia, de curto prazo ou aguda) e uso recreacional.....	14
Tabela 02: Classe de estado trófico e suas características principais.....	17
Tabela 03: Variáveis químicas.....	41
Tabela 04: IET proposto por Lamparelli.....	62

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	Error! Bookmark not defined.9
2. HIPÓTESE E OBJETIVOS.....	11
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
4. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA QUALIDADE DA ÁGUA DA LAGOA NOVA – LAGOA NOVA- RN.....	19
4.1 Breve história da lagoa.....	23
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
5.1 Área de estudo.....	27
5.2 Aspectos físicos.....	28
5.3 Metodologia.....	35
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
8. REFERÊNCIAS.....	72

1. INTRODUÇÃO

Dos 167 municípios do Estado do Rio Grande do Norte (RN) 139 estão inseridos no semiárido (BRASIL, 2021). As médias térmicas anuais da região são elevadas e relativamente constantes e variam entre 26 °C e 27 °C. As altas temperaturas, juntamente com as altas taxas de insolação, acabam gerando elevados valores de evaporação e evapotranspiração potencial (LUCENA et al., 2018). Além disso os índices pluviométricos são inferiores a 800mm anuais e se distribuem de forma irregular, concentrando-se em três a cinco meses (VALADÃO, 2010). Essas condições climáticas favorecem o balanço hídrico negativo em grande parte do ano e contribuem para gênese de rios intermitentes e sazonais na região (AB'SÁBER, 1974; LIMA et al., 2011; APRÍGIO et al., 2019).

Medidas comumente executadas para amenizar os problemas ocasionados pela escassez hídrica no semiárido brasileiro, são a construção de açudes e barragens para o armazenamento de água (MALVEZI, 2007). A qualidade e a quantidade dos corpos de água existentes nessa região, são diretamente influenciadas pelo forte impacto provocado pelo clima e pela precipitação pluviométrica nos ecossistemas aquáticos. Além dos eventos naturais, ações de origem antrópica – agricultura, indústria e assentamento – também contribuem para o desencadeamento do processo de eutrofização dos corpos hídricos (BARROS, 2013).

A presença ou ausência de cobertura vegetal em uma bacia hidrográfica, bem como as formas de uso do solo, influenciam na qualidade e na quantidade da água dos mananciais hídricos, sendo com isto, determinantes para a conservação destes (LIMA, 2010).

À medida que a bacia hidrográfica vai se modificando em decorrência das ações antrópicas, ocorre o aumento da entrada de nutrientes fosfatados e nitrogenados nos corpos de água. Eutrofização cultural é o termo utilizado para caracterizar ambientes aquáticos contaminados com excesso artificial de nutrientes como nitrogênio (N) e fósforo (P) (VON SPERLING, 2014).

A eutrofização tem-se tornado um problema global e está normalmente associada ao aumento da concentração de nutrientes (principalmente

compostos de P e N). Esses podem entrar na bacia de drenagem por meio de fontes pontuais (geralmente descarga de esgoto), bem como de fontes difusas (agricultura e outras atividades antrópicas) (VON SPERLING; FERREIRA; GOMES, 2008; WANG; WANG, 2009; FREITAS, 2012).

Essa concentração de nutrientes em um ecossistema aquático, podem torná-lo mais produtivo e dessa forma, estimular os produtores primários, o que pode resultar em aflorações de algas (*algal blooms*) e cianobactérias. Além também de poder ocasionar a acidificação dos ecossistemas de água doce, maus odores, o crescimento excessivo de macrófitas e o déficit de oxigênio (ocasionando a morte de peixes) (VON SPERLING; FERREIRA; GOMES, 2008; WANG; WANG, 2009).

Uma característica que marca a hidrografia do município de Lagoa Nova, RN, é a presença de cursos de água secundários e intermitentes e a ausência de açudes com capacidade de acumulação igual ou superior a 100.000 m³. Os principais cursos de água do município são os riachos Macacos, Olho d'Água e Grota da Ferveira (CPRM/PRODEEM, 2005).

Devido ao caráter secundário e intermitente da maioria dos cursos de água, no período de ocupação (século XVII) pelos nativos e, posteriormente, pelos brancos da região onde se localiza Lagoa Nova, a lagoa natural que dá nome ao município, foi uma das únicas fontes de água perene (GUIMARÃES; MENDES 2006).

Atualmente, essa lagoa vem enfrentando sérios problemas de poluição. Nos últimos anos houveram três grandes mortandades de peixes no local. A principal hipótese é de que o excesso de nutriente advindos do lançamento irregular de efluentes da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) do município tenha causado o aumento excessivo de algas, levando à eutrofização desse ambiente aquático. Em virtude dessa poluição a lagoa tornou-se imprópria para banho e pesca, visto que além do mau cheiro, os peixes em decomposição podem ocasionar doenças.

É preocupante a ausência de conhecimento científico acerca dos impactos ambientais que o processo de ocupação provoca no solo, na biodiversidade dos ecossistemas e no âmbito sócio econômico no município de Lagoa Nova.

Nesse contexto, o presente trabalho surge com o objetivo de avaliar o impacto do uso e ocupação da terra na qualidade da água da lagoa natural do município de Lagoa Nova - RN.

Para isso, foi feito um levantamento referente ao impacto do uso e ocupação da terra na qualidade da água da lagoa, e uma avaliação da qualidade da água da lagoa, e uma avaliação da qualidade da água da mesma, visando propor alternativas sustentáveis para a recuperação desse ecossistema.

2. HIPÓTESE E OBJETIVOS

Hipótese

O excesso de nutriente advindos do lançamento irregular de efluentes da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) do município tenha causado o aumento excessivo de algas, levando à eutrofização desse ambiente aquático. Atrelado a ausência de ciliar no entorno pode ter favorecido a entrada de poluentes na lagoa.

Objetivo geral

- Avaliar a influência do uso e ocupação da terra na qualidade da água da lagoa natural no município de Lagoa Nova, RN

Objetivos específicos

- Caracterizar a área de estudo quanto ao uso e ocupação do solo;
- Avaliar a qualidade da água da lagoa e da ETE;
- Propor alternativas sustentáveis para a recuperação desse ecossistema.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No período neolítico, entre 10.000 e 5.000 anos antes da nossa Era, a sociedade começa a semear plantas e manter animais em cativeiro, transformando-se de sociedade de predadores em sociedade de cultivadores. Essas sociedades introduziram e desenvolveram espécies domesticadas na maior parte dos ecossistemas do planeta, com isso então, passam a fixar-se na terra, tornando o homem cada vez mais sedentário, isso possibilitou o aumento demográfico e o surgimento das primeiras vilas agrícolas (MAZOYER, 2010).

Havia nesse período uma relação harmoniosa entre homem e a natureza, a sociedade territorial buscava a preservação e a continuidade do meio de vida. Isso poderia ser observado no seu comportamento, por exemplo no uso de técnicas como o pousio, a rotação de terras, a agricultura itinerante, que constituem, ao mesmo tempo, regras sociais e regras territoriais (SANTOS, 2004).

A relação antes amistosa sofre transformações, os modos de cultivo tradicionais, que causavam danos insignificantes ao ambiente, dão lugar à cultura tecnológica, de agricultura mecanizada, produzindo mais alimentos em menor quantidade de tempo (SANTOS; VELOSO; OLIVEIRA, 2017)

Esse modelo atual de sociedade, que está alicerçado no padrão de produção e consumo elevado e no processo de urbanização intenso e desordenado, resulta em problemas como a degradação dos ecossistemas, do solo, poluição das águas, esgotamento dos recursos naturais, perda de biodiversidade e muitos outros tipos de danos ambientais (BRAGA et al., 2002 *apud* ROMEIRO; SOUZA; LOPES, 2014)

O processo de uso e ocupação da bacia hidrográfica, seja ela pela urbanização ou pelo uso agrícola, afeta diretamente na qualidade dos corpos aquáticos e na disponibilidade de água. À medida que a bacia hidrográfica vai se modificando em decorrência das ações antrópicas, ocorre o aumento da entrada de nutrientes fosfatados e nitrogenados nesses corpos de água, podendo levar à eutrofização (VON SPERLING, 2014).

A eutrofização é um fenômeno que pode ocorrer de forma natural, em decorrência da entrada de nutrientes nos corpos de água provenientes das matas e florestas, mas pode levar algumas centenas de anos (TUNDISI; TUNDISI, 2008; VON SPERLING, 2014).

Em virtude do elevado tempo de detenção hidráulica, os ambientes lenticos, são mais susceptíveis ao processo de eutrofização. Embora possa ocorrer também em rios (BARROS, 2013).

O aumento no aporte de nutrientes como N e P, decorrente, seja da ocupação urbana ou pela agricultura na bacia hidrográfica, pode acelerar o processo de eutrofização, levando a uma proliferação excessiva de organismos fitoplanctônicos, como as algas e cianobactérias potencialmente produtoras de cianotoxinas, além de poder ocasionar a redução de oxigênio dissolvido e conseqüentemente causando a morte de peixes (CETESB, 2013; VON SPERLING, 2014).

Frequentes florescimentos de cianobactérias são uma das conseqüências mais graves da eutrofização visto que elas podem representar em sério risco para a biota aquática e à saúde da população, em razão da capacidade destes organismos produzirem potentes toxinas (TUNDISI; TUNDSI, 2008).

Outras conseqüências do florescimento de cianobactérias é a desoxigenação do corpo de água, em virtude do aumento do consumo deste gás pelos decompositores, que aumentam muito com o aumento da produção primária. Podem causar também prejuízos para as estações de tratamento de água como a perda de carga dos filtros e alterações o odor e no sabor da água tratada pela produção de geosmina e o MIB-2-metil-isoborneol (CETESB, 2013) como ocorreu na água distribuída pela Companhia de Água do Rio de Janeiro (CEDAE) em 2020 e 2021.

O Brasil é detentor do primeiro caso de morte humana por contaminação com cianotoxinas. Entre março e abril de 1988 na região de Paulo Afonso – BA, registraram-se cerca de 2.000 casos de gastroenterite, com 88 evoluindo para óbito. Em seu trabalho Teixeira et al. (1993) evidenciara uma correlação entre a ocorrência de floração de cianobactérias no reservatório de Itaparica (Bahia) e esses casos da doença. Após análises laboratoriais foi detectada a presença de algas flageladas pigmentadas e cianobactérias do gênero *Anabaena* e *Microcistis* na água bruta, com valores entre 1.104 a 9.755 UPA.mL⁻¹ o que corresponde a 3,7 e 32,5 vezes o valor estabelecido como aceitável pela Organização Mundial da Saúde (OMS) de 300 UPA/ml, o que indica que essas pessoas foram intoxicadas pela água desse reservatório.

Após esses casos foi aprovada no Brasil uma legislação ligada ao Ministério da Saúde, Portaria Nº 1.469 de 2000 que aprova a norma de qualidade da água para consumo humano. Ela traz a definição de cianobactéria e cianotoxina e o padrão de potabilidade para substâncias químicas que representam risco à saúde. Para microcistinas o valor máximo aceitável é de 1,0 µg.L⁻¹. Esse é um limite determinado pela Organização Mundial da Saúde – OMS e adotado por diversos países.

Atualmente foi aprovada a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021 que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Para cianobactérias os valores máximos permitidos são: para cilindrospermopsinas 1,0 µg.L⁻¹; para microcistina 1,0 µg.L⁻¹ e para saxitoxinas 3,0 µg.L⁻¹.

A OMS publicou recentemente os limites estabelecidos para cianotoxinas na água para os seguintes cenários de exposição: água potável (vitalícia, de curto prazo ou aguda) e uso recreacional (CHORUS; WELKER, 2021).

Tabela 01: Limites estabelecidos para cianotoxinas na água para os seguintes cenários de exposição: água potável (vitalícia, de curto prazo ou aguda) e uso recreacional.

Toxina	Exposição ¹	Valores (µg/L)	Valores tipo ²
Microcistina-LR	Água potável - vitalícia	1	<i>Provisional guideline value</i>
Microcistina-LR	Água potável - curto prazo	12	<i>Provisional guideline value</i>
Microcistina-LR	Recreacional	24	<i>Provisional guideline value</i>
Cilindrospermopsina	Água potável - vitalícia	0,7	<i>Provisional guideline value</i>
Cilindrospermopsina	Água potável - curto prazo	3	<i>Provisional guideline value</i>
Cilindrospermopsina	Recreacional	6	<i>Provisional guideline value</i>

Anatoxina-a	Água potável – aguda	30	<i>Health-based reference value</i>
Anatoxina-a	Recreacional	60	<i>Health-based reference value</i>
Saxitoxina	Água potável - aguda	3	<i>Guideline value</i>
Saxitoxina	Recreacional	30	<i>Guideline value</i>

- 1) Observe que a exposição de curto prazo se refere a períodos de cerca de duas semanas até que o tratamento aprimorado da água potável ou outras medidas possam ser implementadas para atingir concentrações abaixo do valor de referência de vida útil.
- 2) Devido à qualidade geral do banco de dados para sua derivação e desde a respectiva diretriz os valores cobrem apenas congêneres específicos, os valores de referência para microcistina-LR e para cilindrospermopsina são considerados provisórios.

Na ausência de dados de toxicidade oral para outros congêneres, é recomendado que os GVs sejam aplicados a MCs totais, CYNs totais e STXs totais como equivalentes gravimétricos ou molares, com base na hipótese de pior caso dos congêneres com toxicidade semelhante. Para equivalentes de toxicidade STX, consulte OMS 2020.

Além disso, para ATX, a informação toxicológica disponível não é suficiente para derivar um valor de orientação formal (provisório ou não) para a exposição ao longo da vida, mas mostra que os riscos à saúde são improváveis em níveis acima desses valores de referência com base na saúde.

Fonte: adaptado de (CHORUS; WELKER, 2021).

A OMS (2020) indica que o monitoramento das fontes de água deve incluir a avaliação de fatores que podem afetar o crescimento de cianobactérias, incluindo o fósforo total, temperatura, tempo de residência da água e pH.

A Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, estabeleceu instrumentos para a gestão dos recursos hídricos através da criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e da Política Nacional de Recursos Hídricos que tem por objetivos:

I – Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;

II – A utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;

III – A prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais;

IV – Incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.

A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA 357 de 2005 e suas modificações nas Resoluções Nº 410 de 2009 e Nº 430 de 2011 estipulam os padrões de qualidade de água, estabelecem as condições e padrões de lançamento de efluentes, além de dispor sobre a classificação dos corpos de água e sobre as diretrizes ambientais para o seu enquadramento. De acordo com o uso da água os parâmetros são definidos em limites aceitáveis das substâncias presentes e as águas doce, salina e salobra do Território Nacional são classificadas em 13 classes.

A Resolução Nº 903, de 22 de julho de 2013, da Agência Nacional de Águas (ANA), cria a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais (RNQA) e estabelece padrões mínimos para o monitoramento da qualidade das águas para ambientes lóticos e lênticos. Não se obteve informações sobre a existência ou não de legislação específica sobre esse tema no estado do Rio Grande no Norte.

Para a classificação dos corpos de água em relação aos diferentes níveis de trofia, ou seja, quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado com o crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas é utilizado o Índice do Estado Trófico (IET) (LAMPARELLI, 2004).

O modelo de IET proposto por Carlson (1977), utiliza como parâmetros o fósforo total, a clorofila e a transparência do disco de Secchi. Visando adaptá-lo às condições climáticas dos ambientes tropicais Toledo e colaboradores propuseram modificações em sua formula matemática (VON SPERLING, 1994).

O modelo proposto por Lamparelli (2004), alterado para ambientes subtropicais, utiliza apenas duas variáveis, o fósforo total e a clorofila-a. O resultado é composto pelo IET para a concentração do fósforo total na coluna de água e concentração e clorofila-a, como pode ser observado nas equações (1, 2 e 3) abaixo (CETESB, 2006).

Para ambientes lóticos (córregos e rios):

(1)

$$\text{IET (PT)} = 10 \times \left(6 - \left(\frac{0,42 - 0,36 \times (\ln \text{PT})}{\ln 2} \right) \right) - 20$$

$$\text{IET (CL)} = 10 \times \left(6 - \left(\frac{-0,7 - 0,6 \times (\ln \text{CL})}{\ln 2} \right) \right) - 20$$

Para ambientes lênticos (reservatórios): (2)

$$\text{IET (CL)} = 10 \times \left(6 - \left(\frac{0,92 - 0,34 \times (\ln \text{CL})}{\ln 2} \right) \right)$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \times \left(6 - \left(1,77 - 0, \frac{42 \times (\ln \text{PT})}{\ln 2} \right) \right)$$

Para o cálculo do IET: (3)

$$\text{IET} = \frac{[\text{IET (PT)} + \text{IET (CL)}]}{2}$$

Em que:

IET = Índice do Estado Trófico;

PT = concentração de fósforo total medida na superfície da água, expresso em $\mu\text{g.L}^{-1}$;

Cl = concentração de clorofila-a medida na superfície da água, expresso em $\mu\text{g.L}^{-1}$;

ln = logaritmo neperiano.

Os valores do IET são classificados segundo classes de estado tróficos, apresentadas na Tabela 02, juntamente com suas características.

Tabela 02: Classe de estado trófico e suas características principais.

Valor do IET	Classes de Estado Trófico	Características

< 47	Ultraoligotrófico	Corpos de água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam em prejuízos aos usos da água.
47 < IET 52	Oligotrófico	Corpos de água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
52 < IET = 59	Mesotrófico	Corpos de água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
59 < IET = 63	Eutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água

		decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
63 < IET = 67	Supereutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com freqüência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos.
> 67	Hipereutrófico	Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com conseqüências

		indesejáveis para seus múltiplos usos, inclusive sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas.
--	--	---

Fonte: ANA (2021)

Como forma de auxiliar os pesquisadores o Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade do Estado do Pará (UEPA) lançou um aplicativo para celular que calcula o índice de qualidade da água – IET. O aplicativo utiliza das equações propostas por Lamparelli (2004) para ambientes lóticos e lênticos utilizando duas variáveis fosforo total e clorofila *a*.

4. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA QUALIDADE DA ÁGUA DA LAGOA NOVA – LAGOA NOVA-RN

O solo é o principal sistema de suporte da vida e do bem-estar humano, conferindo suporte físico e nutricional para as plantas, além de constituir a base de qualquer atividade humana e fonte de matérias-primas, sendo protegido por lei contra a degradação (CONAMA, 2009)

A degradação, definida como a perda das funções do solo por indução antrópica direta ou indireta (BRASIL, 1989), torna o solo exposto e vulnerável aos extremos climáticos e à erosão, reduz a produtividade ou mesmo pode inviabilizar a produção agrícola pelo nível de contaminação, além disso pode gerar um aumento na demanda por insumos agrícolas e água, aumentando o custo da produção (UNCCD, 2013; TELLES, 2015).

Outras consequências são o assoreamento dos canais fluviais, a migração de poluentes no ambiente e, por fim, a pressão antrópica por novas

áreas produtivas, reduzindo a reserva florestal e o tempo de pousio da terra (TELLES, 2015).

Para orientar a utilização racional do espaço e para propor medidas que visem a conservação da qualidade da água e da vida útil do reservatório é fundamental compreender a distribuição espacial dos tipos de uso da terra e ocupação do solo, uma vez que, a quantidade de nutrientes carregados pelos rios e a quantidade de sedimentos erodidos e depositados no fundo dos reservatórios relacionam-se diretamente com as atividades agrícolas que são praticadas na bacia (LEITE; ROSA, 2012; JUSTINO; MARTINES; KAWAKUBO, 2017).

Alterações nos aspectos físicos da bacia hidrográfica e ações antrópicas podem causar a deterioração da qualidade dos corpos de água alterando as suas características físicas, químicas e biológicas (REIS, 2017).

O processo socioespacial via concentração demográfica nas cidades, repercutiu (e repercute) sobre os ecossistemas, especialmente o da caatinga, de modo que “a vegetação primitiva foi praticamente aniquilada, passando a existir uma vegetação secundária, apresentando um porte bastante inferior em relação ao passado” (FELIPE, 1999).

Os fragmentos remanescentes de vegetação nativa são fundamentais para a restauração e conservação da biodiversidade regional, uma vez que eles se tornam refúgio para as espécies da fauna e da flora e podem conservar ainda muito mais da biodiversidade regional, se devidamente protegidos, manejados e interligados na paisagem. Por isso é imprescindível conhecer mais profundamente esses fragmentos e repensar as estratégias de produção e de sobrevivência da sociedade.

Tendo em vista a crescente interferência humana sobre os ecossistemas e com isso a intensificação dos processos de degradação, é preocupante a ausência de conhecimento científico acerca dos impactos ambientais que o processo de ocupação, alicerçado na exploração agrícola moderna e na urbanização provoca no solo, na biodiversidade dos ecossistemas e no âmbito socioeconômico no município de Lagoa Nova. Além disso é preciso avaliar de que forma esses processos antrópicos intensificam os problemas ocasionados pela seca.

Não diferente do que ocorreu no Estado, o processo histórico de uso e ocupação do território do município de Lagoa Nova deu-se por meio das atividades agrícolas, mais precisamente do cultivo de mandioca para a produção de farinha. Assim, há a necessidade de ter-se uma análise sobre a distribuição espacial das áreas de vegetação nativa preservadas e as áreas com maiores índices de degradação, buscando uma correlação entre as mesmas e as atividades econômicas desenvolvidas, com aporte no processo de urbanização do município.

Além disso, o conhecimento sobre a relação entre o processo histórico de ocupação do município e a variação espacial da degradação permitirá construir mecanismos de recuperação de áreas degradadas mais adequados a cada região. Desta forma, a efetividade das ações de recuperação torna-se maior.

Historicamente o solo tem sido utilizado como receptor de substâncias das atividades humanas, principalmente para a disposição final de resíduos. Vários são os resíduos que podem chegar até o solo, tais como, “resíduos industriais, domésticos ou produtos da combustão, poluição pela agricultura que contribui com a entrada de agrotóxicos e fertilizantes, uso de materiais reciclados, como lodo de esgotos e resíduos resultantes do tratamento de processos industriais” (SILVA; FAY, 2004 *apud* SOUZA et al., 2018).

Contaminantes e poluentes quando depositados sobre o solo e expostos à chuva, podem ser lixiviados, sorvidos, transportados para águas subterrâneas e superficiais ou absorvidos pelas plantas (SILVA, 2013).

A Resolução CONAMA Nº 420, de 2009, dispõe sobre os critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

Algumas alterações são observadas nos solos que recebem águas residuárias, sendo as principais delas os efeitos sobre o carbono e o nitrogênio totais, atividades microbianas e N-mineral, cálcio e magnésio trocáveis, salinidade, sodicidade e dispersão de argilas (FONSECA et al., 2007 *apud* TEIXERA, 2020).

Em corpos de água, a descarga de esgotos industriais e domésticos sem tratamento adequado, pode vir a produzir mudanças na qualidade da água,

aumentando a eutrofização e provocando alterações como a redução do oxigênio dissolvido, morte de peixes, decréscimo na diversidade de espécies da comunidade fitoplanctônica, além do aumento da incidência de florações de algas e cianobactérias (algo que tem sido observado na lagoas de Lagoa Nova) que podem representar um sério risco para a biota aquática e para a saúde da população (TUNDISI, 2008; CETESB, 2013; TUNDISI; FREITAS, 2012).

Um dos tratamentos de esgotos amplamente aplicados no Brasil, com o intuito de reduzir a carga de poluentes lançados nos corpos de água receptores, são as lagoas de estabilização (SOUZA, 2014). Para Von Sperling (1996) a remoção dos poluentes no tratamento está associada aos conceitos de tipo e eficiência do tratamento. A classificação do tratamento dos esgotos de Sperling tem os seguintes níveis: preliminar, que tem por objetivo apenas a remoção dos sólidos grosseiros; primário, com eficiência de remoção de 35% do DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio; secundário, com eficiência de remoção de 65% de DBO e terciário que objetiva a remoção de poluentes específicos.

O tratamento de efluentes aplicados ao esgoto urbano no Brasil, são compostos geralmente de processos primários e secundários com uma disposição final nos sistemas hídricos (BARROS et al., 1995 *apud* COSTA; FARIAS, 2020).

Antes dos esgotos serem lançados aos corpos de água receptores ou, eventualmente, aplicados no solo, é preciso se levar em conta a presença de poluentes, especialmente organismos patogênicos e metais pesados que por ventura ainda possam estar presentes nos esgotos tratados (BRASIL, 2004).

Isso faz-se necessário a fim de “melhorar as condições sanitárias, conservar os recursos naturais, eliminar focos de poluição e contaminação, reduzir doenças causadas pela poluição e contaminação, reduzir doenças causadas pela poluição e de gastos com saúde pública e principalmente as adequações aos parâmetros de normas ambientais vigentes” (BARROS et al., 1995 *apud* COSTA; FARIAS, 2020).

Esses poluentes são normalmente provenientes do uso de fertilizantes na agricultura, da descarga de esgotos industriais e domésticos sem tratamento adequado, da retirada da mata ciliar dos mananciais, alta taxa de urbanização e falta de saneamento básico (CETESB, 2013).

Breve história da lagoa

Lagoas naturais também estão presentes no semiárido nordestino. Na base de inselbergues, cristas de quartzito e serras é como a formação de lagoas temporárias, que durante a época das chuvas, acumulam grandes quantidades de água, permanecendo com água apenas parte do ano (QUEIROZ; RAPINI; GIULIETTI, 2006).

Em seu livro, Joaquim Coutinho (2006) relata que a lagoa foi descoberta ao acaso, quando em 1777 período de grande seca no sertão, o gado do Coronel Cipriano Lopes Galvão na procura por água e alimento acaba se perdendo. O Coronel ordena aos vaqueiros para procurarem o gado na chapada da Serra de Santana, que ficava próxima à sua fazenda. Ao subirem a trilha de mato verde fechado de difícil penetração, os vaqueiros encontraram o gado pastando nas margens de uma lagoa, a quem deram o nome de Lagoa Nova. Já haviam indícios da presença de índios nessa área, próximo à lagoa foram encontrados cabanas e restos de artefatos de barro.

Ainda em seu livro, Coutinho (2006) relatou que a falta de água foi um dos elementos que dificultou o povoamento da região da Serra de Santana, pois no local não havia nenhuma fonte de água permanente. Na época de chuvas os moradores da serra se abasteciam na lagoa, porém no período de estiagem chegavam a andar 6 km em busca de água, visto que a água da lagoa durava pouco tempo e em anos de pouca chuva nem água acumulava.

Em um primeiro momento o entorno da lagoa foi ocupado pelas plantações de mandioca e pelas casas de farinha, mas foi apenas por volta de 1850 que começaram a chegar os primeiros moradores permanentes, construindo pequenos barracos e pequenas lavouras no entorno da lagoa.

As lagoas estão entre os ecossistemas de água doce com maior biodiversidade, mas enfrentam ameaças significativas de remoção, degradação do habitat e falta de proteção legislativa em todo mundo. Além disso, as lagoas fornecem uma variedade de serviços ecossistêmicos, incluindo; soluções ambientalmente sustentáveis para a gestão da água – armazenamento de água (redução de inundações), retenção de nutrientes e sedimentos e;

armazenamento/sequestro de carbono em escala local e mitigação dos efeitos das ilhas de calor urbanas (HILL et al., 2015).

Os sistemas hidrológicos lânticos, referentes a água parada, com movimento lento ou estagnado, com por exemplo, lagoas, lagos e pântanos (CONAMA Nº 356/2005) não são elementos permanentes das paisagens da Terra, visto que, em escala geológica estes são fenômenos de curta durabilidade, ou seja, surgem e desaparecem no decorrer do tempo. Tendo seu aparecimento ligado dentre outros fatores ao acúmulo de matéria orgânica no sedimento e deposição de sedimentos transportados por afluentes (ESTEVES, 1998).

Existem muitos conceitos a respeito da diferenciação entre os tipos de formações lânticas em e não há um consenso no meio acadêmico e os limnólogos acabam tendo muita dificuldade de diferenciar um lago de uma lagoa. As diferenças entre esses ambientes são muitas desde a sua gênese, sua evolução, sua morfologia, níveis de salinidade, tipos de comunidades aquáticas, dentre outras. Para fins de diferenciação pode-se utilizar como critério a profundidade da bacia lacustre e a profundidade que alcança a região iluminada na coluna de água (ESTEVES, 1998; FARION, 2007).

Esteves (1998), trouxe uma definição de lagos como sendo corpos de água interiores sem comunicação direta com o mar e com águas geralmente com baixos teores de íons dissolvidos, e as lagoas como corpos de água rasos, de água doce, salobra ou salgada, em que a radiação solar pode alcançar o sedimento, possibilitando, conseqüentemente, o crescimento de macrófitas aquáticas.

Já para Guerra (1993) os lagos possuem formas, profundidades e extensões muito variadas e geralmente são alimentados por um ou mais afluentes. Possuem também rios emissários o que evita o seu transbordamento. Eles são depressões do solo produzidas por causas diversas e cheias de águas confinadas, são mais frequentes em regiões montanhosas e no hemisfério norte.

As lagoas para Guerra (1993) podem ser definidas como lagos de pequena extensão e profundidade. São depressões de formas variadas tendendo principalmente a formas circulares e podem ser de água doce ou salgada. Ele enfatiza que algumas lagoas podem ser temporárias, existindo

apenas nas estações chuvosas, e nos períodos de seca transformam-se em áreas de pasto.

As áreas alagáveis, assim com os lagos e as lagoas, podem se formar em regiões de maior declividade da bacia de drenagem, podendo ser o exutório do escoamento superficial de águas pluviais, e também corpos de água, e até mesmo ter como fonte alimentadora as águas residuárias (BIANCHI, 2017).

No caso da lagoa natural no município de Lagoa Nova, esta está localizada em uma área de maior declividade e recebe águas do escoamento superficial de águas pluviais, de corpos de água e recentemente passou a receber águas residuárias e do efluente da ETE da cidade também.

Os lagos exercem importante função na produtividade do ecossistema aquático. Durante os períodos de cheias as águas que entram nesses ecossistemas são ricas em nutrientes que contribuem para a produção de macrófitas e fitoplâncton. A vegetação flutuante serve como a principal área de alimentação, de abrigo e de reprodução para vertebrados e invertebrados aquáticos (SOUZA, 2018). E pelo Código Florestal as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de 30 (trinta) metros, em zonas urbana e 100 (cem) metros, em zonas rurais (exceto para o corpo de água com até 20 ha de superfície, cuja faixa marginal será de 50 metros) são consideradas áreas de APP.

Pela definição explicitada no Artigo 2º do Código Florestal Brasileiro entende-se por APP, toda e qualquer área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

O Código Florestal Brasileiro (Lei Federal Nº 12.651/2012) é um mecanismo legal criado para a proteção de áreas ambientalmente sensíveis tais como: encostas íngremes, topos de morro, mangues, dunas, margens de rios e lagos. Nele são estabelecidas normas gerais sobre a proteção da vegetação, APPs e áreas de Reserva Legal, dentre outros.

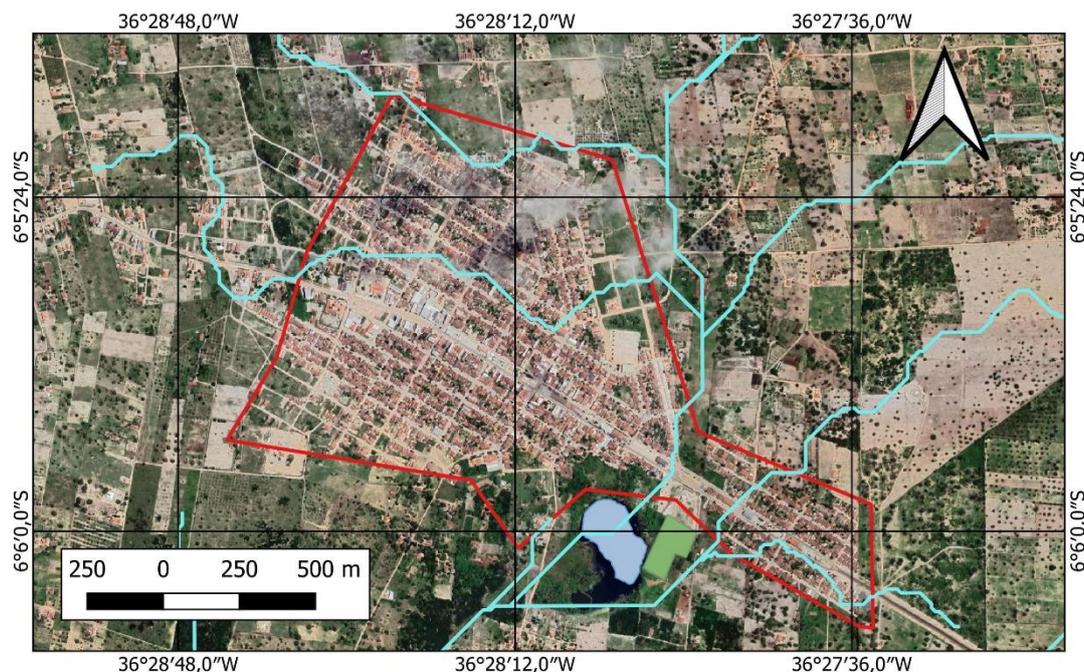
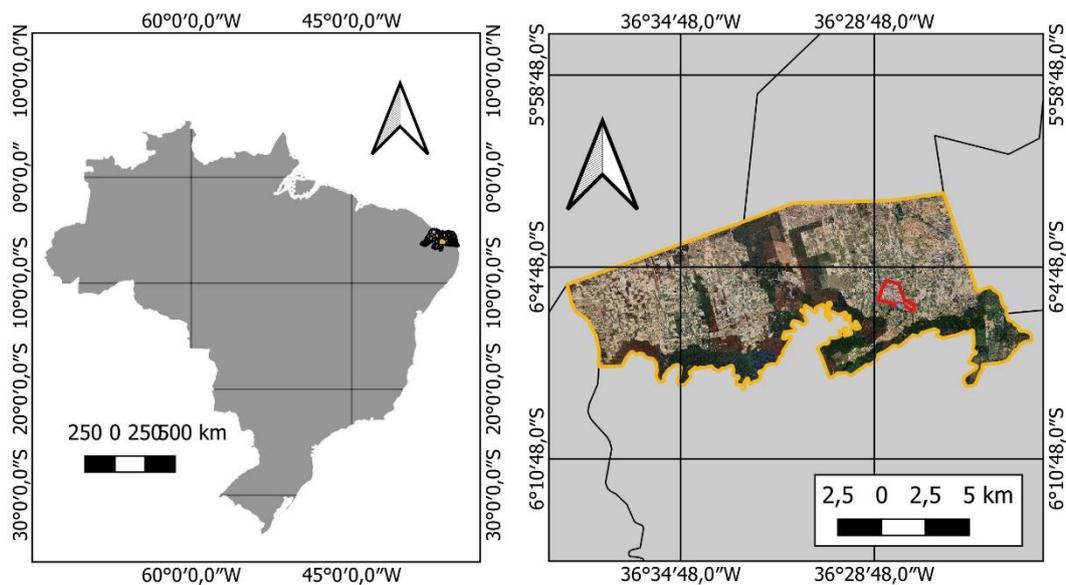
As áreas de APP possuem restrições quanto às formas de uso e ocupação das terras, tais com a limitação de terras para a agricultura e pecuária, urbanização, etc.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O presente estudo foi desenvolvido em uma região do semiárido brasileiro, no município de Lagoa Nova, estado do Rio Grande do Norte (Ver figura 1). Localizada no platô as Serra de Santana, geologicamente inserido na Província da Borborema om Domínios Hidrogeológicos composto de rochas sedimentares da Formação Serra dos Martins, feição geomorfológica responsável por cerca de 95% da área do município, e de rochas do embasamento cristalino que englobam o subdomínio rochas metamórficas constituído da Formação Seridó e o subdomínio rochas ígneas da Suíte calcialcalina Conceição (CPRM/PRODEEM, 2005).

Figura 01: – Localização e drenagem urbana do município de Lagoa Nova, RN.



Legenda

- | | |
|--|---|
|  Canais |  Lagoa Nova - RN |
|  Lagoa |  Rio Grande do Norte |
|  ETE - Estação de Tratamento de Esgotos |  BRASIL |
|  Perímetro Urbano Lagoa Nova-RN | |

Fonte: IBGE, 2019 BGDEX, 2020.
 DATUM: SIRGAS 2000
 Projeção: UTM zona 24 S.
 Elaboração: Clara Yasmim de Souza Lucena.

Em relação ao clima, a Serra de Santana possui clima “ameno” em se tratando das condições térmicas, provocado pelo gradiente vertical, com média de $\sim 21^{\circ}\text{C}$ e temperaturas mínimas de até 15°C (LUCENA, 2021).

O período chuvoso concentra-se nos meses de fevereiro a maio e o índice pluviométrico é de 564,0 mm/ano (CPRM/PRODEEM, 2005).

A vegetação do município é basicamente composta pelas florestas estacionais semidecíduais, classificadas anteriormente como florestas subcaducifólias, vegetação encontrada em geral em áreas de transição entre zona úmida costeira e o ambiente semiárido, ocupando as partes mais elevadas dos conhecidos “brejos de altitude” (CPRM/PRODEEM, 2005).

O município possui 176,302 km² de extensão territorial e uma população estimada de 15.880 habitantes, um PIB per capita de R\$ 16.616,27 e com principais atividades econômicas a agropecuária, extrativismo e comércio (IBGE, 2021).

Em relação ao esgotamento sanitário 67,59% das residências do município possuem atendimento com coleta e tratamento de esgoto, 12,65% é atendido por soluções individuais (fossa séptica) e 19,76% não possuem atendimento, coleta ou tratamento (SNIS, 1019). Em relação ao abastecimento de água, apenas 46,41% da população total tem acesso aos serviços de abastecimento (SNIS, 2019).

O município encontra-se inserido nos domínios da bacia hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu, seus principais cursos de água são riachos Macacos, Olhos d'Água e Grota da Fervedeira. Não existindo açudes com capacidade de acumulação igual ou superior a 100.000 m³ (CPRM/PRODEEM, 2005). Segundo dados da Empresa de Pesquisa Agropecuário do Rio Grande do Norte (EMPARN) a precipitação acumulada no ano de 2020 no município de Lagoa Nova foi de 575,7 mm, concentrada de janeiro a maio (EMPARN, 2020).

Aspectos físicos

A lagoa ocupa uma área de, aproximadamente, 60.262 m² (\cong 6 ha) com área de inundação de, aproximadamente, 123.226 m² (\cong 12 ha). Pouco resta da vegetação nativa do entorno, no processo de uso e ocupação essa vegetação foi retirada para dar lugar à implantação de roças e pastagens, à construção de casas e até mesmo à implantação da estação de tratamento de esgotos do município.

Existem alguns resquícios de vegetação na área de escorrência dos efluentes da lagoa, seguindo na direção do talude da serra e alguns poucos indivíduos na parte sul, onde são possíveis encontrar, por exemplos, um exemplar de Baraúna (*Schinopsis brasiliensis*) (Figura 02) e Gameleira (*Ficus glabra* Vell.) (Figura 03) preservadas pelo município.

Figura 02: Baraúna (*Schinopsis brasiliensis*) presente próximo a lagoa natural.



FONTE: autora (2021)

Figura 03: Gameleira (*Ficus glabra* Vell.), presente próximo a lagoa natural.



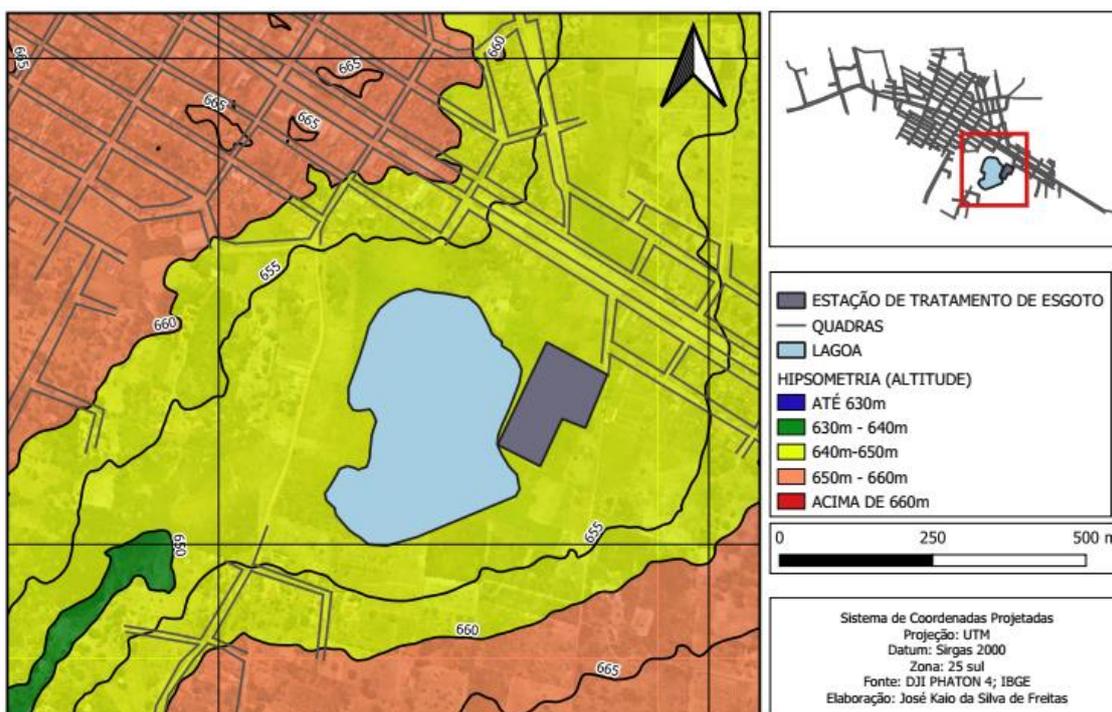
FONTE: autora (2021)

A lagoa localiza-se em uma área de fundo de vale com cota altimétrica de 679 m, pouco mais baixa que a área da cidade (Figura 04), o que leva a que boa parte do escoamento superficial das águas pluviais da área urbana do município ser direcionado para a lagoa (Figuras 04, 05 e 06).

Assim como as águas de drenagem de algumas áreas rurais do entorno, como pode ser observado no mapa de drenagem acima e na imagem abaixo que mostra o bueiro localizado sob Avenida João Lopes Galvão, que direciona as águas provenientes da Rua Dona Chica à Lagoa.

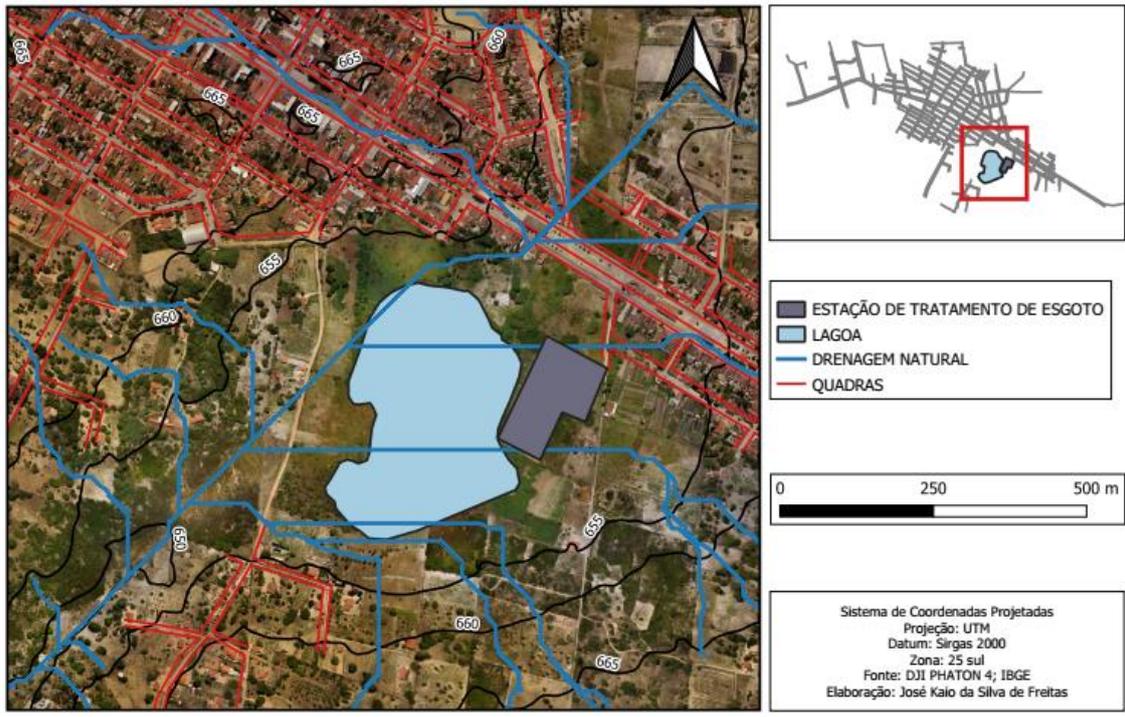
Além das águas de drenagem (Figuras 04 e 05), a lagoa recebe também (de forma irregular) os efluentes da ETE, que está localizada na margem superior direita Figuras 04, 05 e 7), isso devido a rompimentos no encanamento que transporta os efluentes da ETE (Figura 08).

Figura 04: Relevo da área entorno da lagoa de Lagoa Nova, RN



FONTE: Dados da pesquisa

Figura 05: Caracterização da área e drenagem da área entorno da lagoa de Lagoa Nova, RN.



FONTE: dados da pesquisa

Figura 06: Galeria que transporta as águas da drenagem urbana de Lagoa Nova para a lagoa.



FONTE: autora (2021)

Figura 07: Imagem aérea da lagoa/ETE.



FONTE: José Kaio da Silva Freitas, 2021

Figura 08: Encanamento quebrado (a e b) que transporta os efluentes da ETE de Lagoa Nova nas imediações da lagoa.

a)



b)



FONTE: autora (2021)

Segundo dados da ANA, essa ETE funciona com um sistema de lagoas de estabilização, composta por duas lagoas, uma facultativa e uma de maturação, com uma Carga de DBO de entrada de $265,3 \text{ kg.dia}^{-1}$ e com uma eficiência adotada de 80%, tendo uma carga de DBO de saída de $53,1 \text{ kg.dia}^{-1}$ e uma vazão de $3,7 \text{ L.s}^{-1}$. Os dados da ANA não identificam o corpo hídrico receptor dos efluentes da ETE, porém no Atlas de Esgotos da ANA é informado que a capacidade de diluição do corpo receptor é nula, pois o mesmo é intermitente e sem vazão de diluição.

Ao transbordar, a água da lagoa segue com seu fluxo natural em direção a pequenos córregos, que seguem em direção ao talude da Serra de Santana, desaguando posteriormente no Açude Dourado, localizado no município de Currais Novos/RN, responsável pelo abastecimento da população do referido município, utilizado para a pesca de subsistência, como fonte de água para irrigação, dessedentação de animais e também para recreação (PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO LAGOA NOVA/RN, 2016; PLANO DE DESENVOLVIMENTO INTEGRADO DO TURISMO SUSTENTÁVEL – PDITS, 2011).

Em 2016 o programa Água Azul analisou a qualidade das águas dos principais corpos de águas interiores do Rio Grande do Norte, dentre eles o Açude Dourado. No relatório de março a maio do referido ano o açude apresentava uma qualidade “Ruim”, de acordo com os parâmetros usados para medir o (IQA) - Índice de Qualidade de Água e o (IQAc) - Índice de Qualidade de Água combinado.

Os índices de qualidade foram prejudicados pela elevada concentração de nitrogênio, (DBO) - Demanda Bioquímica de Oxigênio e (SD) - Sólidos Totais, e baixo Oxigênio Dissolvido (OD). A concentração de clorofila-a foi elevada, resultando em (IET) - Índice de Estado Trófico “Mesotrófico”, o programa indica que estes valores são provavelmente decorrentes da falta de proteção do manancial e dos usos agropastoris e urbanos que ocorrem no açude e em sua bacia hidrográfica (PROGRAMA ÁGUA AZUL, 2017).

No ano de 2013 houveram duas grandes mortalidades de peixes na lagoa durante os meses de fevereiro e maio, o que chamou a atenção do Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (IDEMA) e da Secretaria Estadual de Saúde, ambos do RN. Uma das possíveis causas apontadas seria o excesso de nutrientes (compostos químicos ricos em fósforo ou nitrogênio) que provocam o aumento excessivo de algas (Figura 09) que com a sua decomposição pode ocasionar a diminuição do oxigênio na lagoa e provocar a morte dos organismos, além de diminuir a qualidade da água e alterar o ecossistema (G1, 2013). Além disso, quando as algas apresentam grandes concentrações, as cianobactérias tornam-se dominantes e estas são potenciais produtora de toxinas (BARBOSA, 2009).

Frequentes florescimentos de cianobactérias são uma das consequências mais importantes da eutrofização visto que elas podem representar um sério risco para a biota aquática e para a saúde da população, em razão da capacidade destes organismos produzirem potentes toxinas (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

No início de 2021 a prefeitura foi novamente informada pela população do entorno de que havia ocorrido uma nova mortalidade de peixes na lagoa. A ausência de mata ciliar, o uso e ocupação indevidos de suas margens e o constante lançamento de efluentes de esgotos levaram à degradação deste ecossistema, que no passado serviu de abastecimento humano. Com isso evidencia-se a necessidade de se adotarem medidas preventivas e corretivas de saneamento e de preservação ou recomposição da vegetação do entorno, visto que o nível de conservação/preservação influenciará na qualidade dos corpos de água.

Em regiões semiáridas, onde a água é um fator limitante, é de fundamental importância recuperar e preservar estes ecossistemas que promovem benefícios não só para o meio ambiente, mas para a sociedade como um todo.

Figura 09: Florações de cianobactérias na lagoa de Lagoa Nova, RN.



FONTE: autora (2021)

Metodologia

- Análise de Uso e ocupação

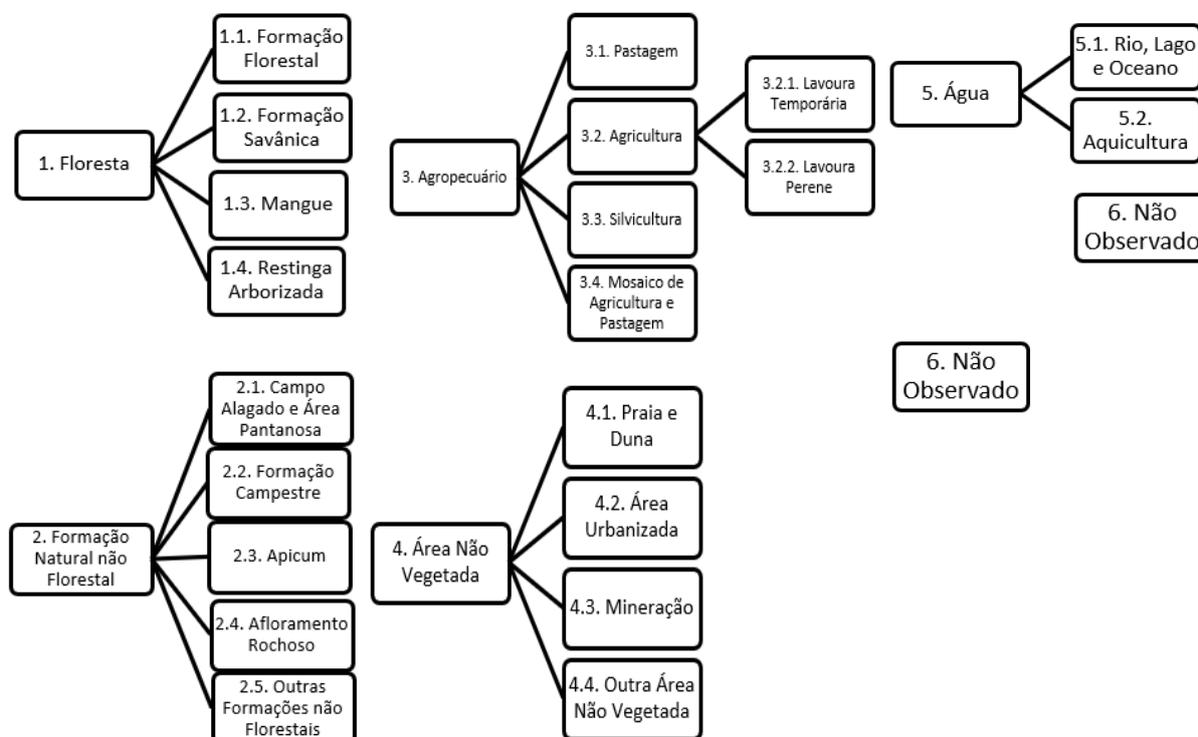
Para a avaliação da cobertura e uso da terra e avaliação da composição da vegetação nativa do município de Lagoa Nova foi utilizado a base de dados do Mapbiomas, Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil versão 5.0 de agosto de 2020, a partir do *plugin* MapBiomas Collection 5.0 de 2019 no *software* QGis 3.10.8-A Coruña.

O Projeto MapBiomas é uma iniciativa multi-institucional para gerar mapas anuais de uso e cobertura da terra a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite.

Utilizando imagens de satélite, com 36 anos de série histórica com dados desde 1985 a até 2020, o Projeto fez um mapeamento pioneiro. O banco de dados contém as áreas em hectares por classe de cobertura e uso de solo referente ao período de 1985 a 2019.

Os mapas anuais de cobertura e uso do solo do MapBiomas foram produzidos a partir da classificação *pixel a pixel* de imagens dos satélites Landsat com resolução espacial de 30 m por 30 m. O processamento dessas imagens foi feito utilizando linguagem de programação, com algoritmos de inteligência artificial, para tornar o mapeamento mais automático possível. Além dos algoritmos foram utilizadas imagens para exemplificar as especificidades e as dinâmicas de cada bioma ou de cada região. Para compor toda essa série temporal para todo o território nacional foram utilizadas mais de 150 mil imagens e mais de 100 *terabytes* de dados.

Para a classificação da cobertura e uso da terra o projeto divide os dados por classes que por sua vez se dividem em subclasses, são elas:



Para a delimitação da área do município foi utilizado o *shapefile* de malha municipal obtidos no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2020). Para confirmação dos dados foi feito a comparação com as imagens do Google Satellite obtidas no *plugin* do QGis 3.10.8-A Coruña.

A partir desses dados foram montados seis mapas referentes aos anos de 1985, 1992, 1999, 2006, 2013 e 2019 perfazendo sete anos de diferença entre eles para a avaliação da evolução do uso e ocupação da terra no território do município e identificação das áreas que sofreram mais impacto.

- Análises de qualidade de água

Foram realizadas análises de qualidade de água na lagoa natural de Lagoa Nova, no entanto, devido a esta estar recebendo os efluentes da ETE, localizada nas suas imediações, análises de qualidade de água na ETE, nas duas lagoas também foram realizadas, para favorecer a interpretação dos dados. Para atender a sazonalidade da região foi considerado um período de estiagem (04/11/2020) e um período de chuvas (14/05/2021). Nessa primeira coleta, devido ao baixo volume de efluentes que estava entrando no sistema, apenas uma das lagoas da ETE estava em funcionamento. Em virtude disso foram coletadas amostras apenas da lagoa em funcionamento. As coletas foram realizadas sempre no mesmo horário (no início da tarde).

Entre as duas coletas, por volta do dia 12 de janeiro de 2021, houve mais uma mortalidade de peixes na lagoa. Foi possível observar nessa segunda coleta vestígios de animais em decomposição no entorno da lagoa, dentre eles carcaças de aves e de peixes bem próximo ao ponto onde o encanamento da ETE encontra-se rompido (Figura 10). Observou-se também um aumento no volume de efluentes adentrando a ETE, permitindo assim, que a segunda lagoa voltasse ao seu funcionamento e pudesse ser realizado coleta em ambas as lagoas de estabilização.

Figura 10: Presença de animais mortos (a e b) em torno da lagoa de Lagoa Nova, RN.

a)



b)



FONTE: autora (2021)

Os resultados das análises foram comparados com as normas do CONAMA N° 430/2011, que trata das condições, parâmetros e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, que complementa e altera a Resolução N° 357 de 2005.

Utilizou-se também a Resolução N° 903, de 22 de julho de 2013, da ANA.

Análises físicas e químicas

Foram analisadas as águas na ETE na área de saída para o efluente da ETE e da lagoa natural que recebe este efluente, sendo uma análise na lateral próxima à ETE – lado A e outra na margem oposta – lado B. Todas as análises em três réplicas.

Os parâmetros analisados para a avaliação da qualidade e água foram temperatura, condutividade elétrica, pH, sólidos totais dissolvidos, potencial de oxirredução. Todos estes foram analisados no local com o auxílio de uma sonda multiparamétrica (HORIBA).

A água para análise de compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) foi coletada no local, na subsuperfícies (cerca de 20 cm), armazenada em garrafas de polietileno de 500 ml devidamente etiquetadas e acondicionadas em caixa térmica com gelo, até que pudesse chegar ao Laboratório de Ecologia Aquática da UFPB e serem analisadas pelos métodos descritos em APHA (BAIRD; BRIDGEWATER, 2017), segundo a Tabela 03.

Para análise de clorofila-a as amostras foram coletadas em frascos de polietileno de 500 ml devidamente etiquetadas e acondicionadas em caixa térmica com gelo, até que pudesse chegar ao Laboratório de Ecologia Aquática da UFPB onde foram filtradas e posteriormente analisadas. Como solvente foi utilizado acetona a 90%. Após 24h de extração, no escuro e em baixa temperatura, as medidas de absorvância dos extratos foram tomadas espectrofotometricamente nos comprimentos de ondas de 665 nm e 750 nm antes e após a acidificação com HCL a 1N. As concentrações de clorofila-a foram obtidas por meio da fórmula (4) proposta por Lorenzen (1967).

$$\text{Clorofila-a } (\mu\text{g}^{-1}) = P \times (A_{665} - A_{750}) \times \frac{1.000 \times V}{v \times PL} \quad (4)$$

Onde:

P = constante de proporcionalidade derivado do coeficiente molar de extinção (26,7 cm.mg.L⁻¹);

A₆₆₅ = absorvância do extrato no comprimento da onda 665, corrigida com a absorvância do extrato acidificado;

A₇₅₀ = absorvância do extrato no comprimento de onda 750, corrigida com a absorvância do extrato acidificado;

V = volume filtrado da amostra;
 V = volume do extrato (10 ml);
 PL = comprimento ótico da cubeta (1 cm).

Tabela 03: Variáveis químicas

VARIÁVEIS QUÍMICAS	METODOLOGIA
Amônia	Método do indofenol
Nitrito	Método colorimétrico Método N-(1-naftil)-etilenodiamina.
Nitrato	Método colorimétrico Método N-(1-naftil)-etilenodiamina
Fosfato	Método Colorimétrico – Azul de Molibdênio
Fósforo total	Método por Digestão da amostra, Ácido Ascórbico e Colorimétrico – Azul de Molibdênio.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uso e ocupação

Analisando os mapas de uso e ocupação (1985 a 2020) (Figuras de 14 a 19) percebe-se que o município de Lagoa Nova perdeu cerca de 2,408 ha de área de vegetação nativa. Em 1985 (Figura 14) o município possuía cerca de 7.803 ha, sendo 7.715 ha de vegetação do tipo formação savânica (Caatinga) e 88ha de formação florestal. Em 2020 (Figura 19) esse valor caiu para 5.395 ha sendo deste total 5.308 ha de vegetação do tipo formação savânica e 87 ha de formação florestal.

Se a intensidade da retirada da cobertura vegetal não permitir que o ambiente se recupere diz-se que este está degradado e há a necessidade de intervenções. E se a intensidade da retirada da cobertura vegetal possibilitar a manutenção da capacidade de regeneração do ambiente diz-se que este está perturbado e intervenções poderão acelerar o processo de recuperação (CORRÊA; MELO, 1998 *apud* RODRIGUES, 2007).

A tendência geral nesses anos analisados é de uma redução das áreas vegetadas, com destaque para os anos de 2004 a 2006 e de 2013 a 2020, que

estiveram abaixo da média da série que é de 5926,5 ha. Nos anos de 2014 a 2015 (Figura 11) houve uma maior supressão da vegetação savânica, o que coincidiu com o início das instalações dos primeiros parques eólicos no município, que iniciaram seu funcionamento no final de 2015 (CRUZ, 2016), e também com o aumento das áreas destinadas à agricultura que tiveram um crescimento significativo a partir de 2004.

É possível perceber também uma significativa redução na vegetação nos anos de 1990 a 1995 (Figuras 11 e 13) que pode ser explicado pelo impulsionamento da agricultura no Rio Grande do Norte decorrente dos investimentos recebidos, aumento da produção e o aumento do consumo produtivo agrícola. Lagoa Nova destaca-se na produção de caju, que já em 1985 possuía uma área de 81.571 ha destinada a essa plantação no Estado (LOCATEL, 2018).

No geral, foi possível perceber que houve uma maior supressão na vegetação do tipo savânica e uma tendência à estabilização da vegetação do tipo formação florestal. Os resquícios de vegetação do tipo formação florestal encontram-se na escarpa da Serra, locais esses que são de difícil acesso, isso pode ter favorecido a manutenção deste tipo de vegetação na região. É possível encontrar ambientes de exceção, que se configuram como verdadeiros enclaves úmidos, verdadeiras “ilhas verdes” dispersos em superfícies topograficamente elevadas de relevo serrano, estas possuem dimensões variadas e são submetidas a influência de mesoclimas de altitude (SOUZA; OLIVEIRA, 2006).

Esses enclaves úmidos são de extrema importância para o semiárido, visto que são considerados refúgios para espécies da flora e fauna, além de fontes de umidade para diversas atividades humanas, uma vez que apresentam clima mais fresco e úmido decorrente dos efeitos da altitude (LUCENA, 2021).

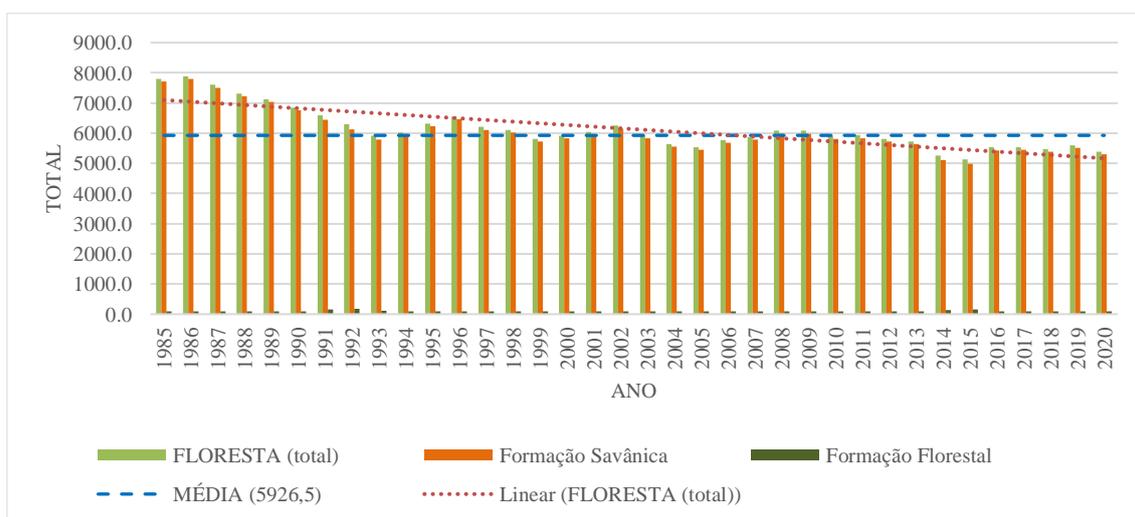
Comparando os dados de vegetação com os dados agropecuários (Figura 13) é possível perceber que há uma correlação entre eles, ao passo que há uma redução de 2,408 ha de área de vegetação nativa há também um crescimento de 2.758 ha de áreas ocupadas pela agropecuária. Atrelado a isso tem-se também o crescimento da infraestrutura urbana que também contribui para a redução das áreas vegetadas. Em 1985 o município possuía 292 ha destinados

à infraestrutura urbana em 2020 esse valor subiu para 396 ha (Figuras de 14 a 19).

Tal configuração pode se apresentar como uma ameaça à qualidade dos corpos hídricos superficiais (a exemplo da Lagoa) e também contribuir com o processo de desertificação na serra, através da retirada da cobertura vegetal e dos processos que envolvem degradação físico-química dos solos.

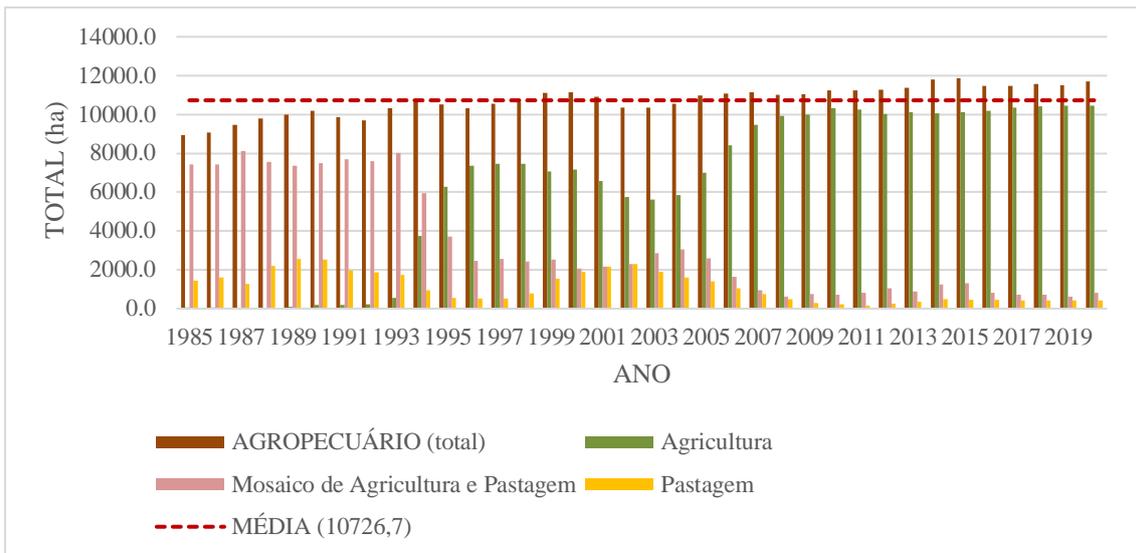
Targa (2011) enfatiza que práticas de conservação do solo devem ser adotadas para minimizar as alterações que o uso e ocupação dos solos bem como o crescimento desordenado de municípios causam nas características de escoamento e as interferências que esses causam em processos erosivos, cheias e inundações.

Figura 11: Série histórica (1985-2020) vegetação Lagoa Nova, RN.



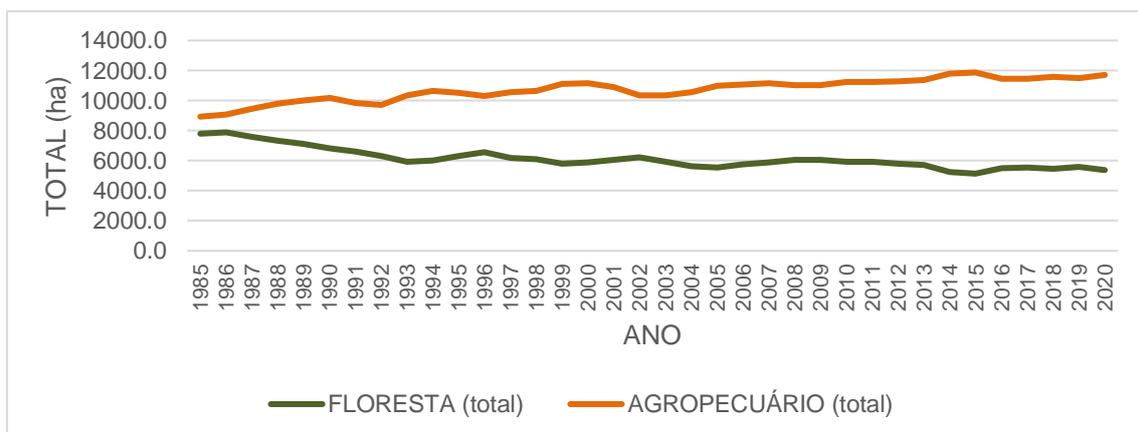
FONTE: elaborado pela autora baseado no MapBiomas Collection 5.0 (2019)

Figura 12: Série histórica (1985-2020) agropecuário Lagoa Nova, RN.



FONTE: elaborado pela autora baseado no MapBiomas Collection 5.0 (2019)

Figura 13: Comparativo das séries históricas (1985-2020) de vegetação e agropecuário Lagoa Nova, RN.



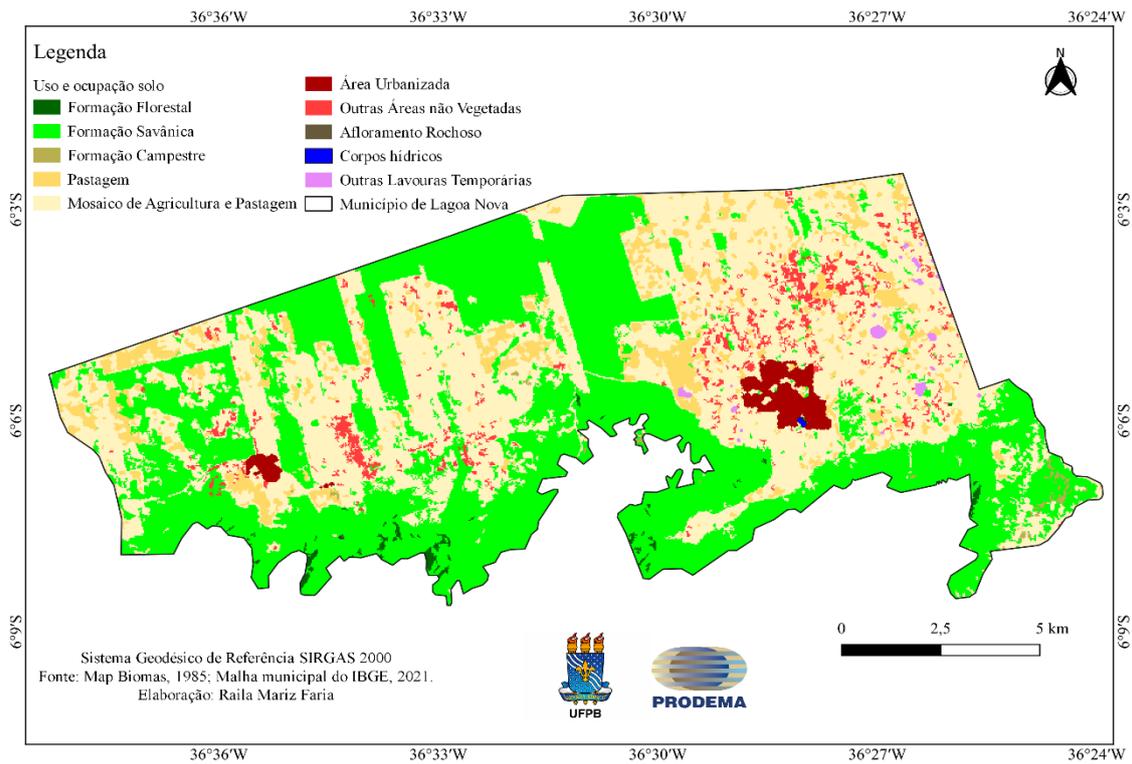
FONTE: elaborado pela autora baseado no MapBiomas Collection 5.0 (2019)

Observando com atenção as figuras é possível perceber que a cidade cresceu entorno da lagoa e o pouco de vegetação que havia nas áreas de drenagem foi quase que por completo retirada, restando apenas alguns resquícios, como um exemplar de Baráúna (*Schinopsis brasiliensis*) (Figura 02) e um de Gameleira (*Ficus monckii* ou *Ficus glabra* Vell.) (Figura 03) preservados pelo município e algumas Algarobas (*Prosopis juliflora*) (Figura 07). A vegetação original deu lugar a infraestrutura urbana e plantações de capim elefante para alimentar o gado (Figura 07). No entorno da lagoa, na área inundável, a vegetação que predomina é a do tipo herbácea, com a predominância do beldroega-da-praia (*Blutaparon portulacoides*) (Figura 21).

No artigo 171 da Lei Orgânica do município, promulgada em 31 e março de 1990, fica determinado que o município é obrigado a preservar a lagoa natural, visto que a mesma é patrimônio histórico do município. O município deve ampliar a assistência higiênica contra qualquer tipo de poluição e arborizar suas margens contra qualquer tipo de erosão. É dever do município o controle e a fiscalização das atividades, públicas ou privadas, causadoras efetivas ou potenciais de alterações significativas ao meio ambiente.

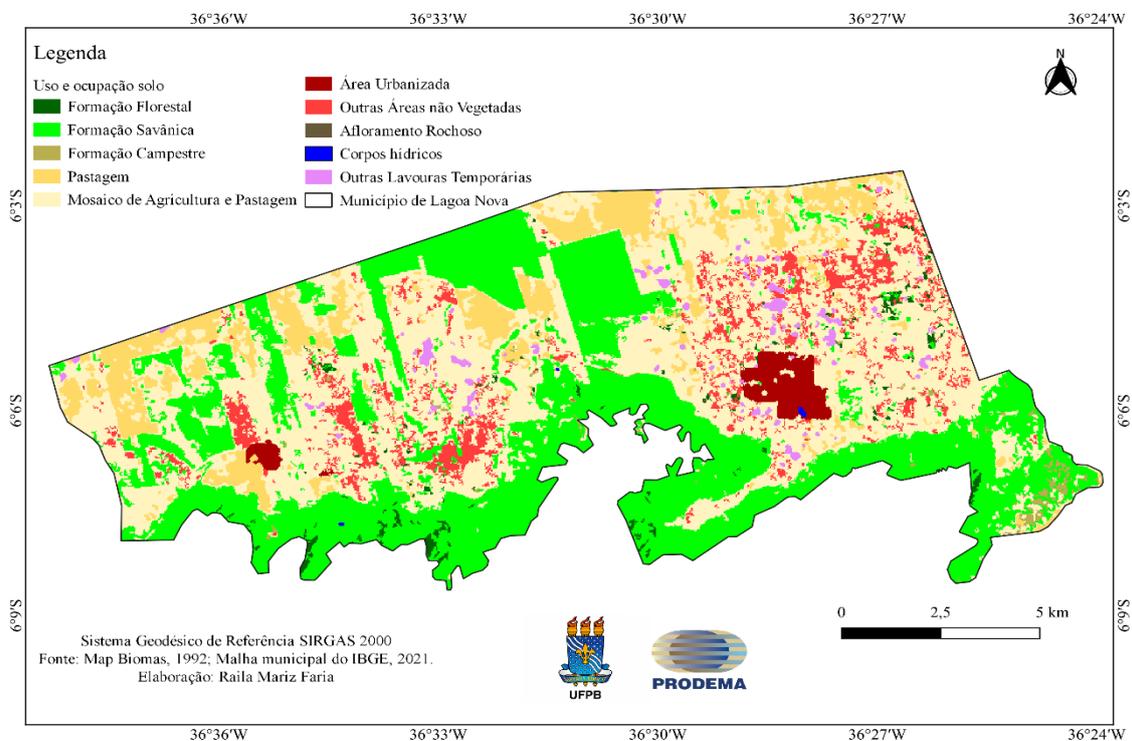
Nesse sentido o município deve conduzir ações para uma real e efetiva mudança de atitude no que diz respeito a preservação desse ambiente natural, promovendo ações de adequado manejo e uso do solo.

Figura 14: Uso e ocupação do solo do município de Lagoa Nova/RN - Ano 1985.



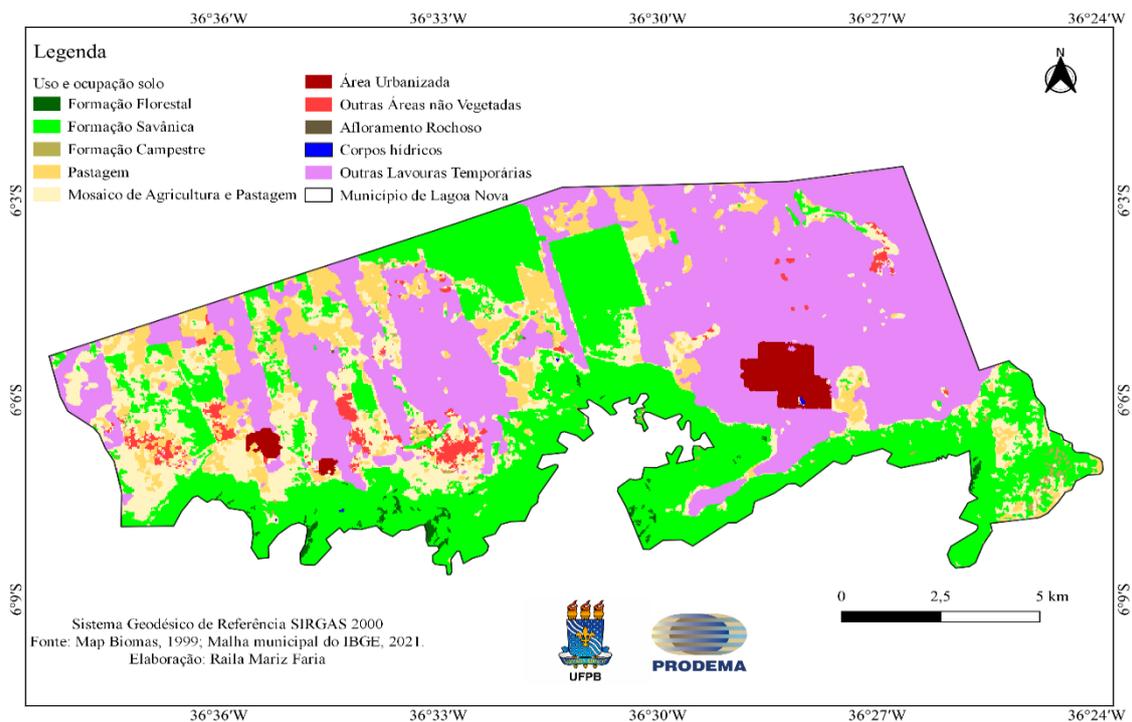
FONTE: Raila Mariz Faria e Clara Yasmim de Souza Lucena (2022)

Figura 15: Uso e ocupação do solo do município de Lagoa Nova/RN - Ano 1992.



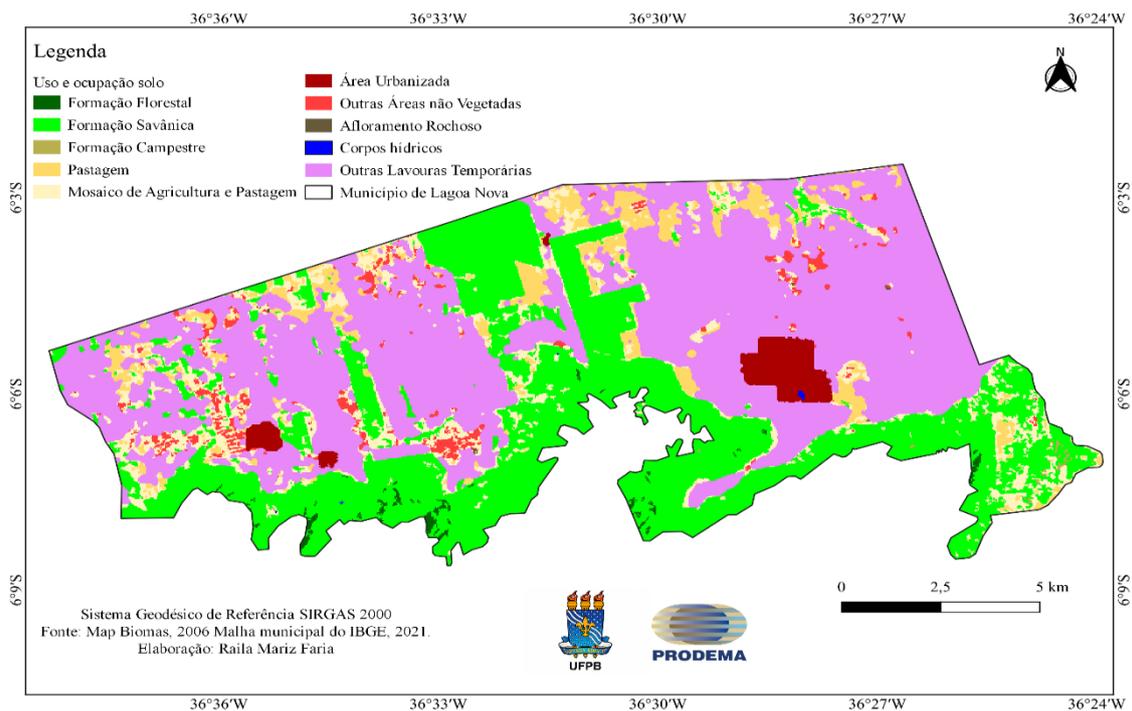
FONTE: Raila Mariz Faria e Clara Yasmim de Souza Lucena (2022)

Figura 16: Uso e ocupação do solo do município de Lagoa Nova/RN - Ano 1999.



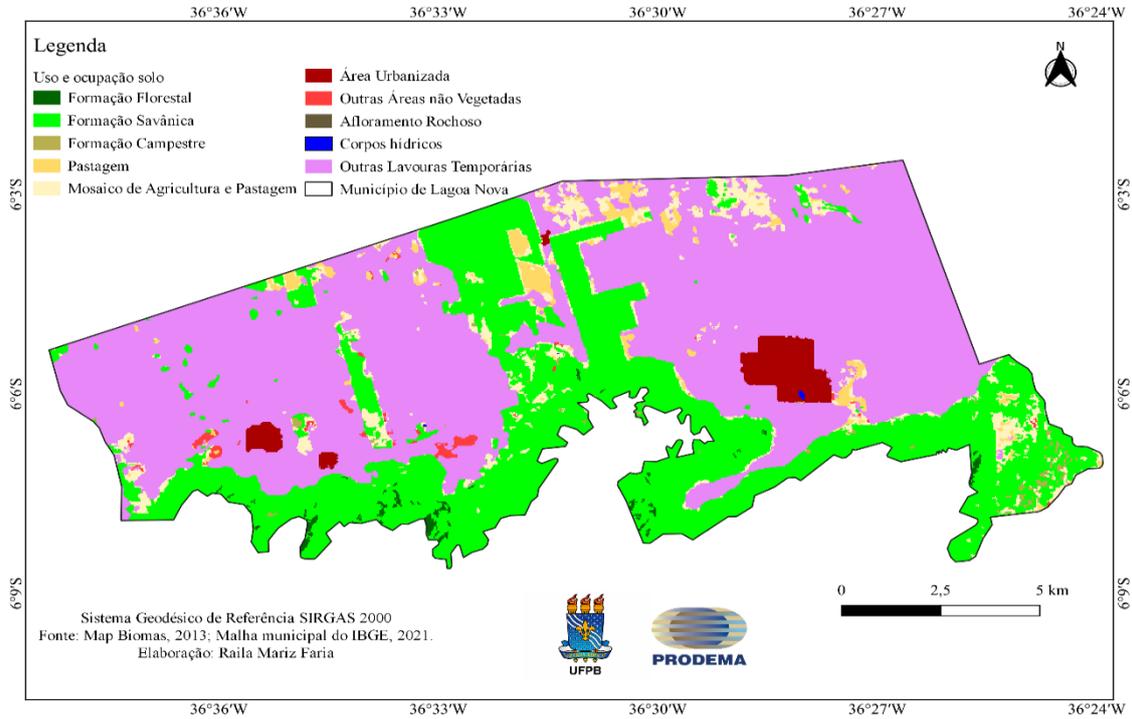
FONTE: Raila Mariz Faria e Clara Yasmim de Souza Lucena (2022)

Figura 17: Uso e ocupação do solo do município de Lagoa Nova/RN - Ano 2006.



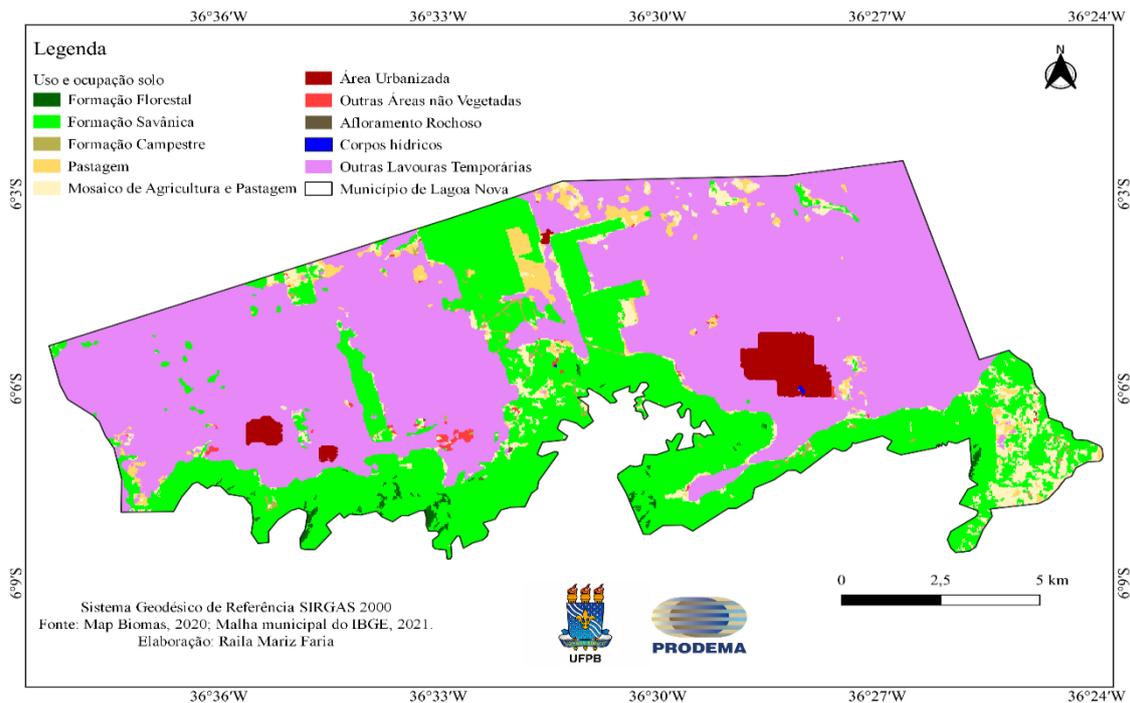
FONTE: Raila Mariz Faria e Clara Yasmim de Souza Lucena (2022)

Figura 18: Uso e ocupação do solo do município de Lagoa Nova/RN - Ano 2013.



FONTE: Raila Mariz Faria e Clara Yasmim de Souza Lucena (2022)

Figura 19: Uso e ocupação do solo do município de Lagoa Nova/RN - Ano 2020.



FONTE: Raila Mariz Faria e Clara Yasmim de Souza Lucena (2022)

Diagnóstico da qualidade de água da lagoa

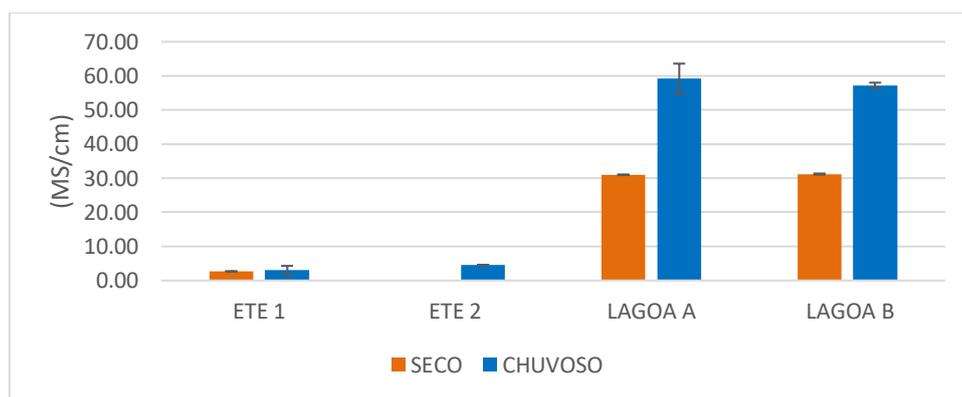
O grande aumento de condutividade elétrica na lagoa (Figura 22), é o resultado da acumulação de sais, originados da entrada de matéria orgânica, diretamente ou através da ETE. Essa matéria orgânica decompõe liberando sais, ou já entra em forma de sais pelo efluente da ETE. Como a lagoa não tem fluxo hídrico e tem elevadas taxas de evaporação, devido às altas temperaturas (Figura 22), a maior parte da água sai para a atmosfera, concentrando os sais minerais, elevando dessa forma os valores de condutividade elétrica. Isso é uma condição que tem tendência de piorar, se nada for feito para mudar esta realidade, visto que sempre que chove, mais água com sais minerais adentram o sistema aquático, assim como a entrada de esgotos não tratados ou efluente da ETE que constantemente continuam entrando na lagoa.

Muitas espécies de “água doce” desaparecem quando a salinidade total atinge 5 – 10 psu (5 – 10 g.L⁻¹) ocasionando uma grande alteração na composição da flora e da fauna aquáticas. Isso é um indicativo de que diferenças na composição iônica das águas e na proporção relativa dos íons podem ocasionar alterações na diversidade e na distribuição dos organismos aquáticos (TUNDISI; TUNDISI, 2008). Geralmente apenas espécies muito resistentes se

mantêm, como é o caso da lagoa que tem predominantemente tilápias como representante dos peixes. Silva (2019) verificou em seu trabalho que pós larvas e juvenis de Tilápias Vermelhas resistem a exposição sem aclimação às salinidades de até 20 PSU (*Practical Salinity Unit*), com sobrevivência de até 86,6%.

A alta condutividade elétrica apresentada pela lagoa pode ser uma das causas da ocorrência de vegetação do tipo halófito nas margens como a espécie beldroega-da-praia (*Blutaparon portulacoides*). Como pode ser observado na Figura 21, as plantas que se encontram presentes nas margens da Lagoa Nova são plantas halófitas, adaptadas a viver em ambientes salinos e comumente encontradas em estuários.

Figura 20: Valores de condutividade elétrica na água da lagoa de Lagoa Nova, RN, e da ETE.



FONTE: elaborado pela autora, dados da pesquisa

Figura 21: Presença de vegetação do tipo halófito nas margens da lagoa.

a)



b)

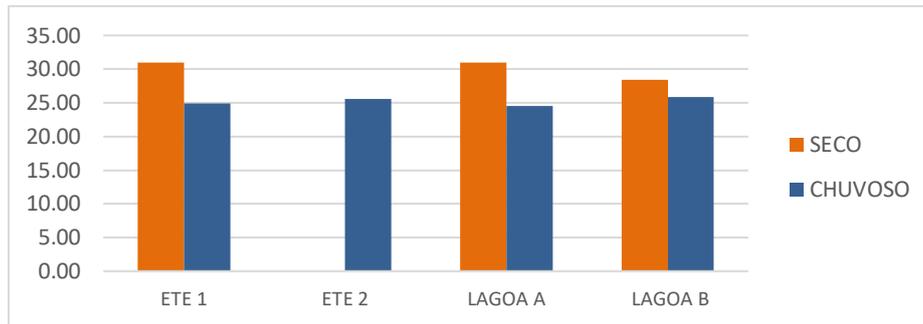


FOTO: autora (2021)

A temperatura é um fator que influencia todos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na água. A taxa de reações químicas e biológicas e as taxas de transferências dos gases (que podem gerar mau cheiro) aumentam em altas temperaturas, já a solubilidade dos gases (ex: oxigênio dissolvido) em altas temperaturas diminui (VON SPERLING, 1996).

A temperatura da água, tanto da lagoa quanto da ETE, registrou-se, como esperado, mais elevada no período seco, visto que as médias térmicas nesse período para a região são mais elevadas (Figura 22). Segundo Von Sperling (2007) e Madden et al. (2013) a temperatura é um parâmetro que permite determinar se há poluição térmica pela descarga de efluentes, visto que, apesar de depender de fatores como clima, composição geológica, condutividade elétrica das rochas, dentre outros, as descargas de efluentes aumentam a temperatura dos ecossistemas aquáticos.

Figura 22: Valores de temperatura, na água da lagoa de Lagoa Nova, RN, e da ETE.



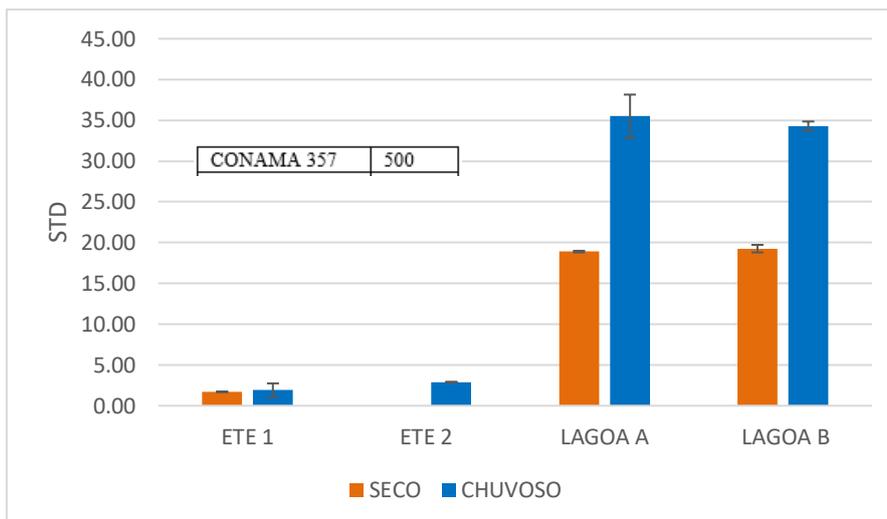
FONTE: elaborado pela autora, dados da pesquisa

Os valores de sólidos totais dissolvidos STD, que incluem todos os sais dissolvidos presentes na água e os componentes não iônicos, observados neste primeiro momento também se apresentaram bastante discrepantes entre os dois ambientes analisados lagoa e ETE. Os valores observados na lagoa foram quase vinte vezes mais elevados que os observados na ETE (Figura 23).

Sólidos dissolvidos são o resultado de decomposição e são proporcionais aos valores da condutividade. Verifica-se que na lagoa, por haver acúmulo de águas ricas em nutrientes, receber água de uma maior bacia de drenagem sofrer um efeito cumulativo ao longo do tempo, os valores são muito superiores aos registrados na ETE, o que é uma situação clara do efeito cumulativo e do grau de degradação ambiental registrado neste ecossistema, que no passado serviu para agricultura e pecuária.

Verifica-se que na ETE não há grandes diferenças entre os períodos de estiagem e chuvoso, porque a água que recebe é a dos esgotos, que se mantém mais ou menos semelhante, independente da sazonalidade. No entanto, na lagoa, verificam-se valores muito mais elevados na estação chuvosa que na de estiagem. Isso é o resultado da drenagem dos solos da área da bacia da lagoa, visto que muita água cinza e esgotos lançados no solo, são carreados para a lagoa, assim como sais presentes no solo, que se dissolvem com a chuva e são lixiviados para a lagoa.

Figura 23: Valores de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na lagoa e ETE em Lagoa Nova, RN.

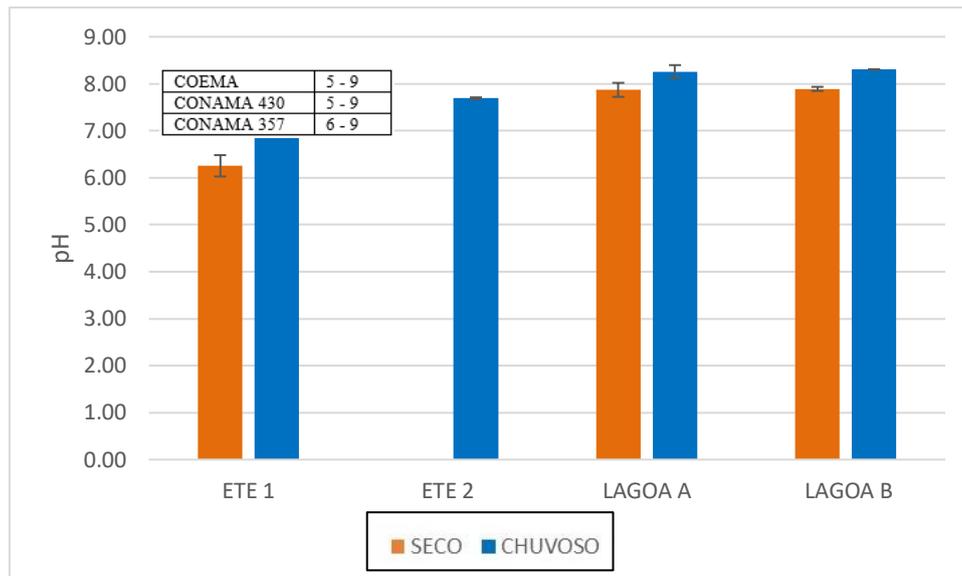


FONTE: elaborado pela autora, dados da pesquisa

Devido ao volume pluviométrico das últimas décadas ter sido abaixo do normal (LUCENA, 2021) o transbordo da lagoa não ocorreu como deveria, a maior parte da água é retirada por evaporação e não no transbordo, o que favorece a acumulação de nutrientes e contribui ainda mais com o aumento da eutrofização e dos sais dissolvidos, aumentando a condutividade e os STD.

Em relação ao pH, os valores encontrados na lagoa também foram um pouco mais elevados que os encontrados na ETE (Figura 24), mas ainda assim atendem aos padrões de qualidade do CONAMA Nº 357 para a classe 3 de águas doces (pH: 6,0 a 9,0). Os dois locais amostrados, tanto na ETE quanto na lagoa, apresentaram valores semelhantes. Os valores de pH são influenciados de duas formas, pela decomposição, tende a ser mais ácido, pela liberação de CO₂, enquanto que pelo aumento da fotossíntese tende a ser mais básico, pela absorção de CO₂ pelas microalgas (BOYD, 1979).

Figura 24: Valores de pH na lagoa e ETE em Lagoa Nova, RN.



FONTE: elaborado pela autora, dados da pesquisa

Os valores de pH foram um pouco diferentes entre a ETE e a lagoa natural no período seco, sendo ligeiramente ácidos na ETE (perto de 6,0) devido às elevadas taxas de decomposição, que liberam CO_2 tornando o ambiente mais ácido; e ligeiramente alcalinos (acima de 7,0) na lagoa, devido à grande quantidade de microalgas, o que aumenta a fotossíntese e o consumo de CO_2 , aumentando o pH. Neste caso específico da ETE, a decomposição teve um papel mais importante na definição dos valores de pH, porque mesmo com maior quantidade de microalgas, e maior concentração de clorofila-a, as águas da ETE apresentaram valores de pH inferiores aos da lagoa. No entanto, no período chuvoso, as diferenças entre a ETE e a lagoa foram menores, embora ligeiramente mais alcalinos, novamente, na ETE.

Em ambientes naturais, quanto mais eutrofizado um ambiente, mais alcalinas tendem a ser suas águas, pelo aumento da fotossíntese registrada, no entanto, depende do equilíbrio entre produção primária e decomposição. Assim, ambientes mesmo muito poluídos, dependendo deste equilíbrio podem apresentar valores de pH dentro da faixa prevista pela legislação, não sendo o pH um parâmetro bom indicador de qualidade de água.

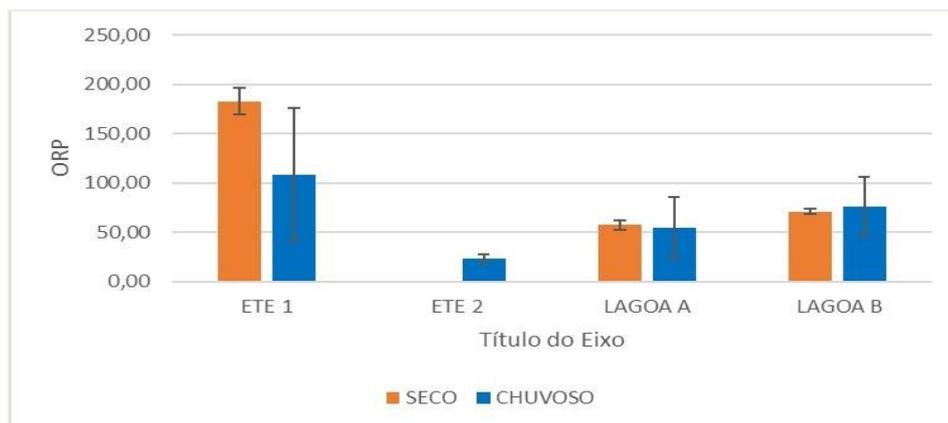
O potencial redox (ORP) é uma medição potenciométrica em que se mede o potencial que o meio tem de transferir elétrons verificada entre um conjunto de espécies químicas, sendo um oxidante e um redutor (LAMON, 2014).

O potencial redox assume um papel importante no monitoramento de ambientes aquáticos, pois oferece informações sobre as taxas das reações químicas que ocorrem no meio e influência de maneira considerável na química e na bioquímica da água, visto que os processos metabólicos do meio aquático (respiração, decomposição) dependem da condição redox (SCHUTZ, 2003).

Diferenças de potencial positivas entre 200 mV e 600 mV indicam um meio fortemente oxidante, já valores entre -100 mV e -200 mV indicam meios redutores. Valores mais elevados, favorecem reações de nitrificação, reduzindo a amônia e nitrito tóxicos, para formas não tóxicas, como o nitrato, o mesmo se verifica para o sulfeto, que passa a sulfato. O Sulfeto pode provocar problemas de toxicidade aguda que pode ocorrer por inalação ou contato com a pele e olhos, a exposição pode provocar na saúde humana desde dores de cabeça, irritação nos olhos e no aparelho respiratório a bronquites, edemas pulmonares, taquicardia, arritmia cardíacas e até paralisia respiratória (LILIAMTIS; MANCUSO, 2008.) O sulfeto é responsável pelos maus odores presentes em águas poluídas em decorrência da atividade biológica, que também favorece a produção de gases não derivados de sulfetos (LILIAMTIS; MANCUSO, 2008).

Os resultados encontrados nas águas tanto da ETE quanto da lagoa natural no período seco e chuvoso apresentaram valores positivos para o ORP, porém os valores de ORP encontrados na ETE1 foram consideravelmente mais elevados que os demais (Figura 10).

Figura 25: Valores de potencial de oxirredução na ETE e lagoa em Lagoa Nova, RN.

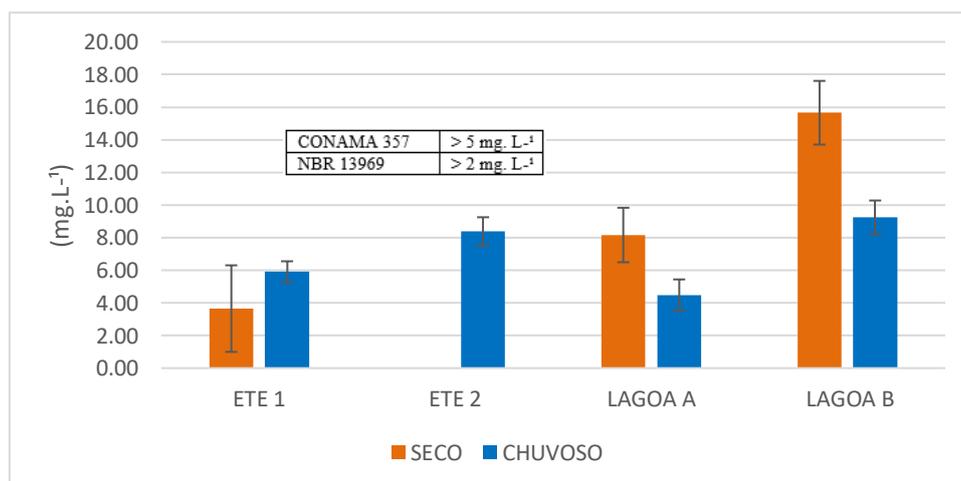


FONTE: elaborado pela autora, dados da pesquisa

O oxigênio dissolvido apresentou concentrações mais elevadas na lagoa natural que na ETE (Figura 26), isso foi importante para facilitar os processos de nitrificação, que reduziram as concentrações de amônia neste ambiente.

Na ETE, apesar do ORP ter menores valores no ponto ETE2, as concentrações de oxigênio dissolvido foram sempre mais elevadas na ETE2, compatível com o ambiente da lagoa facultativa. O mesmo se verificou no ponto lagoa B, que apresentou sempre maiores concentrações de oxigênio, compatível com melhor qualidade ambiental que o ponto lagoa A (próximo da ETE).

Figura 26: Concentrações de oxigênio dissolvido na Lagoa e na ETE em Lagoa Nova, RN.

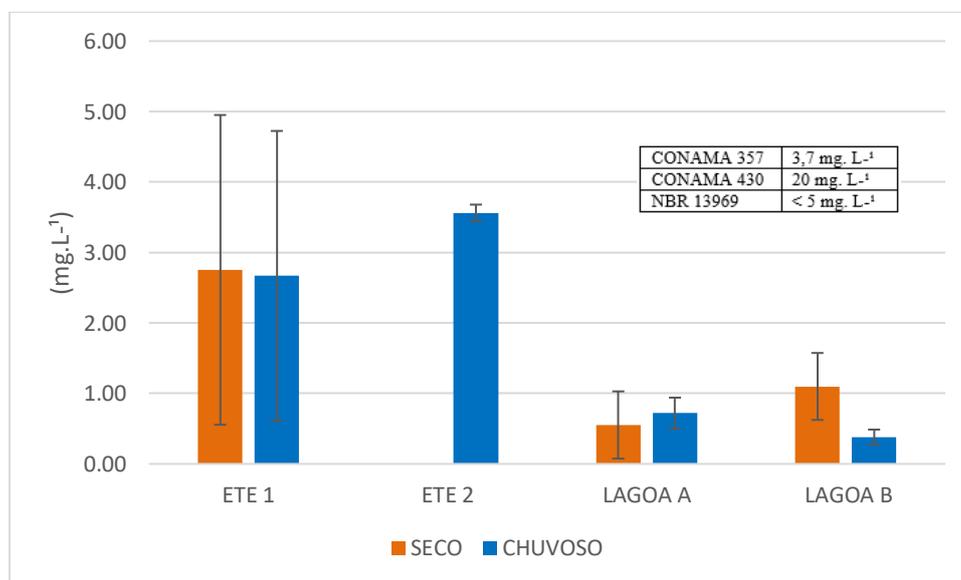


FONTE: elaborado pela autora, dados da pesquisa

As diferentes formas e concentrações dos compostos nitrogenados, provenientes da decomposição da matéria orgânica (de origem natural ou das práticas humanas) em sistemas aquáticos, podem indicar o estágio de poluição do mesmo e seus diferentes estados de oxidação. Nitrogênio amoniacal e albuminoide, nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-), estão entre as substâncias que podem constituir risco para a saúde humana (ALABURDA; NISHIHARA, 1998; CETESB, 2016).

As concentrações de amônia foram mais elevadas na ETE que na lagoa natural. Isso é o resultado da redução de oxigênio na ETE, o que desfavorece as reações redox de amônia para nitrato (nitrificação). Pouco oxigênio na água, além de não favorecer a nitrificação (amônia-nitrato) favorece processos inversos de desnitrificação, em que o nitrato é reduzido para nitrito. Visto que na ausência de oxigênio para a respiração aeróbia, os microrganismos utilizam o nitrato como acceptor terminal de elétrons (respiração anaeróbia) (VIEIRA, 2017). No entanto, no ponto ETE2, no período chuvoso, as concentrações de amônia (ver figura 27) ainda foram mais elevadas que na ETE1, apesar de ter mais oxigênio dissolvido na água.

Figura 27: Concentrações de amônia na lagoa e ETE em Lagoa Nova, RN.



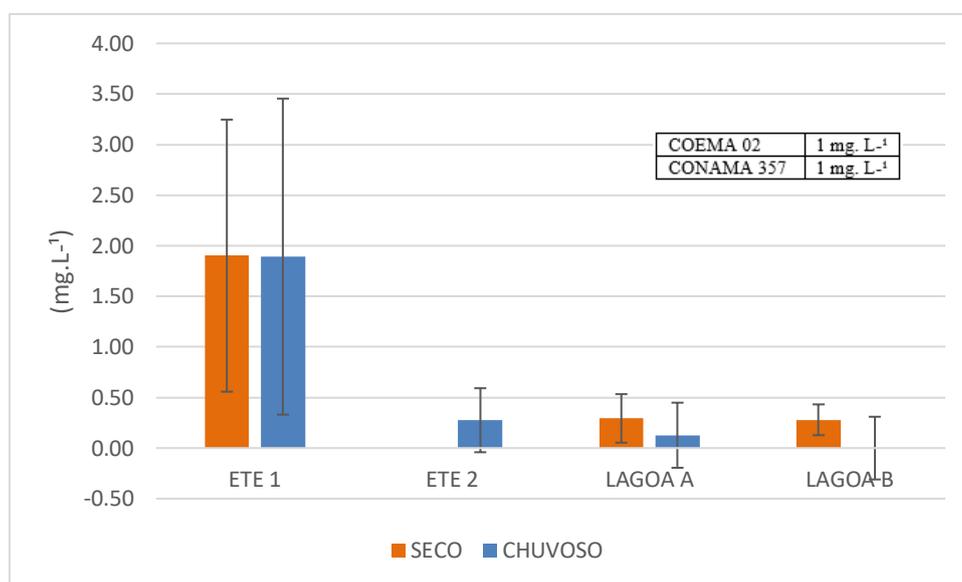
FONTE: elaborado pela autora, dados da pesquisa

As concentrações de nitrito encontrados na ETE1 foram mais elevadas (Figura 28), demonstrando as reações ativas de nitrificação, no entanto, no

processo de tratamento da ETE atingem valores menores no ponto ETE2 (0,28 mg.L⁻¹) que gera o efluente, encontrando-se dentro do permitido pela Resolução do COEMA 02, que tem como parâmetro para lançamento de efluentes 1 mg.L⁻¹ de nitrito (COEMA, 2017).

No período chuvoso, na lagoa, as concentrações de nitrito foram menos elevadas que no período de estiagem, isso pode ser o reflexo das menores concentrações de oxigênio nesse período, afetando as transformações de amônia em nitrito, o mesmo se verificou para o produto final, nitrato (Figura 29).

Figura 28: Concentrações de nitrito na lagoa e ETE em Lagoa Nova, RN.



FONTE: elaborado pela autora, dados da pesquisa

As concentrações mais elevadas de oxigênio dissolvido na lagoa permitiram a redução dos compostos nitrogenados tóxicos como amônia e nitrito a nitrato. Na ETE, registraram-se concentrações mais elevadas de nitrato no ponto ETE1 que no ETE2, isso é o reflexo da absorção do nitrato pelas microalgas presentes nas lagoas de estabilização da ETE, e é possível verificar que tanto no ponto ETE2 (geração do efluente) quanto na lagoa, as concentrações de nitrato são mais semelhantes. No período chuvoso, as concentrações de nitrato foram inferiores em todas as amostras (Figura 29).

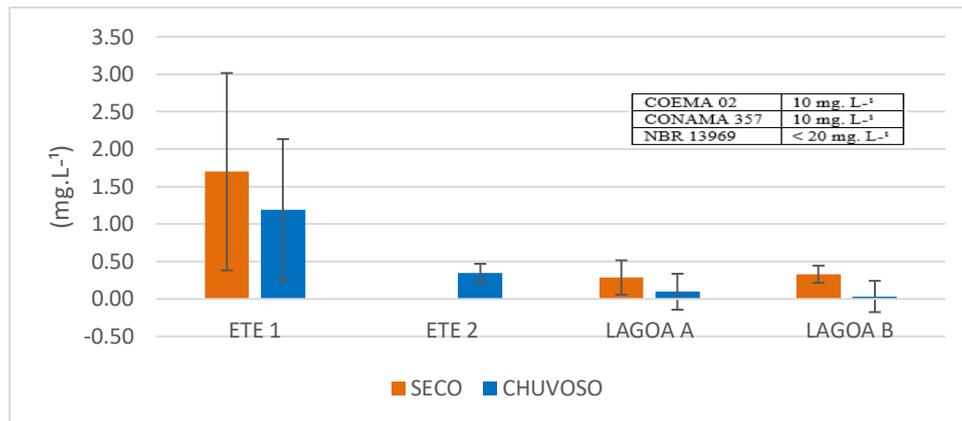
Já em relação à legislação, em relação ao nitrato, nitrito e à amônia os valores encontram-se dentro dos parâmetros exigidos pela legislação (Figuras 27, 28 e 29). No entanto, em condições de pH elevado, (frequentes durante os

períodos de elevada fotossíntese), como observado na lagoa natural no período chuvoso, a amônia apresenta-se em grande parte na forma livre (NH_3), tóxica aos peixes, podendo levar a eventuais mortandades de peixe (VON SPERLING, 1996) ou seja quanto mais elevado for o pH, maior será o percentual da amônia total presente na sua forma não ionizada (tóxica)

Nitrato é a principal fonte de nitrogênio para a síntese de aminoácidos e proteínas das populações de macrófitas aquáticas, podendo limitar a reprodução, o crescimento e a sustentabilidade destas populações e de algumas populações de algas, com as cianobactérias com heterocistos, que podem fixar nitrogênio atmosférico disponível (TUNDISI; TUNDISI, 2008). Na lagoa faz-se presente a floração de cianobactérias (ver figura 09).

O nitrogênio quando encontrado em sua forma orgânica ou amoniacal indica que a poluição é recente e depende de fatores como pH, temperatura, oxigênio e salinidade. O nitrogênio amoniacal é tóxico e pode ocasionar grandes riscos à saúde e manutenção da vida aquática. Se, por outro lado, ocorre a presença de nitratos, pode-se dizer que a poluição é antiga e que o processo de nitrificação já ocorreu (VON SPERLING, 2014), mas depende grandemente da disponibilidade para que ocorra a nitrificação, visto que a grande maioria dos processos de oxidação da amônia a nitrito e nitrato dependem do consumo de oxigênio por isso o lançamento de grandes quantidade de nitrogênio amoniacal em um corpo de água pode causar queda acentuada das concentrações de OD (SOUTO, 2009).

Figura 29: Concentrações de nitrato na lagoa e ETE em Lagoa Nova, RN.



FONTE: elaborado pela autora, dados da pesquisa

Howarth (2004) *apud* Ferro (2015) cita alguns dos danos que o lançamento indiscriminado de compostos nitrogenados pode ocasionar ao meio ambiente, dentre eles:

- Toxicidade à vida aquática, pois a amônia livre (NH₃), impede as trocas gasosas nas guelras dos peixes;
- Consumo do oxigênio do meio aquático no processo de oxidação da amônia (nitrificação)
- Causa um grave problema à saúde pública, a Metahemoglobina, popularmente conhecida como “doença dos bebês azuis”, que resulta na morte prematura de recém-nascidos;
- Algumas pesquisas epidemiológicas sugerem que a ingestão de elevadas concentrações de nitrito pode favorecer o desenvolvimento de câncer no aparelho digestivo, aborto e outros problemas de saúde como distúrbios no sistema neurológico;
- Prejudicam o reuso da água, principalmente para fins industriais.

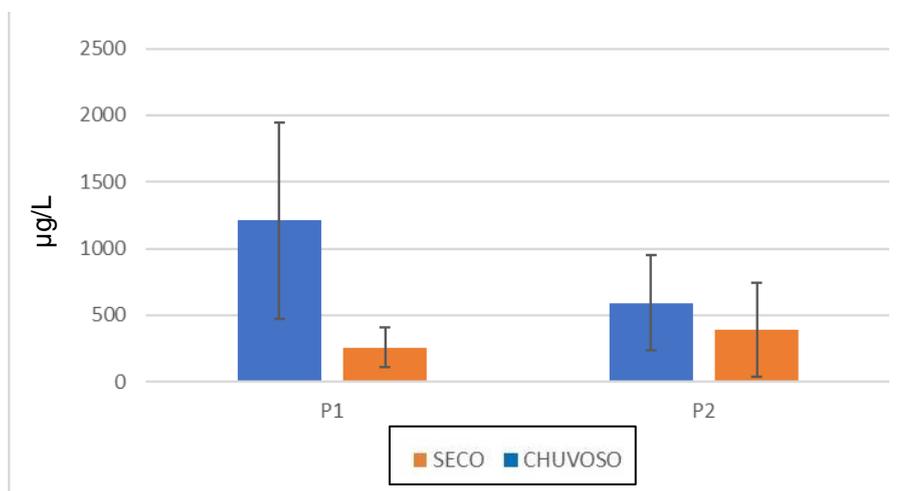
Para Howarth (2004) a poluição por nitrogênio está diretamente vinculada à acidificação dos solos, eutrofização em ecossistemas aquáticos e perda da biodiversidade em vários ecossistemas aquáticos e terrestre.

As concentrações de clorofila-a foram diferentes entre os pontos da ETE e da lagoa, mas sempre superiores na ETE (Figura 30). Elas podem ser

consideradas como um indicador do estado trófico dos ambientes aquáticos, pois indicam a biomassa de algas presente no corpo hídrico (BUZELLI; CUNHA-SANTINO, 2013).

As concentrações de clorofila-a apresentaram-se mais elevadas no ETE1 que no ponto ETE2, enquanto que na lagoa apresentaram-se mais elevadas no ponto B. É possível que as concentrações mais elevadas de amônia, no período chuvoso, na lagoa ponto A possam estar inibindo um maior crescimento por parte do fitoplâncton. No ponto ETE2, as concentrações de amônia no período chuvoso também foram mais elevadas (Figura 27) corroborando com esta hipótese.

Figura 30: Concentrações de clorofila a na lagoa e ETE em Lagoa Nova, RN.



FONTE: pesquisa

Concentrações acima de 40 µg/L são consideradas de ambientes eutrofizados, classificados com supereutrófico segundo o IET proposto por Lamparelli (2004) (Tabela 04).

Tabela 04: IET proposto por Lamparelli.

Categoria (Estado Trófico)	Ponderação	Secchi - S (m)	Fósforo total ($\mu\text{g/L}$)	Clorofila a ($\mu\text{g/L}$)
Ultraoligotrófico	$\text{IET} \leq 47$	$\text{S} \geq 2,4$	$\text{P} \leq 8$	$\text{CL} \leq 1,17$
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$	$2,4 > \text{S} \geq 1,7$	$8 < \text{P} \leq 19$	$1,17 < \text{CL} \leq 3,24$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	$1,7 > \text{S} \geq 1,1$	$19 < \text{P} \leq 52$	$3,24 < \text{CL} \leq 11,03$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	$1,1 > \text{S} \geq 0,8$	$52 < \text{P} \leq 120$	$11,03 < \text{CL} \leq 30,55$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$	$0,8 > \text{S} \geq 0,6$	$120 < \text{P} \leq 233$	$30,55 < \text{CL} \leq 69,05$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$	$0,6 > \text{S}$	$233 < \text{P}$	$69,05 < \text{CL}$

Fonte: adaptado de Lamparelli (2004)

As elevadas concentrações registradas nesta pesquisa tanto na lagoa, quanto nas lagoas da ETE revelam o elevado grau de eutrofização presente nos dois tipos de ambientes (Figura 17). Além disso, encontraram-se acima dos valores permitidos pela Resolução CONAMA Nº 357, de março de 2005. Para que a lagoa seja enquadrada nas classes 1, 2, ou 3 para água doce os valores máximos de clorofila-a permitidos são $10 \mu\text{g. L}^{-1}$, $30 \mu\text{g. L}^{-1}$ e $60 \mu\text{g. L}^{-1}$, respectivamente e os valores de clorofila foram superiores a $200 \mu\text{g/L}$.

Apesar dos valores de clorofila-a serem mais elevados na ETE (chegaram a cerca de $1.200 \mu\text{g/L}$), e as microalgas liberarem oxigênio dissolvido na água, devido às elevadas taxas de decomposição este gás apresentou menores concentrações neste ambiente. A lagoa apesar de menos algas, por ter menos decomposição, conseguiu manter concentrações de oxigênio mais elevadas, o que favoreceu os processos de nitrificação, como falado anteriormente.

Assim, verificou-se que a lagoa está extremamente eutrofizada, e sofre influência negativa direta, com efeitos cumulativos, do efluente da ETE. Pode-se verificar que a contaminação pela ETE não é principalmente via cano vazando, mas por percolação, visto que o ponto lagoa A (perto da ETE) apresentou pior qualidade de água que a lagoa ponto B, próxima ao vazamento do cano do efluente. Isso pode ser comprovado pelas seguintes constatações:

1 - Apesar de estar sujeito à mesma temperatura do ar, no período seco, pode-se verificar que a temperatura na região lagoa A, que fica mais próximo à ETE apresenta valores de temperatura mais elevados, o que reflete diretamente o

estado trófico mais elevado, visto que nem a temperatura do ar, nem aspectos geológicos estão causando esta diferença, visto ser o mesmo ambiente;

2 - As concentrações de nutrientes nitrogenados, no período chuvoso, que também se apresentaram mais elevados no ponto A da lagoa;

3 – Foram registradas menores concentrações de oxigênio e ORP no ponto Lagoa A, demonstrando que o lado A da lagoa, mais próximo da ETE apresenta pior qualidade de água.

Dessa forma, medidas mitigatórias, envolvendo a redução de nutrientes faz-se necessário, antes de um colapso mais permanente deste sistema aquático, visto que já tem demonstrado situações de colapso esporádicas, com a mortandade cada vez mais frequente de peixes.

Propostas de medidas corretivas

Lagoa Nova, assim como boa parte do Brasil, é acometido com enormes problemas quanto à ausência do tratamento adequado do esgoto doméstico, como também com sua total ausência. No Brasil é comum a adoção de Estações de Tratamento do Esgoto do modelo Australiano, com lagoas de decantação, que centralizam todo o esgoto, ocupam enormes áreas e não são eficientes quanto ao tratamento do esgoto, gerando efluentes de baixa qualidade a serem despejados nos corpos hídricos receptores. No caso de Lagoa Nova o caso é ainda mais grave, por não ter associado um sistema fluvial ao lançamento dos efluentes da ETE.

É comum também que a formação das cidades tenha ocorrido nas margens dos rios ou próximos a algum aglomerado de água, devido à importância desse recurso na vida das pessoas, entretanto com o passar dos anos, com o crescimento desordenado das cidades a deterioração desses corpos aquáticos vem sendo algo comum, e a relação do ribeirinho com esses espaços vem sendo afetado cada vez mais.

Técnicas ecológicas, simples e de baixo custo, podem ser empregadas tanto no tratamento do efluente da ETE, antes de ser lançado no corpo receptor, quanto no próprio corpo receptor afim de melhorar as características da água já

ali presente. Faz-se necessário determinar um tratamento complementar para diminuir os nutrientes presentes no efluente antes de ser descartado, com a implementação de *wetlands* artificiais por exemplo.

A ETE da cidade não recebe todo o esgoto de seus moradores, visto que, segundo o SNIS (2019) em torno de 32,41% da população total de Lagoa Nova não tem acesso aos serviços de esgotamento sanitário, fazendo com que esses moradores sejam responsáveis pela destinação de seus esgotos, e normalmente as águas negras vão para fossas vazadas e as águas cinzas sejam despejadas superficialmente em alguma das laterais de suas casas. Esse esgoto contamina o lençol freático que por sua vez irá percolar até à lagoa, bem como de acordo com a dinâmica de drenagem da cidade as águas cinzas escoam superficialmente também até à lagoa, ou infiltram-se no solo, e em períodos chuvosos os nutrientes são lixiviados para a lagoa.

Melhorar o tratamento de esgotos.

Faz-se necessário intervir, através da criação de ações e políticas públicas que ajudem a aumentar a eficiência no tratamento do esgoto, que pode ser através de fossas ecológicas unidomiciliares, que são eficientes e de baixo custo (PAES, 2014), ou fazer a coleta dessas moradias e encaminhar para sistemas de tratamento ecológico de esgoto comunitário, que gere água de boa qualidade, que pode ser reusada ou descartada no ambiente, auxiliando na sua despoluição, sistemas denominados de TEWetland (Tanque de Evapotranspiração e *Wetland*) que já foi construído um protótipo incompleto, mas que já tem uma boa qualidade de água no seu efluente (Figura 31), (pesquisa do Laboratório de Ecologia Aquática da UFPB, dados não publicados).

Figura 31 – Efluente gerado pelo TEWetland incompleto (só fossa).



Fotos: Gheizon Raunny (2021)

Biotratamento do efluente da ETE.

Para melhorar o tratamento da ETE e dessa forma impactar menos a lagoa, um tratamento terciário está sendo proposto. A retirada de nutrientes da água, só ocorre pela absorção por plantas ou algas. Sendo assim, propõe-se nesta pesquisa a implantação de uma wetland artificial, que promova um biotratamento por fitorremediação.

O modelo proposto é de fluxo ascendente, normalmente utilizado no tratamento secundário e terciário de esgoto urbano, tomando por base o modelo proposto por Salati (2009), em que a água do efluente a ser tratado é introduzida no sistema por baixo do substrato, o processo de purificação ocorre durante o contato do efluente com o meio filtrante, pela produção do biofilme e com a rizosfera das plantas. com a utilização de plantas do tipo paquevira (*Heliconia psittacorum*) (Figura 32) e bananeirinha de jardim (*Canna indica*) (Figura 33).

Figura 32: *Heliconia psittacorum*.



Fonte: Chris Gladis, 2014.

Figura 33: *Canna indica*.



Fonte: Berthold Werner, 2009.

O efluente que vem pela ETE não é o único ponto de poluição da lagoa, a água de drenagem da bacia, recebe esgotos não tratados, principalmente águas cinzas (águas servidas). As fossas presentes nas casas da cidade

também contribuem, contaminando o solo e o lençol freático que também abastece a lagoa. Sendo assim, o tratamento mais eficiente de esgoto em nível domiciliar ou coletivo faz-se necessário, independentemente do sistema de tratamento de esgoto já oferecido pela ETE. Para solucionar esse problema fossas ecológicas estão sendo propostas, nas casas individualmente ou em sistemas comunitários construídos para esse fim, como os TEWetland.

Fossas ecológicas

Fossas ecológicas, fazem o tratamento do esgoto no local, sem necessidade de coleta, transporte, elevatórias e estações centralizadas de tratamento. Podem separar as águas cinzas das negras, e podem tratar diferentes volumes de esgoto, por serem dimensionáveis.

Entre as propostas apresentadas pela permacultura têm-se os Círculos de Bananeiras (para águas cinzas) e os Tanques de evapotranspiração ou bacias de evapotranspiração (águas negras). Estas fossas fazem o reuso de água para a produção de alimentos, e a base de funcionamento é a biorremediação, absorção de nutrientes e evapotranspiração. Essa tecnologia mostrou-se eficaz no controle das fontes de poluição difusas em especial as provenientes do esgoto doméstico principalmente em áreas rurais e periurbanas como demonstrado no trabalho de Paes e colaboradores (2014). Figueredo e colaboradores (2019) também demonstraram a eficiência dessas tecnologias, evidenciando a eficiência dos tanques de evapotranspiração na remoção dos sólidos totais, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio.

De acordo com o estado trófico da lagoa, cessar o lançamento de efluentes é o primeiro passo para a sua despoluição. Como citado acima, se o efluente da própria ETE passar por um sistema de tratamento terciário como o proposto pela TEWetland, ou por uma *wetland* apenas, já seria o suficiente para reduzir a entrada de nutrientes e conter o progresso contínuo do estado trófico na lagoa. No entanto, devido à grande quantidade de nutrientes presente, e já metabolizados na biota, apenas reduzir a entrada de nutrientes não é o suficiente, visto que os nutrientes presentes nas lagoas ciclaram entre os diversos

compartimentos do ecossistema aquático, como sedimentos, água e biota e não desaparecem.

Dessa forma, um tratamento local, que pode ser por biorremediação também é indicado. A instalação de substratos artificiais (ver figura 34) permite o aumento da comunidade do biofilme, que é muito eficiente na remoção de nutrientes e na transferência destes da coluna de água para a biota presente (Souza, 2015; Vieira, 2018; Crispim et al., 2019; Oliveira, 2020). Assim, a instalação de substratos artificiais, pode ser uma boa opção para a retirada gradativa de nutrientes da água da lagoa, que poderá estar sendo direcionada da coluna de água, para os peixes, visto que estes se alimentam do biofilme, facilitando a redução dos nutrientes, com a retirada dos peixes, pela pesca.

Algumas plantas aquáticas, como as flutuantes, por exemplo a *Eichornnia crassipes*, são eficientes na retirada de nutrientes da água, mas como a salinidade da lagoa é elevada, permitindo espécies halófitas nas suas margens, não se sabe se essas plantas seriam capazes de sobreviver nestas condições, de forma a serem utilizadas como fitorremediadoras. Além disso, como estas plantas apresentam uma elevada taxa de crescimento, é necessário que haja um eficiente plano de controle, com a retirada do excesso de plantas. Assim, o mais adequado seria mesmo a instalação de substratos artificiais para o aumento do biofilme.

Figura 34 – Substratos artificiais colocados no Rio Fervença, Portugal, como forma de aumento do biofilme para agir como biorremediador.



Fonte: Crispim et al., (2019)

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar da lagoa natural de Lagoa Nova, já ter sido usada como recurso de água para consumo humano, atualmente a mesma apresenta-se hipereutrofizada e com episódios de mortandade de peixes.

A evolução histórica (1985 a 2020) do uso e ocupação do solo no território do município de Lagoa Nova, nos mostra que houve um aumento da área urbanizada, isso se reflete no aumento de produção de águas residuárias, sem o devido tratamento, e esse é um dos fatores que contribuiu para a perda de qualidade de água da lagoa. Houve também a substituição das áreas vegetadas por áreas destinadas a agricultura e pecuária, e esse é outro motivo para aumentar a carga de nutrientes da lagoa, por aumentar a oferta de nutrientes e reduzir a absorção por parte das plantas nativas.

A Lagoa também vem sofrendo um forte impacto em virtude do lançamento do efluente da ETE, podendo ser observado principalmente na presença de elevados valores de condutividade elétrica e de sólidos totais dissolvidos, que são muitas vezes superiores (15 x e 20 x, respectivamente) aos valores registrados na ETE. Além disso, há também uma significativa contribuição do sistema de drenagem natural que leva muitas águas cinzas para a lagoa, ricas em nutrientes. Também é possível que as fossas vazadas, disponibilizem muitos nutrientes no solo que por percolação alcancem o ecossistema aquático. Atrelado a tudo isso tem-se a ausência de uma mata ciliar, tanto entorno quanto nos córregos que fazem parte da microbacia da lagoa, que poderiam reduzir a entrada de poluição difusa trazida pela drenagem.

Como a lagoa natural é um ambiente lântico, e está localizado em uma região de semiárido, a água sai primordialmente por evaporação e não por transbordo, o que faz com que se verifique um acúmulo gradativo de sais a ponto de a região litorânea estar ocupada por plantas halófitas, características de mangues, como a espécie beldro-da-praia (*Blutaparon portulacoides*) e a condutividade elétrica ser muitas vezes superior à da ETE.

As concentrações de O₂ foram menos elevadas na ETE 1 (Lagoa de maturação). A ETE 2 (Lagoa facultativa) apresentou concentrações deste gás mais elevadas que o ponto da Lagoa que está mais próximo da ETE (Lagoa A).

Como o cano do efluente está quebrado mais perto do ponto Lagoa B, não é o efluente saindo que afeta a concentração de oxigênio, é provável que haja infiltração da ETE para a lagoa pelo solo ou lençol freático. O mesmo se verifica para outros nutrientes como os compostos nitrogenados que foram mais elevados no ponto Lagoa A, principalmente no período chuvoso. Por não serem impermeabilizadas as lagoas de estabilização, isso compromete as águas subterrâneas e os ecossistemas aquáticos abastecidos por elas, ou entorno.

Propostas como a inserção de tratamento terciário, com o efluente passando por processos de fitorremediação em *wetlands* artificiais, e biorremediação por biofilme na lagoa natural, são possíveis formas de melhorar a qualidade ambiental da lagoa, de forma a evitar mortandade de peixes e melhorar a qualidade de água para outros usos.

8. REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A.N. **O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras**. Geomorfologia 43:1-26. 1974.

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. **Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços**. Revista de Saúde Pública, v. 32, n. 2, p. 160-165, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-89101998000200009> Acesso em: 23 de Junho de 2021.

ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil / Agência Nacional de Águas, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos**. 2005.- Brasília, SPR.

APRÍGIO, T. R. M.; FARIA, R. M.; LUCENA, R. L.; SOUZA, S. F. F.; CARDOZO, A. S.; SILVA, A. D. G. **Mapeamento da aridez no estado do Rio Grande do Norte**. In: **Lidriana de Souza Pinheiro**; Adryane Gorayeb. (Org.). Geografia física e as mudanças globais. 1ed. Fortaleza: UFC, v. 1, p. 1-12, 2019.

BAIRD, R., & BRIDGEWATER, L. (2017). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23rd edition. Washington, D.C.: American Public Health Association.

BARBOSA, T. dos S. **Cianobactérias tóxicas e processos de remoção**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Microbiologia Ambiental e Industrial. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 2009.

BARROS, L. R. 2013. **O índice do estado trófico e sua adaptação para os sistemas lênticos do semiárido cearense**. Dissertação de Mestrado, Programa de Gestão de Recursos Hídricos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil 2013. 85p.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Portaria nº 1.469/2000, de 29 de dezembro de 2000: aprova o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2001. 32 p.

BRASIL, Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 3. Ed. Ver. – Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004. 408p. ISBN: 85-7346-045-8

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2005. *Resolução CONAMA n. 357*. Publicada no DOU n. 53, de 18 de março de 2005, Seção I, p. 58-63, Distrito Federal, Brasília.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. 2011. Resolução CONAMA n. 430. Publicada na DOU nº 92, de 16 de maio 2011, p. 89, Distrito Federal, Brasília.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional/Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste/Conselho Deliberativo. Proposição n. 151/2021 Publicado em: 30/12/2021 | Edição: 246 | Seção: 1 | Página: 52

BRASÍLIA. Relatório final grupo de trabalho interministerial para redelimitação do semi-árido nordestino e do polígono das secas. - Brasília, Janeiro de 2005 Disponível em: http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=090e3f78-bde3-4a1b-a46c-da4b1a0d78fa&groupId=10157 Acesso em: 23 de Junho de 2021.

BUZELLI, G. M. e CUNHA-SANTINO, M. B. da. **Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP.** Revista Ambiente & Água [online]. 2013, v. 8, n. 1 [Acessado 14 Março 2022] , pp. 186-205. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.930>>. Epub 08 Out 2013. ISSN 1980-993X. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.930>.

CAVALCANTE, D. de H.; SÁ, M. V. do C. e. Efeito da fotossíntese na alcalinidade da água de cultivo da tilápia do Nilo **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 67-72, Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE jan-mar, 2010.

CEARÁ, BRASIL. Conselho Estadual de Meio Ambiente – COEMA. 2017. Resolução COEMA n. 02. Secretaria de Meio Ambiente, Fortaleza, 09 de fevereiro de 2017.

CETESB, (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) (2005). Relatório da qualidade das águas do Estado de São Paulo. Anexo V: Índice de Qualidade das Águas São Paulo - SP, 23 p. 2006.

CETESB (São Paulo). Manual de cianobactérias planctônicas: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais / CETESB ; Maria do Carmo Carvalho ... [et al.]. São Paulo: CETESB, 2013. 47 p. (Série Manuais, ISSN 0103-2623).

CETESB (São Paulo) Qualidade das águas subterrâneas do estado de São Paulo 2013-2015 [recurso eletrônico] / CETESB ; Execução Rosângela Pacini Modesto... [et al.]. ; Colaboração Blas Marçal Sanchez...[et al.]. - - São Paulo : CETESB, 2016.

CHORUS, I; WELKER, M; eds. **Toxic Cyanobacteria in Water**, 2nd edition. CRC Press, Boca Raton (FL), on behalf of the World Health Organization, Geneva, CH 2021.

COSTA, T.B. e FARIAS, da F. da S. **Avaliação do desempenho de sistema de tratamento de esgoto sanitário**: estudo de caso no residencial viver melhor Marituba financiado pelo programa minha casa minha vida, no município de Marituba-pa. AESABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp, 2020.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Lagoa Nova, estado do Rio Grande do Norte / Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Saulo de Tarso Monteiro Pires, Donaldson Eliezer Guedes Alcoforado da Rocha, Valdecílio Galvão Duarte de Carvalho. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CRISPIM, M.C.; VIEIRA, A.C.B.; COELHO, SFM; MEDEIROS, AMA. **Nutrient uptake efficiency by macrophyte and biofilm**: practical strategies for small-scale fish farming Acta Limnol. Bras., vol. 21, no. 4, p. 387-39. 2009.

CRISPIM, M. C.; GERALDES, A. M.; OLIVEIRA, F.M.F; MARINHO, R.S; MORAIS, M. M. Potencialidades da implementação de biorremediação na reabilitação de rios: dados iniciais e considerações. In Saindo da zona de conforto: a interdisciplinaridade das zonas costeiras. Rio de Janeiro: UERJ. p. 278-295. 2019. ISBN 978-85-87245-03-8

EMPARN - Precipitação Acumulada - Rio Grande do Norte - Ano: 2020 - Período: 01 / 01 / 2020 a 31 / 12 / 2020 Disponível em: <http://meteorologia.emparn.rn.gov.br:8181/monitoramento/2020/acumulapr.htm>
Acesso em: 30 de Janeiro de 2021.

FELIPE, J. L. A.; CARVALHO, E. A. de. **Atlas escolar do Rio Grande do Norte**. João Pessoa: GRAFSET, 1999.

FERRO, T. N. **Avaliação do processo de nitrificação e desnitrificação de efluente de abatedouro bovino em reator combinado anaeróbio-aeróbio**. CAMPO MOURÃO-PR 2015. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6933/3/CM_COEAM_2015_1_15.pdf Acesso em: 03 de Março de 2021.

FIGUR, C.; REIS, J.T. A influência do uso e cobertura da terra nos parâmetros da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Abaúna, em Getúlio Vargas, RS. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM. Ciência e Natura**, Santa Maria v.39 n.2, p. 352 – 365 Mai - Ago 2017.

FUNCERN - Fundação de Apoio a Educação a ao Desenvolvimento Tecnológico do Rio Grande do Norte. Plano Municipal De Saneamento Básico Lagoa Nova/RN: Produto C -Sistema de drenagem e manejo das águas pluviais urbana. Lagoa Nova – RN, 2016.

FREITAS, J. P. de et al. Gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Piranhas-açu no Estado da Paraíba. **Revista âmbito jurídico**. Rio Grande, XV, n. 96, jan. 2012.

GUERRA, A. T. Dicionário geológico-geomorfológico. 8. Ed. – Rio de Janeiro: RJ IBGE, 1993.

GUIMARÃES, A. M. M.; MENDES, M. das V. C.; **História de Lagoa Nova-RN por Joaquim Coutinho**. Lagoa Nova-RN Janeiro de 2006.

HILL, M.J.; RYVES, D.B.; WHITE, J.C.; WOOD, P.J. **Macroinvertebrate diversity in urban and rural ponds**: Implications for freshwater biodiversity conservation. *Biological Conservation*, p 50-59, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016>.

HOWARTH, R, W. Human acceleration of the nitrogen cycle: divers, consequences, and steps toward solutions. *Water Science ant Technology*, Londres, v.49, n 5-6, p7-13, 2004.

JUSTINO; R. C.; MARTINES, M. R.; KAWAKUBO, F. S. Classificação do Uso da Terra e Cobertura Vegetal Utilizando Técnicas de Mineração de Dados. **Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo** V.33. 2017.

LAMPARELLI, M. C. 2004. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. Tese de doutorado, Departamento de Ecologia, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil. 235p.

LAMON, A. W. **Aplicação de microssensores no monitoramento de oxigênio dissolvido, potencial REDOX e temperatura em estudos limnológicos.** São Carlos, 2014.

LILIAMTIS, T. B. e MANCUSO, P. C. S. **A geração de maus odores na rede coletora de esgotos do município de Pereira Barreto: um problema de saúde pública.** Saúde e Sociedade [online]. 2003, v. 12, n. 2 [Acessado 8 Agosto 2022], pp. 86-93. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0104-12902003000200009>>. Epub 17 Abr 2008. ISSN 1984-0470. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902003000200009>.

LIMA, R.C.C.; CAVALCANTE, A.M.B.; MARIN, A.M.P. **Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro.** (Ed). Instituto Nacional do Semiárido - INSA, Campina Grande, 209 p, 2011. Disponível em: <https://portal.insa.gov.br/images/acervo-livros/Desertifica%C3%A7%C3%A3o%20e%20Mudan%C3%A7as%20Clim%C3%A1ticas%20no%20Semi%C3%A1rido%20Brasileiro.pdf> Acesso em: 23 de Junho de 2021

LOCATEL, C. D. **Uso do território e agricultura no Rio Grande do Norte: materialidades e estruturas»,** Confins [Online], 34 | 2018, posto online no dia 07 abril 2018. Acesso em: 01 agosto 2022. URL: <http://journals.openedition.org/confins/12942> DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.12942>

LORENZEN, C.J. 1965. A note on the chlorophyll and phaeophytin content of the chlorophyll maximum. *Limnology and Oceanography* v.10, pg 482-483.

LUCENA, C. Y. S. 2021. A Serra de Santana no Semiárido Nordeste: aspectos geográficos e possibilidade de práticas sustentáveis. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil. 30p.

LUCENA, R. L.; CABRAL JUNIOR, J. B.; STEINKE, E.T. **Comportamento hidroclimatológico do estado do Rio Grande do Norte e do município de Caicó.** Revista Brasileira de Meteorologia. n 33: 485-496, 2018. doi: <https://doi.org/10.1590/0102-7786333008>.

MADDEN, N.; LEWIS, A.; DAVIS, M. Thermal effluent from the power sector: an analysis of once-through cooling system impacts on surface water temperature. Environmental Research Letters, v. 8, 2013.

MALVEZZI, R. **Semi-árido** - uma visão holística. – Brasília: Confea, 2007. 140p. – (Pensar Brasil) Disponível em: <http://www.agrisustentavel.com/doc/ebooks/semiariado.pdf> Acesso em: 23 de Junho de 2021

MENDONÇA, A. M. 2016. Confiabilidade dos parâmetros monitorados em águas por sonda multiparâmetros. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, RS, Brasil.

OLIVEIRA, F.M.F de. 2020. Biorremediação: uma forma de despoluição de ecossistemas lóticos com a utilização de biofilmes e macrófitas. Tese de doutorado. Programa de pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PB, Brasil. 251 p.

PAES, W. M.; CRISPIM, M. C.; FURTADO, G. D. Uso de tecnologias ecológicas de saneamento básico para solução de conflitos socioambientais. **Gaia Scientia** Volume 8 (1): 226-247 Versão Online ISSN 1981-1268. 2014.

QUEIROZ, L. P. de; RAPINI, A.; GIULIETTI, A.M. **Rumo ao Amplo Conhecimento da Biodiversidade do Semi-árido Brasileiro** Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Brasília março 2006.

ROMEIRO, C. E.; SOUZA, C. E. de; LOPES; F. W. **Discussões sobre a recuperação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos** ISBN: 978-85-99907-05-4 I Simpósio Mineiro de Geografia – Alfenas 26 a 30 de maio de 2014.

SALATI, E. **Utilização de sistemas de *wetlands* construídas para tratamento de águas Piracicaba / SP, 2009.**

LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio formiga, Tocantins. **OBSERVATORIUM: Revista Eletrônica de Geografia**, v.4, n.12, p. 90-106, dez. 2012.

TELLES, T. S. **Conservação dos solos e preços e preços de terras agrícolas no Brasil.** Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico UNICAMP. Campinas – SP. 2015.

SCHUTZ, A. R. 2003. Caracterização Sazonal da Exportação de Matéria Particulada (SESTON) e Dissolvida do Sistema Hidrológico do Taim para a Lagoa do Mirim (Rio Grande do Sul, Brasil). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grand do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. 106p.

SILVA, A. G. G. da. **Efeito da salinidade sobre ganho de peso e sobrevivência de tilápias vermelhas.** Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Animal Universidade Federal Rural do Semi-Árido. 2019.

SNIS. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. 2019. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnosticos>>. Acesso em: 10 de nov. 2021.

SOUZA, M. J. N. de; OLIVEIRA, V. P. V. de. Os enclaves úmidos e sub-úmidos do semi-árido do nordeste brasileiro **Mercator**, Fortaleza, v. 5, n. 9, nov. 2008. ISSN 1984-2201. Available at: <<http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/91>>. Acesso em: 01 de agosto de 2022.

SOUZA, C.E. de. Avaliação de sistemas biorremediadores em efluentes da lagoa facultativa da estação de tratamentos de esgotos em Mangabeira, João Pessoa/PB. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Ambiente. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PB, Brasil. 2014.

SOUZA, E. L. de; DAMASCENO, F.; SCHIRMER, G. K.; RAMIRES M. F.; BISOGNIN, R. P.; BOHRER, R. E. G.; VASCONCELOS, M.de C.; CEZIMBRA, J. C. G. **Resíduos contaminantes no solo: possibilidades e consequências** DOI:10.19177/rgsa.v7e22018465-483 R. gest. sust. ambient., Florianópolis, v. 7, n. 2, p.484-509, abr./jun. 2018

SOUTO, G.D.B. 2009. Lixiviado de aterros sanitários brasileiros: estudo de remoção de nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“stripping”). Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil. doi:10.11606/T.18.2009.tde-19022009-121756. Recuperado em 2022-03-21, de www.teses.usp.br

TEIXEIRA, M.G.L.C.; COSTA, M.C.N.; CARVALHO, V.L.P.; PEREIRA, M.S.; HAGE, E. **Epidemia de gastroenterite na área de barragem de Itaparica, Bahia**. Boletim of Sanitary Panamerican 114: 502-512, 1993.

TUNDISI, J. G. TUNDISI, T. M. **Limnologia** / -- São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

UNCCD. **The economics of desertification, land degradation and drought: Methodologies and analysis for decision-making**. [s.l: s.n.].

VALADÃO, C. E. A; OLIVEIRA, P. T.; SCHMIDT, D. M.; SILVA, B. K. N.; BARRETO N. J.C.; CORREIA FILHO, W. L.F.; JESUS E. S.; LOPO, A.B.; SANTOS A.S.; PINHEIRO, J.U.; MATTOS, A. **Classificação climática da microrregião do Seridó/RN**. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia: Anais.. Belém: CBMET, Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2010.

VIEIRA, R. F. **Ciclo do nitrogênio em sistemas agrícolas** / Rosana Faria Vieira.-- Brasília, DF : Embrapa, 2017. 163 p.

VIEIRA, D.M. 2018. **Aquicultura familiar**: contribuições para a sustentabilidade. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba.

VON SPERLING, M. 1996. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos / Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 2. Ed. Belo Horizonte, Brasil. Marcos.

VON SPERLING, M. 2007. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. Belo Horizonte (MG): Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG). v. 7.

VON SPERLING, M.; FERREIRA, A.C.S.; GOMES, L.M.L. **Comparative eutrophication development in two Brazilian water supply reservoirs with respect to nutrient concentrations and bacteria growth**. Desalination, v. 226, n. 3, p. 169-174, 2008.

VON SPERLING, M. 2014. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos/ Marcos von Sperling. 4; ed. – Belo Horizonte: Editora UFMG, 472p.

WANG, H.; WANG, H. **Mitigation of lake eutrophication**: Loosen nitrogen control and focus on phosphorus abatement. Progress in Natural Science, v. 19, p. 1445-1451, 2009

