



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI – UFCA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL
SUSTENTÁVEL – PRODER**

BRENDA TAMIRES CONCEIÇÃO E SÁ

**PROPOSTA DE DIRETRIZES URBANÍSTICAS E AMBIENTAIS EM ZONA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL: UMA CONTRIBUIÇÃO AO PLANEJAMENTO
AMBIENTAL URBANO EM JUAZEIRO DO NORTE-CE**

CRATO – CE

2021

BRENDA TAMIRES CONCEIÇÃO E SÁ

**PROPOSTA DE DIRETRIZES URBANÍSTICAS E AMBIENTAIS EM ZONA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL: UMA CONTRIBUIÇÃO AO PLANEJAMENTO
AMBIENTAL URBANO EM JUAZEIRO DO NORTE-CE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), da Universidade Federal do Cariri, como requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

Área de concentração: Meio Ambiente

Orientador(a): Ana Célia Maia Meireles.

Coorientador(a): Maria Gorethe de Sousa Lima Brito.

CRATO – CE

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação.
Universidade Federal do Cariri.
Sistema de Bibliotecas

- S111p Sá, Brenda Tamires Conceição e.
Proposta de diretrizes urbanísticas e ambientais em zona de proteção ambiental : uma contribuição ao planejamento ambiental urbano em Juazeiro do Norte- CE / Brenda Tamires Conceição e Sá. – 2021.
120 f.: il. color.30 cm
- Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Cariri, Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), Crato, 2021.
- Orientação: Profa. Dra. Ana Celia Maia Meireles.
Coorientação: Profa. Dra. Maria Gorethe de Sousa Lima Brito.
1. Desenvolvimento sustentável. 2. Zoneamento ambiental. 3. Zona especial. 4. Hidrogeomorfologia. I. Título.

CDD 363.70526

Bibliotecária: Glacinésia Leal Mendonça
CRB 3/ 925

BRENDA TAMIRES CONCEIÇÃO E SÁ

**PROPOSTA DE DIRETRIZES URBANÍSTICAS E AMBIENTAIS EM ZONA DE
PROTEÇÃO AMBIENTAL: UMA CONTRIBUIÇÃO AO PLANEJAMENTO
AMBIENTAL URBANO EM JUAZEIRO DO NORTE-CE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER), da Universidade Federal do Cariri, como requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 14/12/2021.

BANCA EXAMINADORA

Ana Celia Maia Meireles

Prof^(a). Dr(a). Ana Celia Maia Meireles – UFCA
Orientadora

Maria Gorethe de Sousa Lima Brito

Prof^(a). Dr(a). Maria Gorethe de Sousa Lima Brito – UFCA
Coorientadora

Ana Patricia N. Bandeira

Prof^(a). Dr(a). Ana Patricia Nunes Bandeira – UFCA
Avaliador - Membro Interno

Juliana Maria Oliveira Silva

Prof^(a). Dr(a). Juliana Maria Oliveira Silva – URCA
Avaliador - Membro Externo

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido saúde, força, determinação e sabedoria para cumprir com meus compromissos, atingir os objetivos desejáveis e por colocar pessoas tão especiais na minha caminhada.

A minha família, especialmente, a minha Mãe, que na sua mais pura sabedoria e paciência nunca questionou minhas escolhas, apenas me dando as ferramentas necessárias a alcançá-las. A meu pai, *in memoriam*, que deixou um legado de sabedoria, amor, força e alegrias eternas no meu coração. Ao meu irmão como exemplo de resiliência, assertividade e autoconfiança naquilo que se propõe a fazer e no que se busca construir. A minha companheira de todas as horas, pela sua paciência, compreensão, carinho e lealdade, Onesia Vieira Xavier.

A minhas orientadoras, Dra. Ana Célia Maia Meireles e Dra. Maria Gorethe de Sousa Lima, que mesmo diante das dificuldades em meio a pandemia, me deram todo o apoio moral, técnico e científico para construção dessa pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de pesquisa científica no período de 2019 a 2021.

À UFCA, desde os servidores acolhedores e amigáveis, a infraestrutura necessária para as aulas e desenvolvimento da pesquisa.

À Coordenação do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável (PRODER) e, especialmente, aos professores, sem exceção, que me proporcionaram o conhecimento não somente técnico e profissional, mas de caráter e ético.

À Prof.^a Dra. Ana Patrícia Nunes Bandeira em disponibilizar equipamentos, produtos e o espaço do Laboratório de Mecânica dos Solos da UFCA para o desenvolvimento dos ensaios de campo e laboratoriais.

À Prof.^a de estágio Msc. Mariana Brito de Lima que se tornou uma mentora e amiga e contribuiu com o meu aperfeiçoamento à docência, incentivando nas publicações, compartilhando seu conhecimento, disponibilizando livros e literaturas importantes para essa dissertação e se dispondo a ajudar sempre que precisei.

Aos meus amigos e colegas adquiridos nessa caminhada, que direta e indiretamente contribuíram para o meu aperfeiçoamento profissional e pessoal durante esses dois anos, em especial, quero destacar gratidão aos queridos Priscilla Barbosa de Araújo Moreira, Cícero Cordeiro Alexandre,

Diana Rodrigues de Lima Gonçalves e Vanessa de Souza Batista pelo apoio e colaboração nas coletas e ensaios realizados, assim como pela amizade e companheirismo nas horas de pesquisa.

À turma 2019.1 pela amizade e parceria, tanto nos momentos de alegria e aprendizado, como naqueles de frustração e cansaço, os levarei eternamente em minha memória.

Nas questões ambientais não existe plateia: você faz parte do problema ou da solução.

(Autor desconhecido)

RESUMO

Diante da significativa influência que os processos de urbanização exercem sobre os recursos naturais, quando as cidades crescem sem planejamento algum, diversos são os impactos negativos, destacando-se o lançamento de esgotos em áreas impróprias. No município de Juazeiro do Norte, por exemplo, há cinco zonas especiais de proteção ambiental, das quais uma é a Zona Especial 2, denominada Parque Ecológico das Timbaúbas que integra o Riacho dos Macacos, um dos cursos d'água mais importantes do município por, dentre outros motivos, compreender 17 poços tubulares para abastecimento público ao longo das suas margens. Contudo, apesar de ser registrada como uma área de proteção ambiental, com restrições específicas à urbanização, essa zona está sendo alvo de interferências urbanas associadas à construção de moradias e implantação de empreendimentos comerciais, recebendo despejos de esgoto sem controle ou tratamento. Assim, essa pesquisa objetivou propor diretrizes de uso e ocupação do solo para essa zona, considerando os princípios do Desenvolvimento Regional Sustentável, como forma de contribuir com o Planejamento Urbano e Ambiental desta área. Para isto, a pesquisa foi realizada em quatro fases: 1. Levantamento e análise de fontes bibliográficas; 2. Elaboração de representações cartográficas compreendendo aspectos hidrogeomorfológicos e de uso e ocupação do solo; 3. Realização de ensaios de permeabilidade *in loco*; e 4. Coleta de amostras de solo de superfície para realização de ensaios de laboratório para obtenção da textura dos grãos. A partir dos resultados obtidos constatou-se que ao longo dos últimos 10 anos não houve avanços no quesito qualidade das águas do Riacho dos Macacos e das águas dos poços de abastecimento da região que possuíam teores elevados de nitrato. Também foi verificado que no período de 2000 a 2020, a taxa de urbanização da Zona Especial 2 aumentou 61,73%, resultando na perda de áreas permeáveis na vertente do Riacho dos Macacos e na sua zona aluvionar, incluindo a mata ciliar. Além disto constatou-se que o Riacho dos Macacos e o Riacho das Timbaúbas, cursos de ordem 4 e 3, respectivamente, contidos na Zona Especial 2, recebem o fluxo de uma expressiva área de escoamento superficial que se inicia desde as partes mais altas das suas microbacias, contribuindo com o cenário atual de contaminação dos referidos riachos, ao mesmo tempo que deixa o solo da referida zona suscetível a contaminação direta e indireta, difusa ou pontual. Em relação as características físicas do solo, foi identificada a predominância de material arenoso, permeável e com condutividade hidráulica variando de moderada a muito rápida ($\geq 6,0$ cm/h). Estes resultados evidenciam a condição de

fragilidade a que a área estudada estava exposta, necessitando, portanto, de medidas mais restritivas de uso e ocupação do solo. Assim, foram propostas diretrizes para a proteção física do solo, conservação da vegetação ripária e dos recursos hídricos da área estudada, por meio do seu zoneamento em área de preservação permanente, zonas de transição, zona de amortecimento e área destinada para um parque linear urbano.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável, zoneamento ambiental, zona especial, hidrogeomorfologia.

ABSTRACT

In view of the significant influence that urbanization processes have on natural resources, when cities grow without any planning, there are several negative impacts, especially the disposal of sewage in inappropriate areas. In the municipality of Juazeiro do Norte, for example, there are five special zones of environmental protection, one of which is the Special Zone 2, called Parque Ecológico das Timbaúbas, which includes the Riacho dos Macacos, one of the most important watercourses in the municipality because, among other reasons, it comprises 17 tube wells for public supply along its banks. However, despite being registered as an area of environmental protection, with specific restrictions on urbanization, this zone is being the target of urban interference associated with housing construction and commercial enterprises, receiving uncontrolled or untreated sewage disposal. Thus, this research aimed to propose guidelines for land use and occupation for this zone, considering the principles of Sustainable Regional Development, as a way to contribute to the Urban and Environmental Planning of this area. For this, the research was carried out in four phases: 1. Survey and analysis of bibliographic sources; 2. Elaboration of cartographic representations comprising hydrogeomorphological and land use and occupation aspects; 3. Carrying out permeability tests in loco; and 4. Collection of surface soil samples for laboratory tests to obtain grain texture. From the results obtained, it was found that over the last 10 years there has been no progress in terms of the quality of water from Riacho dos Macacos and water from supply wells in the region that have high levels of nitrate. It was also verified that from 2000 to 2020, the urbanization rate of Special Zone 2 increased by 61.73%, resulting in the loss of permeable areas in the Riacho dos Macacos slope and in its alluvial zone, including the riparian forest. In addition, it was found that Riacho dos Macacos and Riacho das Timbaúbas, courses of order 4 and 3, respectively, contained in Special Zone 2, receive the flow of an expressive surface runoff area that starts from the highest parts of the its microbasins, contributing to the current scenario of contamination of these streams, while leaving the soil in that area susceptible to direct and indirect, diffuse or punctual contamination. Regarding the physical characteristics of the soil, a predominance of sandy, permeable material with hydraulic conductivity ranging from moderate to very fast (≥ 6.0 cm/h) was identified. These results show the fragile condition to which the studied area was exposed, requiring, therefore, more restrictive measures of land use and occupation. Thus, guidelines were proposed for the physical protection of the soil, conservation of

riparian vegetation and water resources in the studied area, through its zoning in permanent preservation area, transition zones, buffer zone and area destined for a linear urban park.

Keywords: Sustainable Development, environmental zoning, special zone, hydrogeomorphologie.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	A vertente como unidade de análise para o zoneamento urbano	27
Figura 2 –	Demonstração das áreas alteradas na ZE2	35
Figura 3 –	Localização e delimitação da ZE2.....	36
Figura 4 –	Procedimento metodológico da Revisão Integrativa Sistemática.....	41
Figura 5 –	Ilustração da determinação de fluxo acumulado pela ferramenta do ArcGis...	46
Figura 6 –	Malha amostral dos pontos de realização dos ensaios geotécnicos.....	49
Figura 7 –	Delimitação e característica morfométrica das Microbacias que integram a ZE2	60
Figura 8 –	Fluxo Acumulado de escoamento superficial das microbacias do RM e RT...	62
Figura 9 –	Mapa dos bairros que exercem influência direta nos RM e RT.....	62
Figura 10 –	Mapa de Declividade e Hipsométrico da ZE2.....	65
Figura 11 –	Encosta com presença de sulcos erosivo, localizada na região central da ZE2.	66
Figura 12 –	Imagens dos pontos P01, P05, P10 e P15, respectivamente.....	67
Figura 13 –	Gráfico com resumo dos resultados obtidos nos ensaios granulométricos para as amostras coletadas na área da ZE2.....	69
Figura 14 –	Representação cartográfica dos resultados da caracterização física do solo dos pontos amostrados na ZE2.....	75
Figura 15 –	Carta imagem: mosaico das imagens históricas evidenciando a evolução da área urbanizada na região e sobre a ZE2 em 20 anos.....	77
Figura 16 –	Mapa detalhado de uso e ocupação do solo da ZE2.....	80
Figura 17 –	Área de convergência dos riachos dos macacos e das timbaúbas, localizada ao norte da ZE2, parte mais baixa das microbacias.....	81
Figura 18 –	Zonas Ambientais de planejamento ambiental urbano propostas para a área da ZE2.....	87
Figura 19 –	Corte A: Sessão transversal das zonas propostas para a ZE2 a partir do RM....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros fisiográficos utilizados na caracterização Morfométrica das Microbacias e suas respectivas metodologias.....	43
Tabela 2 – Georreferenciamento dos pontos de amostragem de ensaios geotécnicos na área da ZE2, em Juazeiro do Norte-CE.....	48
Tabela 3 – Dados de granulometria e permeabilidade em três pontos na área do PNMT...	48
Tabela 4 – Característica morfométrica das Microbacias dos Macacos e das Timbaúbas.	58
Tabela 5 – Resultados dos ensaios de Permeabilidade " <i>in situ</i> ", da porcentagem de areia, porcentagem de dispersão e da razão de dispersão, com as respectivas características de uso e ocupação do solo da área de 50 metros de raio dos pontos analisados na área da ZE2.....	72
Tabela 6 – Classes de uso e ocupação do solo e respectivas áreas em hectares e sua representatividade da área total da ZE2 em percentuais.....	82

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Palavras-chave e critérios de seleção dos artigos.....	42
Quadro 2 –	Classes de Declividade.....	45
Quadro 3 –	Parâmetros analisados e seus respectivos métodos de análise.....	47
Quadro 4 –	Síntese dos estudos realizados na área da ZE2 publicados em formato de artigo científico, dissertação e tese.....	53
Quadro 5 –	Dissertações e tese quanto ao objetivo e resultados obtidos para a análise da qualidade ambiental da ZE2 e/ou de suas áreas adjacentes.....	55
Quadro 6 –	Descrição das classes de uso e ocupação do solo utilizadas.....	78
Quadro 7 –	Zonas ambientais e suas diretrizes de uso e ocupação do solo com base nas características hidrogeomorfológicas da ZE2.....	85
Quadro 8 –	Diretrizes para cada situação-tipo por zona ambiental com diretrizes e ações voltadas a revitalização para a ZE2.....	89

LISTA DE SIGLAS

AMAJU	Autarquia Municipal de Meio Ambiente de Juazeiro do Norte
APP	Área de Preservação Permanente
CA	Coefficiente de Aproveitamento
CRAJUBAR	Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha
COMDEMA	Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídrico
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
ETEs	Estações de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MM	Microbacia dos Macacos
MT	Microbacia das Timbaúbas
PDDU	Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano
PDIRS	Pontos de Descarte Irregular de Resíduos Sólidos
PLU	Parque Linear Urbano
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
RD	Razão de Dispersão
RIS	Revisão Integrativa Sistemática
RM	Riacho dos Macacos
RT	Riacho das Timbaúbas
RMC	Região Metropolitana do Cariri
SST	Sólidos Suspensos Totais
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
ST	Sólidos Totais
SEINFRA	Secretaria Municipal de Infraestrutura
SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação

SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TO	Taxa de Ocupação
UC	Unidade de Conservação
UFC	Universidade Federal do Ceará
UFCA	Universidade Federal do Cariri
ZA	Zona de Amortecimento
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico
ZE	Zona Especial
ZE1	Zona Especial 1 – Parque Central
ZE2	Zona Especial 2 – Parque Ecológico das Timbaúbas
ZE3	Zona Especial 3 – Parque do Rio Salgadinho
ZE4	Zona Especial 4 – Aeródromo
ZE5	Zona Especial 5 – Área de Preservação da Serra do Catolé/Horto
ZTI	Zona de Transição I
ZTII	Zona de Transição II

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. OBJETIVOS	20
2.1. Objetivo Geral	20
2.2. Objetivos específicos	20
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
3.1. Sustentabilidade e a qualidade ambiental urbana	21
3.2. Hidrogeomorfologia aplicada ao planejamento ambiental urbano	21
3.2.1. Gestão do espaço e os rios urbanos	28
3.3. Legislações urbanísticas e ambientais no Brasil e em Juazeiro do Norte-CE	31
3.3.1. Zonas Especiais em Juazeiro do Norte	33
4. METODOLOGIA	35
4.1. Área de estudo	35
4.2. Contextualização da área de estudo	37
4.3. Procedimento Metodológico	40
4.3.1. Levantamento e análise de fontes bibliográficas	40
4.3.2. Elaboração de representações cartográficas de aspectos hidrogeomorfológicos e de uso e ocupação do solo	42
4.3.2.1. Delimitação e caracterização morfométrica das microbacias	43
4.3.2.2. Mapas de declividade e hipsométrico	44
4.3.2.3. Mapa de Fluxo de Escoamento Superficial	45
4.3.2.4. Carta Imagem da ZE2: Evolução da área urbanizada em 20 anos	46
4.3.2.5. Mapa detalhado de uso e ocupação do solo da ZE2	46
4.3.3. Ensaio Geotécnicos	47
4.3.3.1. Malha amostral	47
4.3.3.2. Textura do solo	49
4.3.3.3. Condutividade hidráulica de solo saturado	51
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
5.1. Diagnóstico da qualidade ambiental da ZE2 a partir da RIS	53
5.2. Análise Hidrogeomorfológica	58

5.3.1.	Caracterização morfométrica	58
5.3.2.	Caracterização física do solo	66
5.3.	Padrão de uso e ocupação do solo da ZE2	76
5.4.	Adequação à legislação de parcelamento do solo urbano e ambiental	82
5.4.1.	Diretrizes urbanísticas e ambientais	83
6.	CONCLUSÕES	91
	REFERÊNCIAS	93
	APÊNDICES	102
	Apêndice A – Leis de alteração do zoneamento da ZE2	103
	Apêndice B – Tabela resumo dos resultados obtidos nos ensaios granulométricos para as amostras coletadas na área da ZE2	109
	Apêndice C – Curvas granulométricas dos pontos amostrados na ZE2	111

1. INTRODUÇÃO

O ambiente urbano exerce significativa influência aos sistemas naturais e a urbanização acelerada e sem a efetividade do planejamento atribui características insalubres à paisagem urbana (MARTINS *et al.*, 2011). É o que vem ocorrendo nas áreas verdes, que apesar de ser considerado um espaço fundamental para o bem-estar da população, quando a ocupação ocorre sem planejamento, as consequências têm sido severas (SOUZA; SCOPEL; MARTINS, 2014).

Em geral, a expansão urbana ocorre em desacordo com as características hidrogeomorfológicas do meio, desconsiderando, portanto, as potencialidades e as fragilidades do meio físico. Em consequência, podem ser gerados diversos problemas ambientais, tais como erosão do solo, deslizamentos, assoreamentos de corpos hídricos, contaminação do solo de superfície e do subsolo e das águas subterrâneas. Neste sentido, o planejamento ambiental exerce papel fundamental sobre a gestão e gerenciamento das áreas verdes urbanas, evitando que tais espaços sejam ocupados de maneira inadequada, seja por meio de ocupações irregulares ou pela população de maior vulnerabilidade social, bem como por meio de empreendimentos comerciais.

Dentre os problemas decorrentes da ocupação desordenada de áreas verdes urbanas, destaca-se a contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Nos corpos hídricos superficiais, os espaços das suas margens além de exercerem função urbanística, desempenham grande importância hidrológica, ecológica, limnológica e geomorfológica (KOBAYAMA, 2003). Já as águas subterrâneas estão expostas a riscos de depleção e superexploração, uma vez que em muitos municípios são determinantes para o abastecimento populacional, para a irrigação de cultivos agrícolas e para o uso industrial. Em consequência, este recurso requer rígido gerenciamento, devido aos conflitos entre as formas e prioridades de uso e as atividades de preservação e conservação.

No contexto da temática acima exposta se enquadra o município de Juazeiro do Norte, localizado na região sul do estado do Ceará, que apresenta diversas problemáticas relacionadas as áreas verdes de proteção dos mananciais. O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) deste município determina a criação de cinco Zonas Especiais. Uma delas é a Zona Especial 2 (ZE2), denominada Parque Ecológico das Timbaúbas, criada com o objetivo de proteger e preservar amostras dos ecossistemas ali existentes de forma a proporcionar oportunidades controladas para uso público e privado (JUAZEIRO DO NORTE, 2000). Essa zona compreende um dos principais cursos de drenagem deste município, o Riacho dos Macacos (RM) (com extensão

aproximada de 3,6km), que apresenta em sua zona aluvial um total de 17 poços tubulares para abastecimento municipal de água, com capacidade de bombeamento de aproximadamente 2.000 m³/h (ALMEIDA, 2015).

O RM, mesmo inserido em uma ZE2, foi considerado por meio do Parecer Técnico emitido pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) do Ceará, um curso d'água de regime efêmero (COGERH, 2018), ficando as suas margens isentas da obrigatoriedade de se manter uma Área de Preservação Permanente (APP), conforme o que preconiza no Código Florestal (Lei Federal nº 12651/2012). Esta situação possibilita a autorização de diferentes tipos de empreendimentos na referida zona.

De fato, nos últimos anos, a ZE2 vem sofrendo diversas interferências urbanas, tanto pela construção de moradias como pela implantação de empreendimentos comerciais. Esta constatação causa grandes preocupações, uma vez que não existe nenhum estudo relatado na literatura que tenha avaliado as características ambientais relevantes da referida zona, principalmente utilizando uma abordagem de análise integrada de ordenamento do espaço, com apropriação de recursos naturais e uso do solo. Este fato impossibilita o planejamento de ações voltadas às potencialidades, à vocação local e sua capacidade de suporte, em busca do desenvolvimento harmônico da área e da manutenção da qualidade do ambiente físico, biológico e social. Ademais, estudos de qualidade da água realizados por Bezerra, Souza e Almeida (2012), Silva (2013), Oliveira (2014) e Almeida (2015) identificaram níveis elevados de contaminantes na água e no sedimento de leito do referido riacho. Estes resultados sugerem a possibilidade de contaminação das águas subterrâneas.

Ante o exposto, acredita-se que as características hidrogeomorfológicas e a forma de uso e ocupação do solo da ZE2 conferem fragilidades a esta zona que comprometem a proteção física do seu solo de superfície e dos recursos hídricos que a permeiam, necessitando, portanto, de restrições mais rigorosas de uso e ocupação do solo. Logo, considerando o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11, da Organização das Nações Unidas (ONU), que tem como premissa “tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis”, surgem os seguintes questionamentos: quais características físicas da ZE2 a identificam como uma zona especial, ou seja, uma área sensível e de interesse ambiental? Quais devem ser as restrições de uso e ocupação do solo para esta área?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Propor um zoneamento com as respectivas diretrizes urbanísticas e ambientais para a Zona Especial 2 – Parque das Timbaúbas, localizada em Juazeiro do Norte - CE, considerando aspectos hidrogeomorfológicos e de uso e ocupação do solo, como forma de contribuir com o planejamento ambiental urbano desta área.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar a qualidade ambiental da ZE2 nos últimos 10 anos por meio de revisão integrativa sistemática.
- Analisar as características morfométricas das microbacias dos Macacos e das Timbaúbas.
- Analisar as características de relevo, textura, permeabilidade e de uso e ocupação do solo da ZE2.
- Interpretar as diretrizes de uso e ocupação do solo estabelecidas nas legislações federais ambientais e de parcelamento do solo, de modo a adequar a ZE2 à legislação vigente.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Sustentabilidade e qualidade ambiental urbana

A noção de sustentabilidade é resultado de um processo lento e repleto de vivências ambientais danosas para, enfim, conscientizar os especialistas e a população em geral sobre o fato de que os recursos naturais precisam ser administrados com ponderação e que o ser humano é diretamente atingido pela ausência de um planejamento adequado (DIAS, 2009).

Somente na década de 1960 a questão ambiental teve suas discursões e estudos intensificados no Brasil, após uma fase de intenso crescimento urbano e diversos apelos a proteção e preservação dos recursos naturais. Alguns marcos mundiais deflagraram essas discussões, como a publicação do livro “Primavera Silenciosa” de Rachel Carson (*Silent Spring*; 1968), o estudo “Os Limites do Crescimento” (*The Limits to Growth*) publicado por Donella H. Meadows e Dennis L. Meadows, integrantes do Clube de Roma (1972), a Conferência das Nações Unidas sobre o meio ambiente (1972), a Comissão de Brundtland que resultou no relatório “Nosso Futuro Comum” (*Our Common Future*; 1983), Conferência das Nações Unidas para Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como a Cúpula da Terra ou Conferência do Rio-92 (1992), o Rio +5, encontro da comunidade internacional em Nova York (1997) e o Rio +10, realizada em Joanesburgo, África do Sul, pela Cúpula Mundial de Desenvolvimento Sustentável (2002), dentre outros.

Em meio a esses acontecimentos, ocorreu também a crise do petróleo no final dos anos sessenta e início da década de setenta, fortalecendo a reflexão acerca do futuro, como incerto, sobre o pensamento político, social e filosófico, levando ao questionamento da participação do homem no Planeta. Diante disto, foi sendo formatada uma filosofia fundamentada na possibilidade de compatibilizar o crescimento econômico com a conservação do meio ambiente, visando garantir os recursos atuais para as futuras gerações. Essa filosofia embasou o que se conhece hoje como “desenvolvimento sustentável”, definido, pela primeira vez, no relatório “Nosso Futuro Comum”, como sendo “aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades”.

A adoção dos preceitos da sustentabilidade por parte dos gestores municipais é essencial para se garantir progressos nas áreas social, econômica, no aspecto relativo a saúde humana e ao bem-estar da população nos espaços públicos (DIAS, 2009). Para Romero (2001) o espaço público pode ser entendido como objeto arquitetônico, com forma definida que deve ser pensada e

constituída com a arquitetura, de tal forma que os elementos ambientais, climáticos, históricos, culturais e tecnológicos devem fazer parte desta concepção.

Desse modo, a partir da constatação do fracasso do planejamento fundamentado na visão economicista, o planejamento urbano passou por um constante processo de revisão nas formas de se pensar e propor quanto aos espaços para a cidade do século XXI, emergindo modelos, conceitos e estratégias como: Sistemas de Gestão Ambiental (SGA), a proteção dos recursos naturais, as ações antrópicas e suas interferências no ambiente natural, a ideia de ecologia e paisagem urbana, o licenciamento ambiental, a adoção de critérios para a utilização de fontes renováveis de energia e dos recursos naturais, associados ao Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA); e ainda o Planejamento Ambiental (SILVA E WERLE, 2007). Esse último é definido como um processo político, social, econômico e tecnológico, onde líderes políticos, institucionais e comunitários, em conjunto com o poder público (federal, estadual ou municipal), devem garantir a conservação da natureza, gerando o seu desenvolvimento equilibrado e compatível com o conceito de meio ambiente, de modo educativo e participativo (HIDALGO, 1991 *apud* SANTOS, 2010).

Em complementação, Franco (2008) atribuiu outro conceito, entendendo-o como o planejamento das ações humanas em determinado território, considerando os princípios da valorização, preservação e conservação dos recursos ambientais a nível local e regional, com vista a melhoria da qualidade de vida humana e das interações ecossistêmicas que a mantém, para atingir o Desenvolvimento Sustentável. Portanto, o Planejamento Ambiental também é um planejamento estratégico, econômico-ecológico, sociocultural, agrícola e paisagístico.

Esse tipo de planejamento pressupõe ainda três princípios: a preservação, a recuperação e a conservação do meio ambiente. O primeiro consiste em manter ambientes naturais de significativo valor ecológico e áreas de reserva intocados pela ação humana. O segundo, aplica-se a áreas alteradas pela ação humana que passam a necessitar, por diferentes fatores, de recuperação a fim de provocar ou acelerar determinado processo natural de autodepuração ou preservação. Por fim, a conservação ambiental é o usufruto dos recursos naturais na linha de menos risco, buscando garantir a ocorrência do mínimo impacto ambiental negativo possível (FRANCO, 2008).

Sabendo-se que o conceito de planejamento está presente em todas as áreas de conhecimento e refere-se à tomada de decisões para alcançar um determinado objetivo e que o planejamento ambiental está fundamentado na interação e na integração dos sistemas que compõem

o meio ambiente, constituindo um elo entre os sistemas ecológicos e os processos econômicos, culturais e sociais (SANTOS, 2004 *apud* SANTOS, 2010), acredita-se que o planejamento ambiental exige uma abordagem interdisciplinar e integrada, considerando o caráter complexo de uma situação.

O objetivo principal desse tipo de planejamento é atingir o desenvolvimento sustentável, minimizando os impactos ambientais, preservando e conservando a flora e fauna para as futuras gerações. Segundo Santos e Ferreira (2011), um planejamento ambiental deve sempre buscar o equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e limitações ligadas ao ecossistema, prevendo até mesmo possíveis desequilíbrios ecológicos, crises energéticas e alimentares de um território.

Nesse contexto, entende-se que, diferentemente do planejamento urbano, que tem um foco na sociedade, no uso da terra, na economia e na infraestrutura, o planejamento ambiental engloba o ambiente como um todo, biótico e abiótico, urbano ou rural, onde vivem as comunidades, analisa os efeitos de atividades em desenvolvimento e de outros planejamentos, tem caráter participativo, constitui uma visão holística do meio e introduz novos paradigmas ao planejamento do território urbano.

Nesse sentido, acrescenta-se o conceito de qualidade ambiental, a qual faz parte do objetivo comum entre desenvolvimento sustentável e o planejamento ambiental, definido por Silva (2019) como “um estado de bem-estar social, econômico, ecológico-ecossistêmico, político-institucional e cultural, de modo salutar a todas as pessoas que convivem num determinado espaço físico geográfico”. Tal conceito demonstra o quão a qualidade ambiente e o meio urbano estão relacionados.

Segundo Luengo (1998), a qualidade ambiental urbana resulta da interação entre os aspectos ambientais, biológicos, econômicos, produtivos, socioculturais, tecnológicos e estéticos em sua dimensão espacial, promovendo as condições ideais para um espaço habitável, confortável e capaz de satisfazer as necessidades básicas para a sustentabilidade da vida humana individual e a interação social no meio urbano.

Para Machado (1997), os padrões de qualidade ambiental dependem das políticas adotadas em todas as esferas da gestão pública (federal, estadual, municipal, pública ou privada), conseqüentemente, podendo variar entre a área urbana e rural, entre cidades de diferentes países ou do mesmo país, assim como entre regiões de uma mesma cidade. Em adendo a essa afirmação, Lima e Amorim (2009) afirmam que para atingir a qualidade ambiental urbana, o planejamento e

ordenamento do espaço são fundamentais, conciliando principalmente os benefícios da vegetação com os diversos tipos de usos do solo e promovendo um equilíbrio entre os elementos da paisagem.

Desse modo, para atingir um planejamento ambiental urbano adequado à área estudada, diversos autores vêm demonstrando a importância dos resultados obtidos com estudos hidrogeomorfológicos para a definição de diretrizes de uso e ocupação do solo, porque permitem um diagnóstico rápido e aplicado da natureza dos riscos e podem apoiar a tomada de decisão por gestores e planejadores ambientais.

3.2. Hidrogeomorfologia aplicada ao planejamento ambiental urbano

A hidrogeomorfologia é um conceito novo que surgiu a partir da união entre as ciências “geomorfologia” e “hidrologia”, introduzida por Scheidegger (1973), define-se como sendo o estudo das formas do relevo causadas pela ação das águas. Goerl *et al.* (2012) definiram Hidrogeomorfologia como “uma ciência que busca compreender como os processos hidrológicos contribuem para a formação e evolução da paisagem e ainda como as formas de relevo condicionam ou controlam os processos hidrológicos em diferentes escalas temporais e espaciais”. Os processos hidrogeomorfológicos são aqueles que exercem controle tanto sobre a evolução e formação da paisagem como sobre os processos hidrológicos.

Estes mesmos autores discorreram sobre alguns elementos para compor uma análise hidrogeomorfológica, são eles: caracterização hidrológica do terreno (área de infiltração média, baixa ou muito baixa); tipo de escoamento (perenes ou intermitentes); características dos canais (fundo arenoso, abandonado ou com/sem margens); corpos d’água (lagos permanentes ou não); dinâmica das vertentes (deslizamentos estabilizados); cobertura vegetal; topografia (áreas urbanizadas, limite da bacia, direção da vertente), dentre outros.

Babar (2011) e Jadhav & Babar (2014) consideram a decomposição do termo em: “hidro” incorporando a ação das águas superficiais e subterrâneas; “geo” relativo à terra; e “morfologia” que traduz as características superficiais nas formas da paisagem.

Ao longo dos anos esse termo ganhou diversas definições e diferentes formas de aplicação nas pesquisas científicas, em algumas compreendendo mais aspectos hidrológicos, enquanto outras mais os aspectos geomorfológicos. Contudo, vem contribuindo significativamente com a gestão de bacias hidrográficas, a partir dos estudos que avaliam os processos hidrológicos e geomorfológicos em nível de bacia, em escalas temporais e espaciais (GOERL; KOBAYAMA; SANTOS, 2012).

Siefert e Santos (2012) realizaram uma revisão para demonstrar a relação intrínseca entre os mecanismos de geração de escoamento e áreas hidrologicamente sensíveis, além de seus princípios enquanto categoria de análise da dinâmica hidrogeomorfológica da bacia hidrográfica e suas aplicações, concluindo que o índice topográfico surge como o indicador de base física mais difundido para delimitação dessas áreas.

Paschoal; Conceição e Cunha (2012) desenvolveram pesquisa por meio da perspectiva da geomorfologia antropogênica amparada pela teoria geral dos sistemas, objetivando identificar as alterações ocorridas no uso da terra provenientes, principalmente, da atividade agrícola e da exploração da argila e suas implicações nas características hidrogeomorfológicas na bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Gertrudes (SP). Esses autores concluíram que as técnicas da cartografia temática e geomorfológica permitiram averiguar de maneira integrada e eficiente os elementos envolvidos nas transformações ocorridas na área de estudo, como a dinâmica de escoamento superficial, a diminuição dos processos erosivos lineares em decorrência do estabelecimento de técnicas agrícolas modernas, bem como a movimentação de sedimentos para as áreas de fundo de vale, aumentando com isso as áreas de acumulação fluvial.

Araújo; Lima e Santos (2015), a fim de propor um modelo do comportamento das diferentes formas de relevo frente à dinâmica hidrológica da área de estudo, desenvolveram um trabalho com objetivo de caracterizar e analisar as Unidades Hidrogeomorfológicas (UHs) da bacia do Tapajós, localizada no norte do Brasil, abrangendo os estados do Pará, Mato Grosso e o Amazonas. Os resultados obtidos mostraram que a compartimentação em UHs pode auxiliar no planejamento regional, contribuindo na compreensão das regiões mais e menos suscetíveis aos processos de modificação e dissecação do relevo frente à dinâmica hidrológica da bacia, bem como na identificação de formas mais adequadas para uso e ocupação dessa área.

Maranhão *et al.* (2016) utilizaram estudos hidrogeomorfológicos para caracterizar o entorno da jazida fósforo-urânio de Itataia-CE. A jazida lança naturalmente radionuclídeos no ambiente através da ação erosiva dos ventos e da chuva. Para o estudo foram aplicadas técnicas de geoprocessamento para tratamento de imagem *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30m e processamento computacional para extrair informações sobre o relevo e a drenagem. A partir do estudo, os autores afirmaram que as geotecnologias se tornaram instrumentos fundamentais à tomada de decisão na gestão ambiental, possibilitando análises

ambientais e facilitando a produção de Planos de informação sobre postos em cartogramas, assim como a análise integrada de informações geográficas.

A pesquisa desenvolvida por Silva (2018) teve por objetivo avaliar as condições hidrogeomorfológicas da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, localizada na Mata Sul do Estado de Pernambuco, correlacionando-as com os usos e ocupações da terra presentes na mesma. Para tanto foram utilizados os seguintes procedimentos técnicos de investigação: ferramentas de geoprocessamento para realização dos mapeamentos, atividades de campo e a proposta metodológica de classificação de tipologias para canais fluviais, intitulada de estilos fluviais.

O trabalho de Kubota *et al.* (2019) utilizou estudos hidrogeomorfológicos para avaliar as características de erosão hídrica da bacia do rio Gurupi, na divisa do estado do Pará com Maranhão. Adotando o método de análise multicritérios foram integrados um conjunto de atributos em função de sua resposta erosiva na bacia.

Lopes *et al.* (2018), estudando a bacia hidrográfica do rio João Mendes em Niterói-RJ, que está inserido em uma região totalmente urbanizada e, portanto, sofrendo alterações em suas características naturais, apresentaram informações sobre a geologia e as formas de relevo que compreendem o rio, tal como parâmetros hidrométricos, caracterização da bacia hidrográfica e sua paisagem.

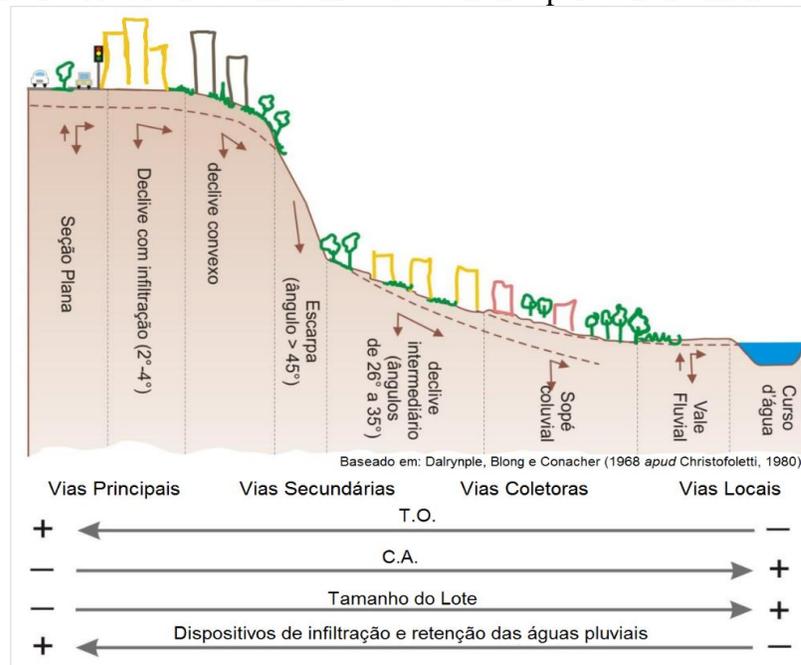
Cita-se, ainda, Camarasa-Belmonte e Soriano-García (2012), que propuseram uma metodologia para mapear o risco de inundações em riachos efêmeros, com base na avaliação de riscos de inundação e exposição global. A primeira considerando métodos hidrogeomorfológicos e a segunda estimada a partir da combinação entre o valor econômico do uso do solo e a exposição humana ao risco. Os resultados obtidos apontam que os métodos propostos são muito úteis para o planejamento do uso do solo porque permitem um diagnóstico rápido da natureza dos riscos e podem apoiar a tomada de decisão por gestores de risco e planejadores urbanos.

Outra pesquisa considerou a vertente de uma bacia hidrográfica como unidade de análise das suas características físicas para elaboração do zoneamento, construindo-se uma proposta para o uso e ocupação solo (Figura 1), prevendo-se a diminuição da Taxa de Ocupação (TO; relação entre área do terreno e área efetivamente ocupada pela edificação) e do tamanho do lote e, ao contrário, o aumento do Coeficiente de Aproveitamento (CA; relação entre volume construído e área do terreno) do solo, conforme se aproxima do fundo de vale. Quanto aos dispositivos de infiltração e retenção de águas pluviais sugeriu-se a obrigatoriedade nas áreas de topo e passando

ao incentivo no fundo de vale, onde as áreas públicas permeáveis são mais expressivas. (BARBOSA; CARVALHO, 2010).

Além de tais colocações, pode-se observar que os autores deixaram a área com declividade superior a 45° sem nenhum tipo de ocupação, indicando a necessidade de cumprir com as determinações do Código Florestal (Lei Federal nº 12.651/2012).

Figura 1 – A vertente como unidade de análise para o zoneamento urbano.



Fonte: Barbosa e Carvalho (2010)

O reconhecimento das características de infiltração, direção do escoamento e declividade na escala da vertente auxiliam na definição de diretrizes de ocupação do solo voltadas ao controle da produção de escoamento das águas superficiais, pois estas podem contribuir para as ocorrências das inundações, erosões e deslizamentos de encostas. Para a preservação dos recursos hídricos, bem como a melhoria da qualidade de vida, muitos municípios estão adotando as infraestruturas de praças e parques públicos nos centros urbanos, também denominados como áreas verdes urbanas. Essas áreas podem ser desde parques ligados a ornamentação à áreas destinadas à conservação, podendo possuir algum equipamento recreacional para uso pouco intensivo ou não (LOBOTA; ANGELIS, 2005).

Estudo desenvolvido por BIRON *et al.* (2014) propõem uma alternativa de gestão que se baseia em uma melhor consideração dos processos hidrogeomorfológicos. Esta abordagem,

chamada de "espaço de liberdade para rios" (FSR, do inglês: *freedom space for rivers*) consiste na definição de dois espaços de mobilidade: M_{50} e $M_{\text{floodplain}}$; e três níveis de espaço de inundação: L_{min} , L_{func} , L_{rare} , ambos com base na potencialidade aos processos de erosão e de inundação, compreendendo zonas úmidas ribeirinhas que desempenham um papel hidrológico e ecológico significativo nos sistemas fluviais. A categorização desses espaços considera a necessidade de proteger a segurança pública e os serviços ecológicos, ao mesmo tempo em que maximiza os benefícios econômicos para a sociedade. (BIRON *et al.*, 2014).

Diante o exposto, observa-se as mais variadas formas de aplicação da hidrogeomorfologia, que ainda é considerada um ramo da ciência emergente, possuindo um caráter interdisciplinar e ainda com muitos aspectos conceituais e metodológicos a serem discutidos.

3.2.1. Gestão do espaço e os rios urbanos

A legislação urbanística e ambiental brasileira estabelece mecanismos interessantes que devem compor o planejamento urbano e ambiental das cidades, com vistas a garantir a melhoria da qualidade de vida e ambiental nessas áreas, compreendendo e integrando as diferentes áreas que compõem esse sistema. Sattler (2004) afirma "é importante reconhecer que qualquer intervenção na natureza em suas redes de fluxos estará alterando para sempre determinado meio ambiente".

No entanto, cursos d'água que formam uma bacia hidrográfica, apesar de serem essenciais para a manutenção da vida, frequentemente são usados como despejo de esgoto ou como várzeas produtoras de inundações. São inúmeros os rios e córregos que foram tamponados, canalizados ou deixados ao acaso (ALVIM; BRUNA E KATO, 2008) e outras vezes suas margens e solos frágeis são ocupados de forma indevida por população sem opção de moradia, evidenciando situações simultâneas de ilegalidade da ocupação urbana ou mesmo ações desarticuladas entre os setores ligados aos recursos hídricos e outras políticas setoriais relativas ao uso do território (ALVIM, 2007).

A principal ferramenta para gestão das águas no país é a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH; Lei Federal nº 9.433 de 1997) e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), a qual trabalha a Bacia Hidrográfica como unidade territorial de gestão dos rios urbanos, objetivando assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, pautada na gestão descentralizada e participativa entre Poder Público, usuários e comunidades.

Os órgãos ambientais desenvolvem papel fundamental na garantia da preservação e conservação dessas áreas, visando a execução das legislações ambientais vigentes, bem como garantindo o cumprimento das restrições impostas pelo plano diretor das cidades para as diferentes zonas urbanas.

Estes órgãos constituem o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), estabelecido pela PNMA, os quais são responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental através, principalmente, do processo de licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras. Esses órgãos devem contar com o apoio dos Conselhos Municipais de Meio Ambiente previstos no art. 20 da resolução nº 237/97 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), tratando-se de uma estrutura administrativa específica à gestão ambiental no Brasil.

O município de Juazeiro do Norte possui o Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente (COMDEMA) como órgão central do Sistema Municipal do Meio Ambiente, estabelecido nos art. 9º da Lei Municipal nº 3662 de 2010 e definido em seu art. 10 como sendo “[...] de caráter consultivo e deliberativo, responsável pelo acompanhamento da implantação da Política Ambiental Municipal, bem como demais planos, programas e projetos relacionados à matéria, a ser disciplinado em legislação própria”.

Desta forma, os conselhos municipais de defesa do meio ambiente são instrumentos fundamentais para a gestão das águas urbanas, devendo, especialmente, exigir e acompanhar os processos de planejamento ambiental das cidades, bem como, garantir que as políticas de uso e ocupação do solo incorporem a questão da proteção das faixas marginais aos rios e lagoas, formando áreas verdes urbanas. No entanto, apesar da existência de legislações federais e estaduais voltadas à preservação e conservação do meio ambiente, a maior parte dos rios urbanos tem sua faixa marginal irregularmente ocupada.

Almeida e Nunes (2018) verificaram que na maioria das cidades onde foram desenvolvidos estudos sobre essa temática, a redução das áreas verdes urbanas está relacionada com o processo de gestão do uso e ocupação do solo, o zoneamento municipal e a implantação de projetos de infraestrutura, como a construção de moradias em áreas que deveriam ser destinadas a espaço com fins ecológicos como as áreas verdes, Áreas de Preservação Permanente (APP's), parques e praças.

Dito isso, reafirma-se que as políticas de parcelamento, uso e ocupação do solo são fundamentais para gestão do espaço urbano e, nesse sentido, o plano diretor exerce um relevante papel na função de ordenamento da cidade. Essas ferramentas possibilitam a reorganização do

espaço geográfico urbano favorecendo o controle e fiscalização do meio urbano, de forma a garantir a preservação das áreas verdes, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da cidade (ALMEIDA; NUNES, 2018).

Acredita-se assim que a ausência do devido planejamento ambiental e urbano, embasados nas legislações vigentes do país, é um dos principais aspectos propulsores da contaminação de bacias hidrográficas em ambientes urbanos e consequente degradação da qualidade das fontes de água subterrâneas e superficiais, principalmente pelo despejo de esgotos brutos domésticos e/ou industriais. Outros fatores são os processos erosivos decorrente da supressão da vegetação ciliar, contaminação do solo pelo descarte irregular de resíduos sólidos, bem como o uso e descarte indiscriminado de agroquímicos. É insustentável pensar em planejamento urbano sem incluir a gestão dos recursos hídricos que, por sua vez, deve ser integrada com a gestão ambiental.

Na ocupação desordenada das cidades, na maioria dos casos, os loteamentos avançam para as áreas preservadas próximas a cidade que podem incluir nascentes, rios limítrofes ou mesmo fontes de abastecimento de água (PORTO; FERREIRA, 2012). Os mesmos autores defendem que os rios urbanos enquanto parte de uma bacia hidrográfica que, de maneira geral, são alterados pelo processo de ocupação, necessitam de soluções adequadas ao modelo de desenvolvimento socioeconômico vigente, sem que interfira significativamente na sua funcionalidade ambiental.

3.3. Legislações urbanísticas e ambientais no Brasil e em Juazeiro do Norte-CE

O ordenamento do espaço urbano e a proteção do meio ambiente pode ser percebido em diversos dispositivos legais. Além do art. 225 da Constituição Federal de 1988, que dispõe sobre a proteção do meio ambiente como um direito de todos, o art. 23, inciso III e VI da mesma, atribui competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios a proteção de bens de valor histórico, artístico e cultural e das paisagens naturais notáveis, bem como do meio ambiente e, ainda, o combate a poluição em qualquer de suas formas. O art. 216, inciso V, considera como patrimônio cultural brasileiro os bens de natureza material e imaterial, os sítios de valor paisagísticos, ecológicos e científicos.

Ainda na constituição, o art. 182 introduz o Plano Diretor, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, como instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana que visa garantir o bem-estar de seus habitantes. O referido artigo é regulamentado pela Lei Federal nº 10.257 de 10 de julho de 2001, denominada por Estatuto da

Cidade. Essa lei acrescenta que, dentre outras coisas, a política urbana deve garantir o direito a cidades sustentáveis, ou seja, à moradia, infraestrutura urbana, saneamento ambiental, transportes e serviços públicos de qualidade, para as presentes e futuras gerações. Essa garantia compreende principalmente a manutenção de áreas de interesse socioambiental e ecológico, por exemplo, os rios urbanos que exercem importante papel na melhoria da qualidade de vida das populações, bem como na disponibilidade de água potável para regiões.

Diversas legislações da esfera infraconstitucionais que protegem o meio ambiente e contribuem com a manutenção de áreas de interesse socioambiental e ecológico podem ser citadas, como o mencionado Estatuto das Cidades, a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) instituída através da Lei 9.638 de 1981, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) instituído através da Lei 9.985 de 2000, o Novo Código Florestal instituído através da Lei 12.651 de 2012 e a Lei de Parcelamento do Solo Urbano (Lei 6.766 de 1979).

Conforme o Engenheiro Francisco Saturnino Rodrigues de Brito (1864-1929), o sucesso de uma intervenção em ambiente urbano depende de um amplo diagnóstico do local que contemple os vários aspectos da cidade, como a topografia sanitária, a geologia, o traçado existente, a tendência de expansão, o clima, a salubridade, a infraestrutura, os índices demográfico-populacionais, entre outros, com a elaboração de um plano para a cidade, antes mesmo de se projetar as redes de infraestrutura urbana (DANTAS, 2003). Esse plano pode ser entendido, atualmente, como parte do planejamento ambiental e urbano de uma cidade.

A PNMA, sob a Lei nº 6.938 de 1981, é um dos dispositivos mais importantes na temática de planejamento ambiental urbano, pois determina o zoneamento ambiental, passando a ser denominado como Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) através do Decreto nº 4.297 de 2002. O mesmo é definido como:

[...] instrumento de organização do território a ser obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obra e atividades públicas e privadas, estabelecendo medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população (BRASIL, 2002).

Quando se fala em planos estes podem ser planos nacionais, regionais ou estaduais de ordenação do território e de desenvolvimento econômico e social e plano diretor que disciplina o parcelamento, uso e ocupação do solo e implementam o zoneamento ambiental (BRASIL, 2001).

Este último é o instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana e está intimamente ligado com as ações voltadas a gestão ambiental e de recursos hídricos.

Quando se trata de Plano Diretor, o Estatuto das Cidades, prescreve as seguintes ações que os devem compor:

Art. 42-A

[...]

II - Mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos;

[...]

V - Diretrizes para a regularização fundiária de assentamentos urbanos irregulares, se houver, observadas a Lei no 11.977, de 7 de julho de 2009, e demais normas federais e estaduais pertinentes, e previsão de áreas para habitação de interesse social por meio da demarcação de zonas especiais de interesse social e de outros instrumentos de política urbana, onde o uso habitacional for permitido.

VI - Identificação e diretrizes para a preservação e ocupação das áreas verdes municipais, quando for o caso, com vistas à redução da impermeabilização das cidades.

O PDDU (Lei Municipal nº 2.572/2.000) do Município de Juazeiro do Norte é nítido ao estabelecer que o desenvolvimento deverá ocorrer de forma ecologicamente equilibrada, assegurando o bem-estar dos habitantes; preservando o meio ambiente e compatibilizando-o com a ocupação do solo. Além disso, busca a promoção da urbanização ao longo dos cursos d'água e prevenção às ocupações inadequadas; integrando a política ambiental com a drenagem, através da expansão das redes de infraestrutura básica.

Ainda, nos artigos 47, 52 e 56 da Lei nº 2.572/2.000, estabelecem que:

Art. 47 - Nas diferentes zonas, o uso e a ocupação do solo urbano respeitarão os seguintes princípios:

[...]

II - Proteger o meio ambiente e o patrimônio cultural como condicionamento da ocupação do solo;

[...]

VII - preservar os espaços naturais de natureza sensível e drenagem natural;

[...]

Art. 52 - Os parâmetros de parcelamento de solo no município serão estabelecidos levando-se em consideração, dentre outros, os seguintes fatores:

[...]

II - Padrões ambientais e sanitários de ocupação urbana;

[...]

Art. 56 - Ao longo das águas correntes e dormentes [...] será obrigatória a reserva de uma faixa *non aedificandi* de 20,00m (vinte metros) de cada lado, salvo maiores exigências da legislação específica.

Diante do exposto, é nítida a importância das políticas de parcelamento, uso e ocupação do solo, em especial a preservação de áreas verdes e de proteção ambiental, para manutenção da

qualidade de vida e bem-estar das populações. No entanto, pouco se vê quanto as ações dos governantes para executar tais políticas, deixando-as em segundo plano, principalmente quando se trata de Zonas Especiais ou Ambientais.

3.3.1. Zonas Especiais em Juazeiro do Norte

O município de Juazeiro do Norte estabelece em seu PDDU (Lei Municipal nº 2570/2000), no art. 57, cinco Zonas Especiais (ZEs): ZE1 – Parque Central; ZE2 – Parque Ecológico das Timbaúbas; ZE3 – Parque do Rio Salgadinho; ZE4 – Aeródromo; e ZE5 – Área de Preservação da Serra do Catolé/Horto.

Essas zonas são definidas como espaços que constituem:

Art. 55 - [...] áreas para implantação de equipamentos institucionais, públicos ou privados, de grande porte, cujo raio de abrangência extrapole a Cidade de Juazeiro do Norte e que, por suas características físicas relevantes e peculiares, estejam sujeitas a normatizações específicas das esferas federal, estadual ou municipal.

Art. 56 [...] áreas sensíveis e de interesse ambiental, conformadas pelos parques urbanos, pelas áreas de preservação ecológica, em suas várias modalidades, pelas faixas de preservação e proteção de todos os recursos hídricos incidentes no território da Cidade de Juazeiro do Norte.

[...]

O PDDU determina ainda que todas as áreas citadas no artigo 57 se configuram como Unidades de Proteção Ambiental, objetivando proteger e preservar amostras dos ecossistemas ali existentes, de forma a proporcionar oportunidades controladas para uso público e privado.

Essas zonas preveem áreas de proteção que podem ser destinadas ao uso público direto ou indireto assumindo, portanto, um importante papel na constituição de espaços livres no perímetro urbano da cidade voltados para preservação e conservação de áreas de significativo interesse ecológico e ambiental, podendo incluir ou não atividades de lazer e recreação.

As áreas verdes exercem três diferentes funções quando em meio urbano: respeito aos valores visuais e paisagísticos, valores recreativos e valores ambientais. A preservação de áreas verdes protege o solo contra os processos erosivos, ao mesmo tempo que gera condições para o armazenamento de água no subsolo e protegendo os mananciais. Acrescenta-se que áreas como essa, quando em formato linear, têm vantagens sobre os de superfícies extensas, pois para uma mesma superfície, aqueles apresentam proporcionalmente maior perímetro de contato com o tecido urbano, aumentando a sua influência sobre a qualidade de vida da população e proteção ao meio ambiente. (BARTALINI, 1986).

No mesmo PDDU, prevê-se ainda que qualquer intervenção física nessas zonas só poderá ser feita mediante projeto aprovado pela Prefeitura Municipal, ouvido o Conselho Municipal do Plano Diretor e quando couber, o COMDEMA e os órgãos públicos federais ou estaduais pertinentes, ficando restrito qualquer tipo de edificação de propriedade privada nessas Unidades de Proteção Ambiental.

Saturnino de Brito defendia a valorização dos rios e lagos presentes em áreas urbanas, mantendo-os sempre aos olhos da cidade, acreditando que com isso “facilitaria manter um controle mais efetivo sobre o ambiente fluvial, por parte do Estado, e asseguraria a longevidade da salubridade urbana recém-adquirida e preservaria os rios da invisibilidade” (DIEB, 2015), na intenção de evitar a sua marginalização e possivelmente se tornar alvo de descarte de resíduos.

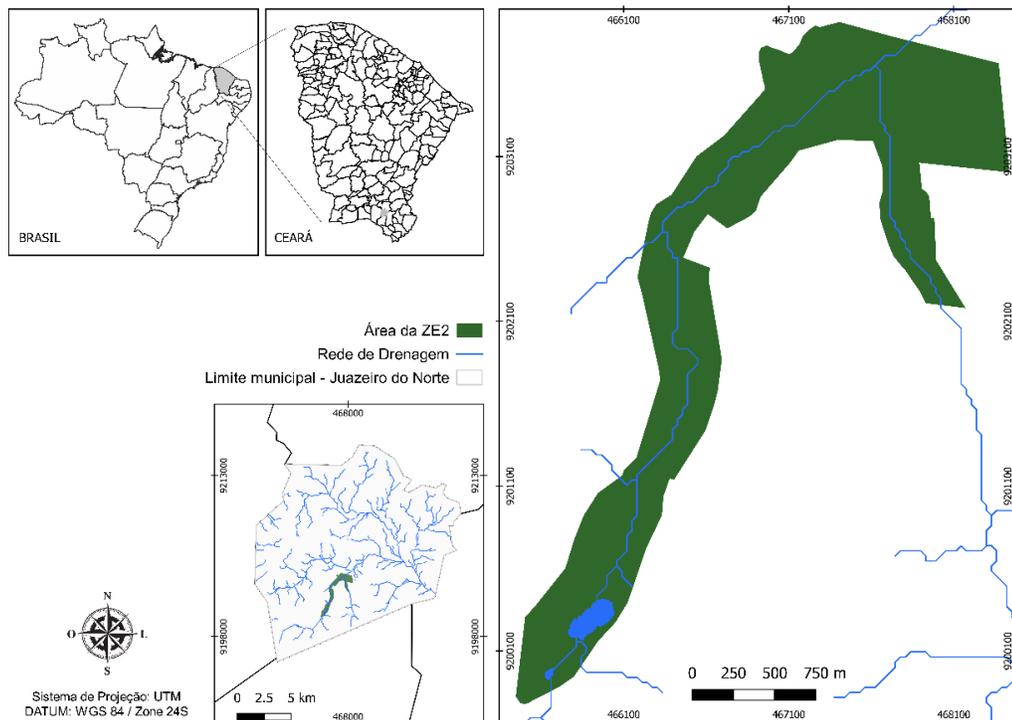
Diferentemente de muitos municípios, Juazeiro do Norte ainda apresenta um significativo espaço territorial composto por áreas verdes e em localidades centrais de fácil acesso à população. No entanto, essas áreas vêm sendo negligenciadas e desvalorizadas pelos gestores, ocasionando em danos à saúde pública e ambiental, bem como à segurança e ao bem-estar da população. Além disso, o impacto visual negativo tem sido comum na paisagem prejudicando às atividades sociais e econômicas localizada nas proximidades desses espaços.

4. METODOLOGIA

4.1. Área de estudo

O estudo foi realizado na ZE2 - Parque Ecológico das Timbaúbas, localizada no município de Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil (Figura 3). O município se configura como o mais desenvolvido, em termos econômicos, da Região Metropolitana do Cariri (RMC), na Mesorregião do Sul Cearense, Brasil.

Figura 2 – Localização e delimitação da ZE2.

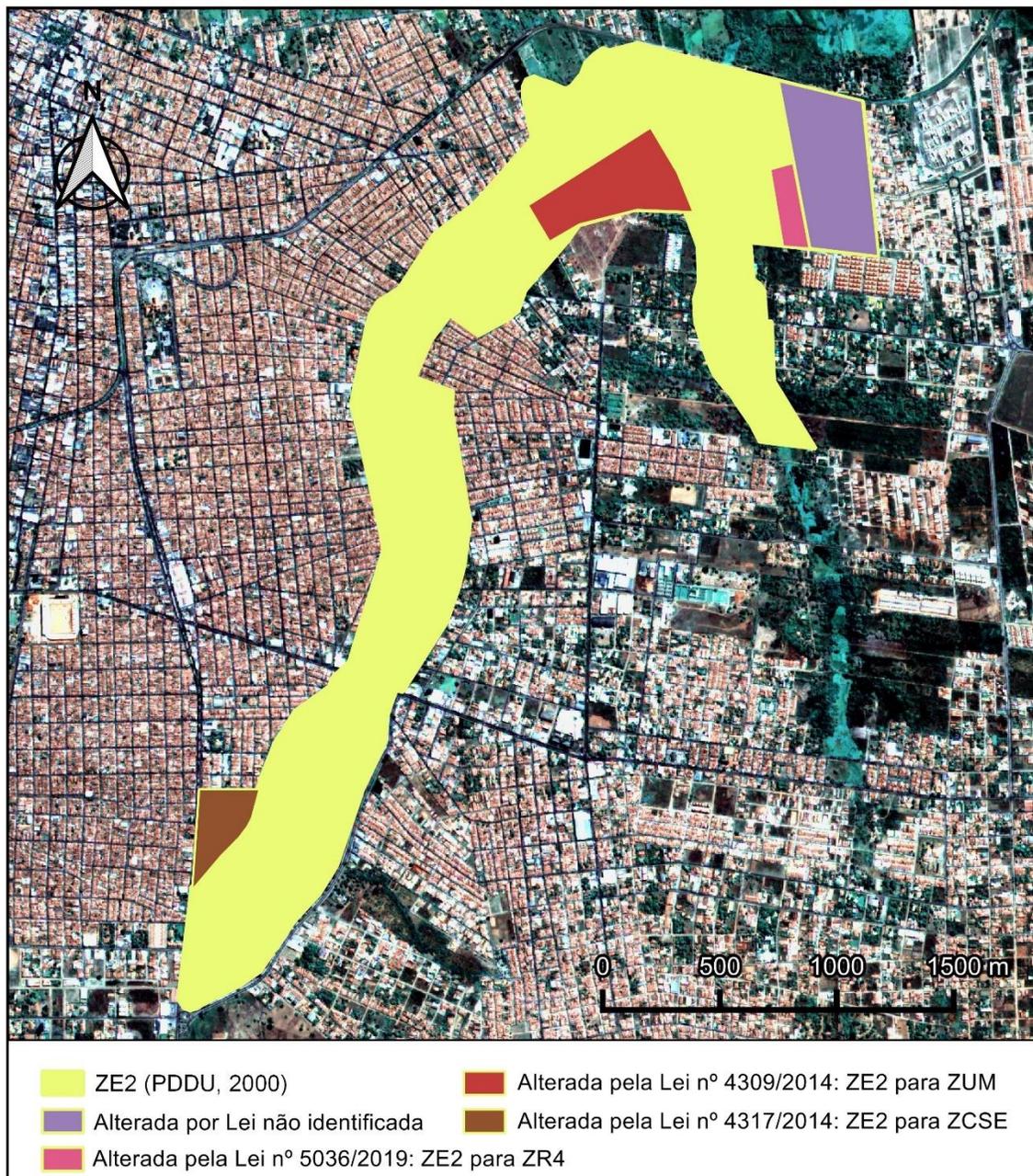


Fonte: Autor (2020)

Dados da Secretaria de Infraestrutura (SEINFRA) do município apontam quatro alterações na área da ZE2 (Figura 3), modificando a sua delimitação original determinada no PDDU de 2000. Essas alterações foram estabelecidas por leis municipais (Apêndice A), respectivamente, a Lei nº 4317 de 22 de maio de 2014 que altera uma parcela da ZE2 para uma Zona Comercial e de Serviços Especiais (ZCSE), a Lei nº 4309 de 10 de abril de 2014 que altera uma parcela da ZE2 para Zona de Uso Misto (ZUM), a Lei nº 5036 de 23 de dezembro de 2019 que altera uma parcela da ZE2 para uma Zona Residencial 4 (ZR4) e, por fim, uma última alteração a qual não conseguiu-se identificar de qual legislação ela é proveniente.

Esta última, apesar do desconhecimento quanto a sua atual zona de ocupação, observou-se *in loco* que a área é predominantemente ocupada por residências unifamiliares, podendo se tratar de uma zona residencial.

Figura 3 - Demonstração das áreas alteradas na ZE2.



Fonte: Adaptado dos dados da SEINFRA (2021).

Dito isso, optou-se por utilizar os limites originais da ZE2 estabelecidos no PDDU de Juazeiro do Norte, exceto pela área alterada através da Lei Municipal nº 4309/2014, a qual

encontra-se parcialmente urbanizada. Tal escolha se justifica no fato de compreender uma melhor área de abrangência para aplicar a malha de pontos e obter melhores resultados, bem como na aplicação das ferramentas SIG para obtenção dos mapas propostos.

Essa área compreende, aproximadamente, 270,9 hectares e enquadra-se como uma Macrozona, unidade territorial de análise ambiental, a qual consiste em uma “área drenada por um rio ou por um sistema fluvial, funcionando como um sistema aberto” dentro de uma escala urbana (BARBOSA; CARVALHO, 2010).

4.2. Contextualização da área de estudo

O município de Juazeiro do Norte compreende uma área de aproximadamente 258 km², equivalente a 0,17% do território do Estado do Ceará, com altitude média de 377 metros e distante em linha reta 396 km da capital cearense, Fortaleza. A sua população está estimada para 2021 em 278.264 habitantes, a terceira maior população do estado, dos quais, apenas 3,93% habitam a zona rural, totalizando uma taxa de urbanização média de 96,07% e atribuindo assim uma elevada densidade demográfica de 1075 hab./km², quando comparada a outras cidades do interior. Por exemplo, Petrolina-PE tem população estimada para 2021 de 359 372 hab. e área total de 4.561,87 km², resultando em uma densidade demográfica de 78,78 hab./km². Pode-se citar ainda Campina Grande-PB, com 413.830 hab. e 593,026km², resultando em 697,83 hab./km² (IBGE, 2021).

Segundo estudo realizado na RMC por Lima *et al.* (2017), o clima predominante da área, conforme classificação de Koppen-Geiger, é o tropical com estação seca, também conhecido como clima de savana, é o nome dado aos climas de temperaturas altas, típico da região central do Nordeste, caracterizada por em todos os meses do ano apresentar temperatura média mensal superior a 18 °C, mas pelo menos um dos meses do ano ter uma precipitação média total de menos de 60mm. Quanto a classificação de Thornthwaite, Juazeiro do Norte se enquadra na classe B₂ r W₂A' a', indicando um tipo climático úmido, com índice de umidade variando de 40 a 60%, pouca ou nenhuma deficiência de água, ao tempo que apresenta elevado potencial de evapotranspiração anual (LIMA *et al.*, 2017).

A pluviosidade média anual nessa cidade fica em torno de 925,1 mm e temperatura média anual entre 24 °C a 26 °C (IPECE, 2017), apresentando duas estações bem diferenciadas: o período chuvoso (de janeiro a maio) e o período seco (de junho a dezembro).

Em relação a vegetação, o município apresenta uma vegetação predominante típica do semiárido, mais especificamente floresta caducifólia espinhosa (Caatinga).

A área objeto desta pesquisa possui remanescentes de vegetação nativa da Floresta Nacional do Araripe (FLONA), em especial, nas limitações do Parque Natural Municipal das Timbaúbas (PNMT; 23,40 ha) que está inserido nela. Esse parque é a primeira Unidade de Conservação (UC) de Proteção Integral do município, criada através do Decreto nº 352/2017.

Os dois principais tipos de solos encontrados no município são solos Aluviais e Podzólico Vermelho Amarelo e relevo de formas suaves, pouco dissecadas, pertencentes à superfície aplainada conhecida por Depressão Sertaneja (IPECE, 2017). Os solos aluviais são formados pela deposição recente de sedimentos e pouco desenvolvidos, apresentando granulometria variável constituída de argila, areia e silte. Quanto aos solos podzólicos ou argissolos vermelho amarelo apresentam características de suscetibilidade a processos erosivos em área de relevo ondulado a fortemente ondulado (ALMEIDA, 2015).

Estudos desenvolvidos na área do Parque Natural Municipal das Timbaúbas que está inserido nas delimitações da ZE2 verificaram que o solo dessa área pode ser classificado, predominantemente, como areia siltosa, indicando alto potencial de erodibilidade (CLARINDO, 2018; MACÊDO, 2019) e enquadra-se como zona de muito alta suscetibilidade a erosão (BANDEIRA *et al.*, 2021). Clarindo (2018) constatou, ainda, que o solo possui baixos valores de coesão, e em certos casos nulos, reforçando o seu potencial de suscetibilidade a erosão. Além disso, o ensaio de *Inderbitzen* revelou coeficientes de erodibilidade (K) superiores a 0,1 g/cm²/min/Pa, em amostras na condição de umidade natural, que são valores típicos de solos que possuem elevada erodibilidade (CLARINDO, 2018).

Quanto aos recursos hídricos, o município de Juazeiro do Norte tem grande representatividade no contexto hídrico da região. Está inserido em uma área que possui alguns dos aquíferos mais importantes do Nordeste brasileiro, que constituem as fontes de água potável para o abastecimento público e privado, bem como para diversas atividades, tais como práticas agrícolas e industriais. Compreende ainda uma parte significativa do Rio Salgado, principal curso d'água da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Salgado, e afluente da Bacia do Rio Jaguaribe. Esse rio nasce na fonte da Batateira no município do Crato, Ceará, com o nome de Rio Batateiras, com uma vazão máxima de 398,0 m³/h, à 720m de altitude (SOUSA, COSTA; GONÇALVES, 2013) e ao chegar

a Juazeiro do Norte, passa a ser denominado Rio Salgadinho (SABIÁ, 2008) e tem como tributários o Riacho das Timbaúbas (RT) e o RM, sendo este último um de seus principais afluentes.

Ademais, no interior da UC supramencionada encontram-se duas lagoas superficiais caracterizadas por intermitentes (JUAZEIRO DO NORTE, 2017). Essas lagoas contribuem com a recarga do aquífero local que é responsável pelo abastecimento de parte do município através de dois poços tubulares geridos pela Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE).

No que se refere a infraestrutura de saneamento, Juazeiro do Norte dispõe de 99% de cobertura dos serviços de abastecimento de água para a zona urbana, superior ao estado que apresenta 92,06% (CEARÁ, 2016). Em contrapartida, o serviço de cobertura urbana de coleta de esgoto está na ordem de 37%, dos quais apenas cerca de 50% possuem ligação efetivada; e somente 23,6% desse esgoto coletado passam por algum sistema de tratamento (CEARÁ, 2016).

Os riachos dos Macacos e das Timbaúbas estão perenizados por efluentes domésticos, devido as precárias condições do sistema de esgotamento sanitário da microbacia. Esses riachos recebem em média 92 pontos de esgotos a céu aberto proveniente de 46 ruas que se encerram a suas margens (OLIVEIRA, 2014). Os indicadores de qualidade dos solos de parte da zona de aluvião do RM revelaram fortes indícios de que parte dessa área se encontra poluída por esgotos (OLIVEIRA, 2014). A mesma autora observou ainda que tanto as águas da Lagoa da UC como do RM não correspondem ao enquadramento de nenhuma das classes de água doce destinadas ao consumo humano, por apresentarem níveis de DBO₅ superiores ao estabelecido na resolução do CONAMA de nº 357 de 2005.

Ademais, Macêdo (2019) verificou em seu estudo que a qualidade da água da Lagoa da UC variou de razoável a ruim, fato esse atribuído ao aporte diário de águas cinzas provenientes do sistema de drenagem de águas pluviais da microbacia. Os bairros envolvidos nessa contribuição apresentam taxas de ligação com a rede coletora de esgoto insuficiente, uma vez que o bairro Romeirão possui apenas 67% de domicílios interligados, seguido dos bairros João Cabral que tem a maior densidade demográfica da microbacia e possui apenas 49,6%, José Geraldo da Cruz com 11% e Tiradentes que não possui rede coletora de esgotos (CAGECE, 2018 *apud* MACÊDO, 2019).

4.3. Procedimento Metodológico

O presente estudo possui uma abordagem quali-quantitativa, consistindo em uma pesquisa de caráter exploratório e explicativo fazendo uso da pesquisa bibliográfica, documental e pesquisa experimental, uma vez que proporcionará a identificação de características do meio físico da área em estudo possibilitando a definição de diretrizes adequadas para o seu uso e ocupação.

A pesquisa se desenvolveu em quatro fases: 1. Levantamento e análise de fontes bibliográficas; 2. Elaboração de representações cartográficas compreendendo aspectos hidrogeomorfológicos e de uso e ocupação do solo; 3. Coleta de amostras de solo de superfície para realização de ensaios de laboratório para obtenção da textura dos grãos e; 4. Realização de ensaios de permeabilidade *in loco*.

4.3.1. Levantamento e análise de fontes bibliográficas

Essa fase dividiu-se em duas subfases: 1. No levantamento bibliográfico de legislações ambientais e urbanísticas vigentes, relatórios técnicos e estudos ambientais pertinentes e existentes da área coletados junto aos órgãos públicos municipais, em especial, a Autarquia Municipal de Meio Ambiente de Juazeiro do Norte (AMAJU) e a Secretaria Municipal de Infraestrutura (SEINFRA) para leitura e análise, bem como de artigos científicos publicados em periódicos nacionais e internacionais que abordem teorias, conceitos, técnicas e tecnologias voltadas ao planejamento ambiental de áreas urbanas, com enfoque na utilização da bacia hidrográfica e/ou vertente como unidade de análise; e 2. Na Revisão Integrativa Sistemática (RIS) de dados de análise e monitoramento ambiental da ZE2, no período de 2010 a 2020.

A primeira subfase se distribuiu em todo o processo de construção da pesquisa, uma vez que é necessária para a tabulação de dados e atualização de informações a partir de descobertas pontuais ou difusas.

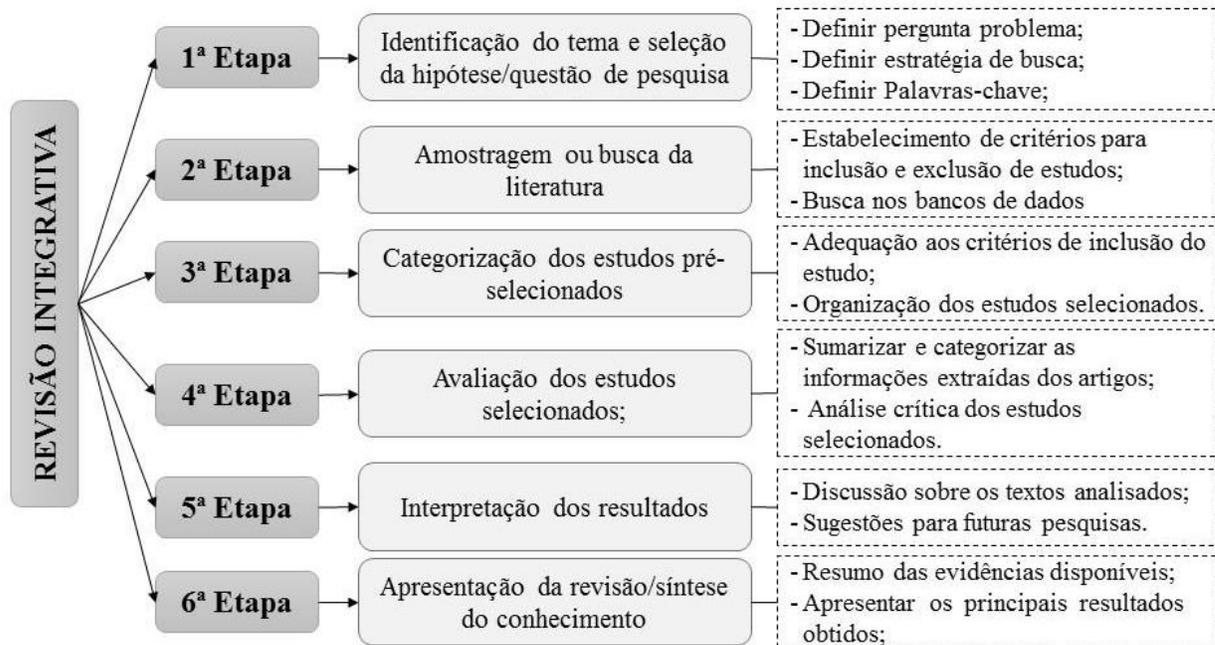
Na segunda subfase foi realizada uma busca avançada de duas ferramentas: o Portal de Periódicos da CAPES e o *Google Scholar*. A primeira, criada pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), é uma biblioteca virtual que reúne e disponibiliza a instituições de ensino e pesquisa no Brasil o melhor da produção científica internacional, contando com 30 bases referenciais e 12 bases dedicadas exclusivamente a patentes. Essa ferramenta disponibiliza artigos indexados em periódicos como *Ecotoxicology*, *Environmental Earth Sciences*, *Scopus (Elsevier)*; *Environmental Monitoring And Assessment*;

Environmental Science and Pollution Research; Environmental science and pollution research international; Hydrobiologia; International journal of environmental research and public health; PLoS ONE; Science Of The Total Environment; Urban Ecosystems; ScienceDirect (Elsevier); Water Research, dentre outras.

A ferramenta *Google Scholar* funciona como um repositório de artigos científicos, monografias, dissertações, teses e livros. Esse buscador indexa conteúdos de bases de acesso abertos como a *SciELO*, *Altametric* e *Wiley*, congressos nacionais e internacionais, dentre outros.

A RIS possui uma análise narrativa e tem por objetivo revisar métodos, teorias e/ou estudos empíricos sobre um tópico particular visando discutir sobre uma problemática específica, analisando amostras de pesquisas quantitativas e/ou qualitativas (BOTELHO, CUNHA e MACEDO 2011). Para a construção desta revisão foi preciso percorrer seis etapas distintas ilustradas na Figura 4.

Figura 4 – Procedimento metodológico da Revisão Integrativa Sistemática



Fonte: Adaptado de Botelho; Cunha; Macedo (2011).

Diante do processo metodológico apresentado, definiu-se as palavras-chave (Etapa 1) e critérios de seleção (Etapa 2) apresentados no Quadro 1, os quais foram aplicados na etapa de busca nos bancos de dados, observando a presença desses no Resumo dos artigos. Optou-se por utilizar

como palavra-chave o “Riacho dos Macacos” como base de busca dos dados de qualidade ambiental da ZE2, pois se trata do principal curso d’água integrante da zona, percorrendo cerca de 70% da sua área.

Quadro 1 – Palavras-chave e critérios de seleção dos artigos.

Palavra-chave	Critérios de Seleção
“Riacho dos Macacos”	<ul style="list-style-type: none"> - Compreender, de fato, o riacho dos macacos de Juazeiro do Norte na área de estudo; - A pesquisa ser sobre monitoramento e análise ambiental e/ou socioambiental; - Em língua portuguesa, inglesa ou espanhola; - Publicados e indexados entre 2010 e 2020

Na etapa de busca da literatura (2ª etapa), um total de 117 documentos resultaram da aplicação da palavra-chave supramencionada no *Google Scholar*, entre artigos, teses e dissertações, dos quais somente 11 foram pré-selecionados, seguindo os critérios supramencionados pelo seu resumo, para posterior análise do arquivo completo e adequação aos critérios. Enquanto no periódico CAPES obteve-se o resultado de 2 arquivos a partir da aplicação da palavra-chave, selecionando-se previamente apenas 1, pois o outro tratava-se de resumo simples.

Além dos artigos selecionados por meio do referido procedimento de revisão, optou-se por selecionar cinco dissertações de mestrado acadêmico e uma tese de doutorado, das quais não foi localizado artigos científicos publicados. Seguiu-se como critérios para selecioná-las: compreender a área do RM ou áreas adjacentes e ter sido publicada nos últimos dez anos. Os bancos de dados utilizados para encontrá-las foram os programas de mestrado e doutorado das universidades mais relevantes nessa temática no estado do Ceará, são elas: Universidade Federal do Cariri (UFCA) e Universidade Federal do Ceará (UFC). Esses trabalhos de análise e monitoramento ambiental foram desenvolvidos entre 2013 e 2019.

4.3.2. Elaboração de representações cartográficas de aspectos hidrogeomorfológicos e de uso e ocupação do solo

Construiu-se as seguintes cartas cartográficas para a análise hidrogeomorfológica: Delimitação e Caracterização Morfométrica das Microbacias, o Mapa de Fluxo de Escoamento Superficial, Mapa de Declividade e Hipsométrico, Mapa das Porcentagens de Areia e Argila nas amostras de solo coletadas e Mapa dos Coeficientes de Permeabilidade do solo. Ademais,

sintetizou-se também o Mapa de uso e ocupação do solo detalhado e carta imagem da ZE2 utilizando-se de mosaico de imagens históricas no intuito de observar a evolução da área antropizada na ZE2, considerando a progressão de vinte anos (desde 2000).

A base de dados para a confecção de todo o material cartográfico consistiu no uso de arquivos vetoriais e matriciais oriundos do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), por meio de imagens multiespectrais de satélite, dados geográficos disponibilizados no *website* do Ministério do Meio Ambiente (MMA), dos Serviço Geológico do Brasil da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). O programa utilizado no processamento digital de imagens para processamento das imagens e elaboração de *layout* dos mapas foi o *software* livre de geoprocessamento *Quantum Gis* (QGis) versão 3.10.7 e ArcGis 10.5, ambos configurados no sistema de projeção cartográfica Universal Transversal de Mercator (UTM).

4.3.2.1. Delimitação e caracterização morfométrica das microbacias

Para esse levantamento, utilizou-se o mesmo MDE do SRTM com Resolução Espacial de 30 metros e os produtos do mapa anterior. A delimitação das microbacias foi realizada a partir das ferramentas “*Spatial Analyst: Hydrology*”. Com isso, gerando-se o Fluxo Acumulado das microbacias, extraiu-se os fluxos através da “Calculadora *Raster*” e seguidamente a rede de drenagem e suas respectivas ordens através da ferramenta “Ordem dos Cursos da Água”. A partir do *shapefile* obtido, o mesmo foi convertido em “linha”.

Posteriormente, utilizando recursos do SIG, foram calculados alguns parâmetros físicos tais como: área, perímetro, comprimento do rio principal, comprimento das redes de drenagens, comprimento do talvegue, número de segmentos dos rios, entre outros, e tais dados foram à base para diversos cálculos para determinar alguns parâmetros físicos (Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetros fisiográficos utilizados na caracterização Morfométrica das Microbacias e suas respectivas metodologias.

	Parâmetros fisiográficos	Descrição	Equação	Fonte
Forma	Área da Bacia (A)	Extensão da área de drenagem plana do território da bacia hidrográfica limitada pelos divisores topográficos, em km ² .	Através das ferramentas do SIG Arcgis 10.5.	
	Perímetro (P)	Medida de contorno da bacia, em km.		

Continua.

Cont. Tabela 1.

Forma	Comprimento de canal principal (L)	Medida do canal de maior comprimento na microbacia, considerando-se as ordens dos canais para sua definição, em km.	Através das ferramentas do SIG Arcgis 10.5.	
	Comprimento total dos canais (ΣL)	Soma do comprimento de todos os canais obtidos pelas ferramentas do SIG, em km.		
	Comprimento de Talvegue (L_t)	Distância vetorial do canal principal, em km.		
	Coefficiente de compacidade (K_c)	Relação entre o perímetro da bacia (P) e o perímetro (P') de um círculo de área (A) igual à da bacia.	$P = 0,28 \frac{P'}{\sqrt{A}}$	Lima (1969)
	Coefficiente de conformação (K_f)	Relação entre a área (A) e o quadrado de seu comprimento axial (L_A).	$K_f = \frac{A}{L_A^2}$	Horton (1945)
	Índice de circularidade (I_c)	Relação entre a área da bacia (A) e o seu perímetro (P).	$I_c = 12,57 \frac{A}{P^2}$	Miller (1953)
Drenagem	Ordem dos canais	Número atribuído aos canais, sendo de 1ª ordem aqueles que não apresentem afluentes. O canal formado pela junção de dois canais com a mesma ordem tomará uma ordem maior.	Obtida através da ferramenta “Ordem dos cursos de água” do Arcgis 10.5.	
	Densidade de drenagem (Dd)	Relação entre o comprimento total dos canais (ΣL) e a área da bacia (A), em Km/Km².	$Dd = \frac{\Sigma L}{A}$	Horton (1945)
	Índice de Sinuosidade (I_s)	Relação entre o comprimento do rio principal (L) e o comprimento do talvegue (L_t).	$I_s = \frac{L}{L_t}$	Christofolletti (1980)
Relevo	Altitude	Distância vertical medida entre um determinado ponto e o nível médio do mar, havendo ponto máximo (A_{mx}), mínimo (A_{min}) e médio (A_m).	Extraída do MDE através da ferramenta “Curva de Nível” do Arcgis 10.5.	
	Amplitude Altimétrica (H)	Diferença entre a maior e a menor altitude da área da bacia, em metros.	$H = A_{máx} - A_{mín}$	Marchetti (1980) e Cristofolletti (1980)
	Declividade Média	Relação entre a amplitude altimétrica (H) e a distância entre as duas cotas.	$D_c = \frac{H}{L_c}$	Villela e Matto (1975)

Fonte: Autora, adaptado de Silva, et al. (2012) e Silva (2019).

4.3.2.2. Mapas de declividade e hipsométrico

A elaboração do mapa de declividade serve para analisar e decidir o melhor uso e aproveitamento do solo, uma vez que para isso é necessário à compreensão das características físicas ambientais para que se tenha uma melhor adequação dos projetos e dos usos referentes ao solo. Assim como, a carta hipsométrica é caracterizada por informar a altimetria da área, proporcionando uma visão ampla do relevo e do rebaixamento do terreno.

Para elaboração desses mapas, através do *software* QGis, foram empregadas curvas de nível equidistantes de 5 m através do processamento da imagem *Digital Elevation Model* (DEM) do

radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com Resolução Espacial de 30 metros, obtidos gratuitamente no site da USGS *Earth Explorer*, utilizando-se uma escala de 1:40.000.

Na síntese do Mapa de Declividade considerou-se os diferentes intervalos de classes de declividade da vertente propostas por Barbosa (2010) que funcionam como indicativos do potencial de processos erosivos, dos riscos de deslizamentos, inundações e restrições de uso (Quadro 2).

Quadro 2 – Classes de Declividade

Classes de Declividade (%)	Descrição dos Intervalos
0 a 5,9%	Limite urbano-industrial, utilizados internacionalmente e em trabalhos de planejamento urbano
de 6 a 11,9%	Limite máximo da mecanização na agricultura
de 12 a 19,9%	Intervalo sem restrições para urbanização
de 20 a 29,9%	Limite máximo de urbanização sem restrições previstos pela lei 6766/79 (Lei de Parcelamento de Solo Urbano), porém com exigências específicas
de 30 a 49,9%	Intervalo não propício a urbanização, necessidade de preservação da cobertura vegetal para manutenção do equilíbrio
maior que 50%	Intervalo extremamente crítico para urbanização, necessidade de preservação da cobertura vegetal para manutenção do equilíbrio

Fonte: Barbosa (2010)

O mapa de declividade tem sido uma ferramenta fundamental nessas duas últimas décadas para o planejamento regional, urbano e agrário.

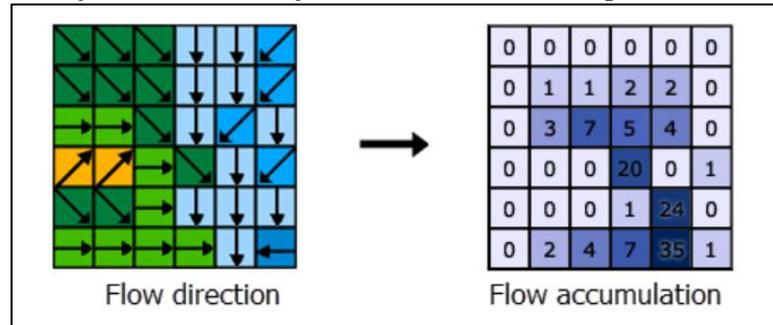
4.3.2.3. Mapa de fluxo de escoamento superficial

A análise do comportamento do fluxo de escoamento superficial compreendeu toda a Microbacia para melhor representar a dinâmica de escoamento desse espaço, possibilitando a identificação de pontos da ZE2 mais frágeis a contaminações.

Para elaborar esse mapa, utilizou-se o mesmo MDE do SRTM com Resolução Espacial de 30 metros com informações originais disponíveis para a América do Sul, obtidos gratuitamente no site da USGS *Earth Explorer*, utilizando-se uma escala de 1:70.000. O processamento dessa imagem foi realizado no ArcGis 10.5, utilizando-se as ferramentas *Arc Hydro Tools* e *Spatial Analyst* que consistiu basicamente em quatro etapas: 1. Preenchimento de sinks (*fill sinks*); 2. Direção de fluxo (*flow direction*); 3. Fluxo acumulado (*Flow accumulation*). A partir da direção de fluxo, o fluxo acumulado é obtido através do peso acumulado de todas as células fluindo para cada célula inclinada para baixo no raster de saída (MDE) de direção do fluxo (ou escoamento), indicando os respectivos valores de acúmulo de água dentro de cada pixel (Figura 5). As células

com alto acúmulo de fluxo são áreas de fluxo concentrado e podem ser úteis na identificação de canais de fluxo.

Figura 5 – Ilustração da determinação de fluxo acumulado pela ferramenta do ArcGis.



Fonte: ESRI ArcGis Pro

4.3.2.4. Carta imagem da ZE2: Evolução da área urbanizada em 20 anos

Para a carta imagem da ZE2 utilizou-se imagens históricas do satélite SPOT 5 para os anos 2000, 2005 e 2010, registradas nos meses de abril, março e setembro, respectivamente, obtidas através da base de dados do Centro Nacional de Estudos Espaciais (CNES do inglês: *Centre National D'études Spatiales*) e imagens do satélite CBERS 4A pela câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM do inglês: *Multispectral and Panchromatic Wide-Scan Camera*) para o ano de 2020, registrada no mês de julho, obtidas através dos dados do INPE.

A escolha da data das imagens se deu conforme a nitidez destas, priorizando a ausência de nuvens (aplicando o filtro de cobertura máxima de 10%) e o período de seca. No entanto, em virtude da ausência de imagens com resolução máxima de 30 metros nos períodos propostos, algumas das imagens obtidas foram no período chuvoso da região (2000, 2005 e 2020).

Para processamento das imagens utilizou-se o *Software* ArcGis 10.5 e para elaboração do *layout* o SIG QGis 3.10.7, recortando as imagens tomando como ponto de referência os limites da ZE2 a uma escala de 1:45.000.

4.3.2.5. Mapa detalhado de uso e ocupação do solo da ZE2

Este mapa consiste no detalhamento das atividades econômicas e residências existentes na área da ZE2, as quais foram levantadas através do *Software* QGis com auxílio de imagem de satélite do *Google Earth* do ano de 2021.

Para isso foram definidas 15 classes de uso e ocupação, tomando como base as literaturas estudadas e descritas no referencial teórico do presente trabalho, bem como a partir da interpretação

da imagem utilizada e visitas a campo no intuito de auxiliar no processo de interpretação das imagens.

4.3.3. Ensaios geotécnicos

Os Ensaios Geotécnicos restringiram-se a área delimitada da ZE2, objeto de estudo dessa pesquisa. Levantou-se dados de: granulometria e densidade dos grãos através de ensaios em laboratório; e coeficiente hidráulico *in loco* mediante uso do Permeâmetro de *Guelph*, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Parâmetros analisados e seus respectivos métodos de análise

Parâmetro	Método	Referência
Granulometria por peneiramento e sedimentação	Preparo das porções para os ensaios	NBR/ABNT 6457:2016
	Análise granulométrica	NBR/ABNT 7181:2016
Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos	Porcentagem de Dispersão (%)	NBR/ABNT 13602/1996
Avaliação da erodibilidade	Razão de Dispersão (RD; %)	Middleton (1930)
Peso Específico Real	Método do Picnômetro	NBR/ABNT 6458:2016
Condutividade Hidráulica de campo saturado	Permeâmetro de <i>Guelph</i>	Manual de Operação do Permeâmetro de <i>Guelph</i> Modelo 2800K1

Fonte: Autor (2020)

4.3.3.1. Malha amostral

Inicialmente, para realização dos ensaios, construiu-se uma malha amostral através da ferramenta “*Regular Points*” do *Software* QGis, de forma aleatória, utilizando-se um espaçamento de 200 metros entre os pontos. Após aplicação dessa ferramenta, sabendo-se que a área de estudo sofre uma grande interferência antrópica atribuindo características heterogêneas a mesma, medidas que visem atenuar o efeito dessa heterogeneidade devem ser consideradas. Logo, empregou-se os seguintes critérios para manutenção e realocação de determinados pontos: 1. Áreas com vegetação; 2. Áreas degradadas com grande interferência antrópica; 3. Nível de urbanização da área; e 4. Declividade. A partir dessa malha amostral, selecionou-se 73 pontos.

No entanto, durante o desenvolvimento dos ensaios *in loco*, observou-se que esse espaçamento poderia ser aumentado para, em média, 400 metros entre os pontos considerando que, em geral, as amostras de espaçamento de 200 metros apresentaram características semelhantes e,

tendo em vista as dificuldades encontradas em campo para obtenção das amostras em decorrência de áreas impermeabilizadas e solos com acúmulo de entulhos.

Desta forma, prosseguiu-se com os ensaios utilizando essa margem de espaçamento, exceto para trechos que possuem áreas com grande interferência antrópica, resultando em 29 pontos amostrais (Tabela 2 e Figura 6), dos quais, sete tiveram que passar por revisão para o ensaio de Permeabilidade e um para todos os ensaios geotécnicos propostos, conforme será descrito os referentes motivos nos tópicos específicos de cada temática.

Ademais, no intuito de contribuir com a cobertura da área quanto aos dados de caracterização do solo, utilizou-se dados existentes da pesquisa de Clarindo (2018), conforme Tabela 3, o qual realizou os mesmos ensaios de granulometria com e sem defloculante em laboratório e de permeabilidade *in loco* em três pontos distintos (PC1, PC2 e PC3) coletados na área do PNMT.

Tabela 2 – Georreferenciamento dos pontos de amostragem de ensaios geotécnicos na área da ZE2, em Juazeiro do Norte-CE

		Pontos amostrais							
		P01	P01.1	P02	P03	P04	P05	P06	P06.1
Coordenadas UTM	X	466470	466481	466200	465939	465791	466250	466007	466036
	Y	9201289	9201357	9200689	9200812	9199988	9201295	9201062	9201066
		P07	P08	P09	P10	P10.1	P11	P12	P13
	X	467358	466455	466413	466240	466267	465591	465691	467819
	Y	9203821	9201746	9201379	9201338	9201378	9200294	9200218	9202413
		P14	P15	P16	P17	P17.1	P18	P19	P20
	X	467901	466328	468162	466540	466556	467251	466249	466868
	Y	9202620	9202326	9203675	9202683	9202709	9203624	9202639	9203328
		P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28
	X	466957	467799	466972	467349	467654	468073	468375	467707
	Y	9203715	9203306	9203087	9203260	9202996	9203300	9203082	9203751

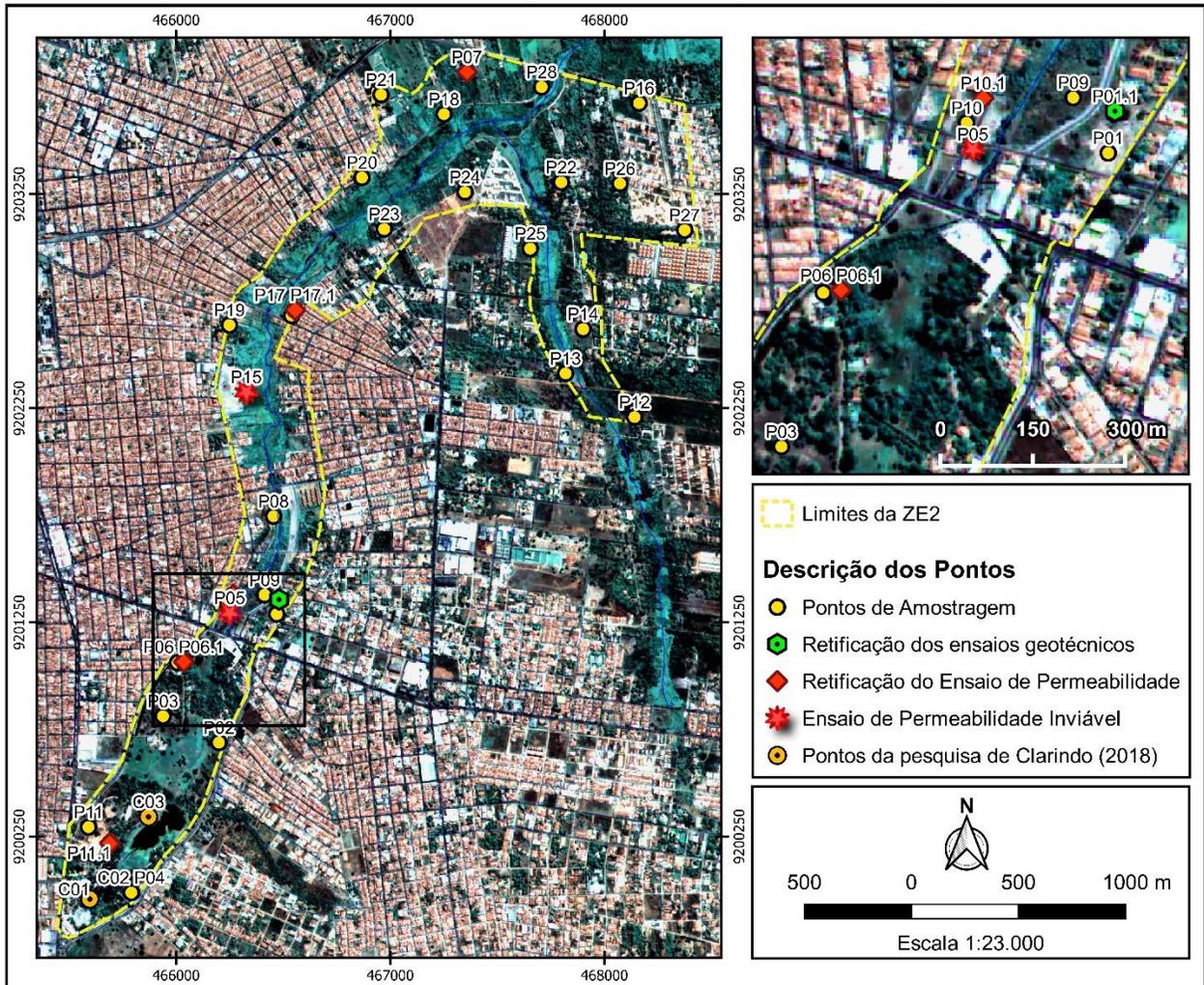
Fonte: Autor (2021)

Tabela 3 – Dados de granulometria e permeabilidade em três pontos na área do PNMT

Ponto	Coordenadas UTM		Pedreg.	Areia			Silte	Argila	% Pass. #200	Kf (cm/s)
	Latitude	Longitude		Grossa	Média	Fina				
C01	465598	9199957	0.1	3	52	20	8.2	16.7	28	$1,4 \cdot 10^{-3}$
C02	465597	9199958	0	5	65.1	15	6.9	8	18	Negativo
C03	465871	9200342	0.4	14.8	65.2	10	2.8	6.8	10	$2,3 \cdot 10^{-3}$

Fonte: Clarindo (2018)

Figura 6 – Malha amostral dos pontos de realização dos ensaios geotécnicos



Fonte: Autor (2021)

4.3.3.2. Textura do solo

A textura do solo é um parâmetro que descreve a proporção relativa das partículas do solo conforme o seu tamanho (pedregulho, areia, silte e argila). Ela pode influenciar no resultado dos demais parâmetros supramencionados, respondendo, inclusive, às características de permeabilidade distintas existentes na área. Para determinação desse parâmetro realizou-se ensaios de análise granulométrica por peneiramento e sedimentação, com e sem defloculante e o peso específico dos grãos.

Foram coletadas uma amostra deformada de cada ponto com aproximadamente 10kg, cada, totalizando 30 amostras, entre o período de setembro e dezembro de 2020, sendo uma delas resultante da revisão do ensaio de permeabilidade do ponto P01 (denominado P01.1), verificando-se *in loco* a necessidade de analisar a granulometria do solo também, tendo em vista apresentar-se,

visualmente, com características distintas do P01. Elas foram retiradas em superfície a cerca de 20 cm de profundidade, removendo os 10 cm da camada superficial de matéria orgânica, conforme o que preconiza nas suas respectivas normas técnicas. Após retiradas, as amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos e direcionadas para o Laboratório de Mecânica dos Solos da Universidade Federal do Cariri (UFCA), *campus* Juazeiro do Norte/CE. Essas medidas de profundidade foram alteradas no decorrer da pesquisa, conforme foi observado características específicas e/ou variações nas camadas de cada solo *in loco*.

A apresentação dos dados de textura dos solos compreende dois mapas temáticas: o primeiro, representa a porcentagem de areia, somando-se as parcelas fina, média e grossa; e o segundo, a porcentagem de argila. Ambos foram desenvolvidos no *Software* ArcGis 10.5 através da ferramenta *Interpolation* do *Spatial Analyst Tools* utilizando o método de Ponderação do Inverso da Distância (IDW do inglês: *Inverse distance weighting*).

A partir dos dados obtidos pelos métodos de granulometria com e sem defloculante, realizou-se a avaliação de dispersibilidade de solos argilosos pelo Ensaio Sedimentométrico Comparativo seguindo o método disposto na NBR 13.602/1996 da ABNT. Este ensaio também é conhecido como ensaio de dispersão SCS, em decorrência da contribuição dada pelo *Soil Conservation Service*, dos Estados Unidos da América, para a disseminação deste procedimento. Para essa pesquisa considerou-se a NBR 6.502/1995, a qual estabelece o diâmetro da partícula de argila de até 0,002 mm e silte de 0,002 a 0,005 mm. O ensaio consiste na comparação entre os resultados do ensaio granulométrico que utiliza a agitação mecânica e o uso do agente dispersante (defloculante) com o mesmo ensaio, porém sem a utilização do defloculante e da agitação mecânica.

A porcentagem de dispersão que é o parâmetro obtido do ensaio é expressa de acordo com a equação 1.

$$\% \text{ dispersão} = \left(\frac{A}{B} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde:

A = porcentagem, em massa, de partículas com diâmetro menor que 0,002 mm, determinada no ensaio sedimentométrico sem defloculante;

B = porcentagem, em massa, de partículas com diâmetro menor que 0,002 mm, determinada no ensaio Sedimentométrico com defloculante e agitação, conforme a NBR 7181.

De modo a avaliar também a erodibilidade em função da porcentagem de dispersão, Araújo (2000) propôs a divisão do potencial de erodibilidade em médio, alto e muito alto para cada faixa da porcentagem de dispersão encontrada, conforme segue:

- 20% < % dispersão < 25% → Erodibilidade média.
- 25% < % dispersão < 50% → Erodibilidade alta.
- % dispersão < 50% → Erodibilidade muito alta.

Quanto ao parâmetro RD (Razão de Dispersão) proposto por Middleton (1930), o mesmo é calculado através da equação 2, para avaliar a erodibilidade do solo.

$$RD = \frac{(\%silte + \%argila)_{sem\ defloculante}}{(\%silte + \%argila)_{com\ defloculante}} \times 100 \quad (2)$$

4.3.3.3. Condutividade hidráulica de solo saturado

Para a realização deste ensaio utilizou-se o Permeâmetro de Guelph do modelo 2800K1. Este método, rápido e simples, é usado para determinar em uma única medição, simultaneamente, a condutividade hidráulica de solo saturado no campo, o potencial de fluxo matricial, a taxa de infiltração, dentre outros.

Por se tratar de uma área próxima as margens de cursos d'água e conhecida por ser alagadiça, optou-se por realizar os ensaios durante a estação de seca da região, entre os meses de setembro e dezembro de 2020, uma vez que nesse período normalmente não são registradas chuvas diárias expressivas conforme calendário de chuvas diárias dos anos anteriores da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), visando evitar que os pontos a serem ensaiados estivessem com o solos em condição de alagamento, podendo interferir na obtenção de resultados do ensaio.

Foram analisados um total de 35 pontos em localizações distintas, utilizando-se uma profundidade média de 20 cm para realização dos ensaios. Desses pontos, sete passaram por revisão, necessitando de retorno a campo para refazer o ensaio – seis em pontos próximos e um em ponto mais distante da localidade inicial. Tal situação se fez necessária, pois esses pontos apresentaram resultados incoerentes, indicando uma possível descontinuidade hidráulica do solo podendo ser ocasionada por diversas interferências como a presença de vazios formados pela ação

de formigas, raízes de vegetação ou, ainda, pela presença de resíduos sólidos que condicionaram vazios nas camadas de solo. Esse último sendo o mais recorrente, a partir da realidade da área de estudo observada *in loco*. Por fim, obteve-se, para esse parâmetro, dados satisfatórios em 28 pontos.

Para representar esses resultados, utilizou-se também de mapa temático desenvolvido no *Software ArcGis 10.5* através da ferramenta *Interpolation* do *Spatial Analyst Tools* utilizando a técnica de Ponderação do Inverso da Distância (IDW do inglês: *Inverse distance weighting*).

Nesse método, as localizações de valor desconhecido são calculadas em recurso a uma média ponderada pelo inverso das distâncias dessa mesma localização à localização de valores conhecidos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Diagnóstico da qualidade ambiental da ZE2 a partir da RIS

A partir dos dados da análise e monitoramento ambiental levantados através dos artigos científicos, dissertações e tese produzidos nos últimos dez anos, na área objeto de estudo dessa pesquisa, foi construído o Quadro 4, no qual estão destacados os principais resultados encontrados pelos autores quanto à qualidade ambiental do ZE2.

Quadro 4 – Síntese dos estudos realizados na área da ZE2 publicados em formato de artigo científico, dissertação e tese.

Autor/ Ano	Base de Indexação	Objetivo	Resultados/Conclusão
Bezerra <i>et al.</i> (2012)	VII CONNEPI (Anais)	Avaliar a qualidade físico-química das águas subterrâneas de poços que estão localizados às margens do RM na cidade de Juazeiro do Norte-Ceará, para irrigação, bem como classificar as águas quanto ao seu potencial de salinização.	Constataram que 75% dos oito poços tubulares amostrados (PT01, PT02, PT03, PT05, PT06 e PT07) apresentam presença significativa de teores de sólidos dissolvidos (risco médio de causar salinização dos solos). Enquanto 50% (PT02, PT03, PT06 e PT07) dos poços apresentaram uma concentração de nitrato acima da concentração máxima permitida pelos padrões da legislação que é de 10 mg/L. A interpretação de tais dados indica contaminação dessas águas por águas residuárias domésticas. Esse fato pode estar diretamente ligada com a poluição do RM por meio de esgotos domésticos e também industriais.
Bezerra, Souza e Almeida (2012)	VII CONNEPI (Anais)	Avaliar a qualidade físico-química das águas subterrâneas de poços que estão localizados próximo ao RM na cidade de Juazeiro do Norte-Ceará em diferentes épocas do ano.	As águas de um dos nove poços estudados encontram-se fora dos padrões estabelecidos pela legislação em relação à concentração de nitrato, indicando que elas provavelmente estão contaminadas por águas residuárias. Esse fato pode estar ligado a poluição do RM. Este riacho constitui um dos principais meios de recarga do aquífero estudado.
Santos <i>et al.</i> (2014)	Revista Engenharia Sanitária e Ambiental	Investigar os impactos sofridos pelo aquífero Rio da Batateira devido a níveis elevados de contaminação por esgoto urbano no RM	A modelagem de transporte de soluto MT3D associado ao modelo de fluxo MODFLOW mostrou que a pluma de contaminante ocorre, predominantemente, na vertical, por causa da recarga proveniente do riacho poluído e do bombeamento dos poços, cujos filtros encontram-se a grandes profundidades, induzindo um fluxo descendente. Os resultados também mostraram que há um aumento gradual nas concentrações de cloretos nas águas explotadas. Em uma simulação futura observou-se que as concentrações de cloretos relativamente elevadas nas águas dos poços podem voltar aos valores naturais do aquífero em aproximadamente um ano, caso seja interrompido o lançamento de esgoto no riacho. Logo, o RM constitui o elo principal na conexão entre as águas superficiais poluídas e as águas subterrâneas, necessitando de elevada atenção e proteção.

Continua.

Cont. Quadro 4.

Bezerra et al. (2015)	IV Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo (Anais)	Determinar o coeficiente de permeabilidade de uma zona da área de aluvião do RM	Percebeu-se uma grande variabilidade espacial entre os valores de Condutividade hidráulica do solo saturado (Ks) encontrados, entre 10^{-3} e 10^{-4} cm/s, que pode ser explicada pela heterogeneidade textural e estrutural do solo em estudo, como também pela presença de raízes de plantas, atividade microbiana, rachaduras localizadas ocasionadas pelas épocas de estiagens, entre outros fatores.
Maia et al. (2015)	28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental	Analisar a composição da matéria orgânica dos sedimentos no Rio Batateiras e nos Riachos São José, Timbaúbas e Macacos, no período de fevereiro de 2012 a março de 2013.	Ao se comparar as amostras de solo de áreas adjacentes aos pontos de coleta com as de sedimento de leito dos riachos de interesse, verificou-se valores relativamente próximos, o que sugere aporte recente de partículas de solo da área de drenagem. Quanto à variação em relação às estações seca e chuvosa, o estudo identificou um aumento das concentrações das Substâncias Húmicas na estação seca, o que indica uma baixa perda da matéria orgânica por lixiviação do solo.
Oliveira et al. (2015)	72º SEOA / Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC	Determinar as concentrações de metais Zn, Cu, Cr, Co, Ni, Mn e Fe em sedimentos superficiais de riachos urbanos da cidade de Juazeiro do Norte (RM e riacho São José).	As concentrações dos metais variaram na faixa entre 79 – 187 mg Zn.kg ⁻¹ ; 6 – 37 mg Cu.kg ⁻¹ ; 11 – 33 mg Cr.kg ⁻¹ ; 1 – 11 mg Co.kg ⁻¹ ; 2 – 45 mg Ni.kg ⁻¹ ; 45 – 635 mg Mn.kg ⁻¹ ; 15 – 40 g Fe.kg ⁻¹ . Os resultados demonstram valores em geral inferiores aos limites preconizados pela resolução CONAMA 344/2004, onde Zn, Cu (exceto no P6), Cr, Ni (exceto no P7) apresentam valores abaixo do nível de efeito limiar (TEL).
Ursulino et al. (2015)	IV Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo (Anais)	Avaliar a qualidade das águas de 16 poços tubulares usados no abastecimento público do município de Juazeiro do Norte.	Cinco poços (PT 02, PT 03, PT 07, PT 09 e PT 27) apresentaram valores de nitrato (mgN-NO ₃ -/L) acima do valor máximo permitido pela Portaria, 10 mg/L, indicando poluição por esgoto doméstico.
Macêdo et al. (2018)	Nature and Conservation	Georreferenciar os pontos de disposição irregular de resíduos sólidos no entorno do RM tomando como ponto inicial o Parque Ecológico das Timbaúbas.	Observaram o acúmulo irregular de RSU de origem doméstica e industrial em 11 principais pontos de acúmulo, ao longo do RM e do Parque Ecológico das Timbaúbas. Tais como: restos alimentares, podas de árvores, plásticos, garrafas PET, vidros, lâmpadas, madeiras de móveis no geral, tecidos, borracha industrial do setor calçadista, pneus de automóveis, entulhos, vasos sanitários, contaminantes químicos em geral, entre outros.
Silva et al. (2019)	30º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente (Anais)	Avaliar os valores de nitrato em 08 poços tubulares de abastecimento público de Juazeiro do Norte – CE, da bateria de poços da Timbaúba, às margens do RM.	Em quatro anos de monitoramento das concentrações de Nitrato nos poços escolhidos observou-se um aumento considerável no teor de nitrato no primeiro semestre dos anos de 2011, 2013 e 2014, onde a maioria dos poços analisados apresentou teores elevados de nitrato, acima do valor limite permitido pela Portaria de Consolidação PRC n. 05/2017 do Ministério da Saúde para água tratada.

Continua.

Cont. Quadro 4.

Xavier et al. (2019)	Applied Geochemistr y (Elsevier)	Mapear genes resistentes a metais pesados de comunidades bacterianas do RM comparados aos do Rio Grangeiro.	Vários genes associados à resistência ao cobre, como <i>Cu ATPase</i> , <i>multicopper oxidase</i> , <i>czc</i> , bem como genes associados à resistência ao zinco, foram encontrados, especialmente da família <i>czc</i> . Na análise taxonômica do gene resistente, os filos bacterianos mais comuns foram Proteobacteria com 49,96% e 59,29%, e Actinobacteria com 23,55 e 12,06% em RM e Rio Grangeiro, respectivamente. A presença desses gêneros no ambiente pode estar reciprocamente associada à presença do metal.
Silva et al. (2020)	III ENEPCP (Anais)	Analisar como a legislação urbana do município de Juazeiro do Norte incorpora aspectos do desenvolvimento sustentável e como se dá a aplicação desta na preservação da principal área verde urbana da cidade.	Apesar da legislação urbana de Juazeiro do Norte, especificamente o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, trazerem consigo diversos elementos inerentes ao desenvolvimento sustentável, o plano não trata de sustentabilidade de maneira transversal, estando a dimensão ambiental restrita a parágrafos específicos sem dialogar com as demais pautas. Além disso, o poder executivo não traçou ações e projetos pertinentes ao cumprimento de sua legislação.

Fonte: Autor (2021)

Dando continuidade à Etapa 4 da revisão, os resultados obtidos através da busca pelas dissertações e/ou teses existentes que compreende a área do RM, entre os anos de 2010 e 2020, reafirmam que ainda há poucos estudos voltados à análise e monitoramento dessa área. O Quadro 5 apresenta os objetivos e categoriza os principais resultados obtidos para a análise da qualidade ambiental da ZE2 e/ou de suas áreas adjacentes.

Quadro 5 - Dissertações e tese quanto ao objetivo e resultados obtidos para a análise da qualidade ambiental da ZE2 e/ou de suas áreas adjacentes.

Ano	Autor	Objetivo	Resultados/Conclusão
2013	Silva, C.J.C.	Analisar a composição dos sedimentos da rede de drenagem natural do município de Juazeiro do Norte - CE	<ul style="list-style-type: none"> - Os sedimentos de fundo dos pontos P4, P6, P7 e P8 são constituídos, principalmente, da fração silte somada a de argila, o que favorece o acúmulo de matéria orgânica; - A fração de carbono orgânico predominante em todas as amostras foi a não biodegradável, o que sugere concentrações expressivas de matéria orgânica recalcitrante (substâncias húmicas); - Quanto aos metais, verificou-se que as concentrações expressivas, obtidas inclusive nos considerados tóxicos, estão associadas às atividades antrópicas (domiciliar e industrial); - Se verificou que a relação entre os minerais silício e alumínio apontam para a existência de elevado grau de intempérie por toda a área estudada; - O processo de uso e ocupação do solo no município de Juazeiro do Norte, relacionado, principalmente, a retirada das matas ciliares para o plantio agrícola, a pecuária às margens do rio Batateiras e a instalação de indústrias de vários segmentos (construção civil, borrachas e calçados, metalúrgicas, galvanoplastia, dentre outras), apesar de contribuir para o desenvolvimento socioeconômico do município, está alterando a composição dos sedimentos de fundo do seu sistema de drenagem natural.

Continua.

Cont. Quadro 5.

2014	Oliveira, J.L.	Analisar as interações entre os mananciais superficiais e os solos que compõem parte da zona de drenagem do RM.	<ul style="list-style-type: none"> - O riacho encontra-se completamente poluído, recebendo em média 92 pontos de esgotos a céu aberto proveniente de 46 ruas que se encerram a suas margens. - Os teores elevados de COT e NT observados nos pontos 2, 7 e 8, quando comparados aos obtidos nos demais pontos de amostragem, mostram que os solos dessas áreas estão submetidos a uma maior carga orgânica, oriundas do contato direto e irrigação com as águas da Lagoa e do RM; - A presença de peixes e pequenas aves mortas na Lagoa dos Macacos indica a possível presença de agentes tóxicos nessas águas, provavelmente originários dos esgotos domésticos e industriais; - As emissões de C-CO₂ observadas em amostras de solos da área indicam uma maior produção de dióxido de carbono nos pontos de menor antropização; - Os pontos 2, 7 e 8 expressaram baixas emissões de C-CO₂ e baixas relações C/N, quando comparados com os demais pontos de amostragem, indicando uma menor qualidade do solo por manejo inadequado dessas áreas; - Os valores de DQO e DBO das águas da Lagoa e do RM apresentaram níveis de MO, em relação ao consumo de OD nesses mananciais, comparáveis aos encontrados em esgotos domésticos; - Observa-se uma interação entre as águas superficiais poluídas e o solo antropizado. Os baixos indicadores de qualidade do solo nos pontos 7 e 8 são influenciados pela precária condição sanitária das águas do RM, evidenciada pela baixa relação DQO/DBO e pelo manejo inadequado dos solos dessas áreas. Aumentando o risco de percolação de água poluída na direção do aquífero com lixiviação dos contaminantes presentes no solo.
2015	Bispo, T. B.	Analisar a vulnerabilidade ambiental associada aos níveis de qualidade de água e sedimento do RM	<ul style="list-style-type: none"> - Encontraram-se valores de oxigênio dissolvido próximos a zero e as elevadas variações nos resultados dos parâmetros DBO e DQO na água do riacho revelando condições nocivas à vida aquática neste corpo hídrico. - Quanto aos valores de COT e C-lábil no sedimento de fundo do Riacho, percebeu-se que os dados são compatíveis com a deposição no local de resíduos orgânicos dos tipos: esterco bovino, esterco de galinhas, composto orgânico, material húmico e lodo de esgoto. Denunciando, ainda, a presença de compostos de difícil biodegradabilidade. - Concluiu-se que o RM encontra-se em estado de degradação avançado e as ações sem planejamento, que não prezam pela preservação do meio ambiente, têm imposto uma grande pressão sobre os recursos naturais, em especial nesse riacho.
2015	Almeida, J.R.F.	Aprofundar os conhecimentos sobre a hidrogeoquímica do aquífero presente no município de Juazeiro do Norte e compreender a dinâmica do transporte de compostos nitrogenados na bacia do RM.	<ul style="list-style-type: none"> - O canal de drenagem que antecede o riacho e o próprio RM foram considerados nesta pesquisa como as principais fontes de contaminação de compostos nitrogenados; - Identificação de três zonas com distintos graus de mineralização das águas, sendo as mais mineralizadas encontradas nas proximidades do exutório da bacia do RM onde está localizada a primeira bateria de poços de Juazeiro do Norte; - Estima-se que a vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero está sendo de média ou alta na zona aluvial do RM, favorecendo assim a entrada de contaminantes por lixiviação; - Uma redução gradativa da carga contaminante pode garantir a recuperação da qualidade das águas em toda a bateria de poços em até dez anos; enquanto um corte súbito de lançamentos de esgoto no canal de drenagem e no RM promove a sua redução dos teores de nitrato a níveis aceitáveis em até dois anos em todo o aquífero.

Continua.

Cont. Quadro 5.

2019	Silva, A.M.M.	Avaliar o Índice de Qualidade Ambiental da sub-bacia hidrográfica das Timbaúbas.	<ul style="list-style-type: none"> - O Índice de Qualidade Ambiental da sub-bacia hidrográfica das Timbaúbas expõe uma qualidade ambiental de nível insatisfatório (C) para as Unidades de Avaliação I, II, III e IV. Estas unidades representam 93% da área total da sub-bacia. Os indicadores mostraram de forma pontual que são inúmeros os déficits encontrados nessas Unidades. Por outro lado, as Unidade V e VI (7% da área da sub-bacia) apresentam uma melhora e atinge o nível satisfatório (B) para a qualidade ambiental; - A sub-bacia tem 28,59 % de solo exposto, as APP se encontram com percentual superior a 50 % de degradação, os riachos dos Macacos e das Timbaúbas são perenizados com esgotos domésticos; - Ainda tem parte dos seus cursos naturais de drenagem aterrados devido a urbanização que não respeita os limites dos cursos naturais das águas.
2019	Macêdo, C.C.A.	Diagnóstico dos processos erosivos e da qualidade da água da lagoa do Parque Natural Municipal das Timbaúbas	<ul style="list-style-type: none"> - O solo do Parque tem elevada suscetibilidade a processos erosivos, constatada pelas características granulométricas do solo, pelo ensaio de permeabilidade e por meio de verificação de perdas de solo em parcelas experimentais; - A qualidade da água, verificou-se que esta variou de razoável a ruim, fato este, atribuído ao aporte diário de águas cinzas provenientes do sistema de drenagem de águas pluviais; - Os parâmetros DBO e sulfetos, ao longo de todos os ciclos de coleta não atenderam a Resolução CONAMA 357/2005; - No Grupo I, 25 % de nitrogênio amoniacal e 62% de fósforo também apresentaram valores acima dos padrões estabelecidos. Já no Grupo II os valores de pH, OD e fósforo foram acima dos limites do CONAMA.

Fonte: Autor (2021)

Considerando os resultados extraídos dos estudos selecionados, pôde-se observar que o RM, um dos principais pontos de recarga do aquífero da região, que abastece o município de Juazeiro do Norte, vem sofrendo contaminação por efluentes domésticos e industriais, bem como o acúmulo irregular de resíduos sólidos urbanos no entorno, ressaltando a necessidade de ações de intervenções que visem a sua recuperação, reabilitação ou revitalização. Observa-se ainda que ao longo de quase 10 anos de pesquisas não houve avanços de melhoria no quesito qualidade das águas do RM (OLIVEIRA, 2014; BISPO, 2015; MAIA *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2015; XAVIER *et al.*, 2019) e das águas dos poços de abastecimento público, localizados na ZE2, próximos as margens do RM, as quais acusam o mesmo resultado: a maioria dos poços analisados apresentaram teores elevados de nitrato, acima do valor limite permitido pelo Ministério da Saúde para água tratada (BEZERRA *et al.*, 2012; BEZERRA; SOUZA E ALMEIDA, 2012; URSULINO *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2019).

Infere-se, ainda, que tanto as pesquisas publicadas em artigos quanto em dissertações e tese se concentraram, em sua maioria, na linha de pesquisa qualidade da água, desconsiderando outros aspectos fundamentais para um diagnóstico ambiental de um espaço inserido em ambiente urbano, por exemplo, a caracterização geomorfológica, incluindo os atributos físico-químicos do solo.

5.2. Análise hidrogeomorfológica

5.2.1. Caracterização morfométrica

A Tabela 4 elenca os resultados obtidos para os parâmetros morfométricos das duas microbacias que compreendem a ZE2: a microbacia dos Macacos e a microbacia das Timbaúbas.

Tabela 4 – Característica morfométrica das microbacias dos Macacos (MM) e das Microbacias das Timbaúbas (MT), localizadas em Juazeiro do Norte - CE.

Parâmetros fisiográficos		MM	MT	Unid. de Medida	
Forma	Área da Bacia (A)	42,69	14,73	km ²	
	Perímetro (P)	51,72	24,19	km	
	Coeficiente de compacidade (Kc)	2,22	1,76	-	
	Coeficiente de conformação (Kf)	0,20	0,29	-	
	Índice de circularidade (Ic)	0,20	0,32	-	
	Comprimento de canal principal (L)	16,7	8,15	km	
	Comprimento total dos canais (ΣL)	72,52	22,03	km	
	Comprimento de Talvegue (L _t)	13,44	6,61	km	
Drenagem	Ordem dos canais	1°, 2°, 3° e 4°	1°, 2° e 3°	-	
	Densidade de drenagem (Dd)	1,73	1,50	km/km ²	
	Índice de Sinuosidade (Is)	1,24	1,23	-	
Relevo	Altitude	Máxima	540	470	m
		Mínima	370	370	m
		Média	455	420	m
	Amplitude altimétrica (H)	170	100	m	
	Declividade média (Dc)	0,01	0,02	m/m	

MM: Microbacia dos Macacos; MT: Microbacia das Timbaúbas

Fonte: Autor (2021)

De acordo com a Tabela 4, ambas as microbacias tem sua forma mais alongada e ramificada, evidenciando uma menor propensão a grandes enchentes. Tal fato pode ser verificado a partir dos valores de Kc, Kf e Ic e observado na Figura 7.

Quando $Kc > Ic$ indica que a bacia tem uma forma mais alongada e irregular e quando Kc é superior a 1,5 e Kf inferior a 0,5 a bacia não está sujeita a grandes enchentes (NETO et al., 2013). O Kc é sempre um valor > 1 (se fosse 1 a bacia seria um círculo perfeito). Quanto maior o Kc, menos circular é a bacia e conseqüentemente maior o tempo de concentração (tempo necessário para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de controle, a partir da precipitação) e menor a tendência de haver picos de enchente (Carvalho e Silva, 2006), indicando ainda que há menor

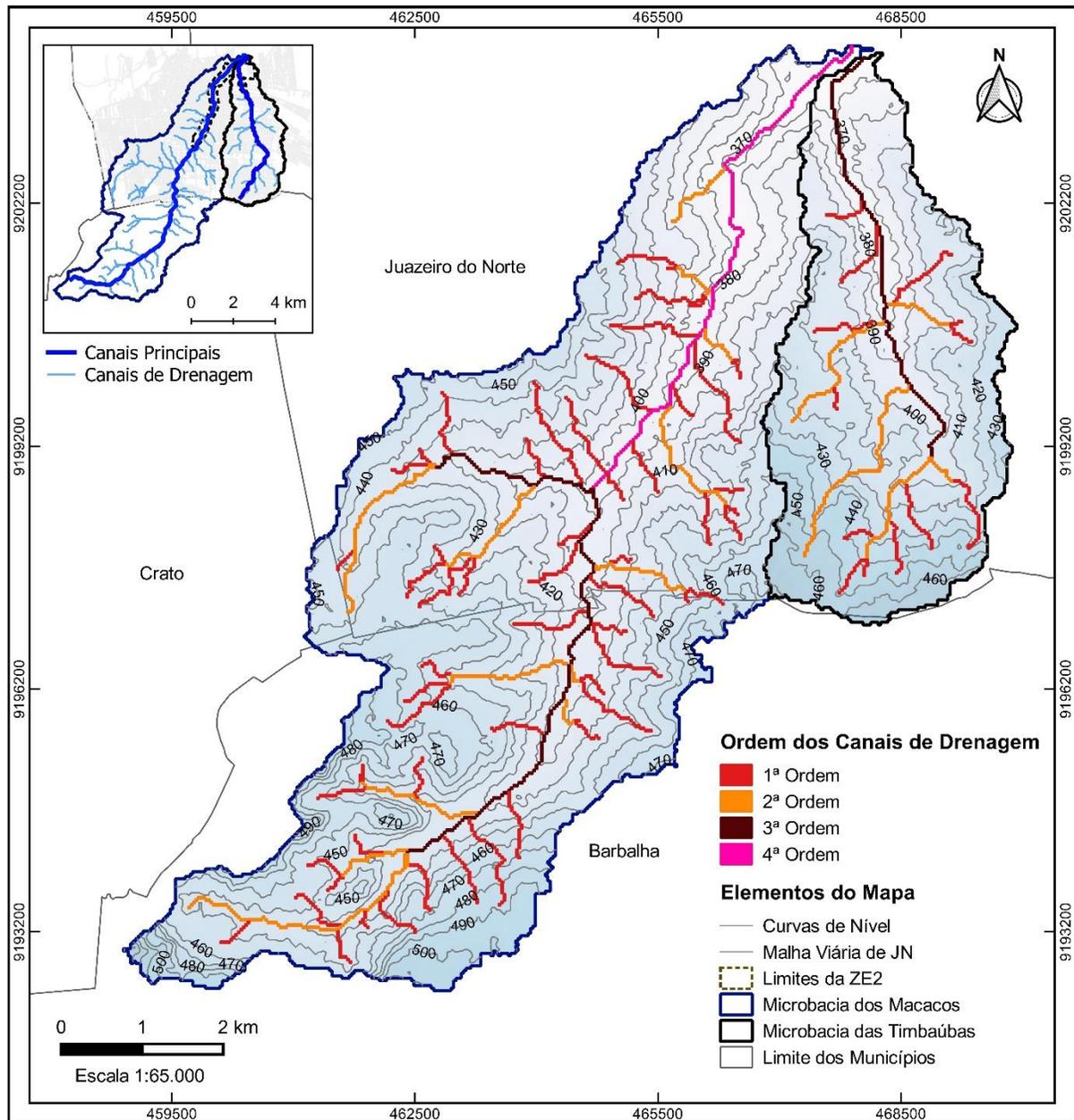
possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda área das microbacias (NETO *et al.*, 2008).

Com relação a drenagem, a MM e MT apresentaram uma densidade de drenagem igual a 1,73 e 1,50 km/km², respectivamente, indicando que ambas as microbacias se classificam com uma drenagem boa ($1,5 \leq Dd < 2,5$ km/km²) e baixa sinuosidade, uma vez que valores de Dd quanto mais próximos de 1, menor a sinuosidade da microbacia (Dd =1 representa sinuosidade nula) (NETO *et al.*, 2013). Essa tendência a canais retilíneos favorece um fluxo de água mais rápido e maior capacidade de transportar sedimentos (MORELI *et al.*, 2014). Esses dados apontam um menor potencial para enchentes em ambas as microbacias, bem como uma menor capacidade de retenção de poluentes agregados a sedimentos.

No entanto, é válido destacar que dinâmica de uso e ocupação do solo é um fator que afeta a variabilidade de alguns atributos físicos do solo, bem como influência nas condições de propensão a enchentes da área analisada, uma vez que a mesma está inserida em ambiente predominantemente urbano. A impermeabilização e cobertura do solo representa um obstáculo mecânico ao livre escoamento superficial da água e respectiva infiltração. Por exemplo, um estudo realizado por Neto *et al.* (2008) na microbacia hidrográfica do rio Granjeiro, localizado no município de Crato-CE, constatou que, pela análise morfométrica, a microbacia do rio Granjeiro deveria ser a menos propensa a cheias, mas que em decorrência dos problemas ambientais por ações antrópicas como ocupação irregular nas APP's, impermeabilização nos interflúvios, canalização do rio em zona urbana por canal de concreto estreito e impermeabilização da sua área de inundação, dentre outros, contribuem com a inversão do quadro, tornando-a mais propensa a enchentes.

Em condição semelhante, encontra-se as MM e MT, as quais possuem ocupações irregulares nas APP's, impermeabilização dos interflúvios, reduzindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial e, especialmente, o RM que está com uma parcela de seu leito canalizado, recebendo despejos irregulares de efluentes domésticos sem tratamento e com sua área de inundação parcialmente impermeabilizada. Garcias e Afonso (2013) destacam que, além do aspecto sanitário, um problema impactante para os rios urbanos ocorre por essa mudança morfológica de origem antrópica que alteram as margens e o leito dos rios, causando perda das funções ecológicas e da interação com as águas subterrâneas que fluem ao longo desses ecossistemas.

Figura 7 – Delimitação e característica morfométrica das microbacias dos riachos que integram a ZE2.



Fonte: Autor (2021)

Quanto à ordem da rede de drenagem das microbacias, tratando-se de bacias pequenas, considerou-se que ambas possuem uma alta ramificação dos cursos d'água, uma vez que ficaram na ordem de 4 e 3, respectivamente para os riachos dos Macacos e Timbaúbas. Observou-se também que na microbacia dos Macacos cerca de 52,7 % da rede de drenagem apresentam canais de ordem 1 e 9,26 %, representado em parte pelo RM, é de ordem 4 (Figura 7). Quanto a Microbacia das Timbaúbas, cerca de 73,86 % da rede de drenagem apresentam cursos d'água de ordem 1 e 2,

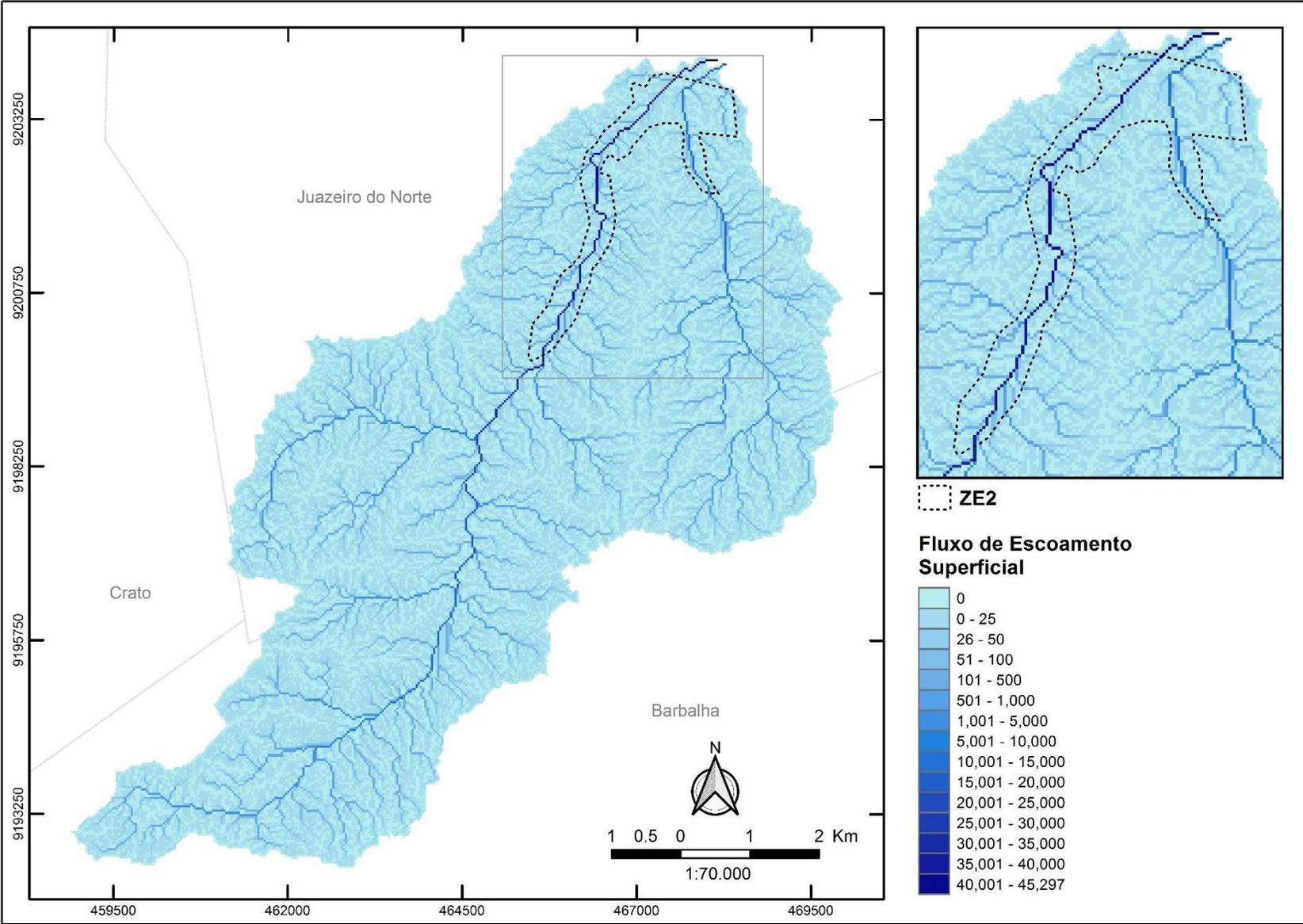
enquanto 26,13%, representado em parte pelo RT, é de ordem 3. Ambos os riachos supracitados pertencem ao canal principal, captando toda a água proveniente do escoamento superficial da área das microbacias. Em complementação, Silva (2019) observou que os cursos de 1ª ordem das microbacias estudadas são, em sua maioria, do tipo intermitente e requerem ações efetivas de gestão e proteção ambiental, pois eles estão suscetíveis a alterações hidrológicas provadas pela pressão antrópica.

Em relação aos resultados de relevo, foi verificado que as microbacias possuíam declividades de média a baixa, com amplitudes altimétricas baixas, as quais, associadas as pequenas áreas de contribuição das microbacias, indicam velocidades de escoamento relativamente baixas e maiores tempos de concentração. Esta condição poderia contribuir para uma boa infiltração e uma menor suscetibilidade à degradação por erosão, o que diminuiria a possibilidade de assoreamento dos leitos de seus riachos. No entanto, o processo de uso e ocupação do solo alteram essas condições e, quando alinhada com a caracterização do solo dessas localidades, pode favorecer os processos erosivos.

Na Figura 8 observa-se a variação do fluxo acumulado de escoamento das microbacias (de 0 a 45.297), representando a sistemática que ocorre no balanço de entrada da água pela precipitação e sua saída pelo exutório, permitindo verificar quais são as áreas que contribuem para a concentração desse escoamento em determinados pontos.

O fluxo acumulado apresenta um espaçamento elevado em virtude do maior comprimento das vertentes, ou seja, os cursos d'água que integram a ZE2 recebem o fluxo de uma elevada área de escoamento que se inicia desde a parte mais alta das microbacias, ultrapassando os limites do município de Juazeiro do Norte. Tal característica contribui com o cenário atual de contaminação dos referidos riachos, ao mesmo tempo que deixa o solo da referida zona suscetível a contaminação direta e indireta, difusa ou pontual. Ao mesmo tempo que indica o quanto esses riachos têm a importante função de abarcar toda a drenagem das águas pluviais dos bairros localizados em suas vertentes que consistem em áreas densamente urbanizadas. Essa característica se apresenta como uma potencialidade desses espaços no quesito “gestão das águas pluviais”, pois enquanto muitos centros urbanos não dispõem de áreas livres para receber essas águas, ocasionando consideráveis problemas de enchentes e inundações, o município de Juazeiro do Norte dispõe de mais de 270 hectares (ZE2) de uma área com potencial para servir de receptor das águas pluviais drenadas e tratadas de uma parcela extensa de sua área urbana.

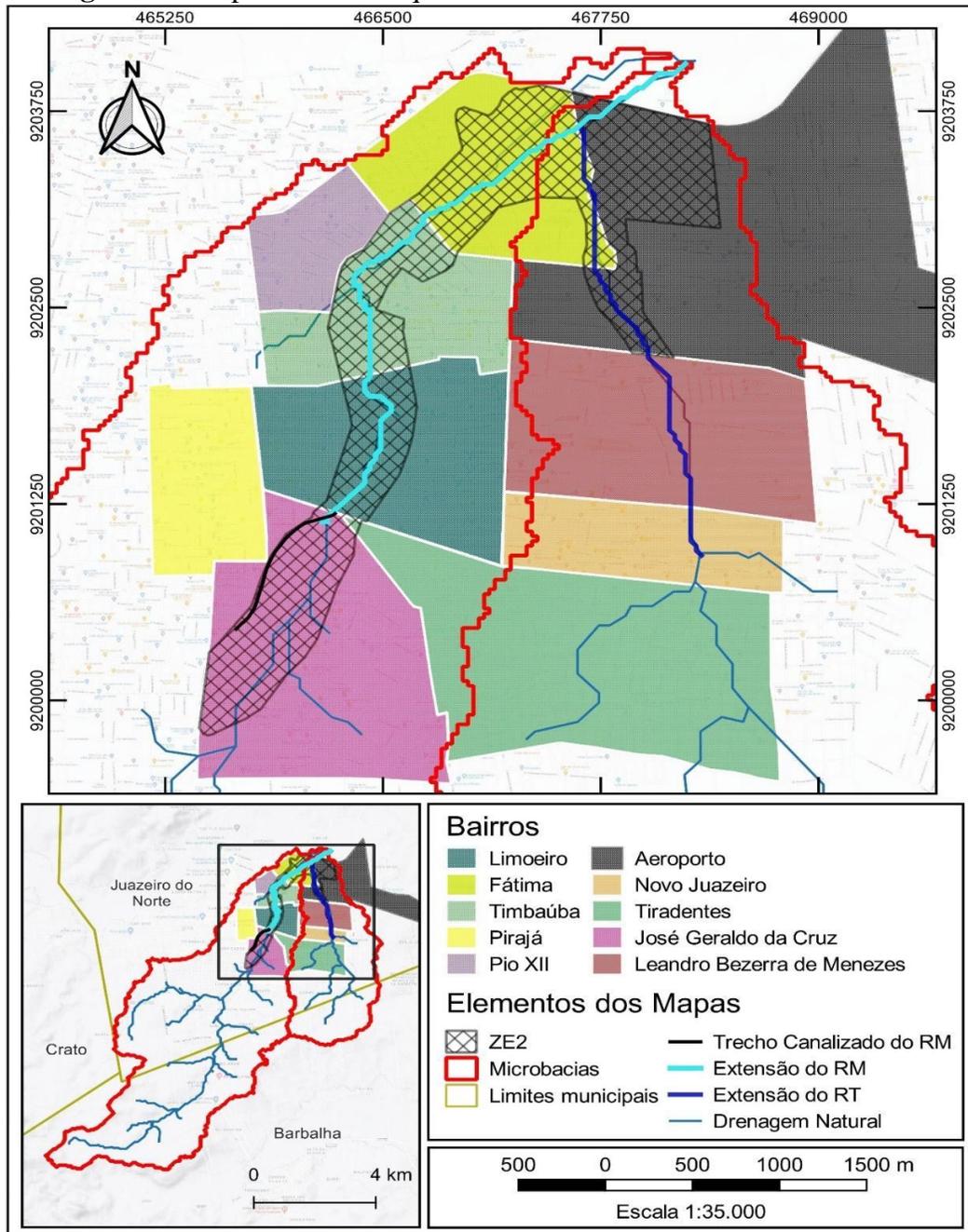
Figura 8 – Fluxo acumulado de escoamento superficial das microbacias do RM e RT.



Fonte: Autor (2021)

Atualmente o RM e o RT sofrem influência direta de dez bairros distintos, uma vez que estes estão localizados em todo o perímetro dos referidos riachos. São eles: Limoeiro, Fátima, Timbaúba, Pirajá, Pio XII, Leandro Bezerra de Menezes, Aeroporto, Novo Juazeiro, Tiradentes e José Geraldo da Cruz, conforme pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 – Mapa dos bairros que exercem influência direta nos RM e RT.



Fonte: Autor (2021)

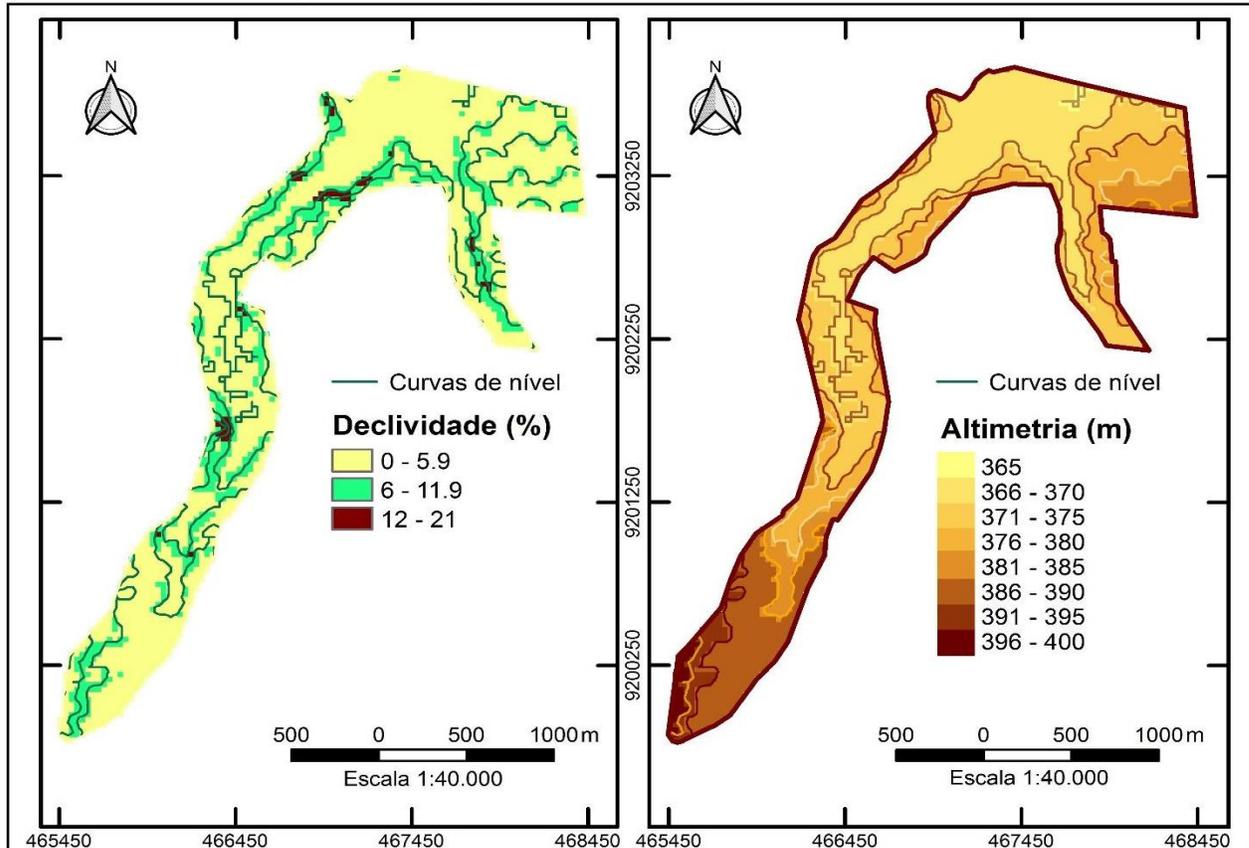
Considera-se nesse estudo que “influência direta” ocorre quando as atividades humanas e seus produtos exercem impactos diretos na área de interesse e “influência indireta” refere-se às áreas em que as atividades humanas e seus produtos exercem impactos, em geral, por efeito cumulativo e sinérgico, além de inter-relações complexas (SÁNCHEZ, 2013; MENIN *et al.*, 2017).

Quanto às áreas de influência indireta, não há um estudo preciso que identifique essas áreas, entretanto, conforme a representação do fluxo acumulado de escoamento, deve-se considerar as microbacias em sua totalidade, uma vez que ambos os riachos se encontram na sua parte mais baixa com uma área de contribuição superior a 1000 m² (Figura 8). Ademais, essas microbacias, segundo o PDDU de Juazeiro do Norte, compreendem Zonas Residências de ordem 1, 2, 3 e 4, respectivamente, de baixíssima a alta densidade, além de Zonas Comerciais e de Serviços Especiais (ZCSE) e Zonas de Uso Misto (ZUM) que se admite o uso diverso do solo com a existência de empreendimentos que vão desde residências a comércios e indústrias de diferentes portes (JUAZEIRO DO NORTE, 2000). É importante ressaltar que estes bairros possuem características socioculturais e condições de saneamento ambiental diferenciadas. Tal fato enfatiza a necessidade de integrar as esferas social, urbana e ambiental-ecológica no processo de intervenções desses espaços.

É válido destacar que quando se estuda a relação do escoamento de superfície em áreas urbanizadas é importante considerar os impactos dessa urbanização. Deve-se, então, buscar uma base cartográfica que tenha curvas de nível que já demonstrem todo tipo de interferência da urbanização no terreno, como aterros etc. (FONTES, 2009). Por ausência de recursos necessários, no presente estudo não foi possível obter uma curva de nível dentro dessas características. No entanto, conseguiu-se obter o resultado almejado e proposto, uma vez que se consegue observar, claramente, a área de contribuição de escoamento superficial sobre os riachos integrantes da ZE2.

Tratando-se da disposição espacial das classes de declividade e dos níveis de altimetria, especificamente da ZE2, observa-se na Figura 10 que não existem grandes variações de declividade e altimetria, predominando baixas declividades de 0 a 5,9%, com relevo plano a suavemente ondulado.

Figura 10 – Mapa de declividade e hipsométrico da ZE2



Fonte: Autor (2020)

Por se tratar de uma área de depressão alongada, compreendendo uma zona aluvionar, esses resultados já eram esperados (OLIVEIRA, 2014). Áreas assim, dependendo do tipo de solo presente, tem uma menor suscetibilidade aos efeitos de processos erosivos – não sendo o caso dessa área conforme será discutido no tópico a seguir –, ao mesmo tempo que são atrativas para a sua ocupação ou exploração, favorecendo a ocorrência de assoreamento de cursos d’água presentes, bem como a sua contaminação.

Verifica-se também declividades pontuais de 11,9 a 21%, representando uma pequena cobertura da área de interesse. Conforme pode ser observado, esses pontos de maior declividade estão entre as altimetrias de 371 e 385 m, alguns provenientes do declive natural do leito do curso d’água e outros em pontos da vertente da microbacia.

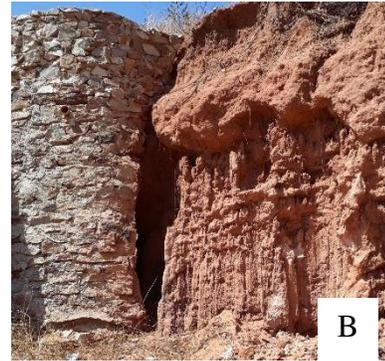
Apenas uma localidade apresentou declividade de 21%, a qual apresenta sulcos erosivos na maior parte de sua encosta e, inclusive, com obra de contenção, conforme Figura 11 (A, B, C e D). No topo dessa encosta está instalada uma escola municipal de ensino fundamental e diante das imagens apresentadas, indica-se um risco a estrutura predial dessa escola, bem como aos alunos e

funcionários que nela transitam, necessitando da adoção de medidas estruturais e preventivas mais eficientes.

Figura 11 – Encosta com presença de sulcos erosivos, localizada na região central da ZE2.



A – Muro de pedra para contenção de área com declive acentuado e presença de sulcos erosivos em sua vertente



B – Vista lateral da estrutura de contenção, observando-se o seu descolamento da encosta



C – Visão da área interna do muro de pedra, podendo-se ver a erosão acentuada e o seu afastamento da encosta



D – Tubulação exposta na parte interna do muro de pedra, provavelmente em decorrência da ação erosiva das águas pluviais.

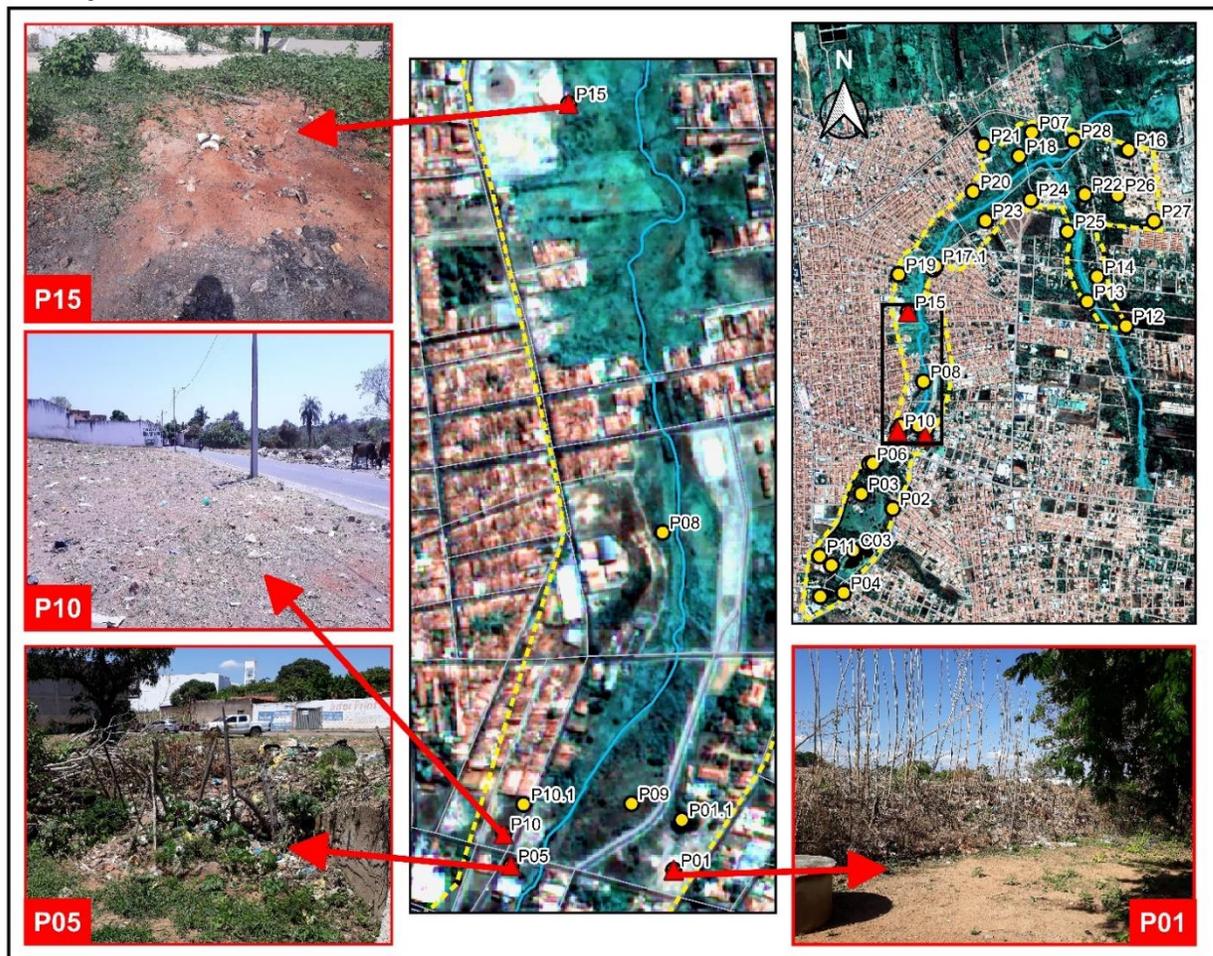
Fonte: Autor (2020)

5.2.2. Caracterização física do solo

Dos pontos amostrados, quatro (P01, P05, P10 e P15) se destacaram quanto a presença de resíduos, tendo em vista apresentarem significativa quantidade de Resíduos Sólidos da Construção Civil (RSCC) misturados no solo, como pode ser observado na Figura 12. Estes pontos ficam na parte mais central da zona – área que, conforme será observado nos padrões de uso e ocupação do solo, sofre maior pressão antrópica.

A presença dos RSCC interferiu diretamente na obtenção dos resultados do ensaio de permeabilidade das amostras de solo analisadas. Assim, com o intuito de diminuir a interferência destes resíduos nesses resultados, tentou-se substituir os pontos de coleta P01, P05, P10 e P15 por outros localizados em áreas circunvizinhas. O P01 foi substituído pelo ponto P01.1, porém, não foi possível encontrar nenhum local que pudesse ser utilizado como ponto de coleta que substituísse o P05, o P10 e o P15, uma vez que nas áreas localizadas no entorno destes pontos havia muitos RSCC dispostos no solo. Acredita-se que por se tratar de uma zona de aluvião com áreas baixas, deprimidas e sujeitas a inundações e influência do lençol freático, os proprietários de terrenos nas limitações da ZE2 utilizam os RSCC para o aterramento dessas áreas, já que são materiais que não representam custo e se constituem em uma problemática ambiental em decorrência das implicações legais associadas ao seu descarte inadequado.

Figura 12 – Imagens dos pontos de coleta das amostras P01, P05, P10 e P15 e suas respectivas localizações na área delimitada da ZE2.



Fonte: Autor (2020)

Os resultados obtidos de condutividade hidráulica do solo saturado das amostras analisadas variaram de 10^{-2} a 10^{-4} cm/s, conforme pode ser observado na Tabela 5. Dessas amostras, cerca de 76% apresentam uma condutividade hidráulica saturada maior que 10^{-3} cm/s (P01.1, P02, P03, P04, P06.1, P08, P12, P13, P14, P16, P17.1, P18, P20, P22, P23, P24, P25, P26 e P27), a qual é considerada de moderada a muito rápida.

Os pontos de menor permeabilidade (P07, P09, P11.1, P19, P21 e P28), com algumas tendendo a zero, coincidem com os locais com maior teor de argila. Quanto aos resultados nulos ou negativos (P01, P05, P10 e P15), coincidem em sua maioria com aqueles solos modificados em decorrência do despejo de resíduos diversos, principalmente, entulho da construção civil.

Através do Mapa de Geodiversidade do Estado do Ceará, observou-se que cerca de 90% da ZE2 está inserida em um ambiente de planícies aluvionares recentes, constituída de material inconsolidado – definido por Zuquette (1987) como todo aquele sobrejacente à rocha, seja residual ou transportado – e de espessura variável.

Estas planícies são sujeitas a enchentes sazonais causadas pelo extravasamento dos rios, principalmente em períodos de chuvas mais intensas, sendo este o caso da ZE2, na qual observou-se em campo, durante a perfuração do solo com trado para o ensaio *Guelph* a uma profundidade média de 25cm, a presença do nível d'água, mesmo no período seco do ano (entre setembro e dezembro de 2020). Nelas, o nível freático é aflorante ou próximo à superfície, necessitando do seu rebaixamento para a execução de obras de engenharia escavadas.

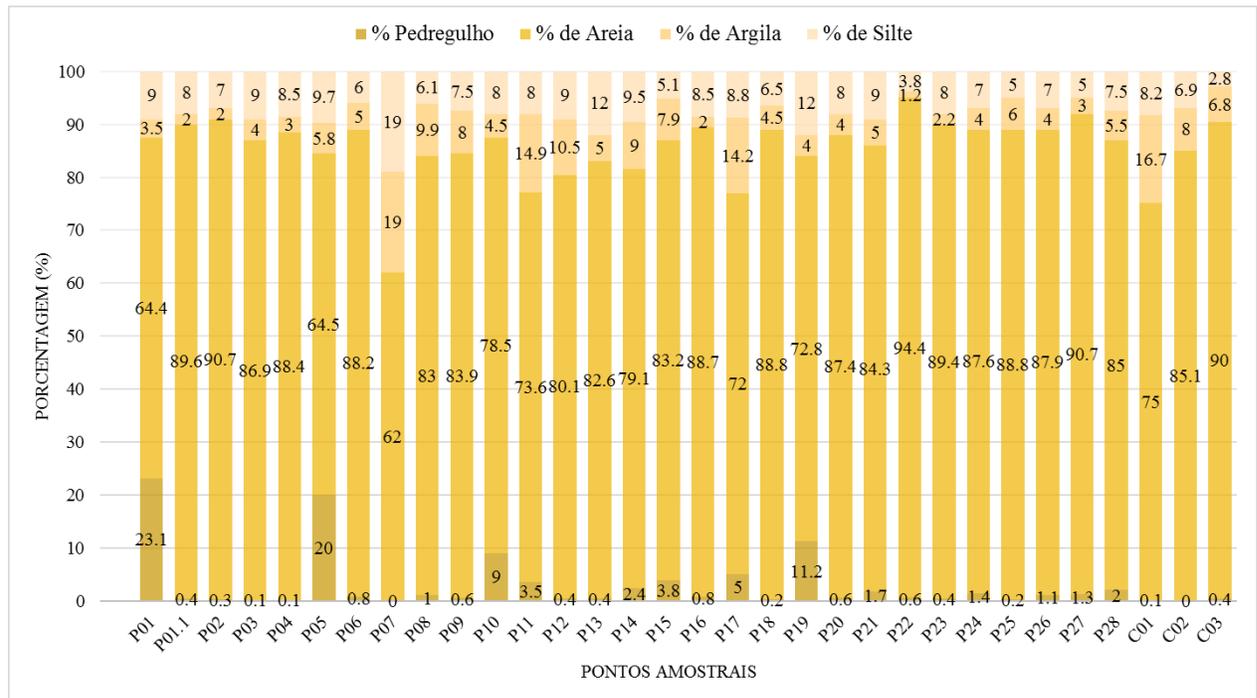
Segundo o relato de três moradores em pontos diferentes onde foram realizados os ensaios e coleta de amostras, existem pontos dentro da área delimitada da ZE2 que a partir da escavação de cerca de 1 metro e meio de profundidade pode-se encontrar o lençol freático. A evidência desses relatos veio com um estudo desenvolvido recentemente por Nascimento (2020) que verificou uma zona vadosa de 1,47 m nessa localidade.

O mesmo autor observou ainda que quanto mais distante da rede de drenagem natural superficial, ou seja, dos RM e RT, maior é a cota topográfica e mais profundo é o nível do lençol freático. Consequentemente, esses ambientes têm características de relevo e solo mais favoráveis à concentração do que à dispersão de poluentes.

Em consonância, os resultados granulométricos (Apêndice B e C) demonstram uma situação típica de planícies aluvionares, uma vez que ocorre uma predominância da parcela de areia (fina, média e grossa) no solo da ZE2, variando de 62% a 94,4%. Destas amostras, 72%

apresentaram teores maiores que 80% de areia, conforme pode ser observado nas figuras 13 e 14. Nestas figuras consta, respectivamente, a ilustração gráfica com os resultados obtidos nos ensaios granulométricos para as amostras coletadas e a representação cartográfica dos resultados da caracterização física do solo de modo interpolado para melhor visualização desses parâmetros distribuídos na área.

Figura 13 – Gráfico com resumo dos resultados obtidos nos ensaios granulométricos para as amostras coletadas na área da ZE2.



Fonte: Autor (2021).

Solos com predominância arenosa tendem a apresentar uma baixa capacidade de suporte, portanto, quando submetidos a cargas elevadas se deformam, inviabilizando determinados tipos de obras (CRPM, 2014). Do mesmo modo, elevados teores de areia propiciam a erodibilidade do solo, uma vez que o solo não exerce a propriedade de coesão e agregação entre as partículas proporcionada pela argila, fazendo com que as partículas se desagreguem com facilidade contribuindo com a sua remoção tanto por correntes eólicas como aquosas.

Dito isso, de modo a avaliar a erodibilidade do solo, ao aplicar a porcentagem de dispersão para os resultados granulométricos, obteve-se apenas resultados válidos para os pontos P07, P11 e P17, respectivamente, 16, 34 e 42%. Esse resultado era previsto, uma vez que esses pontos foram

os únicos a apresentarem mais de 12% da fração argila e estudos experimentais apontam que solos com menos de 10% não apresentam coloides suficientes para dispersão (BASTOS, 1999).

Dito isso, pode-se considerar que o solo do P07 não é erodível ($<20\%$) e o P11 tem erodibilidade média ($20\% < \% \text{ dispersão} < 25\%$), sendo ambos não dispersivos ($< 40\%$). Somente o P17 pode ser considerado um solo com argila dispersiva ($>40\%$ de $\% \text{ dispersão}$) e com alta erodibilidade ($25\% < \% \text{ dispersão} < 50\%$). Este último ponto encontra-se em localidade com suave ondulação (5,9-11,9%) e com predominância de areia (72%), com teor de argila em 14,2% e presença significativa de silte (8,8%). As partículas de solos com argila dispersiva não têm resistência a erosão, pois as partículas de argila entram em suspensão até mesmo em água parada (BASTOS, 1999).

Conforme a NBR 13.602/1996, a porcentagem de dispersão quanto mais próxima de 100%, indica uma fração argila mais dispersiva, e quanto mais próxima de zero, indica uma fração argila menos dispersiva (igual a 100%: completamente dispersiva; igual a zero: não dispersiva).

Quanto aos valores obtidos da RD, segundo Middleton (1930), todos os solos amostrados são considerados erodíveis, apresentando valores maiores que 15%, exceto pelo P22 (valor de RD igual a zero). Os resultados do ensaio granulométrico sem defloculante para P22 apresentou teor de silte e argila iguais a zero. Este ponto manifestou o maior teor de areia (94,4%), comparado as demais amostras, e baixo teor de argila (1,2%) e silte (3,8%), também localizado em área com declividade levemente ondulada (5,9-11,9%).

Não obstante, Bastos (1999) estudando solos tropicais de Porto Alegre-RS concluiu que o parâmetro RD é satisfatório para uma avaliação qualitativa da erodibilidade, porém com um limite maior para avaliação, considerando um solo potencialmente erodível com valores de RD maior que 50%. Nesse caso, 51,7% das amostras analisadas podem ser consideradas com solos erodíveis (P01, P01.1, P05, P07, P08, P09, P10, P11, P12, P14, P15, P17, P19, P21, P25).

Um fato interessante foi observado no P07, o qual apresentou a menor porcentagem de dispersão (16%) e o maior RD (82%). Este ponto também teve o maior teor de argila (19%) e de silte (19%), dentre os pontos amostrais, e baixíssima permeabilidade (quase nula). Esses valores indicam um solo com fração argila com baixa dispersividade (próxima a zero), ao tempo que a RD indica um solo erodível.

Bastos (1999) ressalta que ao considerar um solo erodível pelo critério $RD > 50\%$ não implica que este é dispersivo, pois a dispersibilidade está associada às argilas, enquanto o

parâmetro RD considera a soma das parcelas de silte e argila, podendo um solo siltoso apresentar elevado valor de RD e sua porção de argila não ser dispersiva.

Além disto, pôde-se verificar, de forma tátil-visual, que o solo do P07 tem coloração escura, marrom tendendo ao preto, apresentou resistência dura a muito dura quando seco (apresentando resistência a perfuração do trado no solo) ao tempo que, quando molhado, apresentou aspecto plástico e pegajoso. Tais características demonstram indícios de que se trata de um solo expansivo.

Estas características podem indicar alta atividade coloidal no solo, caracterizada pela elevada capacidade de contração quando seco e expansão quando úmido, resultando em fendas profundas quando seco, além de atribuir-lhe dificuldade no seu manejo, bem como, em virtude da baixíssima permeabilidade, uma elevada erodibilidade (CPRM, 2014). A expansibilidade dos solos é a causa de muitos problemas associados a fundações, pois, mesmo havendo boa compactação do solo, os solos potencialmente expansivos apresentam expansões quando em contato com a água, portanto para qualquer obra estrutural este tipo de solo possui alta complexidade e alto grau de risco (RIBEIRO, 2019).

Dito isso, a detecção de solos expansivos previamente a qualquer obra é fundamental e não pode ser feita simplesmente através de um ensaio de sondagem de simples reconhecimento, bastante difundido no Brasil. É necessário uma série de ensaios mais específicos e que impõem um conhecimento técnico maior do responsável. Desse modo, considera-se relevante o desenvolvimento de mais estudos do solo no P07 para avaliar as demais características geotécnicas.

Ressalta-se que, de modo geral, áreas com as características geotécnicas anteriormente descritas e com nível d'água aflorante ou raso, se tornam altamente vulneráveis à contaminação das águas subterrâneas (CPRM, 2014).

Solos arenosos são mais propensos a degradação e à perda da capacidade produtiva quando comparados aos solos argilosos, em condições ambientais similares. E, conforme pode ser visualizado na Figura 14, as porções arenosas apresentaram uma permeabilidade mais elevada, indicando situação de vulnerabilidade à contaminação do lençol freático que, segundo Nascimento (2020), se encontra próximo da superfície ou aflorante. Assim, cuidados especiais devem ser tomados com a instalação de fontes potencialmente poluidoras nessas áreas.

A Tabela 5 apresenta um resumo dos resultados obtidos nos ensaios geotécnicos, compreendendo o ensaio de permeabilidade *in situ*, a porcentagem de areia, a porcentagem de

dispersão e a RD, com as respectivas características de uso e ocupação, considerando uma circunferência com raio de 50 metros a partir dos pontos ensaiados.

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de Permeabilidade "*in situ*", da porcentagem de areia, porcentagem de dispersão e da razão de dispersão, com as respectivas características de uso e ocupação do solo da área de 50 metros de raio dos pontos analisados na área da ZE2.

Ponto	Prof. (cm)	k_{fs} (cm/s)	% de Areia	% - disp.	RD (%)	Uso e ocupação
P01	20	Refeito	64,4	-	80	Área bastante degradada; com o descarte de resíduos diversos a mais de ano (segundo moradores). Observou-se uma camada de resíduos com cerca de dois metros de altura (RSCC, resíduos domésticos, resíduos de poda, etc). Sem nenhuma árvore ou arbusto presente ao redor.
P01.1	22	$1,5 \cdot 10^{-2}$	89,6	-	50	Área vizinha ao terreno do P01. Não aparenta ter a presença de RSCC ou RSU, porém a menos de 2m do ponto de ensaio tem uma ravina com cerca de 2m de profundidade, deixando a raiz de uma Timbaúba exposta.
P02	28	$1,1 \cdot 10^{-2}$	90,7	-	33	Área sem aterro aparente ou qualquer tipo de contaminação, com pastagem de gado. Algumas árvores nativas (Coqueiro, Juazeiro etc.) e cobertura com gramíneas em áreas abertas.
P03	20	$8,1 \cdot 10^{-3}$	86,9	-	31	Área pouco degradada, objeto de plantação de capim na época chuvosa – no período da coleta estava com restos de capim secos. Tem a presença de algumas árvores de médio a grande porte.
P04	30	$1,4 \cdot 10^{-3}$	88,4	-	43	Área interna do PNMT. Apresenta significativa camada de serrapilheira e árvores nativas (Timbaúba, Cajueiro, Sabiá, Juazeiro etc.). Não aparenta ter algum tipo de contaminação e, a cerca de 50m do ponto de coleta, apresenta sulcos erosivos.
P05	-	-	64,5	-	63	Área as margens do RM. Não foi possível realizar ou refazer o ensaio nessa área, pois o solo encontra-se bastante antropizado, aterrado com RSCC e resíduos diversos. Pôde-se observar uma camada com cerca de dois metros de altura desses resíduos.
P06	-	Refeito	88,2	-	32	Ao lado do poço para abastecimento público da CAGECE. Tem a presença de muitas árvores e serrapilheira, porém observou-se a presença de formigueiros que provavelmente interferiram no resultado do ensaio.
P06.1	25	$9,4 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	Área a cerca de 20m do P06; aparentemente com características semelhantes ao do P06.
P07	27	0	62	16	82	Área com vegetação aparentemente preservada. É o ponto com maior percentual de argila (19%). Quando saturado, apresentou resistência a penetração da água em três pontos distintos, a uma distância de 20 a 50 metros entre eles. Ambos se comportaram com baixíssima permeabilidade, passando mais de 17 minutos para infiltrar cerca de 1 mm de coluna d'água.
P08	25	$5,7 \cdot 10^{-3}$	83	-	69	Ponto às margens do RM – cerca de 12m. Área que recentemente passou por desassoreamento. Sem a presença de árvores e próximo (cerca de 30 metros) de uma área de encosta com sulcos erosivos. Nas proximidades existem pontos de descarte de resíduos diversos, em especial, RSCC.

Continua.

Cont. Tabela 5.

P09	22	$6,3 \cdot 10^{-4}$	83,9	-	68	Área de antigo leito do RM que recentemente sofreu alteração com as obras de reabilitação. Não apresenta árvores, apenas arbustos, gramíneas e espécies típicas de áreas degradadas. Observou-se ainda a presença de resíduos volumosos como sofás.
P10	-	Refeito	78,5	-	72	Área bastante degradada. Solo com a presença de RSCC e RSU. Sem nenhuma árvore e com algumas gramíneas.
P10.1	30	Negativo		-	-	Em toda a área circunvizinha ao P10 o solo é bastante antropizado, alvo de RSCC a anos (segundo moradores), provocando interferências no ensaio.
P11	-	Refeito	73,6	34	76	Dentro do PNMT. Tentou-se fazer três furos em áreas distintas com distância média de cinco metros entre eles. Ambos possuem um solo avermelhado de difícil perfuração. Área com árvores de médio a grande porte, porém, muito espaçadas, apresentando ainda pistas de caminhada em concreto abandonadas e outras sendo construídas nas proximidades.
P11.1	25	$5,5 \cdot 10^{-4}$	-	-	-	Ponto a cerca de 120m do anterior (P11), solo avermelhado, porém com maior facilidade para fazer o furo do ensaio e com bastante serrapilheira.
P12	25	$8 \cdot 10^{-3}$	80,1	-	56	Área desmatada, com demarcação de lotes, porém com pouca ou nenhuma ocupação e, aparentemente, aterrada; com pouca vegetação de porte arbóreo nas proximidades.
P13	25	$2,9 \cdot 10^{-3}$	82,6	-	47	Não aparenta sofrer muita interferência antrópica. Ponto no interior de uma residência (chácara), com plantação de coqueiros.
P14	30	$3,9 \cdot 10^{-3}$	79,1	-	54	A cerca de 130m do RT. Na época própria, tem plantação de feijão. Aparentemente não sofre com o descarte de resíduos.
P15	-	-	83,2	-	69	Localizado em área de obras de reabilitação das áreas de risco do RM. Aparenta ter sido aterrada com RSCC, inviabilizando o ensaio, pois, ao observar possível interferência, cavou-se em pontos distintos e encontrou-se RSCC. Procurou-se outro ponto nas proximidades para repetir o ensaio, porém toda a área tem considerável quantidade desses resíduos.
P16	27	$3,8 \cdot 10^{-3}$	88,7		29	Área parcialmente desmatada e próxima a muitas residências, com pouca presença de RS.
P17	-	Refeito	72	42	78	Área possui criação de porcos e gado, solo rígido com aspecto de compactado e apresenta RSCC e RSD em alguns locais. Área com árvores exóticas e nativas e declividade moderada.
P17.1	27,5	$2,8 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	Ponto a cerca de 20m do P17, solo visivelmente mais poroso e com menos circulação de animais e pessoas.
P18	30	$2,5 \cdot 10^{-3}$	88,8	-	36	Área aparentemente preservada e cercada, apresentando camada de serrapilheira; às margens do encontro do RM.
P19	20	$4,2 \cdot 10^{-4}$	72,8	-	63	Área com circulação de pessoas e cavalos. Próximo ao ponto com plantação de capim. O solo com visível quantidade significativa de matéria orgânica, proveniente, provavelmente, em parte, das fezes dos cavalos.
P20	28	$1,2 \cdot 10^{-3}$	87,4	-	33	Solo aparentemente com muita matéria orgânica. Esgoto escorrendo a céu aberto próximo ao ponto. Área alagável do RM e presença de diversas árvores nativas e exóticas.
P21	25	$7,7 \cdot 10^{-4}$	84,3	-	50	Área desmatada, apenas com arbustos. Percebeu-se a presença de RSCC no solo de forma superficial. Sem uso específico.
P22	25	$1,7 \cdot 10^{-2}$	94,4	-	0	Aparenta não ter nenhuma interferência por resíduos sólidos. Possui serrapilheira e árvores frutíferas (nativas e exóticas).

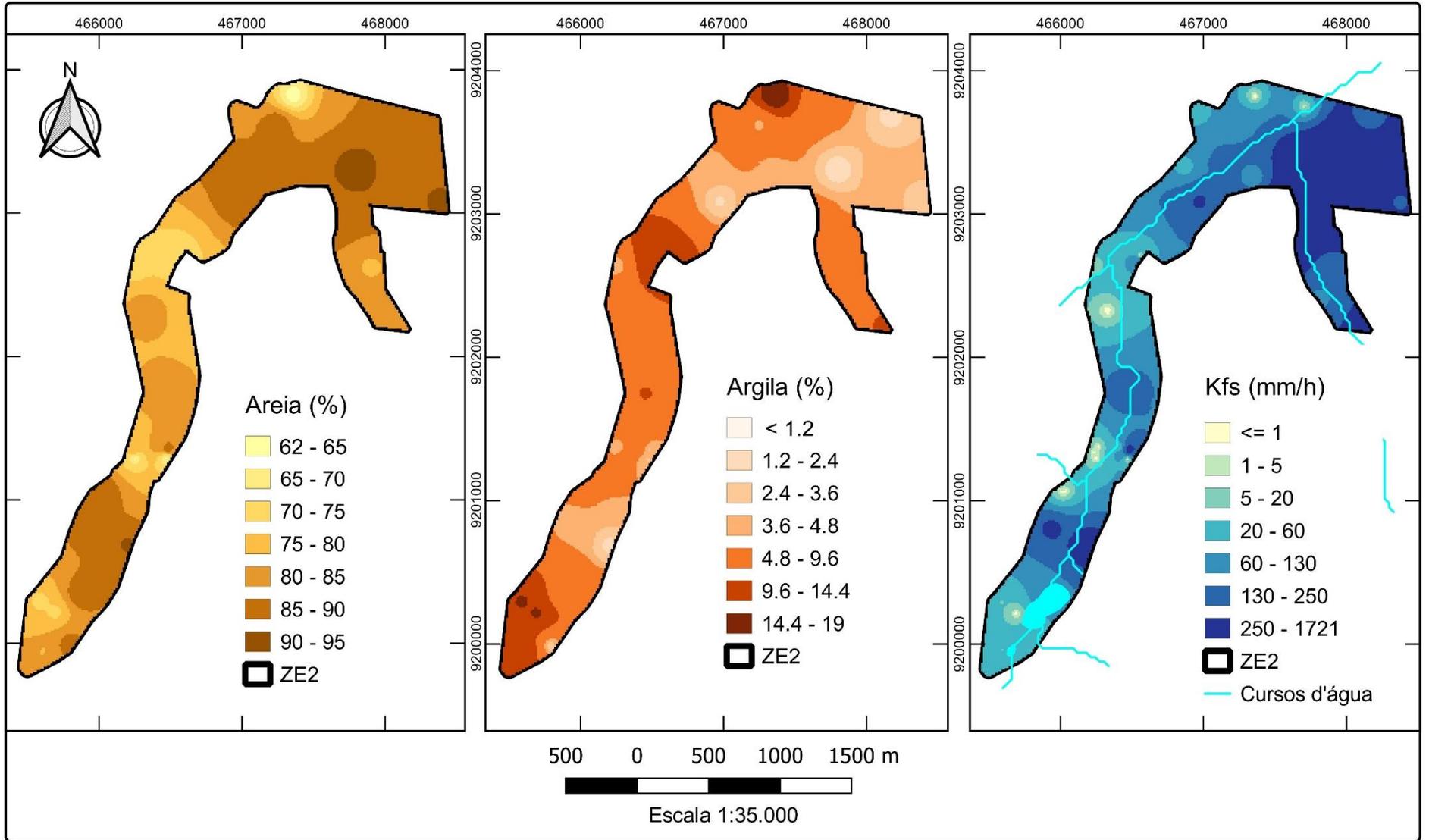
Continua.

Cont. Tabela 5.

P23	26	$7,2 \cdot 10^{-3}$	89,4	-	49	Área apresenta várias árvores nativas e exóticas e está dentro de área residencial (chácara). O proprietário relatou a existência de sulcos erosivos, os quais foram preenchidos com entulho.
P24	23	$2,1 \cdot 10^{-3}$	87,6	-	36	Área de loteamento com poucas construções ao redor e sem nenhuma árvore próxima ao ponto. Presença de algumas gramíneas secas.
P25	34	$2,6 \cdot 10^{-2}$	88,8	-	59	A cerca de 60m do leito do RT. O solo não aparenta ser contaminado por resíduos ou esgoto.
P26	25	$4,8 \cdot 10^{-2}$	87,9	-	45	Área aparentemente preservada, com diversas árvores nativas, apresentando serrapilheira e solo “fofo”.
P27	25	$6,2 \cdot 10^{-3}$	90,7	-	25	Área aparentemente não sofre muita interferência antrópica, apresentando muitas árvores nativas e o solo com bastante serrapilheira. Sem uso aparente.
P28	25	$1,1 \cdot 10^{-4}$	85	-	46	Área desmatada, às margens da área do encontro do RM com o RT (50m). Dentro de propriedade privada (chácara).

Fonte: Autor (2021)

Figura 14 – Representação cartográfica dos resultados da caracterização física do solo dos pontos amostrados na ZE2.



Fonte: Autor (2021)

5.3. Padrão de uso e ocupação do solo da ZE2

Através do processamento das imagens de satélite históricas da região onde a ZE2 está localizada (Figura 15), pode-se observar como se deu o avanço da área urbanizada.

Antes de iniciar a discussão, é válido esclarecer que por se tratar de imagens registradas em meses e anos diferentes (abril/2000; março/2005, setembro/2010 e julho/2020), assim como por satélites com resoluções distintas, ocorreu uma pequena variação na intensidade das tonalidades de algumas categorias entre as imagens. Exemplo disto pode ser visto na área urbanizada, a qual na imagem do ano 2000, coletada no mês de abril, está representada por uma tonalidade branco azulada, enquanto nas de 2005 e 2010 por um branco menos nítido com tons de azul e verde e na imagem de 2020 um tom amarelado com as vias asfaltadas em cinza escuro.

Quanto aos espaços vazios, áreas com vegetação e de solo exposto, nas imagens de 2000, 2005 e 2010, os espaços vazios estão na tonalidade verde, as áreas com vegetação de arbustiva a densa na cor vermelha e os espaços com solo exposto em branco nítido. Enquanto na imagem de 2020 não há registro de áreas com solo exposto, os espaços vazios apresentam-se no tom verde pântano e apenas as áreas com vegetação de arbustiva a densa permanecem na cor vermelha.

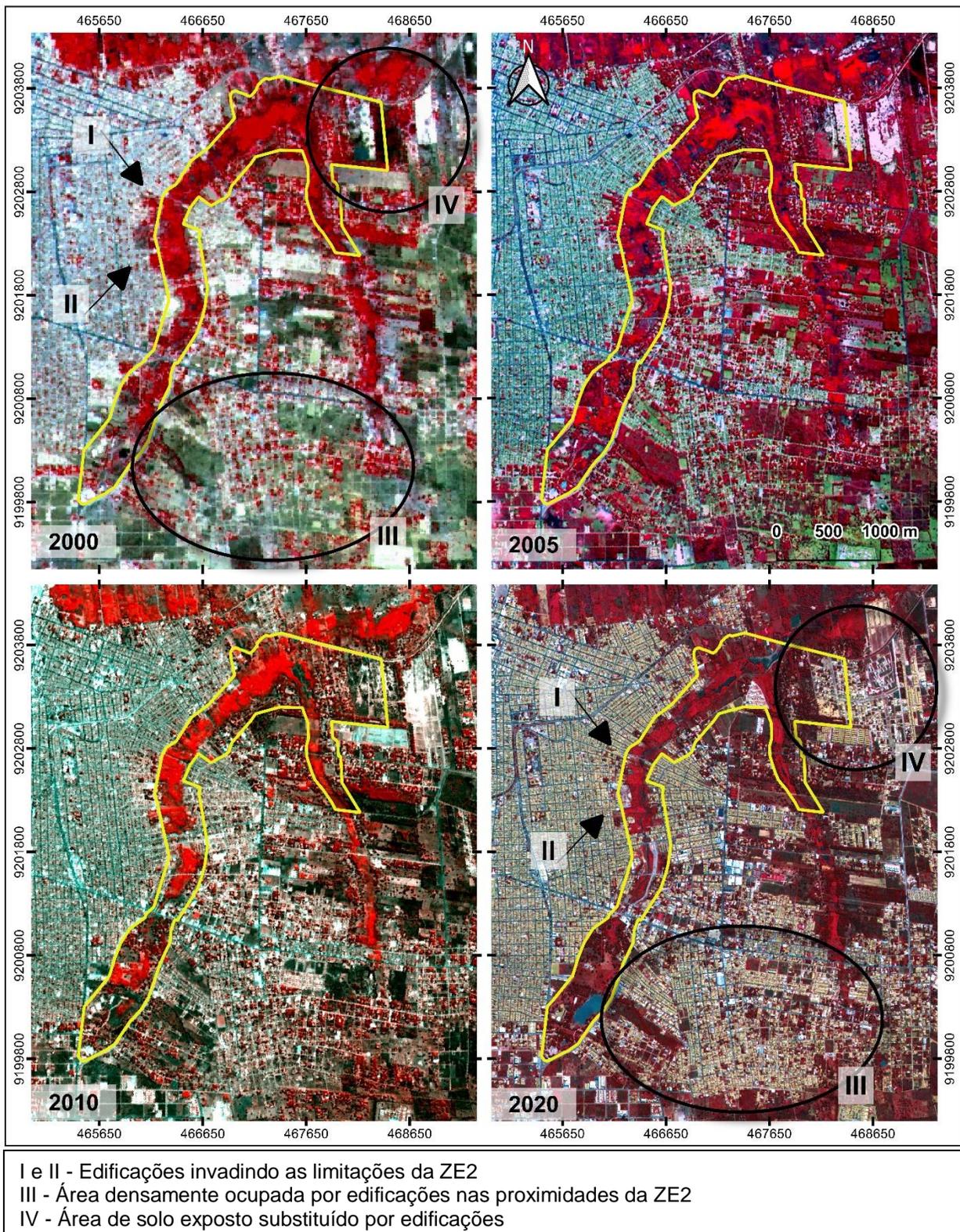
Ademais, destaca-se ainda que o aumento ou diminuição das áreas vermelhas na comparação entre uma imagem e outra pode estar associada a época de registro da imagem, uma vez que no período chuvoso muitas áreas de solo exposto migram para espaços vazios (vegetação rala) ou para áreas com vegetação arbustiva.

Na Figura 15 pode-se verificar um expressivo crescimento urbano ao redor da ZE2, em especial na região central da zona, conforme identificações I e II, e ao sul e nordeste da imagem, conforme destacado pelos círculos III e IV, respectivamente, onde na região IV o solo exposto foi substituído por residências unifamiliares.

Observa-se ainda que entre os anos de 2000, 2005 e 2010 não houve avanços significativos da malha urbana sobre a ZE2, diferentemente do período de 2010 a 2020, período inclusive que a mesma passou por quatro alterações no seu zoneamento para fins de loteamento de áreas e construção de residências, em sua maioria.

Em levantamento realizado a partir das imagens, verificou-se que no ano 2000 a ZE2 se encontrava com cerca de 6,07% da sua área com algum tipo de construção. Enquanto na imagem de 2020, essa área subiu para cerca de 15,86% de sua área total, representando um aumento de 61,73% da área urbanizada, seja para fins residenciais, comerciais, industriais ou mistos.

Figura 15 – Carta imagem: mosaico das imagens históricas evidenciando a evolução da área urbanizada na região e sobre a ZE2 em 20 anos.



Fonte: Autor (2021)

Para melhor expressar os dados obtidos na carta imagem, realizou-se a caracterização do uso e ocupação da ZE2 de forma detalhada, identificando-se 15 classes distintas, as quais estão elencadas no Quadro 6 e demonstradas na Figura 16.

Quadro 6 - Descrição das classes de uso e ocupação do solo utilizadas.

Classes	Descrição
<i>Pontos de Descarte Irregular de Resíduos Sólidos (PDIRS)</i>	Áreas que vem sendo utilizadas para o destino irregularmente de resíduos sólidos diversos, como entulho, resíduos de poda, resíduo comum domiciliar, pneus inservíveis, móveis velhos, entre outros, proveniente de carroceiros de tração animal, transportadores de veículos pequenos e moradores residentes na vizinhança.
<i>Área Construída Residencial</i>	Compreende a área construída dentro da área total do terreno: as regiões pavimentadas, áreas de lazer, piscinas, quadras, entre outras áreas impermeabilizadas, podendo compreender áreas mistas com uso residencial e comercial ou de prestação de serviço.
<i>Comércio e/ou Prestação de Serviço</i>	Área estritamente comercial e/ou de prestação de serviços.
<i>Indústria com efluente industrial</i>	Indústrias com geração de efluentes industriais que, segundo NBR 9800/1987, são despejos líquidos proveniente do processo produtivo, isso inclui os que tem origem no próprio processo de produção, nas águas de lavagem de operação de limpeza, dentre outros, que apresentem poluição por produtos utilizados ou produzidos no estabelecimento.
<i>Indústria sem efluente industrial</i>	Estabelecimento que desenvolve um conjunto de atividades que participam da fabricação de produtos manufaturados a partir de matérias-primas sem a geração de efluentes industriais.
<i>Instituição de Ensino</i>	Instituições de ensino infantil, fundamental, médio ou superior, públicas ou privadas.
<i>Templo religioso</i>	Locais onde é exercida a liberdade religiosa
<i>Área pública de Lazer</i>	Espaços públicos de circulação (como a rua ou a praça), espaços de lazer e recreação (como uma praça ou parque urbano), oferecidos para os cidadãos, favorecendo o convívio social e cultural.
<i>Unidades de Saúde</i>	Unidades de Pronto Atendimento (UPA), Unidades Básicas de Saúde (“postinhos”) e congêneres.
<i>CRAS</i>	Centro de Referência e Assistência Social
<i>Unidades de Poços da CAGECE</i>	Pontos de captação das águas subterrâneas para abastecimento público.
<i>Área com criação de animais</i>	Área delimitada destinada a criação de animais, encontrando-se diferentes animais como bode, boi, cavalos, porcos e galinhas.
<i>PNMT</i>	UC de Proteção Integral estabelecida pelo Decreto Municipal nº 352/2017.
<i>Área Livre</i>	Área sem construção ou pavimentação, compreendendo áreas gramadas, de solo exposto, espaços permeáveis em áreas residenciais, vazios urbanos (terrenos baldios cercados ou não), bem como áreas com vegetação rasteira ou vegetação remanescente.
<i>Não identificado</i>	Áreas de difícil acesso, não sendo possível identificar a natureza do uso e ocupação.

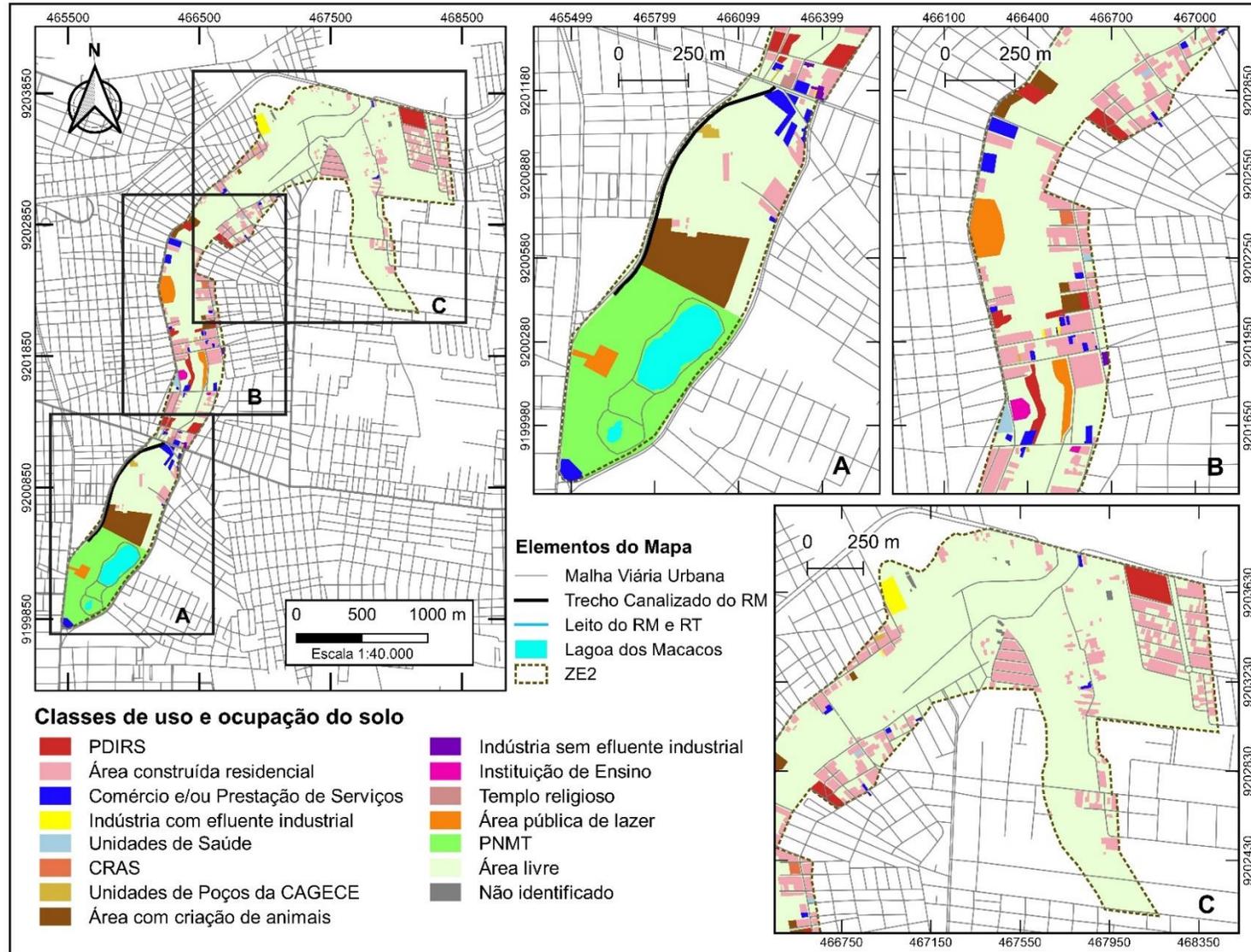
Fonte: Autor (2021)

A partir dos dados obtidos no mapa (Figura 16), dividiu-se a ZE2 em três setores de ocupação para melhor observação: A, B e C. No setor A, ao sul da ZE2, a área é constituída predominantemente por espaços livres com parte da vegetação de porte arbóreo, arbustivo e outra com vegetação de pasto. Esse setor integra o PNMT, a área mais conservada da zona com vegetação remanescente típica da Floresta Nacional do Araripe (FLONA).

O setor B – área central da ZE2 – apresenta uma concentração maior de ocupações residenciais e comerciais com indícios de crescimento, ocasionando o estreitamento da mata ciliar do riacho dos macacos. Esse setor também possui a maior parcela dos PDIRS, recebendo uma alta carga de resíduos da construção civil.

No setor C, área localizada na foz do RT - ao norte da ZE2 – a parcela de área livre também é significativamente ocupada em parte por vegetação arbustiva e vegetação de pasto e outra por área de convergência dos riachos dos macacos e das timbaúbas caracterizando-se por terreno plano, de extensão mais ou menos considerável e alagadiço, porém com sinais de expansão urbana sobre a zona (Figura 17 A e B), incluindo alterações recentes no seu zoneamento.

Figura 16 – Mapa detalhado de uso e ocupação do solo da ZE2



Fonte: Autor (2021)

Figura 17 – Área de convergência dos riachos dos macacos e das timbaúbas, localizada ao norte da ZE2, parte mais baixa das microbacias.



A – Foz do riacho das timbaúbas: área com terreno plano e alagadiço (brejo).



B – Estrada aterrada barrando a desembocadura do riacho das Timbaúbas no riacho dos Macacos e ao fundo da imagem a presença de edificações.

Fonte: Autor (2020)

Na Tabela 6 constam os percentuais da área de cada classe de uso e ocupação definida para a ZE2. Essa zona possui uma área impermeabilizada de cerca de 39%, das quais 11,44% consistem em residências, 1,46% trata-se de comércio e/ou prestação de serviço, 0,58% por indústrias, dentre outros tipos de edificações. Algumas das residências, inclusive, em situação de risco, quase no leito do Riacho dos Macacos, ficando suscetível a danos estruturais e perdas materiais em períodos chuvosos.

Ademais, destaca-se a presença de PDIRS compreendendo uma área superior a 6 hectares, promovendo a degradação do solo, riscos a qualidade hídrica e saúde pública da localidade.

Tabela 6 – Classes de uso e ocupação do solo e respectivas áreas em hectares e sua representatividade da área total da ZE2 em percentuais.

	Classe	Área Ocupada	
		Hectare	%
<i>Área Impermeabilizada</i>	Área Construída Residencial	30,98	11,44%
	Comércio e/ou Prestação de Serviço	3,95	1,46%
	Indústria com efluente industrial	1,27	0,47%
	Indústria sem efluente industrial	0,30	0,11%
	Unidades de Saúde	0,54	0,20%
	CRAS	0,24	0,09%
	Templo Religioso	0,23	0,09%
	Instituição de Ensino	0,52	0,19%
	Unidades de Poços da CAGECE	0,47	0,17%
	Não identificado	0,43	0,16%
<i>Área Permeável</i>	PNMT	23,40	8,64%
	Área Livre	189,85	70,08%
<i>Área com Permeabilidade Reduzida</i>	Área com criação de animais	8,57	3,16%
	Área pública de Lazer	4,03	1,49%
	PDIRS	6,12	2,26%

Fonte: Autor (2021)

É válido evidenciar que, conforme observado nas Figuras 15 e 16, em especial, o Riacho dos Macacos, canal de ordem 4, vem perdendo suas áreas permeáveis, tanto em sua zona aluvionar, inclusive em área de mata ciliar, quanto na sua vertente, para ocupações por residências, comércios e/ou prestadores de serviços, entre outros. Esta situação contribui para redução da capacidade de infiltração do solo e aumento do escoamento superficial dessas áreas. Assim, mesmo se tratando de uma microbacia com baixa propensão a enchentes, podem ocorrer alagamentos ao longo do seu leito na quadra chuvosa.

O estudo desse avanço é importante, pois contribui na compreensão dos resultados obtidos sobre a qualidade ambiental dessa área e, quando aliadas aos resultados provenientes da análise hidrogeomorfológica, na definição das diretrizes de uso e ocupação do solo.

5.4. Adequação a legislação de parcelamento do solo urbano e ambiental

Diante do que determina a PNMA quanto ao ZEE como um instrumento de organização do território a ser obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obras e atividades públicas e

privadas, defende-se nesse trabalho que a ZE2 se mantenha como uma zona de relevante interesse ambiental e socioeconômico, integrando, assim, um ZEE que venha a ser delimitado e implementado a nível municipal ou mesmo regional no ato da revisão do PDDU municipal que se encontra com 10 anos de atraso. Enquanto isso não ocorre, se faz crucial que os órgãos competentes na tomada de decisões considerem as restrições previstas no PDDU do município para a ZE2.

Ademais, os riachos integrantes da ZE2 não possuem APP's, fato este que dificulta mais ainda a preservação e conservação de suas margens. Ambos os riachos podem se enquadrar no Código Florestal (Lei Federal nº 12651/2012) no que tange a delimitação e definição legal dessas APP's não somente na categoria de cursos d'água "intermitentes", mas também por tratar-se de uma área comprovadamente importante à garantia do bem-estar público local e regional.

Observadas as características hidrogeomorfológicas da área, pode-se afirmar que a área de interesse dessa pesquisa representa um espaço fundamental para garantia das condições de bem-estar público por diversos fatores que compreendem os principais pilares da sustentabilidade: social, ambiental e econômico. Em especial, representa um espaço importante e determinante para a garantia da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos da região, visando inclusive o atendimento as futuras gerações, conforme os princípios do Desenvolvimento Sustentável.

Desse modo, para o estabelecimento de um ZEE deve-se considerar a importância ecológica, as limitações e as fragilidades dos ecossistemas, estabelecendo assim restrições e alternativas de exploração do território e determinando, quando for o caso, inclusive a realocação de atividades incompatíveis com suas diretrizes gerais (BRASIL, 2002).

Diante do exposto, segue proposta de zoneamento com as respectivas diretrizes urbanísticas e ambientais para a ZE2.

5.4.1. Diretrizes urbanísticas e ambientais

Com base nas características hidrogeomorfológicas e de uso e ocupação do solo levantadas nesta pesquisa, propõe-se a divisão da ZE2 e região em quatro zonas ambientais e uma subzona, denominadas, respectivamente, APP, Zona de Transição I (ZTI), Zona de Transição II (ZTII), Zona de Amortecimento (ZA) e Parque Linear Urbano (PLU; subzona da ZTII), as quais devem compreender toda a extensão do RM e RT, a fim de garantir a sua devida proteção e qualidade ambiental.

A delimitação dessas zonas e definição de suas restrições/limitações foram propostas com base na legislação urbana e ambiental, a saber: PNMA, Novo Código Florestal (Lei Federal nº 12.651/2012), Resolução CONAMA de nº 303/2002, Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC; Lei Federal nº 9.985/2000), Lei de Parcelamento de Solo Urbano (Lei Federal nº 6766/1979) e PDDU de Juazeiro do Norte (Lei Municipal nº 2.572/2.000).

Além dos aspectos legais, para a delimitação das zonas considerou-se: a necessidade de proteção com vistas a garantir a qualidade das características ambientais e socioambientais da área e, conseqüentemente, a manutenção da sua função ecossistêmica; a conservação ou recuperação das áreas úmidas (áreas de inundação); a restauração do curso natural do rio; a potencialidade de exploração para fins paisagísticos e de recreação e lazer para a população em conformidade com a legislação pertinente; e a necessidade de amortecimento sobre a área de interesse, a fim de minimizar os impactos negativos.

Dito isto, segue abaixo os critérios específicos para delimitação de cada zona.

- APP: delimitou-se uma margem de 30 metros a partir do leito dos riachos, conforme art. 4º do Código Florestal, tendo em vista que os riachos em quase toda a sua extensão apresentaram larguras inferiores a 10 metros.
- ZTI: essa zona foi pensada para ser uma extensão da APP visando garantir o cumprimento de sua função, além de servir como área de infiltração e suporte nos períodos chuvosos. Para sua delimitação considerou-se a declividade da ZE2, a qual apresentou na região central da zona características de plana a levemente ondulada (0 e 5,9%), ocupando uma faixa marginal em média de 60 metros e caracterizando-se como uma área propícia a retenção de água que, conforme inciso I do art. 3º da Lei de Parcelamento do Solo, é proibido o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações. Além desse aspecto, considerou-se o potencial que essa margem tem de proteger os cursos d'água e, conseqüentemente, a qualidade do solo e lençóis freáticos por se tratar da parte mais baixa da vertente e das microbacias. Ademais, admitiu-se também o fato de ser a parte da ZE2 com mais espaço livre.
- ZTII: para esta zona, além dos resultados de textura do solo aqui apresentados, indicando um solo suscetível a processos erosivos (poroso e permeável, predominantemente arenoso), observou-se que a área apresenta uma quantidade de edificações consideráveis, inviabilizando a desapropriação de todas elas. Aliado a isso, definiu-se o PLU a partir de

áreas livres e outras que possuem equipamentos de lazer existentes que podem ser aproveitados e revitalizados, no intuito de amortecer os impactos provenientes da urbanização, garantir uma área de lazer para a população e constituir uma área permeável permitindo a infiltração das águas pluviais.

- **ZA:** esta zona surgiu a partir da necessidade de garantir a minimização dos impactos negativos sobre a ZE2, tomando como base a definição de zona de amortecimento para unidades de conservação, conforme art. 2º, inciso XVII do SNUC. A sua delimitação fundamentou-se na análise das microbacias e na extração das vertentes que mais exercem influência direta sobre a ZE2.

No Quadro 7 apresenta-se o objetivo de cada zona, um resumo das características avaliadas no procedimento de delimitação e suas respectivas diretrizes quanto as potencialidades e restrições de cada zona. Na Figura 18 consta a ilustração do zoneamento proposto.

Quadro 7 – Zonas ambientais e suas diretrizes de uso e ocupação do solo com base nas características hidrogeomorfológicas da ZE2.

Zona	Objetivo	Características	Potencialidades/Adequabilidades	Restrições/Limitações
APP	Preservar os recursos hídricos, a qualidade do solo, a estabilidade geológica, a biodiversidade local e potencializar a paisagem.	Largura de 30 metros, desde a borda da calha do leito regular. Poucas edificações e predomínio de área livre e declividade entre 0 a 11,9%. Altimetria entre 365-375m. Protege os cursos d'água de ordem 3 e 4. K_{fs} entre 60 e 1721 mm/h e solo com teor de areia >70%.	Necessidade de desapropriação e recuperação da sua vegetação em alguns trechos; Capacidade potencial de transmissão e armazenamento de água subterrânea; Pode servir de corredor verde para UCs.	Proibida a ocupação urbana de qualquer natureza, seja ela residencial, comercial e/ou prestador de serviços ou industrial.
ZTI	Prevenção da poluição dos corpos hídricos, propiciar a recuperação e manutenção da APP e servir como área de infiltração e suporte nos períodos chuvosos.	Área com largura de 30 metros, desde a borda da APP; Área de expansão do leito dos riachos durante os períodos de chuva da região. Declividade predominante: 0 a 11,9%. Área com a menor altimetria da ZE2 (365-375m). K_{fs} entre 60 e 1721 mm/h e solo com teor de areia maior que 70%. Poucas edificações, predominando área livre.	Área destinada para implantação de área ambiental de drenagem, no intuito de receber o escoamento superficial das águas pluviais e, conseqüentemente, aumentar a taxa de infiltração dessas águas no solo. Fundamental ao ciclo natural das águas e no amortecimento das enchentes em período chuvoso.	

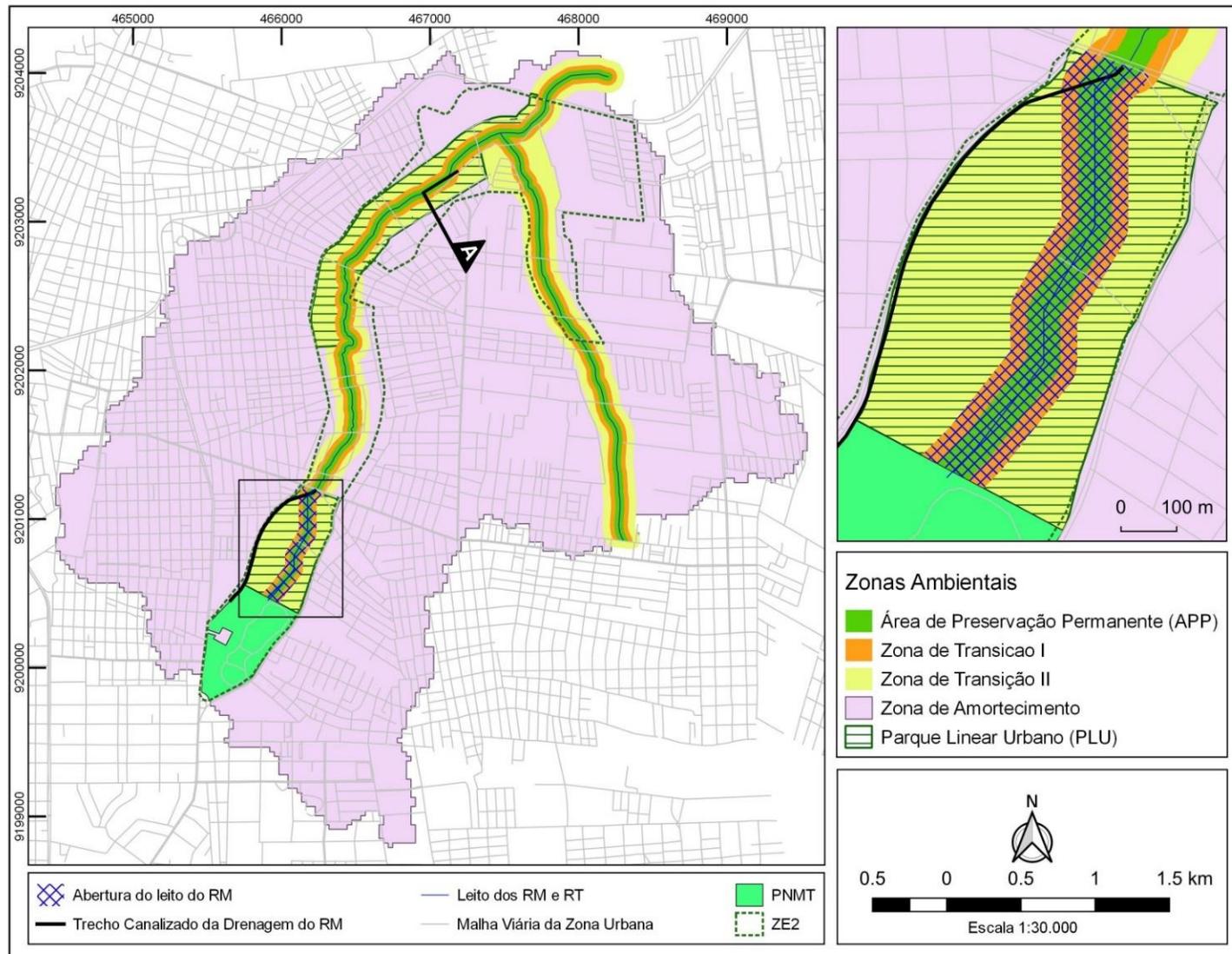
Continua

Cont. Quadro 7.

ZTI	Amenizar a transição entre a área mais densamente urbanizada e a área aluvionar dos riachos	Largura mínima de 50 m, desde a borda da ZTI. Predomínio de Declividade de 0 a 11,9%, K_{fs} entre 60 e 250 mm/h e teor de areia maior que 70%. Área urbanizada em expansão, construções em andamento e integra áreas públicas de lazer existentes.	Obrigatoriedade de dispositivos de retenção, tratamento preliminar e infiltração das águas pluviais. Pode-se permitir a instalação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) doméstico descentralizadas, desde que não ocupem uma área superior a 100m ² . Potencial para atividades de ecoturismo e lazer, com instalação de áreas com atrações socioculturais e socioambientais, viveiros de plantas, entre outras de cunho sustentável. Integra em sua área o PLU.	Proibida a instalação de novas residências, bem como de indústrias, independente do porte ou atividade e comércios e/ou prestadores de serviços
PLU	Conscientizar a população quanto a preservação dos recursos naturais através dos espaços de lazer e contemplação.	Área com potencial de explorar atividades de lazer, recreação e visitação. Declividade predominante: 0 a 5,9%. Predominância de solo com teor de areia superior a 85% e K_{fs} entre 60 e 1721 mm/h. Compreende áreas públicas de lazer existentes, predominando área livre.	Despertar na população o sentimento de pertencimento e cuidado necessários para a manutenção dos recursos existentes; Exploração econômica com o uso de quiosques e gastronomia local. Trecho para promover a recomposição dos aspectos morfológicos do riacho.	Proibida a instalação de residências, indústrias, independente do porte ou atividade; Comércios e/ou prestadores de serviços ficam restritos a atividades com fins turísticos e promoção de lazer e recreação à população.
ZA	Estabelecer normas e restrições específicas para as atividades humanas, a fim de minimizar os impactos negativos sobre a área de interesse.	Vertente hidrográfica, ou parte dela, de contribuição de escoamento superficial sobre os RM e RT da ZE2, delimitadas com base na direção de fluxo do escoamento superficial. Crescimento urbano desordenado e acelerado. A área apresenta forte caráter misto, residencial e comercial com densidade média a alta e altimetria de 380 a 450m.	Incentivo a instalação de dispositivos de retenção e infiltração das águas pluviais, ou seja, aumentar a cobertura de áreas permeáveis; Obrigações: ligação com a rede coletora de esgoto sanitário ou sistema individual de tratamento dos efluentes para residências; ETEs para indústrias, comércios e/ou prestadores de serviços, quando for o caso; Entrega do PGRS junto ao órgão ambiental para indústrias, comércios e/ou prestadores de serviços com área superior a 150m ² , quando for o caso; sistema de drenagem urbana submerso eficiente seguido de, pelo menos, tratamento preliminar.	Obras enterradas, destinadas ao armazenamento e à circulação de substâncias poluentes devem ser construídas com materiais de alta resistência à corrosão e ser frequentemente monitoradas para evitar a ocorrência de vazamentos. Proibida a instalação de lixões, aterros sanitários, utilização intensa de agrotóxicos e cemitério.

Fonte: Autor (2021).

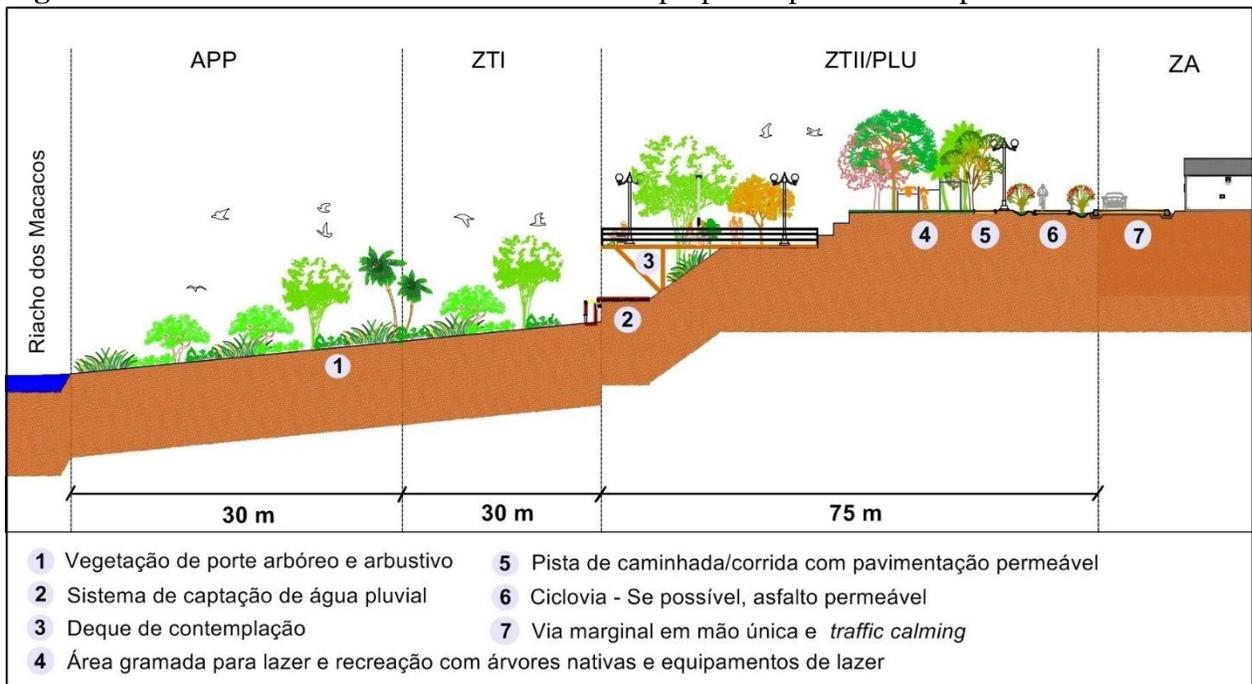
Figura 18 – Zonas Ambientais de planejamento ambiental urbano propostas para a área da ZE2.



Fonte: Autor (2021)

Para melhor visualização do que está sendo proposto nessa pesquisa apresenta-se na Figura 19 uma vista transversal das zonas propostas, conforme o corte A destacado na Figura 18. Para construção desse corte, utilizou-se a declividade levantada da área. Para a APP e ZTI propõe-se a recuperação da mata ciliar com vegetação de porte arbóreo e arbustivo adequadas para essa área. Na ZTII fez-se uma alteração do perfil do talude existente nas suas margens, criando degraus de contenção com deque de contemplação para recepção dos visitantes que possuem também a função de aproximar as pessoas do rio e da vegetação ripária. Ainda nesta zona, deve ser instalado um sistema de captação das águas pluviais com direcionamento para a ZTI. A área do PLU consiste em uma área com equipamentos de lazer e recreação em piso gramado, a fim de garantir a penetração da água pluvial no solo.

Figura 19 – Corte A: Sessão transversal das zonas propostas para a ZE2 a partir do RM.



Fonte: Autor (2021)

Em complementação ao Quadro 7 e considerando a problematização da ZE2 para proposições de mitigação dos problemas e potencialização das qualidades dessa área, elencou-se situações-tipo principais (Quadro 8), caracterizadas pelos problemas e conflitos identificados, com as respectivas diretrizes e ações, com base nos princípios do Desenvolvimento Regional

Sustentável, para revitalização da ZE2 visando nortear as intervenções necessárias a serem desenvolvidas na localidade,

Quadro 8 – Diretrizes para cada situações-tipo por zona ambiental com diretrizes e ações voltadas a revitalização para a ZE2.

	Zona de ação	Situações-tipo	Diretrizes	Ações
SOCIAL	ZA	Negligência socioambiental	Caracterização socioambiental das microbacias; valorização da identidade cultural da ZE2 junto aos moradores.	Educação ambiental que visem a sensibilização dos moradores; resgatar o papel histórico dos riachos e dar publicidade.
	APP ZTI	Ocupações irregulares	Contenção do avanço da urbanização; Novas formas de assentamento urbano respeitando os recursos naturais.	No caso de ocupações por residências, desenvolver trabalho conjunto entre as secretarias competentes para desapropriar essas residências, direcionando essas famílias para locais mais adequados de moradia; para empreendimentos comerciais, a desapropriação conforme legislações específicas; e, por fim, a desapropriação dos imóveis privados não edificadas por meios legais.
	ZTH	Mobilidade urbano e lazer as margens dos Riachos	Melhoria da mobilidade urbana por meio do tratamento marginal, garantindo o uso sustentável desses espaços.	Obras de engenharia com implantação de Parque Linear Urbano (PLU) com pistas de passeios/corrida, ciclovias, espaços para atividades recreativas devidamente arborizado com árvores nativas na Zona de Transição II, em caráter emergencial às margens do RM que sofre maior pressão do tráfego de veículos em ambos os lados de suas margens; Remodelar as vias marginais, passando à mão única, em <i>traffic calming</i> , além de uso de pavimentos permeáveis.
AMBIENTAL	APP ZTI	Mata ciliar	Preservação das margens dos riachos que integram a ZE2.	Definição das margens dos RM e RT como APP de interesse social, previsto no art. 6º do Código Florestal (Lei 12.651/2012) mediante lei municipal determinando princípios, diretrizes e restrições de uso e ocupação, além de Plano de Recuperação da mata ciliar com vegetação de porte arbóreo e arbustivo adequadas para essa área.
	APP ZTI ZTH	Trecho do RM canalizado	Revitalização da drenagem natural da área.	Estudar a possibilidade de recomposição dos aspectos morfológicos do riacho.
	ZA	Despejo de esgoto doméstico	Interromper o despejo de efluentes domésticos <i>in natura</i> no leito dos riachos através de medidas estruturais e não estruturais.	Instalação de infraestrutura de esgotamento sanitário em toda a área de contribuição de escoamento superficial da ZE2; Se necessário, instalar ETEs descentralizadas direcionando o efluente tratado para o leito dos riachos.
	ZA	Despejo de efluentes industriais	Garantir o desenvolvimento sustentável na Zona de Amortecimento da ZE2	Aumentar o monitoramento ambiental e aplicação das legislações vigentes; pode-se em acréscimo criar um “Selo Sustentável” que vise incentivar essas empresas a se adequarem ao modelo sustentável de gerenciamento e tratamento de seus resíduos.

Continua.

Cont. Quadro 8.

AMBIENTAL	APP	Água dos riachos poluída	Revitalização da qualidade das águas dos riachos	Aplicação de sistemas de <i>Wetlands</i> (pântanos) para retenção de poluentes e tratamento da água, em pontos a serem determinados estrategicamente a partir de estudos prévios.
	ZA ZTH	Descarte de RS	Controlar e fiscalizar as atividades dos geradores sujeitas a licenciamento ambiental pelo órgão, bem como aqueles isentos do licenciamento mas que devem possuir plano de gerenciamento de resíduos sólidos.	Instalar unidades de recebimento voluntário de resíduos sólidos diversos (Ecopontos) na Zona de Amortecimento garantindo pelo menos 1 para cada 25 mil habitantes, compreendendo RSCC, resíduos volumosos (móveis inservíveis ou velhos; resíduos de poda, resíduos de madeira etc.), materiais recicláveis secos, pneus inservíveis e resíduos eletrônicos. Esses espaços devem ter estrutura adequada para o recebimento e armazenamento temporário, operadores de controle na guarita e plano de gerenciamento.
	ZA ZTI ZTH	Ausência de drenagem urbana	Aumentar a taxa de infiltração de água pluvial no solo e controlar o escoamento superficial.	Instalar redes de drenagem adequada das águas pluviais nos pontos de maior concentração do fluxo de escoamento superficial, direcionando esse fluxo para os riachos, porém com sistemas de tratamento preliminar descentralizados antes do despejo.
ECONÔMICO	ZA ZTH	Desvalorização econômica	Valorizar os espaços livres como geradores de emprego e renda para a população local.	Produção e venda de espécies vegetais locais; concentração de atividades rentáveis: quiosques, novos centros gastronômicos na zona de transição II ou de amortecimento; Valorização dos catadores de materiais recicláveis existentes na localidade através dos Ecopontos, bem como associação de todas as ações descritas anteriormente.

Fonte: Autor (2021)

6. CONCLUSÕES

Com esta pesquisa pôde-se identificar fatores antrópicos que estão contribuindo com a degradação ambiental da área, em especial, a ausência de esgotamento sanitário e/ou ligação com a rede coletora de esgoto na sua área de influência direta e indireta, bem como de soluções estruturadas e efetivas para a destinação de resíduos sólidos volumosos (RSCC, resíduos de poda, móveis velhos, pneus inservíveis, etc.), conjuntamente com a carência de políticas socioambientais voltadas a orientação e informação da população e no descumprimento do que preconiza no PDDU quanto as permissões de uso e ocupação da zona. Constatou-se ainda que muitas pesquisas científicas desenvolvidas na área se limitam a verificação da qualidade das águas dos riachos que integram essa zona especial, desconsiderando os demais recursos naturais integrantes dessa área.

Diante dos resultados obtidos pela análise hidrogeomorfológica, a presente pesquisa confirma a sua hipótese de que a área de proteção ambiental ZE2 integra um sistema ecológico-ambiental fundamental para a preservação da quantidade e qualidade das águas subterrâneas da região, bem como para manutenção da qualidade de vida da população e do ambiente urbano. Desta forma, necessita de proteção física do solo, conservação da vegetação ripária e dos recursos hídricos que a integram, carecendo, portanto, de restrições mais rigorosas de uso e ocupação do solo.

A partir dos resultados obtidos, construiu-se um banco de dados da ZE2 quanto aos parâmetros de escoamento, textura dos grãos e permeabilidade do solo dessa área, possibilitando reconhecer seus potenciais socioambientais e sua funcionalidade ambiental enquanto parte de uma Bacia Hidrográfica. Além de serem dados importantes para o monitoramento ambiental e a tomada de decisões por parte dos órgãos ambientais competentes e demais órgãos envolvidos.

As diretrizes de uso e ocupação elencadas tomaram como base os resultados obtidos e os preceitos do desenvolvimento sustentável, bem como as legislações ambientais e urbanas existentes. Contudo, são sugestões que devem ser posteriormente analisadas pelos técnicos do poder executivo e, caso necessário, desenvolvido estudos com maiores detalhes.

Dito isto, recomenda-se para futuras pesquisas: o levantamento topográfico de detalha da área; a análise das propriedades químicas do solo (pH, teor de nutrientes, capacidade de troca iônica, condutividade elétrica e matéria orgânica) considerando a mesma malha amostral utilizada nesta pesquisa, a fim de verificar o nível de contaminação desse recurso, bem como a sua potencialidade na atenuação de poluentes nesse meio; a construção de mapa de uso e ocupação do

solo das microbacias em que a ZE2 está inserida, em escala de detalhe; a investigação da relação sócio-histórico-cultural e ambiental dos riachos integrantes da ZE2, a fim de resgatar o papel histórico dos cursos d'água e dar publicidade; e, por fim, um diagnóstico socioambiental das microbacias, de caráter informativo e educativo, no intuito de sensibilizar a população quanto à existência desse patrimônio natural.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. R. F. **Transporte reativo de contaminantes nitrogenados em zonas vadosa e saturada na bacia do RM em Juazeiro do Norte – Ceará.** 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) - Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2015.

ALMEIDA, J. R.; NUNES, A. C. S. Planejamento Urbano: uma abordagem sistêmica da interferência das áreas verdes na definição da qualidade de vida. **Revista Paisagem e Ambiente: Ensaios**, São Paulo, SP, n. 41, p. 187-210, 2018.

ALVIM, A. T. B. BRUNA, G. C. KATO, V. R. C. Políticas ambientais e urbanas em áreas de mananciais: interfaces e conflitos. **Revista Cadernos Metrópole**, v. 19, p. 143-164, 2008.

ALVIM, A. T. B. Água, território e sociedade: limites e desafios da gestão integrada das bacias hidrográficas na Região Metropolitana de São Paulo. In: APPURBANA. SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O TRATAMENTO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTES EM MEIO URBANO E RESTRIÇÕES AMBIENTAIS AO PARCELAMENTO DO SOLO. **Anais...**, FAAUSP, São Paulo, SP, 2007.

ARAÚJO, R. C. **Estudo da erodibilidade de solos da formação Barreiras.** 148 f. Dissertação (Mestrado) Pontífica Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

ARAÚJO, I. B.; LIMA, A. M. M.; SANTOS, C. A. Caracterização hidrogeomorfológica das paisagens componentes da Bacia Hidrográfica do Rio Tapajós. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, GO, v.11, n.22; p. 3301- 3327, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.** Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água.** Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 7181: Solo – Análise granulométrica.** Rio de Janeiro, 2016.

_____. NBR 13602: **Solo – Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio Sedimentométrico comparativo – Ensaio de dispersão SCS**. Rio de Janeiro, 1996.

BABAR, M. Hydrogeomorphological Analysis for Watershed Development In Jintur Tahsil, Parbhani Dist., Maharashtra. **Indian Streams Research Journal**, v. 1, n. 5, p. 168-173, 2011.

BANDEIRA, A. P. N.; MACEDO, C. C. A.; CLARINDO, G. S.; LIMA, M. G. S.; NETO, J. B. S. Assessment of potential surface degradation resulting from erosion processes in environmentally protected area. **Soils and Rocks**, v. 44, 2021.

BARBOSA, C.; CARVALHO, P. F. Zoneamento urbano-ambiental: possibilidades de compatibilização entre análise geomorfológica e padrões de ocupação urbanos para a construção de cidades sustentáveis. VI SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, II SEMINÁRIO IBERO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA. **Anais...**, Universidade de Coimbra, 2010.

BARTALINI, V. Áreas Verdes e Espaços Livres Urbanos. In: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (Org.). **Paisagem e Ambiente: ensaios**. 1 e 2. Ed. Especial. ISSN 0104-6098, São Paulo, SP, p. 49-54, 1986.

BASTOS, C. A. B; **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 303 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, 1999.

BEZERRA, C. O.; ALMEIDA, J. R. F.; LEITÃO, J. I. R.; FIGUEIREDO, J. V.; URSULINO, B. S. Determinação do coeficiente de permeabilidade de uma zona da área aluvial do RM em Juazeiro do Norte – Ceará. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO. INTERNATIONAL CONGRESS ON SUBSURFACE ENVIRONMENT, 4; CONGRESO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 4. **Anais...** São Paulo: ABAS, 2015.

BEZERRA, C. O.; SOUZA, I. L. T. A.; ALMEIDA, J. R. F.; GOMES, J. P. M.; CASTRO, I. M. P.; SOUSA, J. B.. Caracterização das águas subterrâneas provenientes de poços tubulares localizados às margens do RM para irrigação em Juazeiro do Norte-CE. In: CONNEPI, 7. **Anais...** Palmas-TO, 2012. ISBN 978-85-62830-10-5

BEZERRA, C. O.; SOUZA, I. L. T. A.; ALMEIDA, J. R. F. Monitoramento da qualidade físico-química das águas subterrâneas provenientes de poços localizados próximos ao RM em Juazeiro do Norte-Ceará. In: CONNEPI, 7. **Anais...** Palmas-TO, 2012. ISBN 978-85-62830-10-5

BIRON, P. M.; BUFFIN-BELANGER, T.; LAROCQUE, M.; CHONÉ, G.; CLOUTIER C.-A.; OUELLET, M.-A.; DEMERS, S.; OLSEN, T.; DESJARLAIS, C.; EYQUEM, J. Freedom space for rivers: A sustainable management approach to enhance river resilience. **Environmental Management** 54(5), p. 1056—1073, 2014.

BISPO, T.B.. **Análise de qualidade de água no município de Juazeiro do Norte-CE**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável) – Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, p. 97, 2015.

CAMARASA-BELMONTE, A.M.; SORIANO-GARCÍA, J. Flood risk assessment and mapping in peri-urban Mediterranean environments using hydrogeomorphology. Application to ephemeral streams in the Valencia region (eastern Spain). **Elsevier - Landscape and Urban Planning**, v. 104, p. 189–200, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. 188 p.

COGERH. **Parecer Técnico**: referente ao ofício nº 337/2018 ofício da Autarquia Municipal de Meio Ambiente do município de Juazeiro do Norte-CE. Relator: Thiago Alves da Silva. Núcleo Técnico/COGERH. Crato, CE, 11 jul. 2018.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Geodiversidade do estado do Ceará**. Org.: Ricardo de Lima Brandão [e] Luís Carlos Bastos Freitas – Fortaleza, 2014, p. 214.

DANTAS, A. C. C. L. **Sanitarismo e Planejamento Urbano**: A trajetória das propostas urbanísticas para Natal entre 1935 e 1969. 249 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, RN, 2003. Disponível em: <<http://www.natal.rn.gov.br/bvn/publicacoes/Anacclid.pdf>>. Acesso em 7 abr. 2020.

DIAS, G. M. **Cidade Sustentável**: Fundamentos legais, política urbana, meio ambiente, saneamento básico. Natal: Ed. do autor, 2009.

DIEB, M. A. Contribuições do trabalho de Saturnino de Brito à leitura das águas urbanas brasileiras no final do século XIX e início do século XX e suas repercussões na construção da paisagem urbana e na proteção dos corpos d'água e recursos hídricos. **Revista de pesquisa em arquitetura e urbanismo**, Instituto de Arquitetura e Urbanismo (IAU-USP), Núcleo Temático, p. 63-73, 2015.

EIJKELKAMP – Agrisearch Equipment. **Operating Instructions - Model 2800K1 Guelph Permeameter**. Art. no.: 09.07, 2008.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 56, p. 807-813, 1945.

How Flow Accumulation Works. **ESRI – Environmental Systems Research Institute**. ArcGis Pro, versão 10.5. [s.d]. Disponível em: <<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-flow-accumulation-works.htm>>. Acesso em: 7 abr. 2021.

FRANCO, M. A. R. **Planejamento Ambiental para a Cidade Sustentável**. 2. ed. São Paulo, SP, Annablume; Fapesp, 258 p., 2008.

GARCIAS, C.M., AFONSO, J.A.C. Revitalização de rios urbanos. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 1, n. 1, 2013, pp 131-144.

IPECE - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Municipal: Juazeiro do Norte**. Governo do Estado do Ceará, 2017. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Juazeiro_do_Norte_2017.pdf>. Acessado em: 05 set. 2020.

JADHAV, S. I.; BABAR, M. Linear and Aerial aspect of Basin morphometry of Kundka Sub-basin of Sindphana Basin (Beed), Maharashtra, India. **International Journal of Geology, Agriculture and Environmental Sciences**, v. 2, n. 3, p. 16-20, 2014.

JUAZEIRO DO NORTE. **Decreto Municipal nº 352 de outubro de 2017**. Dispõe sobre a criação do Parque Natural Municipal das Timbaúbas como Unidade de Conservação de Proteção Integral. Diário Oficial do Município, Juazeiro do Norte, CE, Ano XX, n. 4616, 07 nov. 2017, Caderno 1, p. 1.

_____. **Lei nº 2570, de 08 de setembro de 2000**. Dispõe sobre o Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo da Cidade de Juazeiro do Norte e dá outras providências. Juazeiro do Norte, CE, 2000. Disponível em: <<https://juazeiro.ce.gov.br/www2/Legislacao/LEI%202570-2000.pdf>>. Acessado em: 05 abr. 2020.

KOBIYAMA, M. Conceitos de zona ripária e seus aspectos geobiohidrológicos. I SEMINÁRIO DE HIDROLOGIA FLORESTAL: ZONAS RIPÁRIAS. **Anais...** Alfredo Wagner/SC, 2003.

LIMA, V.; AMORIM, M. C. C. T. Qualidade ambiental urbana em Oswaldo Cruz/SP. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. **Anais...** Viçosa-MG: UFV, 2009.

LIMA, W. de P. **Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ. 1969.

LOBOTA, G. R.; ANGELIS, B. L. D. de. Áreas Verdes Públicas Urbanas: conceitos, usos e funções. **Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais**, ISSN 1808-0251, V. 1, Nº 1, Guarapuava, PR, p. 125-139, 2005.

LOPES, L. N.; LIMA, R. N.; RODRIGUES, R. C. L. S.; LEMOS, M. W. A. Caracterização hidrogeomorfológica da bacia hidrográfica do Rio João Mendes. 16º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. **Anais...** São Paulo, SP, 2018. Disponível em: <http://www.schenautomacao.com.br/cbge/envio/files/trabalho_84.pdf>. Acessado em 03 set. 2020.

LUENGO, Gerardo. Elementos para la definición y evaluación de la calidad ambiental urbana. Uma proposta teórico-metodológica. IV SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE CALIDAD DE VIDA URBANA. **Anais...** Tandil, 1998.

MACÊDO, C.C.A.; SALES, J.P.; FIGUEIRÊDO, S.S.M.; GRANGEIRO, T.L.; OLIVEIRA, C.W.. Avaliação sobre a disposição irregular dos resíduos sólidos urbanos a partir de técnicas de sensoriamento remoto. **Nature and Conservation**, v.11, n.1, p. 1-8, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2018.001.0001>

MACÊDO, C.C.A.. **Diagnóstico da erodibilidade e da qualidade hídrica em uma unidade de conservação municipal**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável) – Universidade Federal do Cariri, Crato, 2019.

MACHADO, L. M. C. R. **Qualidade ambiental: indicadores quantitativos e perceptivos**. São Paulo: EDUC/COMPED/INEP, 2001.

MAIA, F. M. A.; ARAÚJO, A. O.; LIMA, M. G. S.; SILVA, C. J. C.; SILVA, F. J. A. Matéria orgânica em amostras de sedimentos na rede de drenagem natural de Juazeiro do Norte, Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2015.

MARANHÃO, R.M.R.; IRA, M.V.; SOUZA, H.P.; DUARTE, C.R.D.; SABADIA, J.A.B. Caracterização hidrogeomorfológica do entorno da jazida fósforo-uranífera de Itataia, Ceará, Brasil. **REGNE**, v. 2, n. especial, 2016.

MARCHETTI, D. A. B. Características da rede de drenagem e formas de relevo em três unidades de solo de Piracicaba, SP. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, 15(3), p. 349-358, 1980.

MARTINS, L.F.V.; ANDRADE, H.H.B.; HANISCH, R.F.; ANGELIS, B.L.D.; CAXAMBU, M. G. Análise da compatibilidade da arborização viária com o ambiente construído na cidade de Luiziana, Paraná, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, SP, v.6, n.3, p.103-127, 2011.

MIDDLETON, H. E. Properties of soils wich influence soil erosion. **U.S. Department Agricultural Technical Bulletin**, n. 178, 16p, 1930.

MILLER, V. C. A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain área. **Technical Report**, Dept. Geology, Columbia University, 1953.

MORELI, A. P.; PEREIRA, D. P.; SILVA, S, F. Caracterização morfométrica da sub-bacia hidrográfica do Córrego Cancã em Venda Nova do Imigrante – ES – BRASIL. **Nucleus**, v.11, n. 2, p. 385-396, 2014.

NETO, A. F. S.; GUIMARÃES, C. L.; ARAÚJO, J. S.; ARAÚJO, J.S. Geotecnologias para a caracterização morfométrica de bacia hidrográfica. XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.

NETO, R. T. L.; MENDONÇA; PEREIRA, L. A. R., J. A.; SOUSA, C. A. V.; GONÇALVES, J. Y. B.; FRISCHKORN, H. Análise morfométrica e ambiental da microbacia hidrográfica do Granjeiro, Crato/CE. **REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto**, v. 61, n. 3, p. 365-369, 2008.

OLIVEIRA, J.L. **Avaliação de indicadores de poluição de solos e águas e suas Implicações no sistema de abastecimento público de Juazeiro do Norte-CE**. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2014.

OLIVEIRA, C.L.M.; GOMES, F.D.Q.; SANTIAGO, M.O.; FILHO, F.J.P.. Distribuição de metais traço em sedimentos superficiais de riachos urbanos de Juazeiro do Norte. In: SEMANA OFICIAL DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 72. **Anais...** Fortaleza: Centro de Eventos do Ceará, 2015.

PASCHOAL, L. G.; CONCEIÇÃO, F. T. CUNHA, C. M.L. Alterações hidrogeomorfológicas devido à dinâmica de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Gertrudes (SP).

Revista Brasileira de Geociências, v. 42 (*Suppl 1*), p. 70-83, 2012.

PORTO, K. G.; FERREIRA, I. M. Gestão das bacias hidrográficas urbanas e a importância dos ambientes ciliares. **Geografia em questão**, ISSN 2178-0234, v. 05, n. 02, p. 43-57, 2012.

RIBEIRO, V. H. Estudo de caso de solução para fundação em solo expansível em Sousa-PB. 108 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba-UFPB, João Pessoa, 2019.

ROMERO, M. A. B. *et al.* **Arquitetura bioclimática do espaço Público**. Brasília: Editora UNB, 2001.

SABIÁ, R. J. **Estudo do padrão de emissão de poluentes para o enquadramento de rios intermitentes: estudo de caso do Rio Salgado, Ce.** 2008. 101 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2008.

SATTLER, M. A. Edificações sustentáveis: interface com a natureza do lugar. In: MENEGAT, R.; ALMEIDA, G. (Org.). **Desenvolvimento sustentável e gestão ambiental nas cidades: estratégias a partir de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004. p. 259-299.

SCHEIDEGGER, A. E. Hydrogeomorphology. **Journal of Hydrology**, n. 20, p. 193-215, 1973.

SIEFERT, C. A. C.; SANTOS, I. Mecanismos de geração de escoamento e áreas hidrologicamente sensíveis: uma abordagem hidrogeomorfológica para delimitação de áreas de preservação permanente. **RA'EGA – O espaço geográfico em análise**, ISSN: 2177-2738, Departamento de Geografia – UFPR, Curitiba, PR, p. 227-257, 2012.

SANTOS, M. R. P.; SANTIAGO, M. M. F.; MENDONÇA, L. A. R.; FRISCHKORN, H.; MENDES FILHO, J.. Modelagem do transporte de cloreto proveniente de esgoto urbano em um aquífero sedimentar usando MT3D: o caso da bateria de poços de Juazeiro do Norte (CE). **Eng Sanit Ambient**, v. 19, n. 3, p. 283-292, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522014019000000698>

SILVA, A. M. M.. **Avaliação da qualidade ambiental da sub-bacia hidrográfica das Timbaúbas, no sul do Ceará**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável) - Universidade Federal do Cariri, Crato, 2019.

SILVA, C. J. C. **Influência antrópica na composição dos sedimentos da rede de drenagem natural de Juazeiro do Norte-CE.** 119 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável)-Centro de Pesquisa e Pós-graduação do Semiárido, Universidade Federal do Cariri-UFCA, Juazeiro do Norte, CE, 2013.

SILVA, C. S. **Avaliação das condições hidrogeomorfológicas da bacia hidrográfica do Rio Jaboaão.** 136 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)- Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2018.

SILVA, G. J. A. WERLE, H. J. S. Planejamento Urbano e Ambiental nas municipalidades: da cidade à sustentabilidade, da lei à realidade. Paisagens em Debate. **Revista eletrônica da área paisagem e ambiente**, FAU-USP, São Paulo, SP, n. 05, 2007.

SILVA L. B.; MOREIRA, C. C. B.; LIMA, A. G. P. S.; MEDEIROS, P. C.; SILVA, R. S.. Contaminação por nitrato na bateria de poços tubulares às margens do RM em Juazeiro do Norte – CE. AESABESP, In: CONGRESSO NACIONAL DE SANEAMENTO E MEIO AMBIENTE, 30. **Anais...** São Paulo: Expor Center Norte, 2019.

SILVA, M.M.C.; NASCIMENTO, D.C. Legislação urbana e sustentabilidade: reflexões sobre o caso de Juazeiro do Norte - CE. In: ENEPCP, 3. **Anais...** Campus Universitário: UFRN, p. 3050-3057, 2020.

SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, E. P.; OLIVEIRA, S. D. Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 03, p. 646-660, 2012.

SOUSA, C. A. V., COSTA, M. D. G., GONÇALVES, J. Y. de B. Gestão participativa na fonte da Batateira no município do Crato, Ceará, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2013, Bento Gonçalves – RS. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

SOUZA, M. R; SCOPEL, I.; MARTINS, A. P. Áreas verdes no sítio urbano de Jataí (GO). **Revista Online Caminhos de Geografia**, ISSN 1678-6343, MG, v. 15, n. 5. p. 90-103, Uberlândia, 2014.

URSULINO, B. S.; ALMEIDA, J. R. F.; LEITÃO, J. I. R.; FIGUEIREDO, J. V.; BEZERRA, C.. Agrupamento hierárquico aglomerativo na avaliação da qualidade das águas subterrâneas do

município de Juazeiro do Norte - Ceará. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE SUBTERRÂNEO, 4. **Anais...** 2015.

VILLELA, S. M.; MATOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975.

XAVIER, J.C.; COSTA, P.E.S.; HISSAB, D.C. *et al.*. Evaluation of the microbial diversity and heavy metal resistance genes of a microbial community on contaminated environment. **Applied Geochemistry**, v. 105, p. 1-6, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.04.012>

ZUQUETTE, L. V. **Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para Condições Brasileiras**. 1987. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

APÊNDICES

Apêndice A – Leis de alteração do zoneamento da ZE2



República Federativa do Brasil
Estado do Ceará
Município de Juazeiro do Norte
Poder Executivo

22.04.2014
Secretária Executiva

LEI Nº 4309, DE 10 DE ABRIL DE 2014

Altera a Planta Oficial de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano de que trata o Anexo II, Módulo 1, da Lei Municipal nº 2570, de 08 de setembro de 2000, que dispõe sobre o Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano, que compõe o PDDU – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do Município de Juazeiro do Norte e adota outras providências.

O PREFEITO DO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE, Estado do Ceará.

Faço saber que a CÂMARA MUNICIPAL aprovou e eu sanciono e promulgo a seguinte Lei:

Art. 1º - Altera a Planta Oficial de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano do Município de Juazeiro do Norte, de que tratam os arts. 35, 38, I, II, III, IV, V e VI e 58, II, da Lei nº 2570, de 08 de setembro de 2000, Anexo II, Módulo 1, em Anexo, parte integrante desta Lei, para transformar parte da Zona Especial (ZE2) do Bairro Timbaúbas, em Zona de Uso Misto (ZUM), no trecho compreendido do prolongamento da rua sem denominação oficial SDO 49, hoje denominada de RUA MIGUELINA ARAÚJO, sentido sul/norte, numa extensão de 170m (ceto e setenta metros), daí seguindo em direção leste, numa extensão de 550,00m (quinhentos e cinquenta metros), até o prolongamento da malha cicloviária trecho 08, daí, no sentido norte/sul, numa extensão de 300,00m (trezentos metros), até o encontro do prolongamento da rua projetada 103.

Art. 2º – Altera a Planta Oficial de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano do Município de Juazeiro do Norte, de que tratam os arts. 35, 38, I, II, III, IV, V e VI e 58, II, da Lei nº 2570, de 08 de setembro de 2000, para transformar 5 (cinco) ZR1 em ZR4;

Art. 3º - Altera a Planta Oficial de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano do Município de Juazeiro do Norte, de que tratam os arts. 35, 38, I, II, III, IV, V e VI e 58, II, da Lei nº 2570, de 08 de setembro de 2000, para transformar 6 (seis) ZR1 em ZR2 e ZR3;

Art. 4º - Altera a Planta Oficial de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano do Município de Juazeiro do Norte, de que tratam os arts. 35, 38, I, II, III, IV, V e VI e 58, II, da Lei nº 2570, de 08 de setembro de 2000, para transformar uma (1) ZR2 em ZUM;

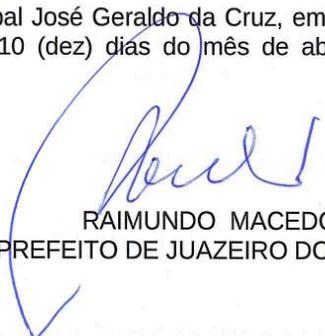


República Federativa do Brasil
Estado do Ceará
Município de Juazeiro do Norte
Poder Executivo

Art. 5º - Altera a Planta Oficial de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano do Município de Juazeiro do Norte, de que tratam os arts. 35, 38, I, II, III, IV, V e VI e 58, II, da Lei nº 2570, de 08 de setembro de 2000, para transformar 2 (duas) ZE1 em uma (01) ZR4 e uma (01) ZCES e uma (01) ZR1 em 01 (um) ZI.

Art. 6º - Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação, revogam-se as disposições em contrário.

Palácio Municipal José Geraldo da Cruz, em Juazeiro do Norte, Estado do Ceará, quinta-feira, 10 (dez) dias do mês de abril do ano dois mil e catorze (2014).///


RAIMUNDO MACEDO
PREFEITO DE JUAZEIRO DO NORTE



República Federativa do Brasil
Estado do Ceará
Município de Juazeiro do Norte
Poder Executivo

Expediente nº 28.05.14
- Secretária Executiva -

LEI Nº 4317, DE 22 DE MAIO DE 2014

Altera a Lei nº 4309, de 10.04.2014, para inserir parágrafos em seus arts. 2º, 3º, 4º e 5º e o parágrafo 3º ao art. 25 e inciso III do art. 26 da Lei nº 2570/2000 que dispõe sobre a Planta Oficial de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano PDDU – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do Município de Juazeiro do Norte e adota outras providências.

O PREFEITO DO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE, Estado do Ceará.

FAÇO SABER que a CÂMARA MUNICIPAL aprovou e eu sanciono e promulgo a seguinte Lei:

Art. 1º – O art. 2º da Lei Municipal nº 4309, de 10 de março de 2014, passa vigorar acrescido dos seguintes parágrafos:

“ART. 2º - (.....)

§ 1º – A área compreendida entre as Avenidas Humberto Bezerra e Virgílio Távora, até os limites com a ZE2 passará de ZR1 para ZR4;

§ 2º – A área compreendida entre a Avenida Antônio Correia Celestino, até a Rua Pedro Cardoso Sobreira e Rua Genário Oliveira, até a Rua Maria Olésia Nascimento, passará de ZR1 para ZR4;

§ 3º – A área que faz limite entre as Ruas Abílio José Bezerra até a rua sem denominação oficial (primeira rua depois da Rua Augusto Dias) e Rua Vicente Leite, até a Rua José Leite da Silva e Rua Menino Jesus de Praga, passará de ZR1 para ZR4;

§ 4º – A área compreendida entre a Rua Radialista Coelho Alves até a Rua Olgivy Magalhães e a Rua Antônio Nunes de Oliveira, até a Rua Santo Amâncio, passará de ZR1 para ZR4;

§ 5º – A área compreendida entre a Rua Sebastião Régis até a Rua José Martins da Silva e a Rua S.D.O. (terceira rua paralela a Avenida Virgílio Távora) até o limite com a via férrea, passará de ZR2 para ZR4”.

Art. 2º – O art. 3º da Lei Municipal nº 4309, de 10 de abril de 2014, passa a vigorar acrescido dos seguintes parágrafos:

PREPOSTO



República Federativa do Brasil
Estado do Ceará
Município de Juazeiro do Norte
Poder Executivo

“ART. 3º - (.....)”

§ 1º – A área compreendida entre a Avenida Manoel Coelho Alencar até a Rua Expedido Ramos da Silva e a Avenida Virgílio Távora até a Rua Ary Cruz, passará de ZR1 para ZR2;

§ 2º – A área compreendida entre a Rua Cecília Silva de Souza até a Rua Maria Ana Pereira e Rua Raimundo Pereira da Silva até a Rua José Dourado da Silva, passará de ZR1 para ZR3;

§ 3º – A área compreendida entre a Rua Vaqueiro Raimundo Jacó até a Rua Levy Benício Leite até a Avenida Humberto Bezerra, até a Rua Jim Wilson, passará de ZR1 para ZR3;

§ 4º – A área compreendida entre a Rua Fausto Pessoa dos Santos até a Travessa José Abraão Costa Filho e a Rua José Rosendo de Souza até a Rua José Antônio Severino, passará de ZR1 para ZR2;

§ 5º – As Zonas ZR1 localizadas ao longo da Avenida Paulo Maia, passarão a ser ZR2;

§ 6º – A área compreendida entre a Rua Vicente Teixeira de Macedo até a Rua Odilon Figueiredo e a Rua José Agostinho de Oliveira até a Rua Professora Vaneida Soares Bezerra, passará de ZR1 para ZR2”.

Art. 3º – O art. 4º da Lei Municipal nº 4309, de 10 de abril de 2014, passa a vigorar acrescido de parágrafo único:

“ART. 4º (.....)”

Parágrafo único – A área compreendida entre a Avenida Castelo Branco até a Rua Francisca Paula Bezerra e Rua 22 de Julho, até a Rua Filomena passará de ZR2 para ZUM”.

Art. 4º – O art. 5º da lei Municipal nº 4309, de 10 de abril de 2014, passa a vigorar acrescido dos seguintes parágrafos:

“ART. 5º - (.....)”

§ 1º – A área compreendida entre a Avenida Maria Ednir Bezerra de Mendonça até a Rua Samuel Correia Lira, dando continuidade na Rua Romildo Ferreira Lins e Rua Francisca Bezerra Barbosa e entre a Rua Vereador José Gonçalves de Almeida até a Rua Inspetor Iuri Martins Falcão, passará de ZR1 para ZCSE:



República Federativa do Brasil
Estado do Ceará
Município de Juazeiro do Norte
Poder Executivo

§ 2º – A área compreendida entre a Avenida Ailton Gomes até a Avenida Antônio Pereira da Silva, fazendo limite com a Rua Otônio Lira da Cruz, passa de ZE2 para ZCSE;

§ 3º – A área compreendida entre a Rua Moacir Gondim Lóssio até a Rua Francisco Martins de Souza e Rua Comerciaro João Alves Silva até a Rua Cerelino Quezado Filgueiras Filho, dando continuidade até a Rua Manoel Tavares Lopes com a Rua Professora Deuva Alencar, passará de ZR1 para ZI;

§ 4º – A área compreendida entre a Rua Paizinho Sabiá até a Rua Vicente Teixeira de Macedo e a Rua Danilo Leite até a Rua João Pereira, passará de ZR1 para ZI, área do Mini distrito Industrial;

§ 5º – A Zona ZE1 (Zona do Parque Central) localizada no centro da cidade passará a ser ZCSE”.

Art. 6º – O § 3º do art. 25 da Lei nº 2570, de 08 de setembro de 2000, passa a vigorar com a seguinte redação:

“ART. 25 - (.....)

§ 3º – Os usos residenciais permitidos são restritos a uma única família por lote, sendo todas atividades industriais proibidas, permitidas apenas atividades comerciais e de serviços”.

Art. 7º – O art. 26 da Lei nº 2570, de 08 de setembro de 2000, passa a vigorar acrescido do inciso III:

“ART. 26 - (.....)

III – Comerciais e Serviços”.

Art. 8º - Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 9º – Revogam-se as disposições em contrário.

Palácio Municipal José Geraldo da Cruz, em Juazeiro do Norte, Estado do Ceará, aos 22 (vinte e dois dias do mês de maio do ano dois mil e catorze (2014).///


RAIMUNDO MACEDO
PREFEITO DE JUAZEIRO DO NORTE



Expediente
13.01.2020
Diretora Geral

LEI Nº 5.036, DE 23 DE DEZEMBRO DE 2019

Altera a Planta Oficial de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano de que trata o Anexo II, da Lei Municipal nº 2.570/2000.

O PREFEITO DO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE, Estado do Ceará, no uso de suas atribuições legais e com fundamento no art. 72, inciso III, da Lei Orgânica do Município de Juazeiro do Norte.

FAÇO SABER que a CÂMARA MUNICIPAL aprovou e eu sanciono e promulgo a seguinte Lei:

Art. 1º Fica alterada a Planta Oficial de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo Urbano no Município de Juazeiro do Norte, Estado do Ceará a área com as seguintes delimitações: Do vértice FCF-M-0001 segue até o vértice FCF-M-0002, com coordenadas U T M E=468.130,7700 e N=9.203.120,1800, no azimute de 169°37'29", na extensão de 377,67 m; do vértice FCF-M-0002 segue até o vértice FCF-M-0003, com coordenadas U T M E=468.016,6280 e N=9.203.136,8370, no azimute de 278°18'10", na extensão de 115,35 m; do vértice FCF-M-0003 segue até o vértice FCF-M-0004, com coordenadas U T M E=467.958,0350 e N=9.203.476,6650, no azimute de 350°13'02", na extensão de 344,84 m; Finalmente do vértice FCF-M-0004 segue até o vértice FCF-M-0001, no azimute de 81°50'37", na extensão de 105,79 m, fechando assim o polígono acima descrito, abrangendo uma área de 38.908,27m² ou 3,89 ha um perímetro de 943,65 m, para alteração da Zona ZE2 para ZR4.

Art. 2º Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Art. 3º Ficam revogadas as disposições em contrário.

Palácio Municipal José Geraldo da Cruz, em Juazeiro do Norte, Estado do Ceará, aos 23 (vinte e três) dias do mês de dezembro do ano de dois mil e dezanove (2019)./////

JOSÉ ARNON CRUZ BEZERRA DE MENEZES
PREFEITO MUNICIPAL DE JUAZEIRO DO NORTE

Apêndice B – Tabela resumo dos resultados obtidos nos ensaios granulométricos para as amostras coletadas na área da ZE2.

Amostra		Pedreg.	Areia			Silte	Argila	Pass. #200
			Grossa	Média	Fina			
P01	Com Defloc. (%)	23,1	7,3	38,6	18,5	9	3,5	16,4
	Sem Defloc. (%)	23,1	6,5	38,4	22	10	0	14,6
P01.1	Com Defloc. (%)	0,4	3,8	54,8	31	8	2	12,4
	Sem Defloc. (%)	0,4	3,5	54,6	36,5	5	0	12,2
P02	Com Defloc. (%)	0,3	6,5	60,7	23,5	7	2	9
	Sem Defloc. (%)	0,3	6,7	61	29	3	0	8,39
P03	Com Defloc. (%)	0,1	3,2	54,7	29	9	4	16,9
	Sem Defloc. (%)	0,1	4	59,9	32	4	0	8,5
P04	Com Defloc. (%)	0,1	2,5	58,4	27,5	8,5	3	13,2
	Sem Defloc. (%)	0,1	2,7	61,2	31	5	0	11,4
P05	Com Defloc. (%)	20	8,9	36,6	19	9,7	5,8	18,2
	Sem Defloc. (%)	20	9,2	38,8	22,2	9,8	0	14,4
P06	Com Defloc. (%)	0,8	5,9	62,3	20	6	5	12,1
	Sem Defloc. (%)	0,8	5,8	61,9	28	3,5	0	11,4
P07	Com Defloc. (%)	0	1,4	31,6	29	19	19	41,5
	Sem Defloc. (%)	0	1,3	31,7	36	28	3	39,3
P08	Com Defloc. (%)	1	5	53	25	6,1	9,9	18
	Sem Defloc. (%)	1	4,9	54,1	29	11	0	17
P09	Com Defloc. (%)	0,6	4,1	48,3	31,5	7,5	8	18,4
	Sem Defloc. (%)	0,6	4,8	49,6	34,5	10,5	0	16,8
P10	Com Defloc. (%)	9	6,4	46,6	25,5	8	4,5	16,8
	Sem Defloc. (%)	9	6,3	47,2	28,5	9	0	15,7
P11	Com Defloc. (%)	3,5	3,1	41,4	29,1	8	14,9	25
	Sem Defloc. (%)	3,5	4,2	43,3	31,5	12,5	5	23,3
P12	Com Defloc. (%)	0,4	5,1	49,5	25,5	9	10,5	21,9
	Sem Defloc. (%)	0,4	5,6	52,5	30,5	11	0	18,6
P13	Com Defloc. (%)	0,4	7,3	59,3	16	12	5	18,7
	Sem Defloc. (%)	0,4	7,7	59,9	24	8	0	18
P14	Com Defloc. (%)	2,4	7,5	50,1	21,5	9,5	9	20,4
	Sem Defloc. (%)	2,4	7,4	50,2	30	10	0	19,3
P15	Com Defloc. (%)	3,8	8,4	52,8	22	5,1	7,9	13,8
	Sem Defloc. (%)	3,8	7,7	53	26,5	9	0	13,6
P16	Com Defloc. (%)	0,8	5,4	51,9	31,4	8,5	2	15,9
	Sem Defloc. (%)	0,8	5,9	55,3	35	3	0	13
P17	Com Defloc. (%)	5	5,6	43,9	22,5	8,8	14,2	24,5
	Sem Defloc. (%)	5	4,9	41,1	31	12	6	25,5
P18	Com Defloc. (%)	0,2	2,8	56	30	6,5	4,5	12,1
	Sem Defloc. (%)	0,2	2,8	57,1	35,9	4	0	9,5
P19	Com Defloc. (%)	11,2	13	36,8	23	12	4	20
	Sem Defloc. (%)	11,2	11,5	37,3	30	10	0	17,6
P20	Com Defloc. (%)	0,6	6,1	58,3	23	8	4	13,7
	Sem Defloc. (%)	0,6	5,9	58,5	31	4	0	13,8
P21	Com Defloc. (%)	1,7	6,3	51,5	26,5	9	5	15,5
	Sem Defloc. (%)	1,7	7,5	49,8	34	7	0	13,7
P22	Com Defloc. (%)	0,6	4,8	61,6	28	3,8	1,2	6,9
	Sem Defloc. (%)	0,6	5,1	63,3	25	0	0	6,4
P23	Com Defloc. (%)	0,4	4,9	57,2	27,3	8	2,2	12
	Sem Defloc. (%)	0,4	4,8	56,8	33	5	0	11,7

Continua.

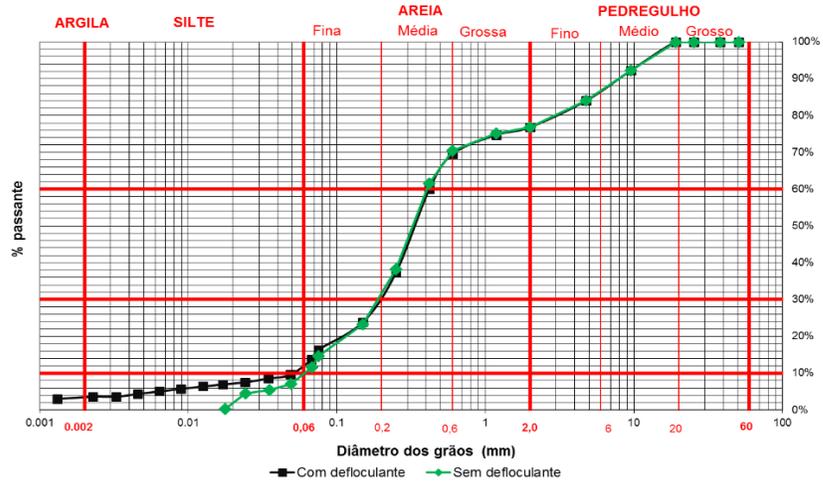
Cont. Apêndice B.

P24	Com Defloc. (%)	1,4	6,7	55,9	25	7	4	14
	Sem Defloc. (%)	1,4	7,7	57,9	29	4	0	12,9
P25	Com Defloc. (%)	0,2	5,7	62,1	21	5	6	12,6
	Sem Defloc. (%)	0,2	4,6	59,7	29	6,5	0	13,6
P26	Com Defloc. (%)	1,1	6,4	63,5	18	7	4	12,1
	Sem Defloc. (%)	1,1	6,1	65,8	22	5	0	9,6
P27	Com Defloc. (%)	1,3	8,6	62,1	20	5	3	8,8
	Sem Defloc. (%)	1,3	9	63,7	24	2	0	8,2
P28	Com Defloc. (%)	2	5,4	51,6	28	7,5	5,5	15,7
	Sem Defloc. (%)	2	5,1	51,9	35	6	0	15,9

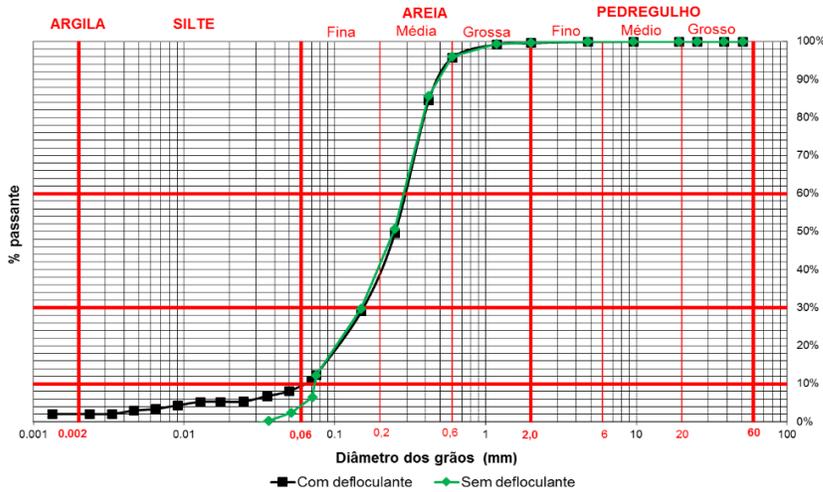
Fonte: Autor (2021)

Apêndice C – Curvas Granulométricas dos pontos amostrados na ZE2

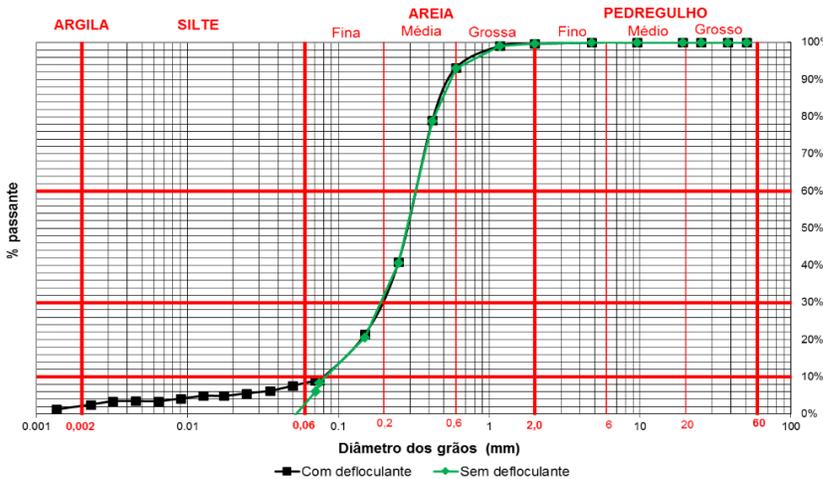
Curva Granulométrica – P01



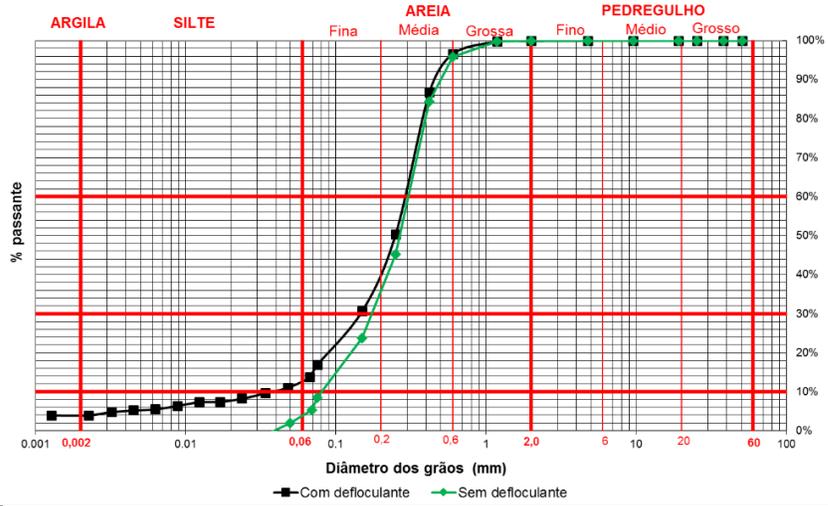
Curva Granulométrica – P01.1



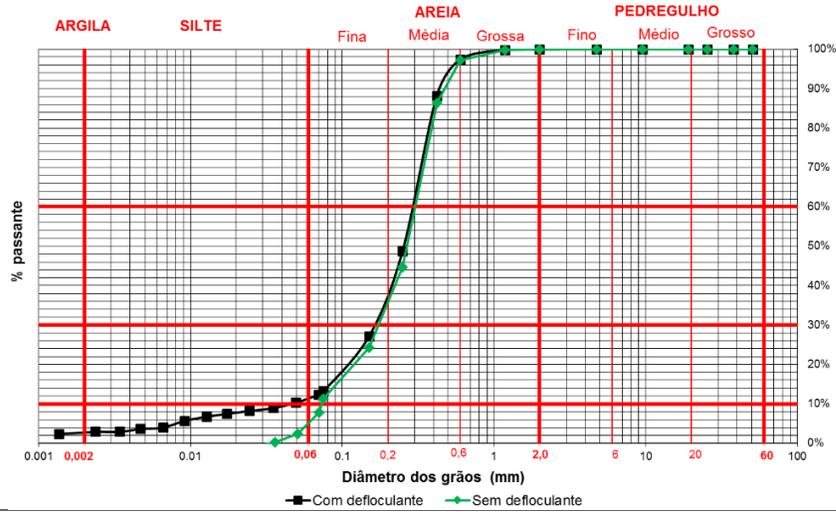
Curva Granulométrica – P02



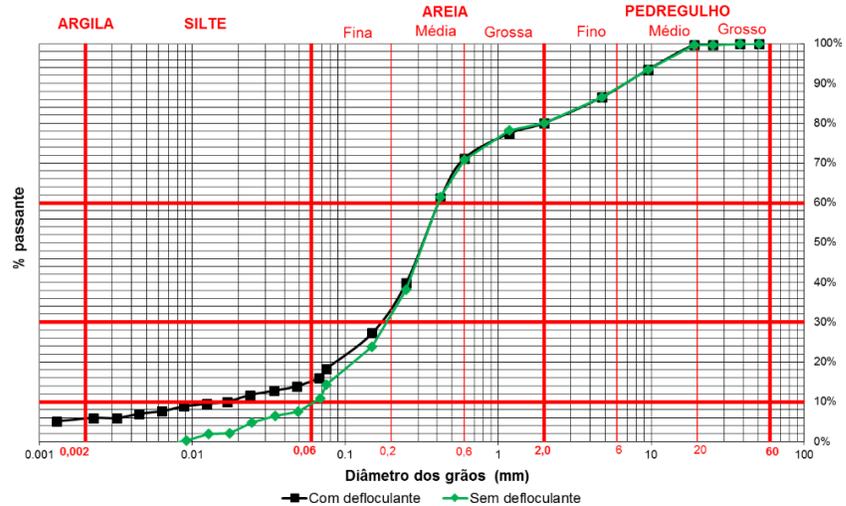
Curva Granulométrica – P03



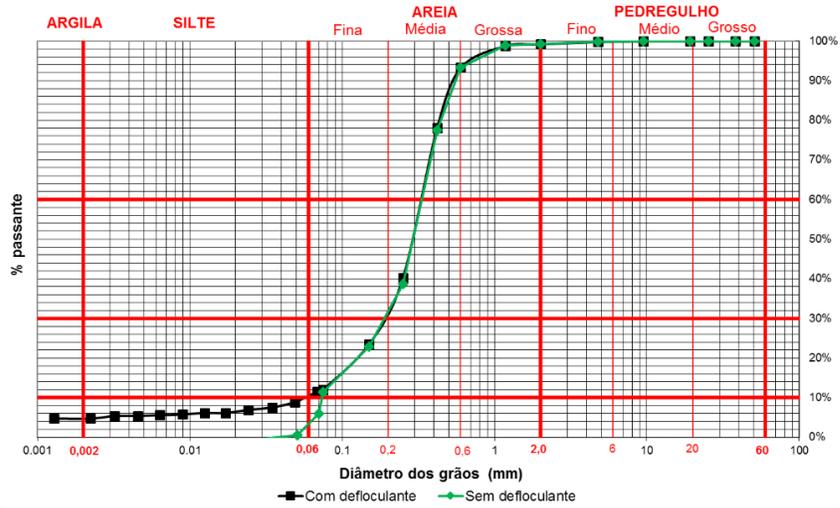
Curva Granulométrica – P04



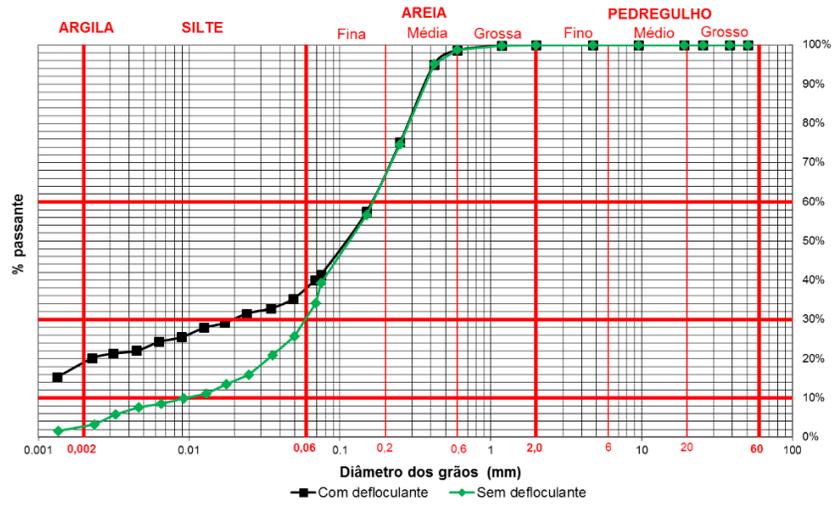
Curva Granulométrica – P05



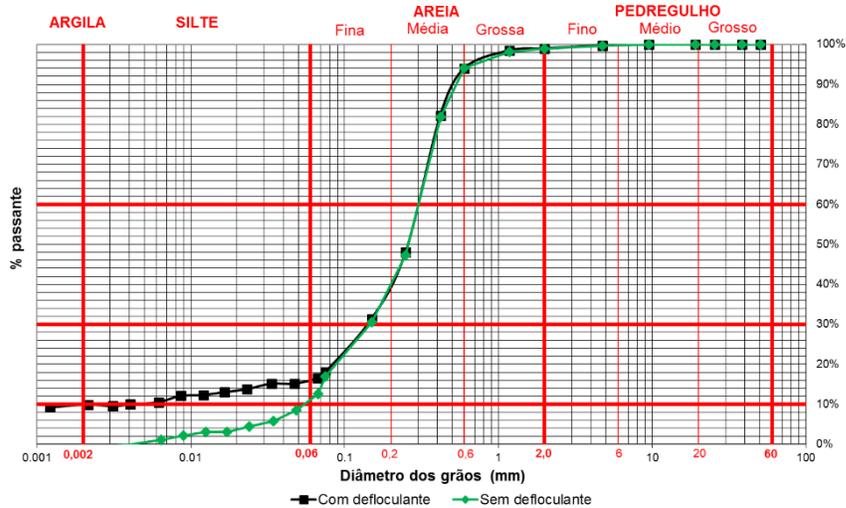
Curva Granulométrica – P06



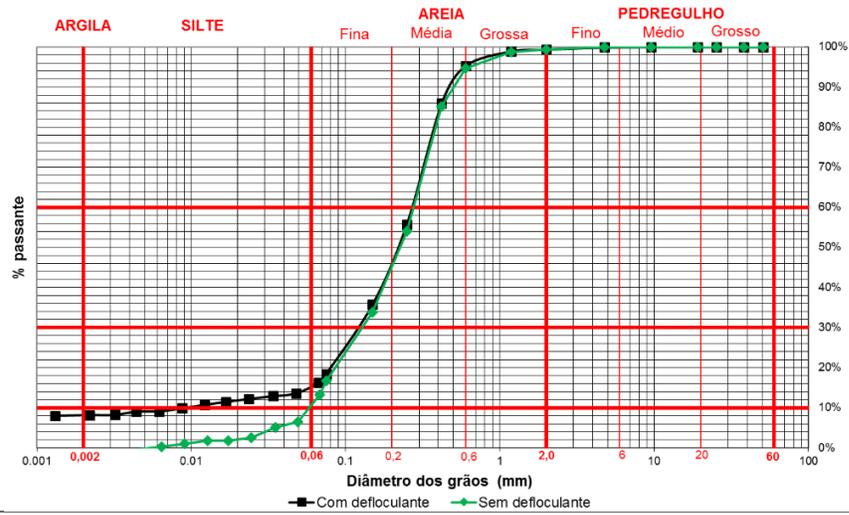
Curva Granulométrica – P07



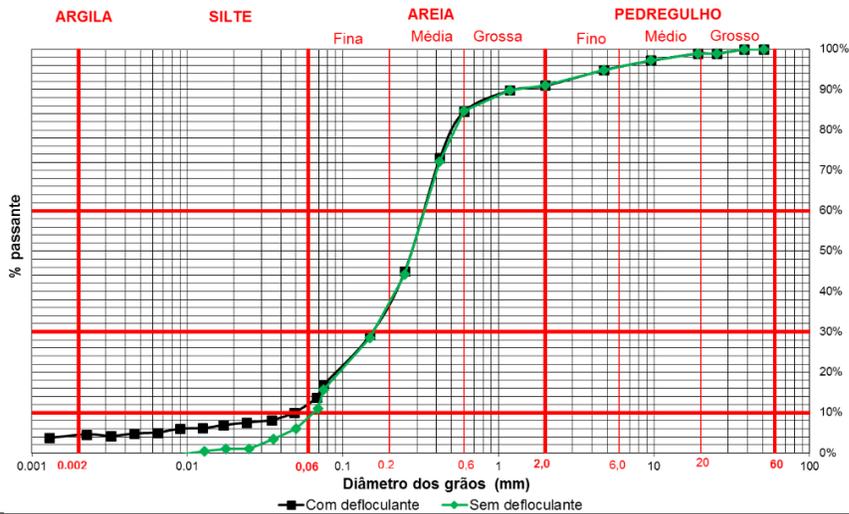
Curva Granulométrica – P08



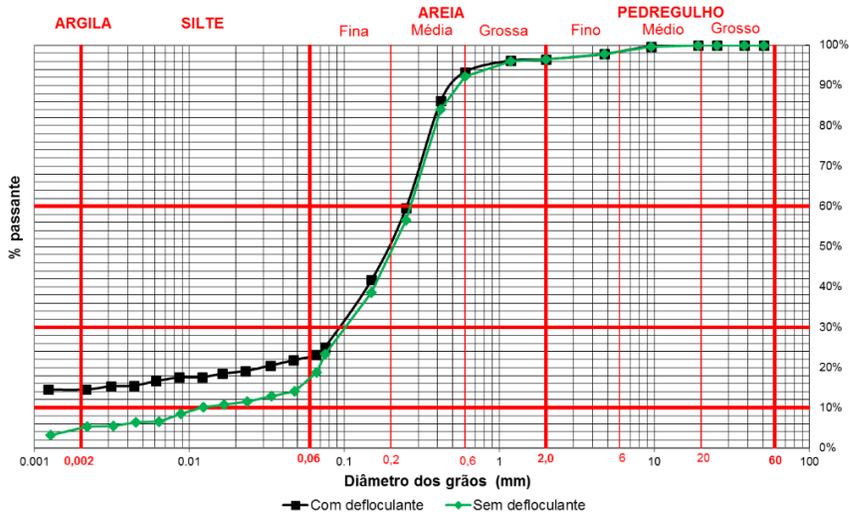
Curva Granulométrica – P09



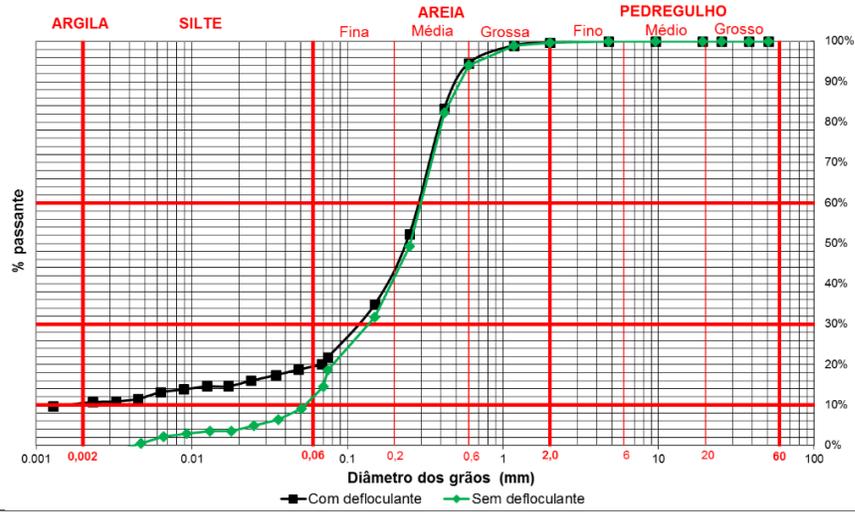
Curva Granulométrica – P10



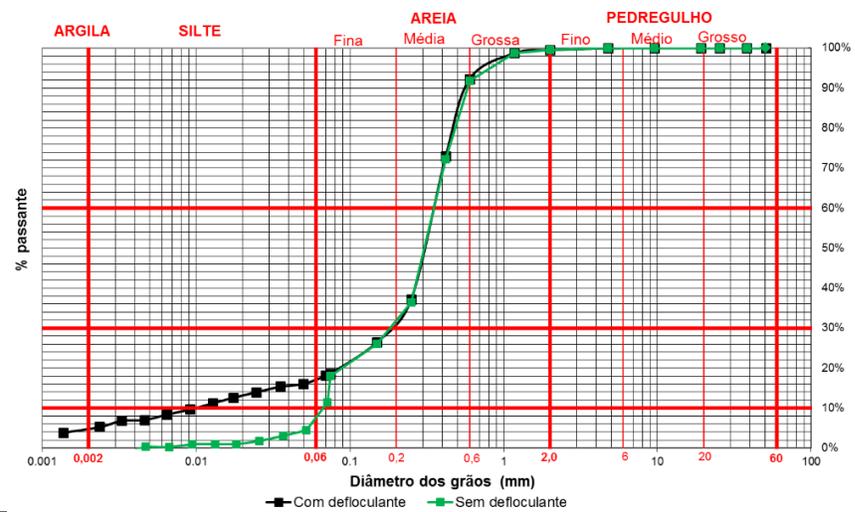
Curva Granulométrica – P11



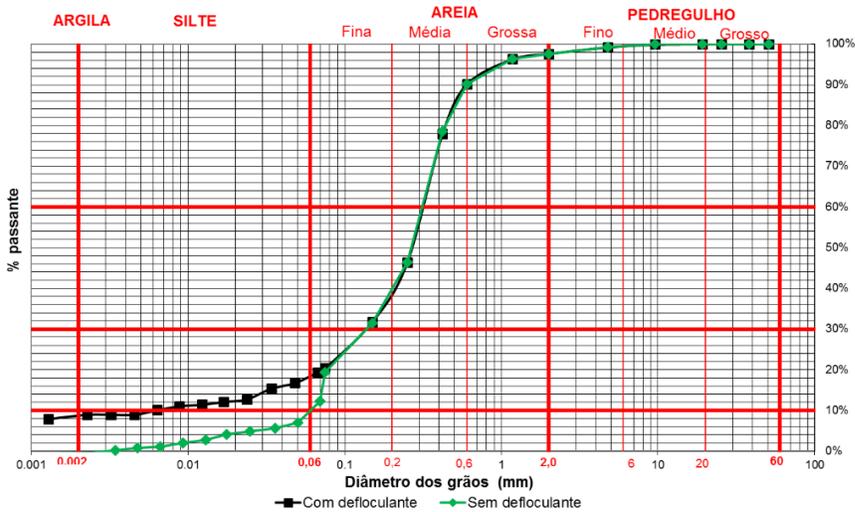
Curva Granulométrica – P12



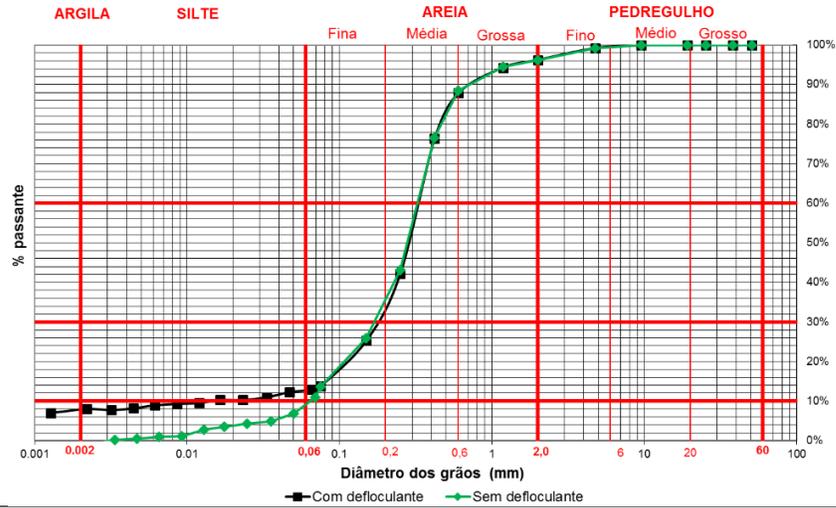
Curva Granulométrica – P13



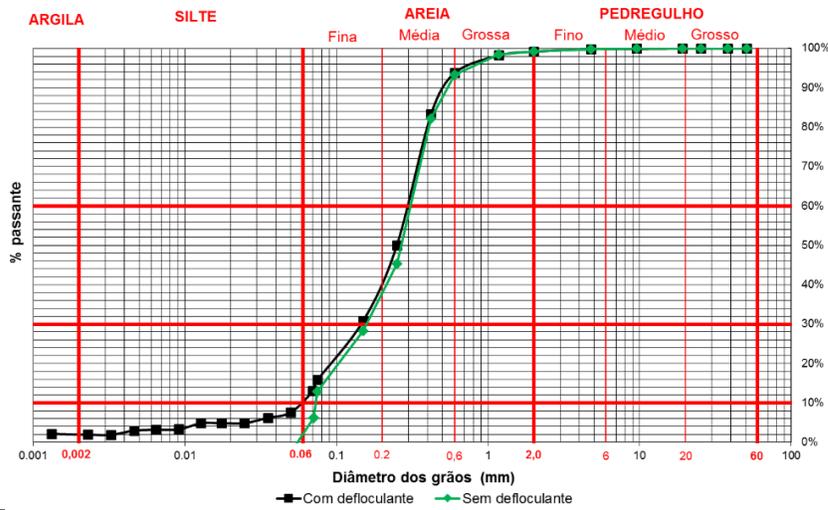
Curva Granulométrica – P14



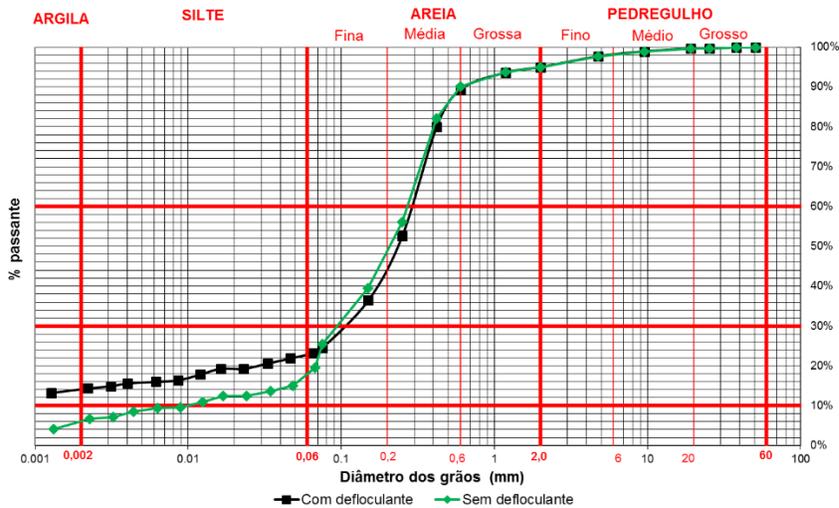
Curva Granulométrica – P15



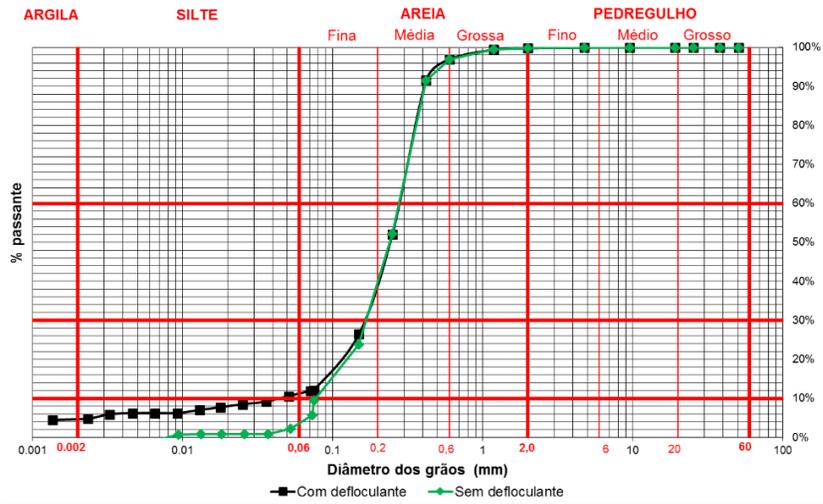
Curva Granulométrica – P16



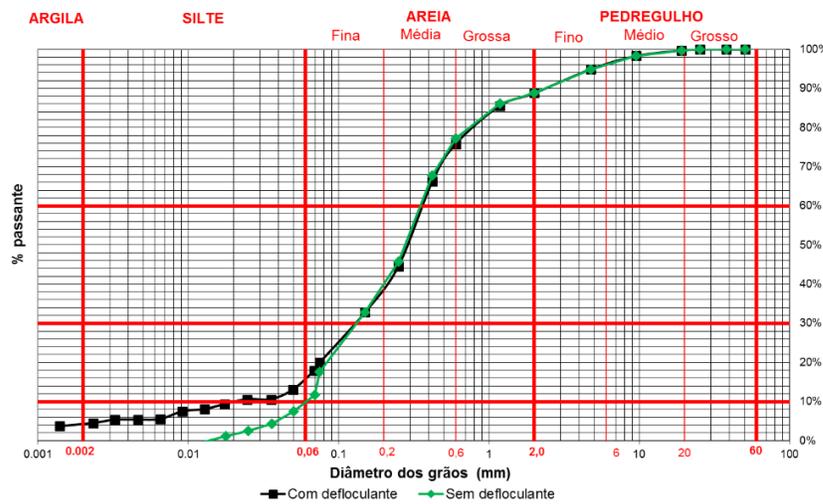
Curva Granulométrica – P17



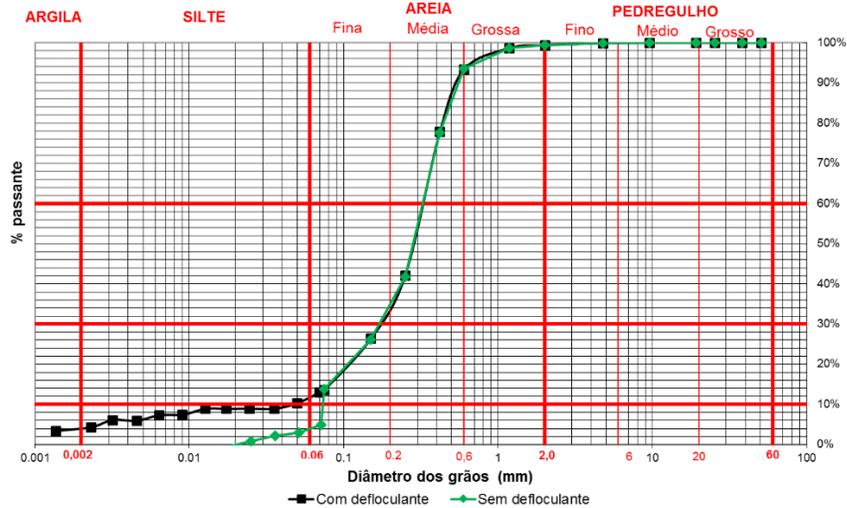
Curva Granulométrica – P18



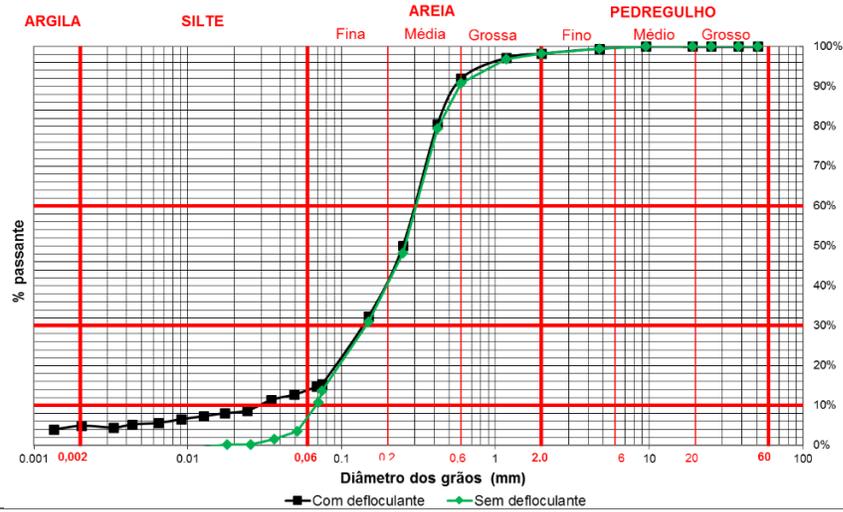
Curva Granulométrica – P19



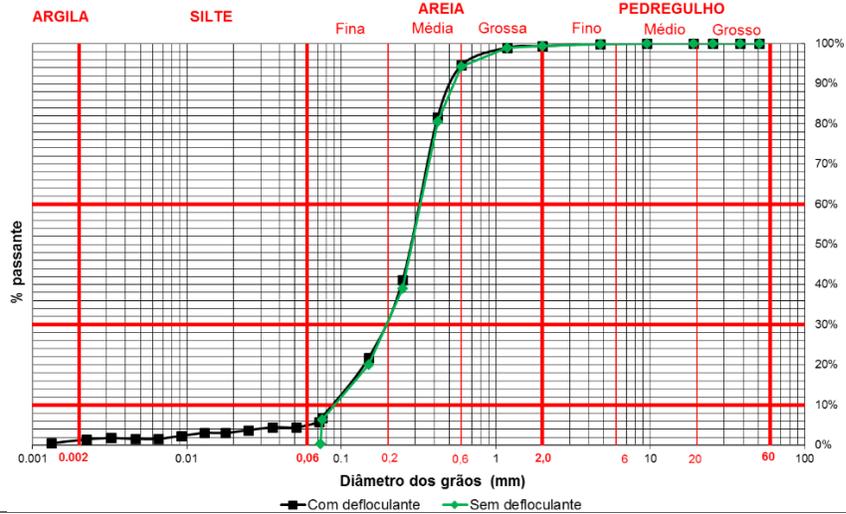
Curva Granulométrica – P20



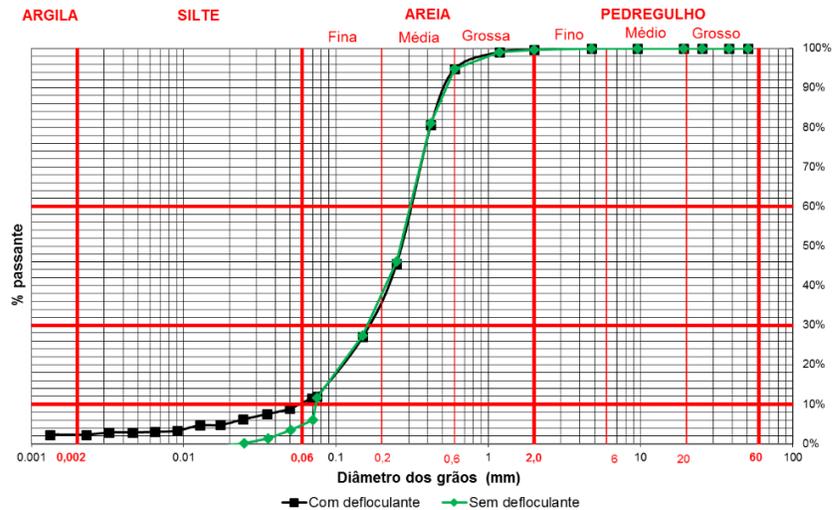
Curva Granulométrica – P21



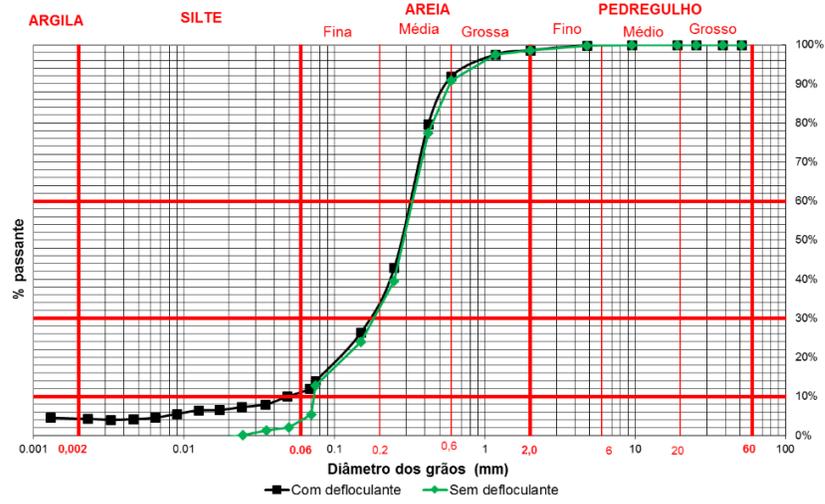
Curva Granulométrica – P22



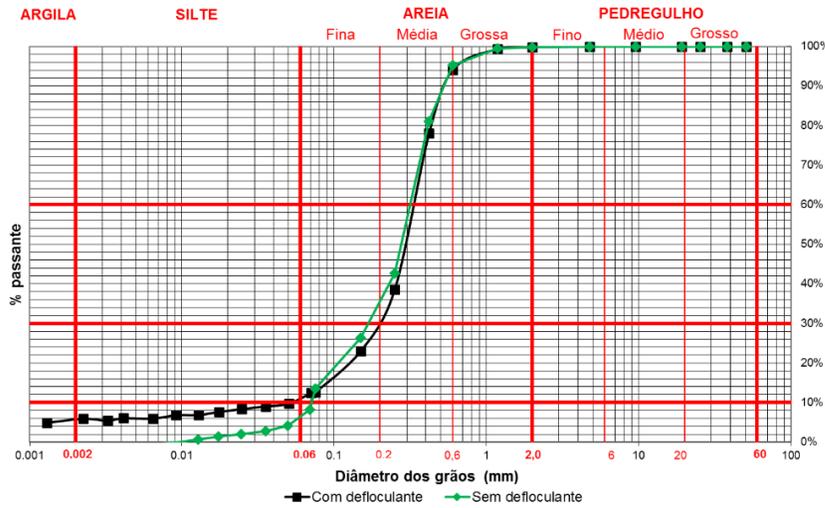
Curva Granulométrica – P23



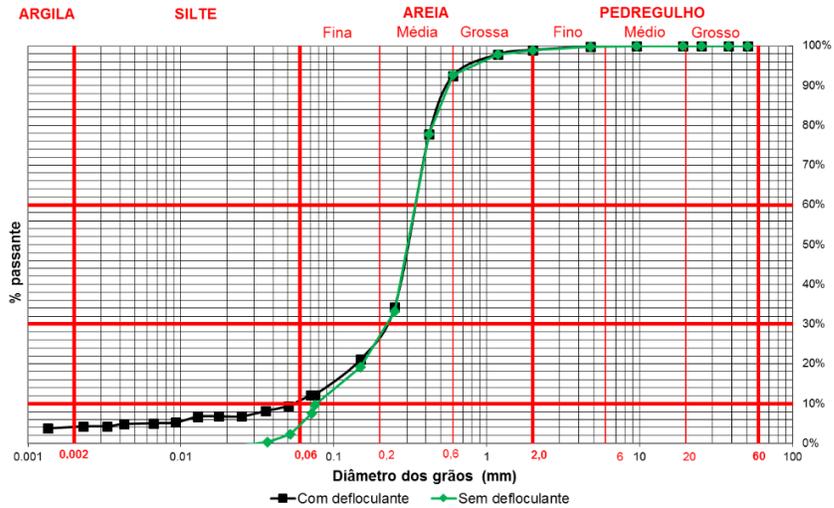
Curva Granulométrica – P24



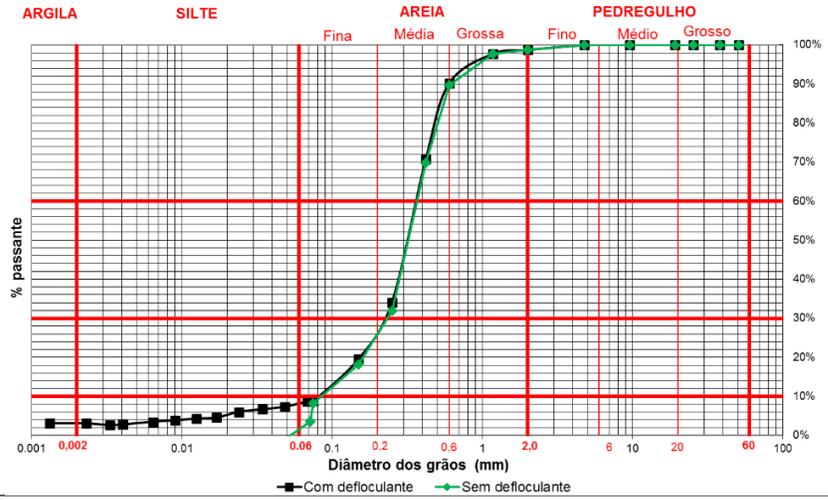
Curva Granulométrica – P25



Curva Granulométrica – P26



Curva Granulométrica – P27



Curva Granulométrica – P28

