FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA – UNIR

NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS DA TERRA

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DENIS LOPES DE BRITO

ESTUDO DO RISCO DE ALAGAÇÕES EM UMA ÁREA PILOTO NO BAIRRO LAGOINHA EM PORTO VELHO - RONDÔNIA

Porto Velho - RO

2021

DENIS LOPES DE BRITO

ESTUDO DO RISCO DE ALAGAÇÕES EM UMA ÁREA PILOTO NO BAIRRO LAGOINHA EM PORTO VELHO - RONDÔNIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGG, da Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR), como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre. Área de Concentração: A Amazônia e Políticas de Gestão Territorial. Linha de Pesquisa: Meio Físico e Desenvolvimento Sustentável.

Orientador: Prof°. Titular Eliomar Pereira da Silva Filho

Coorientadora: Dra. Ana Cristina Santos Strava Correa

Porto Velho - RO

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Fundação Universidade Federal de Rondônia

Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

B862e Brito, Denis Lopes de.

Estudo do risco de alagações em uma área piloto no bairro Lagoinha em Porto Velho - Rondônia / Denis Lopes de Brito. -- Porto Velho, RO, 2021.

152 f. : il.

Orientador(a): Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho

Coorientador(a): Prof.ª Dra. Ana Cristina Santos Strava Correa.

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Fundação Universidade Federal de Rondônia

1.Risco. 2.Alagações. 3.SIG's. 4.Interpolação. 5.Álgebra de Mapas. I. Filho, Eliomar Pereira da Silva. II. Título.

CDU 910.27

Bibliotecário(a) Luã Silva Mendonça CRB 11/905

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ATA DE DISSERTAÇÃO

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DENIS LOPES DE BRITO

A Banca de Defesa Pública de Mestrado presidida pelo Orientador e Presidente **Professor Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho** e constituída pelos examinadores: **Professora Doutora Siane Cristhina Pedroso Guimarães Silva** - Membro interna do Programa de Pós-Graduação em Geografia/PPGG/UNIR, **Professora Doutora Ana Cristina Lima Barreiros da Silva** - Membro externa/Faculdade de Rondônia/FARO e **Professor Doutor João Paulo Assis Gobo** - Membro interno/Suplente do Programa de Pós-Graduação em Geografia/PPGG/UNIR, reuniram-se em **12 de março de 2021**, às 9:00 horário local, por meio do sistema Google Meet - link: meet.google.com/yhy-ckko-ikh, para avaliar a dissertação de mestrado intitulada: **"ESTUDO DO RISCO DE ALAGAÇÕES EM UMA ÁREA PILOTO NO BAIRRO LAGOINHA EM PORTO VELHO – RONDÔNIA"** do mestrando **DENIS LOPES DE BRITO** - **Matrícula:** 20171001960**.** Após a explanação do pós-graduando e arguição pela Banca Examinadora, a referida **DISSERTAÇÃO** foi avaliada e de acordo com as normas estabelecidas pelo Regimento do Programa de Pós-Graduação em Geografia foi considerada **___APROVADO___**. O Candidato terá o prazo de até 90 dias para fazer as correções sugeridas pela banca e entregar as cópias definitivas de sua dissertação, sob pena de invalidação, pelo Colegiado, do processo de Defesa, conforme preceitua o § 3º do artigo 83 do Regimento Interno do PPGG, uma vez que o curso só finaliza com a entrega da Dissertação revisada e a comprovação do cumprimento dos demais créditos, conforme Regimento Interno.

Porto Velho-RO, 12 de março de 2021.

Professor Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho
Orientador - Presidente

Profa. Dra. Siane Cristhina Pedroso Guimarães Silva
Membro interna/PPGG/UNIR

Profa. Dra. Ana Cristina Lima Barreiros da Silva
Membro externa/FARO

Documento assinado eletronicamente por **SIANE CRISTHINA PEDROSO GUIMARAES SILVA**, **Docente**, em 20/04/2021, às 10:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **ELIOMAR PEREIRA DA SILVA FILHO**, **Docente**, em 20/04/2021, às 20:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **ANA CRISTINA LIMA BARREIROS DA SILVA**, **Usuário Externo**, em 05/05/2021, às 12:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.unir.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0650324** e o código CRC **2DC84329**.

Referência: Processo nº 23118.003154/2021-74 SEI nº 0650324

Criado por 65867785220, versão 3 por 65867785220 em 19/04/2021 18:38:40.

À TRINDADE, aos meus pais (em especial a meu pai que partiu para um outro plano em 2018), irmão, sobrinha e familiares por serem meus pilares.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus que me sustentou até aqui. Aos meus pais, irmão e sobrinha. Agradeço aos mestres que se esforçaram ao máximo para compartilhar seus conhecimentos e em especial ao orientador, Professor Eliomar Pereira da Silva Filho, que com seu conhecimento técnico auxiliou-me em muito nos caminhos para a realização desta pesquisa.

Aos amigos Miquéias Lima Duarte e Renan Froz Aguiar pela assistência nos trabalhos de gabinete e de campo.

À coorientadora Dra. Ana Cristina Santos Strava Correa pelas valiosas contribuições e à Dra. Ana Cristina Lima Barreiros da Silva pelo incentivo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão de bolsa de estudo. Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGG, da Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Campus de Porto Velho pelo apoio concedido.

Aos professores do PPGG pelos ensinamentos e conhecimentos compartilhados durante as disciplinas ministradas, e aos colegas de laboratório que se dispuseram a me ajudar de alguma forma, mas principalmente pela amizade e por tornarem o curso mais agradável.

Aos moradores da área piloto por permitirem que os trabalhos fossem realizados, por ajudarem nas atividades de campo e contribuírem com informações importantes para este estudo. Por fim, agradeço a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa.

Não to mandei eu? Esforça-te, e tem bom ânimo; não temas, nem te espantes; porque o Senhor teu Deus é contigo, por onde quer que andares. (Josué 1: 9)

RESUMO

O período chuvoso provoca em áreas específicas do município de Porto Velho - RO problemas causados por alagamentos. A falta de uma política habitacional fundamentada em princípios socioambientais permite que a população hipossuficiente ocupe áreas mais propensas a esses fenômenos, que por sua vez, são recorrentes durante o período de verão, também conhecido como inverno amazônico. Este estudo teve por objetivo mapear o risco de alagações numa área piloto, localizada no bairro Lagoinha no Município de Porto Velho - Rondônia, baseado na análise de atributos físicos do solo da área selecionada. Para isso foram selecionados 18 pontos da área e realizadas as seguintes ações: coletas de solo para análise granulométrica, classificação textural e determinação da densidade aparente do solo, ensaios de Resistência Mecânica à Penetração do solo (RMP) e ensaios de Capacidade de Infiltração do solo pelo método do Infiltrômetro de Cilindro Único (ICU). Com a aplicabilidade da Geoestatística e o uso do Sistema de Informações Geográficas (SIG) foi possível obter a interpolação dos dados pontuais obtidos em campo proporcionando a formação de superfícies contínuas geradoras de mapas temáticos considerados, além da topografia e declividade. Após a reclassificação e ponderação dos dados, esses foram sobrepostos via álgebra de mapas possibilitando identificar áreas onde a drenagem natural estaria comprometida em eficiência. Foram realizadas ainda, análises da ocupação do solo, das áreas identificadas como APP's locais e áreas urbanizadas. Os resultados demonstram que 36,03% das áreas analisadas foram classificadas como sendo de alto risco e 30,79% de muito alto risco de alagações.

Palavras-chave: Risco. Alagações. SIG. Interpolação. Álgebra de Mapas.

ABSTRACT

The rainy season causes problems due to flooding in specific areas of the municipality of Porto Velho - RO. The lack of a housing policy based on socio-environmental principles allows the low-sufficient population to occupy areas that are more prone to these phenomena, which in turn, are recurrent during the summer period, also known as the Amazon winter. This study aimed to map the risk of flooding in a pilot area, located in the Lagoinha neighborhood in the municipality of Porto Velho - Rondônia, based on the analysis of physical attributes of the soil in the selected area. For this, 18 points of the area were selected and the following actions were carried out: soil collections for particle size analysis, textural classification and determination of the apparent density of the soil, tests of Mechanical Resistance to Soil Penetration (RMP) and soil Infiltration Capacity tests by the Single Cylinder Infiltrometer (ICU) method. With the applicability of Geostatistics and the use of the Geographic Information System (GIS) it was possible to obtain the interpolation of punctual data obtained in the field, providing the formation of continuous surfaces that generate the considered thematic maps, in addition to the topography and slope. After reclassifying and weighting the data, these were overlaid via map algebra, making it possible to identify areas where natural drainage would be compromised in terms of efficiency. Analyzes of land occupation, areas identified as local APP's and urbanized areas were also carried out. The results show that 36.03% of the areas analyzed were classified as being at high risk and 30.79% at very high risk of flooding.

Keywords: Risk. Floods. GIS. Interpolation. Map Algebra.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vista aérea de Porto Velho em 1968 25
Figura 2. Localização da área de estudo 26
Figura 3. Evolução da Mancha Urbana de Porto Velho 27
Figura 4. Crescimento da população rural e urbana 28
Figura 5. Características dos leitos dos rios 30
Figura 6. Suscetibilidade de Inundações no município de Porto Velho 48
Figura 7. Mapa de pluviosidade para o perímetro urbano do município de Porto Velho 54
Figura 8. Bacias hidrográficas no perímetro urbano 56
Figura 9. a) Hierarquia fluvial. b) Elevação da bacia hidrográfica Tancredo Neves 57
Figura 10. Mapa de vegetação 59
Figura 11. Mapa de Uso e Ocupação do Solo 60
Figura 12. Mapa da Geomorfologia do perímetro urbano de Porto Velho 62
Figura 13. Mapa de Pedologia do perímetro urbano de Porto Velho 64
Figura 14. Mapa de Geologia do perímetro urbano de Porto Velho 66
Figura 15. Fluxograma das atividades desenvolvidas 67
Figura 16. Georreferenciamento dos pontos de coleta na área piloto 69
Figura 17. Expressões para cálculo das frações de areia, silte e argila 72
Figura 18. Triângulo de classes texturais simplificadas: USDA 73
Figura 19. Utilização do Penetrômetro de Impacto modelo IAA/ Planalsucar-Stolf 74
Figura 20. Cilindro metálico e medição da infiltração 76
Figura 21. Álgebra de Mapas 79
Figura 22. Gráfico de Ocupação da Área durante os períodos analisados 86
Figura 23. Nascente (lagoinha) dentro de uma propriedade particular na área piloto 87
Figura 24. Margens do canal Tancredo Neves ocupadas e lixo e entulho da construção civil 87
Figura 25. Mapas de Ocupação do Solo nos anos: a) 2003 e b) 2009 89
Figura 26. Mapas de Ocupação do Solo nos anos: c) 2015 e d) 2020 90
Figura 27. Gráfico de Urbanização da área durante os períodos analisados 92
Figura 28. Gráfico de ocupação da APP 95

Figura 29. Ocupação da Área de Preservação Permanente – APP nos anos: a) 2003 e b) 2009.....96
Figura 30. Ocupação da Área de Preservação Permanente – APP nos anos: c) 2015 e d) 2020.....97
Figura 31. a) Mapa de elevação topográfica da Bacia Hidrográfica Tancredo Neves; b) Mapa de elevação topográfica da área piloto.....99
Figura 32. a) Mapa de declividade da bacia; b) Mapa de declividade da área de estudo 100
Figura 33. Média da composição das amostras 103
Figura 34. Composição por amostra 104
Figura 35. Mapas de distribuição textural em 2 profundidades: a) Areia: 0 - 20 cm e 20 - 40 cm; b) Silte: 0 - 20 cm e 20 - 40 cm; c) Argila: 0 - 20 cm e 20 - 40 cm 106
Figura 36. Análise da Densidade Aparente das amostras coletadas em campo....108
Figura 37. Mapas de Densidade Aparente em 2 profundidades: a) 0 - 20 cm e b) 20 - 40 cm.....109
Figura 38. Gráficos de RMP dos perfis de solo analisados 112
Figura 39. Gráficos de RMP dos perfis de solo analisados 113
Figura 40. Mapa de Resistência Mecânica à Penetração (RMP) do solo de 00,00 - 40,00 cm.....114
Figura 41. Gráfico de Taxa de Infiltração.....117
Figura 42. Mapa de Taxa Média de Infiltração de água no solo 118
Figura 43. a) Defesa Civil dando assistência aos moradores em 2018; b) Rua alagada após 5 minutos de chuva (cronometrados) na área de estudo 119
Figura 44. a) Canal saturado; b) Rua alagada após precipitação 122
Figura 45. a) Mapa de Risco de Alagamento; b) Mapa de Risco de alagamento sobreposto à uma imagem de satélite da área piloto; c) Mapa de Risco de Alagamento e densidade de edificações.....124
Figura 46. a) Mapa de Risco de Alagamento e densidade de edificações; b) Mapa de Risco de alagamento sobreposto à uma imagem de satélite da área piloto; c) Mapa de Risco de Alagamento.....125
Figura 47. a) Mapa de Risco de alagamento sobreposto à uma imagem de satélite da área piloto; b) Mapa de Risco de Alagamento; c) Mapa de Risco de Alagamento e densidade de edificações.....126

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Tipos de risco 41
Quadro 2. Alguns mecanismos que ajudam na contenção do escoamento superficial 45
Quadro 3. Escala de comparadores 81
Quadro 4. Atribuição de valores (notas) 81
Quadro 5. Resumo das notas de acordo com a importância de cada item para o risco de alagamento 82
Quadro 6. Matriz de comparação pareada 82
Quadro 7. Pesos estatísticos para cada parâmetro 83
Quadro 8. Valores de IR pra matrizes quadradas de ordem n, segundo o Laboratório Nacional de Oak Ridge, EUA 84
Quadro 9. Taxas Médias de Infiltração encontradas na área de estudo 116
Quadro 10. Áreas por classe de Risco de Alagamento 119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limites das frações de solo pelo tamanho das partículas (NBR - 6502)...34
Tabela 2. Classificação da capacidade de infiltração.....37
Tabela 3. Características físicas da bacia hidrográfica Tancredo Neves 55
Tabela 4. Evolução da ocupação da área em 3 períodos (2003 - 2009, 2009 - 2015 e 2015 - 2020).....85
Tabela 5. Evolução da área urbanizada x não urbanizada (2003 - 2009, 2009 - 2015 e 2015 - 2020).....91
Tabela 6. Evolução da ocupação das APP's locais ao longo dos períodos analisados 94
Tabela 7. Tabela resumo das características físicas da bacia hidrográfica Tancredo Neves.....101
Tabela 8. Análise granulométrica das amostras coletadas em campo.....102
Tabela 9. Densidade das amostras em 2 profundidades: 0 cm - 20 cm e 20 cm - 40 cm.....107
Tabela 10. Resistência à penetração por ponto.....111
Tabela 11. Taxa Média de Infiltração por Ponto (Tabela construída com base no Apêndice B) 115

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 74
Equação 2 75
Equação 3 76
Equação 4 76
Equação 5 77
Equação 6 78
Equação 7 83
Equação 8 83
Equação 9 83
Equação 10 84

LISTA DE SIGLAS

AHP - *Analytic Hierarchy Process* (Processo Analítico Hierárquico)

APP - Área de Proteção Permanente

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CENSIPAM - Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia

CNPQ - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

D_s - Densidade Aparente

DSS - *Decision Support Systems*

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FUNPAR - Fundação Universidade Federal do Paraná

g - Aceleração da Gravidade

GPS - *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global)

IBGE - Instituto Braseiro de Geografia e Estatística

IC - Índice de Consistência

ICU - Ilhas de Calor Urbano

ICU - Infiltrômetro de Cilindro Único

IDEB - Indicie de Desenvolvimento da Educação Básica

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

MCIDADES - Ministério das Cidades

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações

MEC - Ministério da Educação

MSS - *Multispectral Scanner*

ONU - Organização das Nações Unidas

PEA - População Economicamente Ativa

pH - Potencial Hifrogeniônico

PIB - Produto Interno Bruto

RC - Razão de Consistência

RMP - Resistência Mecânica à Penetração

SEMPOG - Secretaria Municipal de Planejamento Orçamento e Gestão

SEMUR - Secretaria Municipal de Regularização Fundiária, Habitação e Urbanismo

SIG - Sistema de Informação Geográfica

Ti - Taxa de Infiltração

TM - *Thematic Mapper*

UFES - Universidade Federal do Espírito Santo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 21

2 OBJETIVOS 24

2.1 OBJETIVO GERAL 24

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 24

3 LOCALIZAÇÃO, HISTÓRIA E EVOLUÇÃO URBANA 25

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 29

4.1 CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO 29

4.1.1 Enchente 29

4.1.2 Inundação 29

4.1.3 Enxurrada 30

4.1.4 Alagamento 31

4.2 DRENAGEM E O MEIO URBANO 31

4.2.1 Sistema de drenagem natural 31

4.2.2 Sistema de drenagem artificial 32

4.2.2.1 Tempo de recorrência para projetos de drenagem artificial 32

4.3 COMPOSIÇÃO DO SOLO 32

4.3.1 A origem dos solos 32

4.3.2 Índices físicos e estado do solo 33

4.3.3 Tamanho das partículas 34

4.3.4 Constituição mineralógica 34

4.4 IDENTIFICAÇÃO DOS SOLOS POR MEIO DE ENSAIOS 35

4.4.1 Análise granulométrica 35

4.4.2 Compactação do solo 35

4.4.3 Infiltração 36

4.4.3.1 Capacidade de infiltração 36

4.5 OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO E IMPACTOS NO SISTEMA DE DRENAGEM.... 37
4.5.1 Ocupação de Áreas de Preservação Permanente – APP's 37
4.6 RISCO 39
4.6.1 Etimologia 39
4.6.2 Definição 40
4.6.3 Tipos de Risco 40
4.6.4 Relação entre risco e vulnerabilidade 41
4.6.5 Risco a enchentes, inundações e alagamentos urbanos 42
4.6.6 Medidas de Mitigação e Tratamentos 43
4.6.7 Mapeamento de áreas de risco 46
5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 49
5.1 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS 49
5.1.1 Aspectos Socioeconômicos de Porto Velho 49
5.1.1.1 Atividade empresarial 49
5.1.1.2 Capital Humano 49
5.1.1.3 Renda Média 50
5.1.1.4 Potencial de Consumo 50
5.1.2 Aspectos Socioeconômicos do Bairro Lagoinha 51
5.2 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS 52
5.2.1 Clima 52
5.2.2 Hidrografia 55
5.2.3 Vegetação e Uso e Ocupação do Solo 58
5.2.4 Geomorfologia 61
5.2.5 Solos 63
5.2.6 Aspectos Geológicos 65
6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 67

6.1 ATIVIDADES DE CAMPO 68
6.1.1 Definição Da Área Experimental e Período de Coleta 68
6.1.2 Período da Coleta 68
6.2 MÉTODO DE ANÁLISE DO USO DO SOLO 70
6.2.1 Análise Visual de Imagens 70
6.2.1.1 Análise da Ocupação da Área, da Área Urbanizada e das APP's 70
6.3 MÉTODOS DE ANÁLISES FÍSICAS 71
6.3.1 Topografia e Declividade 71
6.3.2 Granulometria e Textura 72
6.3.2.1 Análise e Classificação Textural 73
6.3.3 Densidade Aparente 73
6.3.4 Avaliação da Resistência Mecânica à Penetração no Solo 74
6.3.5 Ensaio de Infiltração Vertical no Solo 75
6.4 MÉTODO DE ANÁLISE GEOESTATÍSTICA - INTERPOLAÇÃO CARTOGRÁFICA (KRIGAGEN) 77
6.4.1 Krigagem ordinária 77
6.4.1.1 Krigagem ordinária - Mapas Temáticos 78
6.4.2 Álgebra de Mapas 79
6.4.2.1 Operadores Aritméticos da Álgebra de Mapas 79
6.4.2.2 Reclassificação de Dados Raster 80
6.4.2.3 Obtenção do Mapa de Risco a Alagações 80
6.4.3 Aplicação do Método AHP no Mapeamento de Áreas de Risco à alagamento 80
6.4.3.1 Atribuição de Valores 81
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES 85
7.1 ANÁLISE DA OCUPAÇÃO DO SOLO 85
7.1.1 Áreas Não Urbanizadas x Urbanizadas 91
7.1.2 Áreas de Preservação Permanente - APP's 93

7.2 ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO 98
7.2.1 Topografia e Declividade 98
7.2.2 Granulometria e Textura 102
7.2.3 Densidade Aparente 107
7.2.4 RMP - Resistência Mecânica do Solo (Compactação) 110
7.2.5 Capacidade de Infiltração 115
7.3 MAPEAMENTO DE RISCO DE ALAGAÇÕES 119
8 CONCLUSÕES 127
8.1 SUGESTÕES DE PESQUISAS 128
REFERÊNCIAS 129
APÊNDICE A - Dados coletados em campo - Resistência Mecânica à Penetração (RMP) do solo 142
APÊNDICE B - Dados coletados em campo - Capacidade de infiltração pelo método do Infiltrômetro de Cilindro Único - ICU 143
APÊNDICE C - Gráficos produzidos com base nos valores obtidos em campo (Apêndice B) - Capacidade de infiltração por ponto pelo método do Infiltrômetro de Cilindro Único - ICU 150
APÊNDICE D - Semivariogramas de interpolação dos dados pontuais obtidos em campo ..... Erro! Indicador não definido.

1 INTRODUÇÃO

A crescente urbanização nas últimas décadas trouxe modificações no uso e ocupação do solo. Essas mudanças causam vários problemas em áreas específicas do município de Porto Velho, dentre eles os alagamentos. Principalmente no período chuvoso, com destaque para as áreas mais baixas.

A urbanização desenfreada, o uso inadequado do solo, a impermeabilização e a sobrecarga do sistema de drenagem provocam redução da capacidade natural de armazenagem de deflúvios fazendo com que a água ocupe outros espaços tendendo a provocar alagações (CANHOLI, 2015).

Esses fatores somados à falta de uma política habitacional, baseada em princípios ambientais e igualdade social deslocam a população hipossuficiente para áreas propícias a esses eventos, ampliando o problema ambiental e sacrificando a comunidade desassistida. Processo que ocorre, geralmente, por meio de ocupações irregulares (invasões) de terrenos públicos e privados, encostas de grande declividade, fundos de vale e margens de córrego produzindo sistematicamente áreas de risco.

Alagamento é definido como, a acumulação momentânea de água em certa área, causada por drenagem ineficiente ou problemática, com possibilidade de ser agravada ou não por processos fluviais e ser localizada ou afetar grandes áreas a depender das complicações do sistema de drenagem e intensidade da chuva (BRASIL, 2007).

A análise de alguns parâmetros pode contribuir para compreensão desse problema, entre eles podemos elencar: a topografia da bacia que influencia na velocidade de escoamento das águas sobre a superfície, uma vez que bacias planas produzirão velocidades mais baixas que as íngremes, aumentando o tempo de concentração e tornando-as mais sujeitas a alagações; a composição granulométrica e textura do solo que determina a sua permeabilidade, pois em solos predominantemente argilosos a taxa de drenagem é muito baixa em contraponto aos solos arenosos; a compactação do solo, em áreas urbanas provocada pelo tráfego de veículos, pedestres, equipamentos, entre outros, que por sua vez, causam aumento de densidade e redução da capacidade de infiltração da drenagem natural; a densidade aparente do solo, que em caso de valores elevados, de acordo com Schueller (2000), provocam a redução de volume dos macro poros entre as partículas,

prejudicando o desenvolvimento radicular e reduzindo a taxa de infiltração; e a capacidade de infiltração do solo, que possuindo valores baixos leva à formação de poças (*ponds*) na superfície antecedendo o processo de escoamento superficial, efeito altamente indesejado no meio urbano.

Nesse contexto, a identificação das áreas de risco de alagamentos através de representação cartográfica, aliada à detecção e prevenção de possíveis desastres, por meio do monitoramento dos elementos desencadeadores têm se mostrado essenciais para o meio urbano quando o objetivo é evitar prejuízos ambientais, econômicos e perdas de vidas. Por esse motivo o geoprocessamento somado às diversas formas de análise tem se tornado ferramenta indispensável para a viabilidade dos estudos de risco, possibilitando a compreensão e o entendimento dos problemas analisados e a identificação dos diversos fatores envolvidos na causa e agravamento.

Cada vez mais, estudos nesse viés têm sido realizados. Em 2012 num trabalho encomendado pelo Governo Federal e realizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM, Porto Velho foi incluída na lista dos 286 municípios brasileiros mais críticos quanto à ocorrência de acidentes associados a enchentes, enxurradas e deslizamentos, estando entre os municípios classificados em situação de alto e muito alto risco (SANTOS, 2012). Em 2014, o município foi contemplado com um sistema de alerta em tempo real contra enchentes urbanas provocadas principalmente pelo transbordamento dos igarapés urbanos que cortam a cidade

Em 2015 foram produzidos mapas de manchas de inundação indicando áreas inundáveis com recorrência de 3, 5, 10, e 25 anos (CENSIPAM, 2015), e em 2017 foi realizado um reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes em 35 municípios de Rondônia, sendo identificadas 36 áreas de alto risco somente em Porto Velho, somando aproximadamente 4300 imóveis e 17 mil pessoas com possibilidades de serem atingidas por inundações (CPRM, 2017).

Ante ao exposto e à ausência de estudos que avaliem a capacidade de drenagem dos solos urbanos do município, esta pesquisa tem por objetivo mapear o risco de alagações numa área piloto do Bairro Lagoinha, analisando fatores do meio físico que influenciam na drenagem natural. O Bairro está localizado no perímetro urbano do município de Porto Velho, capital do estado de Rondônia, sobre um solo com características geomorfológicas que o fazem propenso as alagações, problema que se agrava em decorrência das fortes precipitações do período chuvoso da região.

Entender os parâmetros propostos constitui uma etapa importante no planejamento de expansão de áreas urbanas e na recuperação de áreas degradadas, podendo auxiliar no planejamento urbano e ambiental, possibilitando identificar as áreas mais degradadas, vislumbrando os locais mais afetados e os pontos onde a drenagem natural está comprometida, assim como os pontos mais propícios ao escoamento superficial.

Este trabalho encontra-se dividido em oito partes: a primeira delas diz respeito à exposição geral do trabalho e considerações sobre a problemática abordada, a segunda descreve o objetivo geral e os objetivos específicos que orientam a pesquisa, a terceira trata da localização, história e evolução urbana do município onde a área está inserida. Na quarta parte é feita uma revisão bibliográfica sobre a temática, onde os principais temas sobre drenagem urbana, fatores físicos do solo e risco a alagações são abordados. Na quinta parte é feita uma caracterização da área de estudo, na qual são descritos os aspectos socioeconômicos e fisiográficos da área, na sexta estão descritos os procedimentos metodológicos que norteiam o desenvolvimento do estudo, no qual está apresentada cada etapa seguida para obtenção dos fatores do Mapeamento de Risco. Na sétima parte estão dispostos os resultados obtidos, as análises e discussões, e na oitava parte são apresentadas as conclusões e sugestões para pesquisas futuras.

2 OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos da pesquisa.

2.1 OBJETIVO GERAL

Mapear áreas com potencial risco de alagações numa área piloto do Bairro Lagoinha.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a ocupação da área de estudo;
- Analisar as propriedades físicas definidas para o estudo do solo da área:

  a) Granulometria e textura;
  b) Densidade aparente;
  c) Resistência Mecânica à Penetração do solo (compactação);
  d) Capacidade de infiltração;
  e) Relevo: topografia e declividade (da área de estudo e da bacia hidrográfica Tancredo Neves).

- Analisar a relação entre risco a alagações, características da ocupação e características do solo.

3 LOCALIZAÇÃO, HISTÓRIA E EVOLUÇÃO URBANA

A área piloto está delimitada pelo quadrante formado pelas Avenidas: Guaporé, Rio de Janeiro, Mamoré e Benedito Inocêncio, no Bairro Lagoinha, que faz parte do perímetro urbano do município de Porto Velho, no estado de Rondônia. Seus limites estão sob as coordenadas: 8°45'59.51"S; 63°51'35.09"O/ 8°45'46.38"S; 63°50'37.72"O/ 8°46'5.78"S; 63°50'33.45"O e 8°46'20.50"S; 63°51'30.59"O e sua localização geográfica pode ser visualizada na Figura 2.

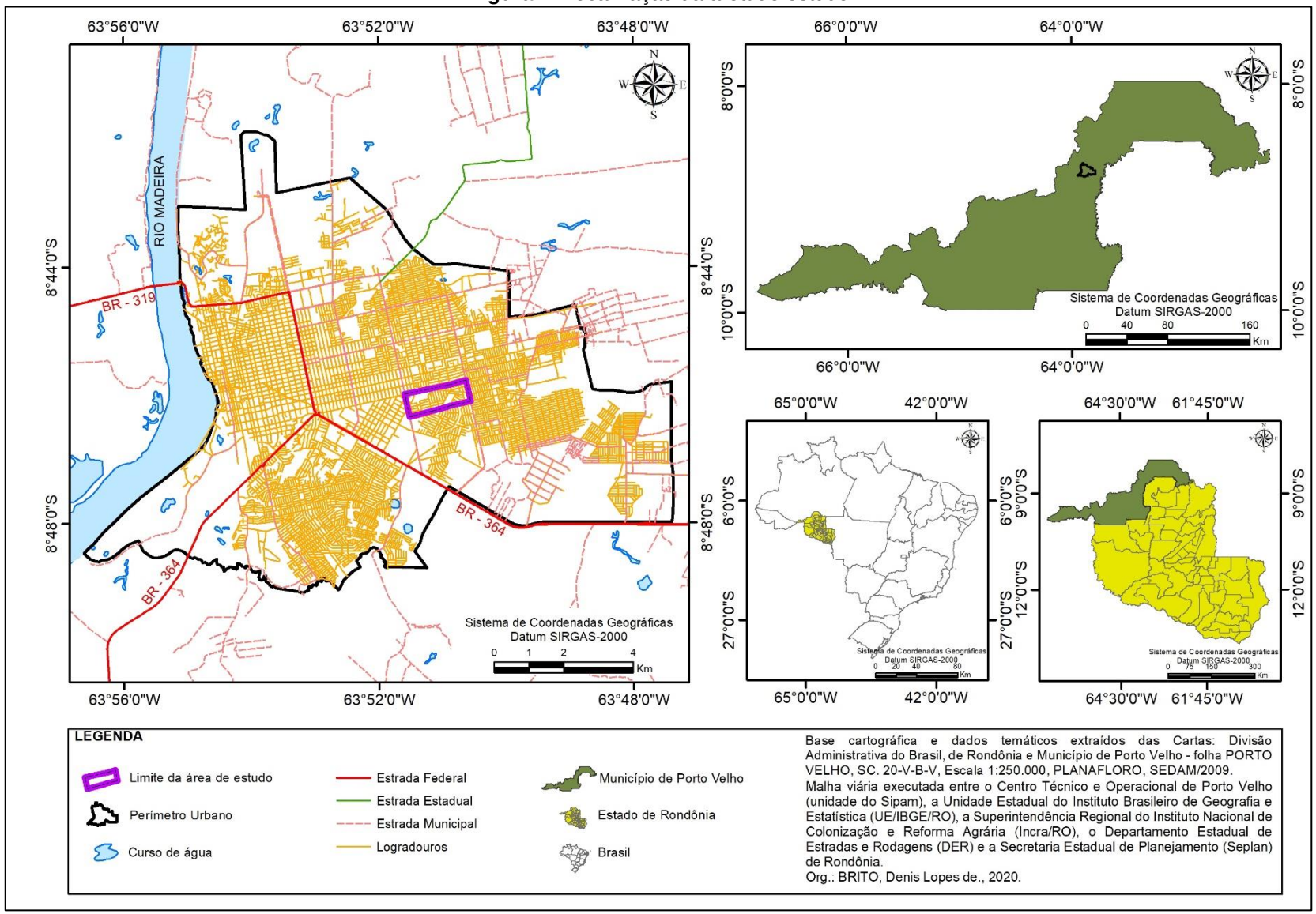
Porto Velho, capital de Rondônia, possui uma área de 34.090,954 Km² e população estimada de 529.544 pessoas, a maior população do Estado e cuja evolução da mancha urbana (até 2010) pode ser visualizada na Figura 3. O relevo é pouco acidentado com pequenas elevações que vão de 70 metros até pouco mais de 600 metros (IBGE, 2019). Situado na margem à leste do Rio Madeira, foi fundado por desbravadores em 04 de julho de 1907, durante o período de construção da Estrada de Ferro Madeira Mamoré, sendo inicialmente considerado município do Amazonas e posteriormente elevada a capital no ano de 1943, quando da criação do território federal do Guaporé (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO VELHO, 2019).

Posteriormente, em 1982 Rondônia, foi elevada à categoria de Estado com o nome que havia ganhado em 1956 em homenagem ao seu explorador Marechal Rondon, já com o município de Porto Velho como capital (SANTO ANTÔNIO ENERGIA, 2019). Na Figura 1, tem-se uma vista aérea da cidade no ano de 1968.

Figura 1. Vista aérea de Porto Velho em 1968

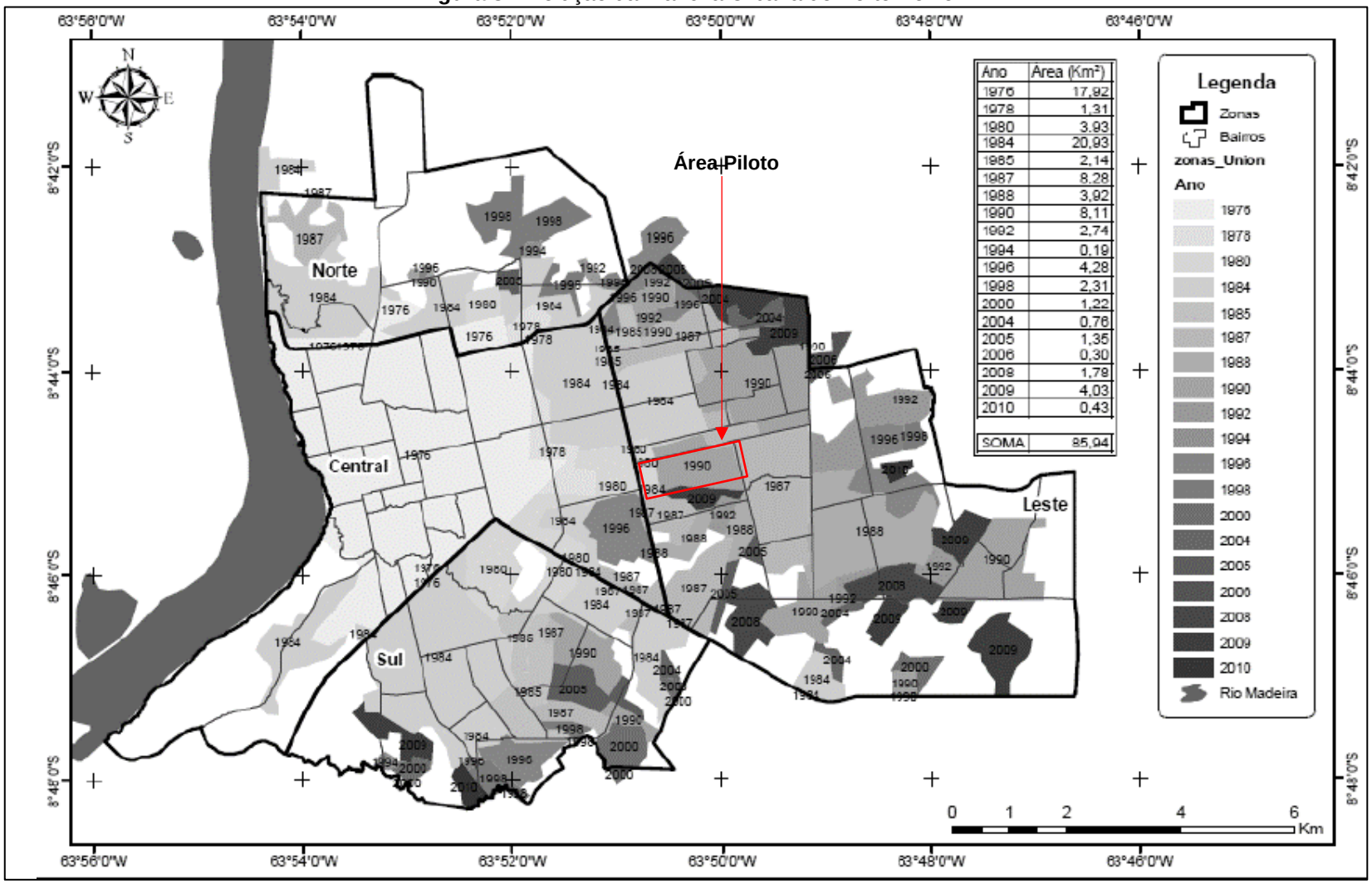
Fonte: Costa e Valverde (1968) apud IBGE (2019)

Figura 2. Localização da área de estudo



Fonte: Autor (2020)

Figura 3. Evolução da Mancha Urbana de Porto Velho



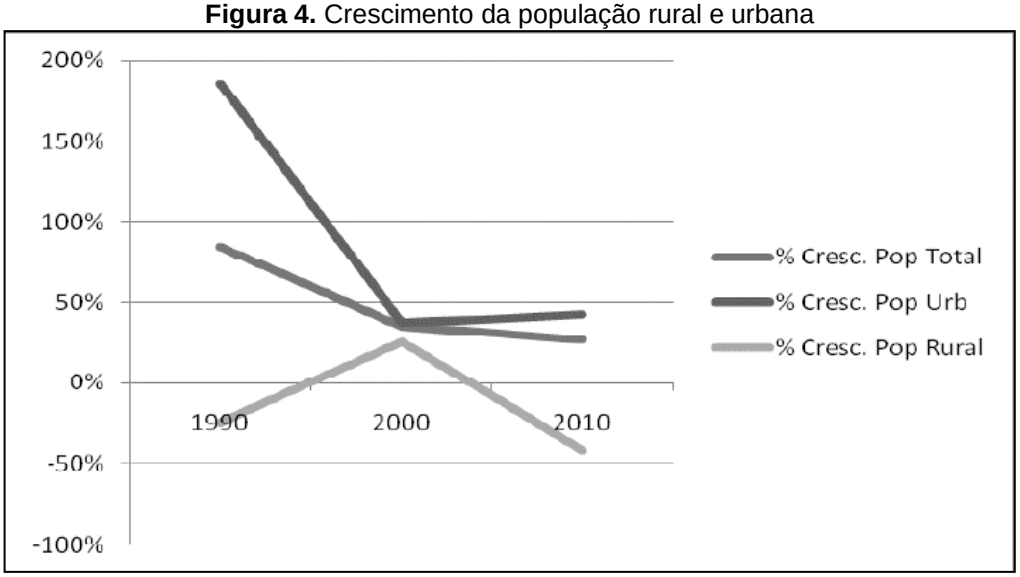
Fonte: Nascimento et al., (2012)

Uma característica do município é o crescimento desordenado (Figura 4) motivado por ciclos econômicos bem definidos (SANTO ANTÔNIO ENERGIA, 2019):

- Ciclo da borracha (1879 - 1912) e (1942 - 1945);
- Cassiterita (1958 – 1970);
- Ouro (década de 1980);
- Hidrelétricas (2008-2016).

O aumento de imigrantes fica claro no gráfico abaixo:

Figura 4. Crescimento da população rural e urbana



Fonte: IBGE (2010) apud NASCIMENTO et al., 2012

Ressalte-se que as terras ocupadas pertenciam à união desde a época em que o Estado ainda era reconhecido com Território Federal e que a posse de 93% dessas áreas foi concedida ao Instituto Brasileiro de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, ou seja, a maioria dos terrenos não possui escritura pública, os moradores apenas têm a posse (NASCIMENTO et al., 2012).

.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir é apresentada a revisão bibliográfica pertinente ao tema.

4.1 CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO

É importante ressaltar a definição dos termos a seguir: enchente, inundação, enxurrada e alagamento já que costumam ser confundidos por se tratar de fenômenos naturais ou causados pelo homem, mas que têm em comum o fato de serem ocasionados pela água. Autores como, Guerra (2003) e Pinheiro (2007), entre outros, conceituam e definem muito bem estes termos. A classificação será analisada individualmente, para o correto entendimento do tema abordado nesta pesquisa.

4.1.1 Enchente

Fenômeno natural que ocorre nos cursos d'água de pequenas (riacho, córrego, arroio) ou grandes dimensões (rio) em regiões urbanas e rurais, consistindo na elevação dos níveis destes até o transbordamento, podendo causar inundações. Não existe rio em que não haja a ocorrência de enchente. Todos possuem sua área natural de inundação (PINHEIRO, 2007).

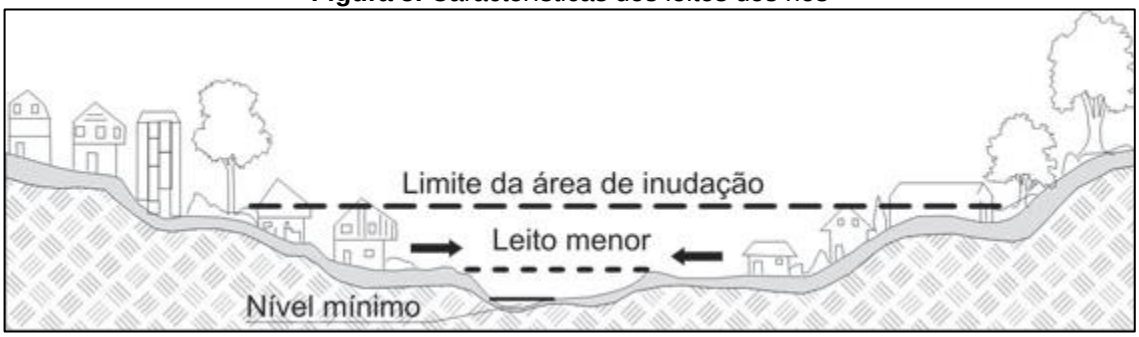
Para Guerra (2003), o que caracteriza as enchentes é a sua irregularidade, não ocorrendo todos os anos.

4.1.2 Inundação

Tucci (2008), classifica em dois tipos.

Inundações em áreas ribeirinhas: são consideradas fenômenos naturais, já que os rios geralmente possuem dois leitos, o leito menor (Figura 5) e o leito maior, neste último, a água escoa durante a maior parte do tempo. Quando o escoamento ultrapassa o leito menor e atinge o leito maior, ocorre a inundação. Esse tipo de inundação ocorre geralmente em bacias médias e grandes (>100 Km²). As cotas do leito maior identificam o risco e magnitude da inundação (TUCCI, 2008).

Figura 5. Características dos leitos dos rios



Fonte: Tucci (2008)

Segundo Reinert (2006), essas condições ocorrem em virtude das seguintes ações e negligências:

> - No Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano das cidades, geralmente não existe nenhuma restrição quanto à ocupação das áreas de risco de inundação, assim, a sequência de anos sem enchentes é razão suficiente para que empresários desmembrem essas áreas para ocupação urbana;
> - Invasão de áreas ribeirinhas, que pertencem ao poder público, pela população de baixa renda;
> - Ocupação de áreas de médio risco, de frequência menor, mas quando ocorre inundação sofrem prejuízos significativos (2008, p. 105).

Inundações em razão da urbanização: quando há aumento na frequência e magnitude de inundações por conta da impermeabilização do solo, do mal dimensionamento da rede de drenagem e condutos pluviais, e ainda, obstruções ao escoamento, como, aterros, pontes, drenagens inadequadas, assoreamento, entre outros. Geralmente são consideradas inundações localizadas, por envolverem bacias pequenas (<100 Km²), frequentemente bacias menores que 10 Km² (TUCCI, 2008).

Em suma, à medida que a urbanização avança, ocorrem impactos como: aumento das vazões máximas, aumento da produção de sedimentos e deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea. Um outro fator que também acarreta impactos é a forma desorganizada como a infraestrutura urbana é implantada (CUNHA, 2015).

4.1.3 Enxurrada

As enxurradas são consequência de chuvas de altas intensidades, que ocorrem em geral, nos fins de tardes de verão. Ocorrendo em bacias com alta declividade, baixa capacidade de retenção e alta geração de escoamento superficial.

Possuem alta capacidade de transporte, causando estragos como, arrastamento de veículos, destruição de estradas, casas, erosão, entre outros (COLLARES, 2000).

4.1.4 Alagamento

A COBRADE (2016), define alagamentos, como a extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.

As áreas planas ou com depressões e fundos de vales são mais susceptíveis devido ao escoamento superficial comprometido pela topografia somado à um sistema de drenagem pluvial ineficaz ou mesmo pela falta deste no ambiente urbano. Destaque-se que quanto menor a extensão de áreas verdes, menor a infiltração de água no solo, que por sua vez, alimenta os aquíferos suspensos, provocando menor auxílio para o escoamento superficial, o que poderia atenuar o fenômeno em questão (CANHOLI, 2014).

4.2 DRENAGEM E O MEIO URBANO

4.2.1 Sistema de drenagem natural

Zuffo (2007), descreve o sistema de drenagem das bacias hidrográficas como um condutor de água pluvial que se utiliza de depressões naturais do terreno. Estas foram desenvolvidas pela erosão da água sobre o solo resultando na maioria das vezes em uma rede hídrica complexa.

Barbosa Júnior (2007), por sua vez, descreve como sendo uma área definida topograficamente, drenada por um curso d’água ou um sistema conectado de cursos d’água, de modo que a vazão efluente seja descarregada por meio de uma saída simples. O homem interfere nesse sistema numa ação que denominamos, antrópica, através do desmatamento, principalmente, e pela impermeabilização do solo através da construção de obras de arte (estradas, pontes, edifícios, canais artificiais, reservatórios, entre outros).

Essa ação traz como consequência a necessidade da criação de um novo sistema de drenagem para suprir a vazão pluvial gerada devido às interferências humanas no terreno natural. Um sistema de drenagem artificial (HERZOG, 2013).

4.2.2 Sistema de drenagem artificial

Zuffo (2007), explica que em áreas urbanas as ruas costumam ser asfaltadas e possuem calçamento. A água da chuva é conduzida pelas guias e sarjetas até os cursos d'água através de um sistema de drenagem artificial, criado levando em consideração a topografia e a dinâmica natural. Assim, explica que existem dois tipos de drenagem artificial urbana: micro drenagem composta pelas ruas, sarjetas, bocas-de-lobo, poços de visita e pequenas galerias, que têm como função evitar que as vias fiquem alagadas; e a macro drenagem, que abrange os fundos de vale responsáveis pela drenagem de áreas maiores e recebem o fluxo de escoamento das ruas e pequenas galerias.

4.2.2.1 Tempo de recorrência para projetos de drenagem artificial

É o espaço de tempo em anos onde provavelmente ocorrerá um fenômeno de grande magnitude, pelo menos uma vez. No caso dos dispositivos de drenagem este tempo diz respeito às enchentes de projeto que por sua vez servirão para orientar o dimensionamento do projeto, para que este, atenda de forma eficaz ao objetivo para o qual se destina, e resista às vazões de projeto sem riscos de ruir. A adoção de um tempo de recorrência e a vazão são proporcionais à importância da obra, resultando na adoção de um valor para o qual o risco de superação seja adequado para manter a segurança do objeto. Em suma, quanto maior o tempo de recorrência, mais volumoso será o caudal (BRASIL, 2005).

4.3 COMPOSIÇÃO DO SOLO

4.3.1 A origem dos solos

Todos os solos originam-se da decomposição das rochas que originalmente constituíam a crosta terrestre, estes solos podem ser classificados como autóctones quando são originários diretamente da rocha matriz ou alóctone quando transportados de outras áreas e depositados. A decomposição decorre de agentes químicos e/ou físicos, como, variações de temperatura que provocam micro trincas, por onde a água poderá penetrar, e por sua vez, atacar quimicamente os minerais componentes das

rochas. Outro fator que contribui para a fragmentação, é a água no interior das trincas, que exerce elevadas tensões, resultando em fragmentação das rochas. E ainda, fatores como, ataque químico através de hidratação, hidrólise, oxidação, lixiviação, troca de cátions, carbonatação, entre outros, resultantes da presença da fauna e da flora (PALMIERI e LARACH, 2016).

Esse conjunto de processos é muito mais atuante em climas quentes do que em climas frios, e no caso do primeiro, leva à formação de solos mais desenvolvidos (mais profundos, a exemplo dos latossolos), em relação a solos associados aos climas mais frios (DAS e SOBHAN, 2014).

4.3.2 Índices físicos e estado do solo

No solo apenas uma parte do volume total é ocupado por partículas sólidas acomodadas formando uma estrutura. O restante do volume é ocupado por água e/ou ar. Portanto o comportamento do solo depende da quantidade de cada um dos três componentes (partículas sólidas, água e ar). A quantidade desses componentes pode variar devido: a evaporação que pode diminuir a quantidade de água, que por sua vez, pode ser substituída por ar; e à compressão do solo, que pode expulsar a água e o ar reduzindo o volume. Diminuindo o volume de vazios a resistência aumenta. Em resumo, diversas propriedades do solo dependem do estado em que este se encontra. Na identificação do estado do solo são empregados índices que correlacionam os pesos e os volumes das três componentes do solo (PINTO, 2006). Seguem abaixo, alguns desses índices:

a) Umidade;
b) Índice de vazios;
c) Porosidade;
d) Grau de saturação: relação entre o volume de água e de vazios;
e) Peso específico dos sólidos (ou dos grãos): característica dos sólidos é a relação entre o volume e o peso das partículas sólidas;
f) Peso específico da água: varia pouco com a temperatura, porém adota-se sempre o valor de 10 kN/m³;
g) Peso específico natural: relação entre o peso total do solo e seu volume total;

h) Peso específico aparente seco: relação entre o peso dos sólidos e o volume total;
i) Peso específico aparente saturado: peso do solo saturado se fosse possível ocorrer sem variação no volume;
j) Peso específico submerso: peso específico efetivo do solo submerso. Utilizado no cálculo de tensões efetivas. Igual ao peso específico natural subtraído o peso específico da água, obedecendo valores da ordem de 10 kN/m³.

4.3.3 Tamanho das partículas

A primeira característica que diferencia os solos é o tamanho de suas partículas constituintes. Num solo geralmente convivem partículas de diversos tamanhos, sendo difícil a identificação pelo simples manuseio. Grãos de areia, por exemplo, podem estar envoltos por partículas argilosas ficando com o aspecto de uma aglomeração formada exclusivamente por esta última. O conjunto silte e argila é denominado fração de finos do solo, o conjunto areia e pedregulho, fração grossa. A fração abaixo do diâmetro de 0,002 mm, correspondente ao tamanho mais próximo das partículas de constituição mineralógica dos minerais-argila, é considerada com frequência fração de argila (LEPSCH, 2011).

Tabela 1. Limites das frações de solo pelo tamanho das partículas (NBR - 6502)

Fração	Limites
Matacão	De 25 cm a 1 m
Pedra	De 7,6 cm a 25 cm
Pedregulho	De 4,8 mm a 7,6 cm
Areia grossa	De 2,0 mm a 4,8 mm
Areia média	De 0,42 mm a 2,0 mm
Areia fina	De 0,05 mm a 0,42mm
Silte	De 0,005 mm a 0,05 mm
Argila	Inferior a 0,005 mm

Fonte: ABNT (1995). Adaptado pelo autor

4.3.4 Constituição mineralógica

A constituição das partículas depende da composição da rocha matriz. Em alguns casos como o do pedregulho, a composição frequente é de minerais distintos, no entanto o mais comum é que as partículas sejam constituídas de um único mineral.

O quartzo está presente na maioria das rochas. Bastante resistente à desagregação, forma grãos de siltes e areias. Sua composição química é SiO_2 e suas partículas são equidimensionais, como cubos ou esferas, apresentando baixa atividade superficial. Minerais como, feldspato, gibsita, calcita e mica, podem ser encontrados nestas características. Os feldspatos são mais atacados pela natureza, originando os argilo-minerais, constituintes da fração mais fina dos solos, com dimensões inferiores a 2 mm. Estas partículas têm um comportamento extremamente diferenciado devido a sua composição mineralógica e o tamanho reduzido, quando comparadas aos grãos de silte e areia, além de possuírem uma estrutura complexa (GEREMIAS et al., 2003).

4.4 IDENTIFICAÇÃO DOS SOLOS POR MEIO DE ENSAIOS

4.4.1 Análise granulométrica

O solo é composto por partículas de diversos tamanhos, por esse motivo, há dificuldade em identificá-las. Muitas vezes, grãos de areia podem estar envoltos por argilas dando a entender que se trata de um aglomerado composto exclusivamente por argila. Quando secas, dificilmente se consegue identificá-las, no entanto, quando úmidas a argila se transforma numa pasta fina e a areia passa a ser identificável pelo tato. Por esse motivo, é importante que o solo esteja úmido no caso de uma identificação tátil-visual (EMBRAPA, 2017).

4.4.2 Compactação do solo

Trata-se do processo de compressão do solo não saturado que provoca o aumento da densidade e redução de volume devido à expulsão de ar dos poros do solo. Podendo ainda ser ampliado no caso de compressão do solo com alto teor de umidade. Causa efeitos sobre as propriedades físicas, como o aumento da resistência mecânica e a diminuição da porosidade total e da macro porosidade (DIAS JUNIOR, 2000).

Esse efeito é desejado em obras de engenharia, mas altamente indesejável no meio urbano, quintais residenciais, parques e praças. Solos não compactados possuem densidade volumétrica entre 1,10 $g.cm^{-3}$ a 1,40 $g.cm^{-3}$ enquanto, nos

compactados esse valor varia de 1,50 g.cm^{-3} a 1,90 g.cm^{-3}, podendo chegar até 2,0 g.cm^{-3} (SCHUELLER, 2000).

4.4.3 Infiltração

A passagem da água da superfície para o interior do solo é chamada de infiltração, e é um processo que depende da disponibilidade de água para infiltrar, da natureza do solo, do estado da camada superficial do solo e das quantidades de água e ar inicialmente presentes no interior do solo. O espaço disponível para a água se movimentar no interior do solo é determinado pelos vazios existentes entre os grãos de sua estrutura. A porosidade do solo serve de parâmetro para verificar a máxima capacidade de retenção de água e o teor de umidade será sempre menor ou igual à porosidade. O grau de saturação por sua vez, é definido pela relação entre os volumes de água e de vazios da amostra. À medida que a água infiltra na superfície, as camadas superiores se umedecem de cima para baixo alterando gradualmente o perfil de umidade (CARVALHO, 2013)

Enquanto houver carga hídrica o perfil de umidade evolui tendendo à saturação em toda sua profundidade, sendo a superfície a primeira a inundar. Com o cessamento de carga de água na superfície, a umidade se redistribui no interior do solo de forma inversa, com os maiores teores de umidade nas camadas mais profundas e os menores, nas proximidades da superfície. Nem toda a umidade é drenada pelo solo. Uma parte se transfere para a atmosfera por evapotranspiração. Vale destacar que o lençol freático pode ter grande influência na saturação, mas apenas quando se localiza a pouca profundidade (SOUZA e ALVES, 2003).

4.4.3.1 Capacidade de infiltração

Bernardo et at. (2006), definem capacidade de infiltração como, o potencial que o solo tem de absorver a água. A sua capacidade é medida considerando-se a altura de lâmina d'água, por unidade de tempo. Representando o volume de água que o solo pode absorver, por unidade de área, na unidade de tempo. Medida geralmente mm.h^{-1}. Classificam ainda os solos segundo a sua velocidade conforme a tabela abaixo:

Tabela 2. Classificação da capacidade de infiltração

Capacidade de Infiltração	Unidade ($mm.h^{-1}$)
Muito alta	> 30
Alta	15 - 30
Média	5 - 15
Baixa	< 5

Fonte: Bernardo et al., (2006). Adaptado pelo autor

4.5 OCUPAÇÃO DO SOLO URBANO E IMPACTOS NO SISTEMA DE DRENAGEM

O estudo da evolução temporal do processo de uso e ocupação do solo e suas tendências permite a análise do impacto da urbanização sobre o sistema de macro drenagem em uma bacia hidrográfica. De acordo com Marcondes (1999), “a visão de espaço neutro com referência à atuação dos diferentes agentes que interagem nos processos de uso e ocupação do solo corroboram para a elaboração de uma legislação de ordenamento territorial desconectada dos dados da realidade a qual se aplica”.

Para Tucci (1997) “depois que a bacia ou parte da mesma estiver ocupada, dificilmente o poder público conseguirá responsabilizar aqueles que estiverem ampliando a cheia.” Nesse contexto, a regulamentação do solo somada à identificação das áreas suscetíveis aos impactos ocasionados pelas inundações e alagações surge como importante estratégia para o desenvolvimento de políticas urbanas municipais. Uma vez mapeados e hierarquizados os riscos, torna-se possível estabelecer critérios de ocupação que garantam a segurança da população ocupante de áreas risco, podendo-se atuar tanto no planejamento de áreas em desenvolvimento, como na correção de espaços já consolidados (SILVA, 2013).

4.5.1 Ocupação de Áreas de Preservação Permanente – APP’s

A intensa ocupação do território brasileiro tem gerado enorme devastação ambiental devido ao uso antrópico direcionado à urbanização, setor agrícola e agropecuária. O grande problema do desenvolvimento acelerado é a falta de um planejamento que vise a sustentabilidade. Como consequência, os impactos ambientais são inevitáveis. Nas cidades a ação antrópica tem impactado diretamente nas formas de relevo. A desigualdade social devido à má distribuição de renda obriga

uma parte da população a procurar áreas inapropriadas para moradia e as margens de canais acabam sendo ocupadas (SANTOS, 2012).

Para preservar estas áreas, o poder legislativo criou a Lei nº 12.651/12, o Código Florestal que dispõe sobre as Áreas de Preservação Permanente e os meios de proteção (BRASIL, 2012).

O Código Florestal define a APP em seu artigo 3°:

> Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:
> (...)
> II - Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

Estabelece ainda em seu artigo 4°:

> Art. 4º Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:
> I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de: (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).
> a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;
> b) 50 (cinquenta) metros, para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
> c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
> d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
> e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;
> II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:
> a) 100 (cem) metros, em zonas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;
> b) 30 (trinta) metros, em zonas urbanas (BRASIL, 2012).

As Áreas de Preservação Permanente (APP's) visam atender o direito de todos os brasileiros a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, não sendo permitida a sua exploração econômica direta. Porém, devido ao grande crescimento populacional e ao desenvolvimento das cidades, essas áreas vêm sofrendo enormes impactos em consequência de ações antrópicas. Motivo que obrigou o poder legislativo a instituir em âmbito jurídico uma área especialmente protegida, onde é proibido construir, plantar ou explorar atividade econômica, ainda que seja para

assentar famílias assistidas por programas de colonização e reforma agrária (O ECO, 2013).

Em Porto Velho, a Lei Complementar n° 97 de 29 de dezembro de 1999 (PORTO VELHO, 1999), visando estabelecer normas relativas ao parcelamento, uso e ocupação do solo do município, em seus artigos 46 e 47 define e estabelece:

> Art. 46 - As áreas de interesse ambiental são os espaços físicos que, por suas características fisiográficas, geológicas, hidrológicas, botânicas e climatológicas, devem ter sua ocupação e utilização regulamentadas, no sentido de que o patrimônio ambiental do Município seja preservado.
>
> Art. 47 - Constituem-se em áreas de interesse ambiental:
> I. ao longo de qualquer curso d'água, a partir da linha de máxima cheia, será:
> a) no canal do Bate Estaca, de 50 m (cinqüenta metros);
> b) nos canais das Lavadeiras, Santa Bárbara, Penal e Tanques, de 25 m (vinte e cinco metros);
> c) outros canais, será de 15 m (quinze metros).
> II. ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;
> III. nas nascentes, mesmo nos chamados "olhos d'água", seja qual for a situação topográfica;
> IV. no topo dos morros;
> V. nas encostas ou parte destas, com declividade superior a 45º (quarenta e cinco graus), equivalente a 100% da linha de maior declive (1999, p. 14).

Dessa forma, as legislações federal e municipal entram em conflito quanto à regulamentação dos limites das APP's , uma vez que a lei federal Lei nº 12.651/12 institui um limite de 30 metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura, e a Lei Complementar municipal n° 97/99 estabelece 15 metros para os canais não citados no inciso I no caso da área objeto de estudo desta pesquisa. Neste caso, a repartição de competência legislativa entre os entes da federação pode ser horizontal, pelo princípio da predominância. Em outras palavras, quando se trata do interesse municipal, o município pode legislar de forma suplementar (GOMES, 2010).

4.6 RISCO

4.6.1 Etimologia

Segundo Almeida (2012), a origem do termo "risco" é considerada incerta, porém, presente em todas as línguas europeias: risk (inglês) rischio (italiano) riesgo (espanhol), risque (francês). Por outro lado, certos linguistas relacionam ao castelhano antigo ressegue (ressecar, cortar), cuja acepção mais utilizada na Idade Média é

sinônimo de luta, contradição e divisão. Já o termo latino rixare (brigar) e resecare (extirpar, suprimir), possui duplo sentido: divisão/discórdia e lugar acidentado; em grego, rhizzikon; e em árabe, risk (ANEAS DE CASTRO, 2000).

Veyret e Richemond (2007), afirma que “risco” provém do termo “risico” ou “rischio”, e do castelhano “risco”, designando escolho, penhasco escarpado, promontório e naufrágio.

4.6.2 Definição

Para Ferreira (1988), risco é perigo ou possibilidade de perigo: possibilidade de perda ou de responsabilidade pelo dano. Aneas de Castro (2000) define que risco corresponde ao “grau de perda previsto devido a um fenômeno natural determinado e em função tanto do perigo natural quanto da vulnerabilidade”. Veyret e Richemond (2007), afirma: “De fato, a palavra designa, ao mesmo tempo, tanto um perigo potencial quanto sua percepção e indica uma situação percebida como perigosa na qual se está ou cujos efeitos podem ser sentidos”.

Portanto, o conceito de risco, de forma geral, “refere-se à probabilidade de ocorrência de processos no tempo e no espaço, não constantes e não determinados, e à maneira como estes processos afetam (direta ou indiretamente) a vida humana” (CASTRO et al., 2005).

4.6.3 Tipos de Risco

Existem vários tipos de risco, porém, a Geografia não trata de todos, apenas daqueles cuja percepção e gestão são acompanhadas de uma dimensão espacial, e por esse motivo são abordados pela ciência geográfica, e os classifica de acordo com os processos que os engendram. Assim, a classificação dos riscos pode ser analisada no Quadro 1 abaixo (ALMEIDA, 2012):

Quadro 1. Tipos de risco

Tipos de Riscos		Definições, características, exemplos
Riscos ambientais	Riscos naturais	Riscos pressentidos, percebidos e suportados por um grupo social ou um indivíduo sujeito à ação possível de um processo físico natural; podem ser de origem litosférica (terremotos, desmoronamentos de solo, erupções vulcânicas), e hidroclimática (ciclones, tempestades, chuvas fortes, inundações, nevascas, chuvas de granizo, secas); apresentam causas físicas que escapam largamente à intervenção humana e são de difícil previsão.
Riscos ambientais	Riscos naturais agravados pelo homem	Resultado de um perigo natural cujo impacto é ampliado pelas atividades humanas e pela ocupação do território: erosão, desertificação, incêndios, poluição, inundações, etc.
Riscos tecnológicos		Distinguem-se em poluição crônica (fenômeno perigoso que ocorre de forma recorrente, às vezes lenta e difusa) e poluição acidental (explosões, vazamento de produtos tóxicos, incêndios, etc.).
Riscos econômicos, geopolíticos e sociais		Riscos atrelados à divisão e ao acesso a determinados recursos (renováveis ou não), que podem se traduzir em conflitos latentes ou abertos (caso das reservas de petróleo e água); podem ter ainda origem nas relações econômicas na agricultura (insegurança alimentar), causas da globalização (crises econômicas), insegurança e violência em virtude da segregação socioespacial urbana, riscos à saúde (epidemias, fome, poluição, consumo de drogas, etc.).
Outros tipos de riscos	Ex.: Riscos maiores	A compreensão do risco também depende da escala de análise; o risco maior é assim considerado quando o custo de recuperação e o número de perdas humanas são relevantemente elevados para os poderes públicos e seguradores; os riscos maiores correspondem a eventos de baixa frequência e grande magnitude e consequências (ex.: Chernobyl, Seveso, Bhopal, Katrina, etc.); há ainda exemplos de “territorialização” dos riscos, como é o caso específico dos riscos urbanos, em razão da complexidade e da multidimensionalidade de atores e variáveis das cidades.
	Ex.: Riscos urbanos	

Fonte: Almeida (2012)

4.6.4 Relação entre risco e vulnerabilidade

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (BRASIL, 2007), risco é a relação entre a possibilidade de ocorrência de um dado processo ou fenômeno e a magnitude de danos ou consequências econômicas e/ou sociais sobre um elemento, grupo ou comunidade.

Almeida (2012) define risco, como a percepção de um indivíduo ou grupo de indivíduos da probabilidade de ocorrência de um evento potencialmente perigoso e causador de danos, onde as consequências variam em função da vulnerabilidade intrínseca do indivíduo ou grupo. Portanto, o risco é proporcional à vulnerabilidade.

A ideia de vulnerabilidade na atualidade está relacionada ao desenvolvimento acelerado que por sua vez, geram impactos, econômicos, sociais, ambientais e culturais. Tais impactos refletem na forma desigual da distribuição de riquezas, gerando extrema disparidade deixando alguns grupos expostos a vários tipos de risco (DESCHAMPS, 2004).

4.6.5 Risco a enchentes, inundações e alagamentos urbanos

Nos espaços urbanos, as inundações elencam as ameaças naturais que mais causam danos humanos e materiais. Danos que estão correlacionados a uma posição de arrogância da sociedade em relação à dinâmica natural das bacias hidrográficas somado à inocência ou inadvertência por parte de populações marginalizadas que ocupam margens de rios, córregos e demais áreas de grande risco (ALMEIDA, 2012).

Segundo Tucci (2004), a urbanização é espontânea, porém, o planejamento urbano é realizado apenas para a parte da cidade ocupada pela população de média e alta renda, enquanto para as áreas de baixa renda e de periferia o processo se desenvolve de forma irregular ou clandestina.

Estudos apoiados no Censo demográfico de 2010 apontam que nos quinze anos anteriores, as áreas centrais e os bairros consolidados mais antigos dos maiores municípios das metrópoles brasileiras tiveram decréscimo ou estabilização populacional, enquanto que nas zonas periféricas, houve uma explosão populacional, com taxa de crescimento médio de até 8% ao ano, passando a abrigar mais de 30% da população total. Isso mostra uma clara tendência das zonas periféricas se comportarem como válvula de escape para o abrigo da população de baixa renda, tendendo ao espraiamento geográfico horizontal, incorporando seguidas porções de territórios, inclusive, mananciais à mancha urbana metropolitana (SANTOS, 2012).

Para Zuffo (2007), a falta de uma política habitacional baseada em princípios ambientais e igualdade social acaba empurrando a população mais carente para áreas sujeitas a inundações, ampliando o problema ambiental e sacrificando a comunidade desassistida, seja urbana ou rural.

Com uma prática nociva, onde se privilegia a adaptação dos terrenos aos projetos quando o ideal seria o inverso, a expansão urbana promove dois tipos principais de ocupação habitacional: O primeiro, loteamentos regulares com projetos aprovados pelas administrações municipais, estes são implantados através de

terraplanagens, arrasando morros, encostas e aterrando vales, seguidos da ocupação antecedendo a instalação da infraestrutura básica. O segundo tipo são as ocupações irregulares (invasões) de terrenos públicos e privados, que ocupam geralmente as encostas de grande declividade, implantando arruamentos precários e desprotegidos e lotes por escavações nas encostas, lançando o material resultante morro abaixo. O mesmo acontece em fundos de vale e margens de córrego. Dessa forma, a população que promove ocupações irregulares acaba sendo agente e vítima dos graves problemas geotécnicos por ela provocados (SANTOS, 2012).

Tucci (2005), identifica alguns dos principais fatores que geram impactos e problemas:

> a) Falta de conhecimento: da população e dos profissionais de diferentes áreas que não possuem informações adequadas sobre a fonte dos problemas e suas causas;
> b) Concepção inadequada dos profissionais de engenharia sobre planejamento e controle dos sistemas;
> c) Visão setorizada do planejamento urbano. O planejamento e o desenvolvimento das áreas urbanas são realizados desprezando os aspectos relacionados com os diferentes componentes da infraestrutura de água;
> d) Falta de capacidade gerencial. Os municípios não possuem estrutura para o planejamento e o gerenciamento adequado dos diferentes aspectos da água no meio urbano (2005, p.14).

Ainda de acordo com Santos (2012), o Coeficiente de Escoamento Superficial (índice que mostra a relação entre o volume total da chuva e a parte desse volume que escoa superficialmente em direção às drenagens), nas grandes cidades brasileiras, está na ordem de 85%. Para efeito de comparação, numa floresta ou bosque, este Coeficiente fica em torno de 20%, retendo cerca 80% das chuvas. Destaca ainda que, a erosão e o assoreamento, são responsáveis por reduções de até 80% da capacidade original de vazão das drenagens urbanas.

4.6.6 Medidas de Mitigação e Tratamentos

Diante dos riscos, é necessário enxergar as águas das chuvas como amigas da cidade, que servem para limpar a sujeira, para dar vida às plantas, alimentar os mananciais profundos e de superfície, para matar a sede, amenizar o clima, além de atender a inúmeras necessidades humanas. Para isso, é preciso recuperar a capacidade da cidade de reter as águas provenientes das chuvas e retardar o

escoamento, ou seja, reduzir ao máximo o Coeficiente de Escoamento Superficial, o que só será possível através do conjunto: Legislação, medidas estruturais e não estruturais (SANTOS, 2012).

No Brasil, as legislações que envolvem as águas urbanas estão relacionadas com recursos hídricos, uso do solo e licenciamento ambiental, é o que afirma Tucci:

- **Recursos Hídricos:** a Constituição Federal decide sobre o domínio dos rios enquanto a legislação federal que trata dos recursos hídricos estabelece os princípios básicos para gestão por meio das bacias hidrográficas. A lei n. 9.433 de janeiro de 1997, artigo 12, inciso III, impõe critérios para a outorga do uso da água, porém, sem legislar a respeito do despejo de efluentes de drenagem.
- **Uso do solo:** na Constituição Federal, em seu artigo 30, fica definido que o uso do solo é municipal. Podendo, os Estados e a União estabelecerem normas para disciplinar o uso do solo visando a proteção ambiental, o controle da poluição, a saúde pública e a segurança. No caso da drenagem urbana são concorrentes Município, Estado e Federação;
- **Licenciamento ambiental:** licenciamento que estabelece os limites para construção e operação de canais de drenagem, sendo regulado pela Lei 6938/81 e resolução CONAMA n. 237/97. Assim, a resolução CONAMA 1/86 art. 2º, VII estabelece a necessidade de licença ambiental para “obras hidráulicas de drenagem”. Fica claro a existência de mecanismos legais para controle das cidades, no entanto, enquanto as indústrias são multadas e reduzem o seu impacto, as cidades possuem baixa cobertura de tratamento e não obedecem às legislações ambientais. Não é incomum encontrar bacias hidrográficas onde as cidades controlam 5% da carga e as indústrias 95%. Ou seja, as entidades estaduais de meio ambiente não conseguem impor a legislação às cidades (2004, p. 64-68).

No município de Porto Velho, na Lei Complementar n° 97 de 1999, há um dispositivo que trata dos terrenos sujeitos a inundações:

> Art. 13 Fica vetado o parcelamento do solo, para fins urbanos:

> I - Em terrenos alagadiços e sujeitos à inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas ou a proteção contra as enchentes e inundações;
> II - Em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se atendidas as exigências específicas das autoridades competentes;
> III - Em terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados;
> IV - Em terrenos onde as condições geológicas não aconselham a edificação;
> V - Em áreas de preservação ecológica, definidas por ato dos Poderes Executivo ou Legislativo, ou naqueles onde a poluição impeça condições sanitárias suportáveis, até sua correção.
> Parágrafo Único - Para os efeitos do disposto no inciso I deste artigo, consideram-se áreas sujeitas à enchentes e inundações aquelas localizadas em cota de nível igual ou inferior a 60 (sessenta) metros positivos (1999, p. 5).

Tucci (2005), adota o discurso de que para combater as enchentes urbanas, juntamente às legislações, é indispensável adotar medidas hidráulicas estruturais, diretamente vinculadas ao sistema natural e artificial de drenagem através do alargamento e aprofundamento dos rios principais e desassoreamento de rios, córregos e drenagens construídas, somados à eliminação de pontos de estrangulamento representados por pontes, galerias e sistemas de drenagem antigos que já não suportam as vazões a que são submetidos.

Santos (2012) sugere algumas medidas mitigadoras (Quadro 2):

Quadro 2. Alguns mecanismos que ajudam na contenção do escoamento superficial

Mecanismo	Função
Bosque Florestado Urbano	Espaço, praça, terreno público ou privado formado por árvores de pequeno, médio e grande portes. A serrapilheira formada por um colchão de folhas caídas e restos de vegetais acumulados no chão proporciona proteção ao solo contra a erosão, tornando-o mais permeável, reduzindo a energia de escoamento superficial das águas de chuva.
Calçadas ajardinadas	Uma faixa de no mínimo 1 metro da calçada com cobertura vegetal. Áreas apropriadas para reter e absorver águas das chuvas.
Sarjetas drenantes	Sarjetas projetadas para permitir a infiltração e acumulação de águas das chuvas.
Reservatórios domiciliares e empresariais	Dispositivos de acumulação de águas de chuva, por simples reservação para utilização posterior ou descarte. Sobre este dispositivo há para a cidade de São Paulo a lei das Piscininhas (Lei 13276/2002), que obriga lotes urbanos com mais de 500 m² de área impermeabilizada a implantar reservatórios.
Pavimentos drenantes	Pisos intertravados, assentados sob base de areia, blocos vazados, concreto permeável, piso asfáltico permeável, ou a combinação destes, sempre sobre uma base drenante.

Fonte: Adaptado de Santos (2012)

4.6.7 Mapeamento de áreas de risco

A identificação de áreas onde ocorrem risco de alagamentos por meio da representação cartográfica, bem como a detecção e prevenção de possíveis desastres através do monitoramento dos elementos desencadeadores, se mostram cada vez mais necessárias e relevantes para os centros urbanos quando o objetivo é evitar perdas de vidas humanas, prejuízos ambientais e econômicos. Para isso, o geoprocessamento aliado às suas diversas formas e métodos de análise, tem se mostrado uma ferramenta imprescindível para a viabilidade e rapidez dos estudos de risco, possibilitando entendimento e compreensão dos problemas analisados, além de identificar as relações dos diversos fatores envolvidos na causa ou agravamento de alagamentos, enchentes e inundações (MANTIS e VAZ, 2019).

Em 2012, o Governo federal, com o objetivo de implementar seu Plano de Gestão de Riscos, encomendou ao CPRM, um levantamento dos municípios brasileiros mais críticos quanto à ocorrência de acidentes associados a enchentes, enxurradas e deslizamentos. Sendo selecionados 800 municípios, dentre os quais, 286 foram classificados em situações de alto e muito alto risco. O município de Porto Velho está incluído nessa lista, com um total de 1474 de pessoas desalojadas e desabrigadas (SANTOS, 2012). Vale lembrar que, em 2014, houve a grande cheia do Rio Madeira, o que certamente extrapolou, em muito esses, números (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO VELHO, 2019).

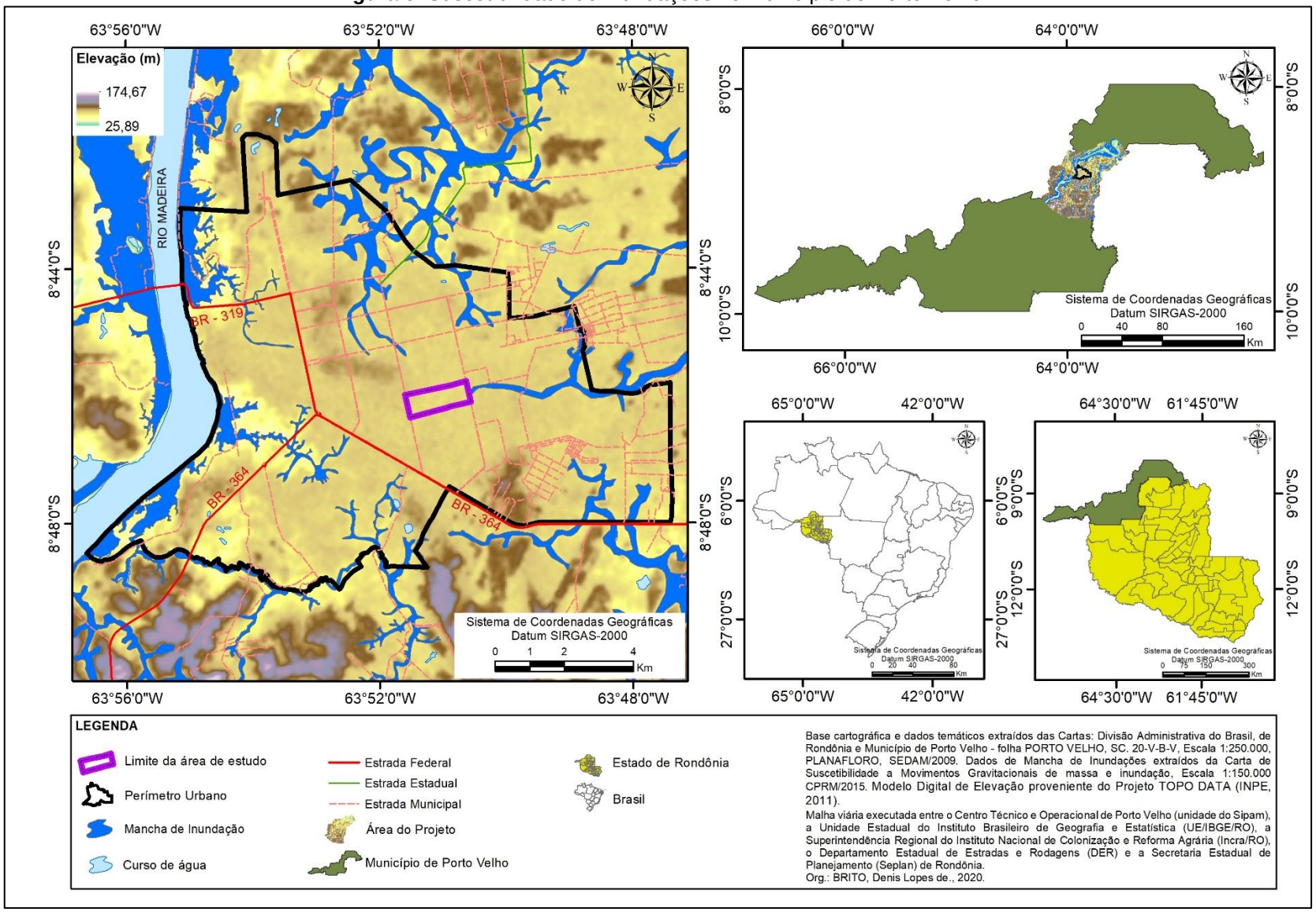
Em 2015 foram produzidos mapas de manchas de inundação para as cidades de Costa Marques e Porto Velho, ambas em Rondônia, e para a cidade de Rio Branco no Acre. Os mapas em questão indicam áreas inundáveis com recorrência de 3, 5, 10, e 25 anos (CENSIPAM, 2015). No ano de 2017, pesquisadores da residência de Porto Velho realizaram o Estudo de Ação Emergencial para Reconhecimento de Áreas de Alto e Muito Alto Risco a Movimentos de Massa e Enchentes em atendimento ao Plano Nacional de Gestão de Riscos. Este levantamento foi efetuado em 35 municípios de Rondônia, onde foram identificadas 36 áreas de alto risco somente em Porto Velho, somando aproximadamente 4300 imóveis e 17 mil pessoas com possibilidades de serem atingidas por inundações (CPRM, 2017).

No contexto municipal, em 2014 Porto Velho foi contemplada como uma das cidades piloto para receber um sistema de alerta em tempo real contra enchentes urbanas provocadas principalmente pelo transbordamento dos igarapés urbanos que

cortam a cidade. Projeto que contou com fomento do CNPq e do Ministério das Cidades por meio da Chamada MCTI/CNPq/MCIDADES N° 11/2012 (CENSIPAM, 2020).

O mapa de manchas de inundações produzido pela CPRM (2015), pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6. Suscetibilidade de Inundações no município de Porto Velho



Fonte: Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação, CPRM/2015. Modificado pelo Autor, (2020)

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A seguir serão apresentadas as características da área de estudo.

5.1 ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS

5.1.1 Aspectos Socioeconômicos de Porto Velho

> Porto Velho é uma cidade sem uma identidade clara sobre suas potencialidades. Parte disso, é o modelo de formação populacional, diferentes culturas em um mesmo espaço, e a outra parte é o fator dos ciclos exploratórios que endereçaram ao imediatismo na atividade fim sem deixar uma atenção voltada ao legado da cidade (FUNPAR, 2017).

5.1.1.1 Atividade empresarial

O município possui como atividade principal o comércio, seguido da indústria e administração pública. Há uma necessidade latente para industrialização de itens, dentre esses podemos destacar itens alimentares. O simples fato de não ter que comprar de outros municípios e produzir em Porto Velho reduziria consideravelmente o gasto com alimentação gerando impacto em todas as faixas de renda. Há oportunidades para o adensamento de negócios, haja visto que é a capital com menor índice - PIB/Km² - cerca de 390 mil/Km² (FUNPAR, 2017).

5.1.1.2 Capital Humano

O ensino básico e o fundamental são precários, poucas escolas conseguem alcançar os índices mínimos desejados pelo MEC (IDEB). A inserção no ensino superior cresceu relativamente nos últimos anos, em Porto Velho e no Estado, mas as taxas são bem inferiores ao mínimo desejado, o que interfere diretamente nas iniciativas que queiram estimular atividades de média e alta complexidade. Não há nenhum setor censitário em Porto Velho com maioria possuindo ensino superior. Porto Velho conta com uma grande fatia de PEA (População Economicamente Ativa), o contraponto é o nível de instrução desses, pois boa parte da população, cerca de 70% tem nível fundamental ou são apenas alfabetizados (FUNPAR, 2017).

5.1.1.3 Renda Média

O município possui a maior renda média per capita no Estado (R$ 3.865,17), 23,83% maior que a média do Estado de Rondônia. Esta renda superior está diretamente relacionada à massa salarial da administração pública e não aos setores produtivos da economia de Porto Velho (FUNPAR, 2017).

5.1.1.4 Potencial de Consumo

Porto Velho é a cidade que possui maior potencial de consumo do Estado, haja vista a população da cidade. Porém quando trata-se do quesito per capita a cidade fica atrás de outras como Vilhena ou Ji-Paraná. Possui ainda, a maior renda média domiciliar. No entanto, isto está relacionado ao perfil de empregados da cidade, cerca de 46% da população com empregos formais são funcionários públicos e estes possuem 60% da massa salarial do município. As categorias de Habitação, Outras Despesas, Alimentação e Bebidas e Gastos com Veículos Próprios representam 66% de todo potencial de consumo nos domicílios de Porto Velho, o que é um comportamento padrão nas demais microrregiões do estado de Rondônia (FUNPAR, 2017).

- **Capital Humano Tecnológico:** Mesmo a cidade sendo um polo Universitário de expressiva formação nas diversas áreas de conhecimento, a cidade de Porto Velho conta com uma retenção de talentos inferior à média das Capitais brasileiras. Nesse ponto, destaca-se a questão dos serviços públicos (que denotam em sua grande maioria formação superior), no entanto, a cidade precisa atrair empregos qualificados de alta especialização na iniciativa privada. A industrialização pode ser um mote para essa questão. Outro ponto que pode explicar a não fixação/atração de jovens é o fato de os jovens da cidade não terem um interesse com a Matriz Econômica Atual. Uma oportunidade seria a criação de novos ciclos convergentes com essas gerações, estimulando a competitividade da indústria local, e por intermédio, pontes com a economia criativa. Porto Velho conta com uma população universitária que representa 5%, e com um contingente de pessoas formadas de cerca de 7,94%, já a média das capitais é de 5,82% em relação a população universitária e de 13,51% do contingente de já formados. Há uma notória lacuna de retenção de talentos (FUNPAR, 2017);

- **Infraestrutura Hídrica:** O município conta com um baixo índice de saneamento básico. Há um baixo índice de tratamento de água (menor que 30%). Os indicadores da qualidade da água superficial são preocupantes. Porto Velho conta com a região mais contaminada de todo o Estado de Rondônia. Esse item hídrico (Abastecimento de água e tratamento de esgoto) é crítico, pois é um limitador dos negócios (ampliação e sofisticação industrial) e um peso para a Saúde Pública (doenças que estão diretamente relacionadas aos índices de saneamento básico) (FUNPAR, 2017);

5.1.2 Aspectos Socioeconômicos do Bairro Lagoinha

Segundo informações obtidas na Secretaria Municipal de Regularização Fundiária, Habitação e Urbanismo – SEMUR (informação oral[1]), o bairro é consequência de uma ocupação ilegal (invasão) iniciada nos anos 90. O bairro foi nomeado pelos próprios moradores de “lagoinha” devido aos constantes alagamentos e ao solo argiloso, denominado “lamacento” por eles. Embora a Prefeitura Municipal venha executando obras de drenagem, o problema persiste. Ainda de acordo com a Secretaria, já existe projeto de regularização fundiária para o bairro.

No site da Secretaria Municipal de Planejamento Orçamento e Gestão - SEMPOG, na aba sobre os bairros do município de Porto Velho, a história do bairro diverge um pouco das informações obtidas junto à SEMUR e aos moradores. No site há um pequeno resumo do livro da historiadora Yêda Pinheiro Borzacov:

> O bairro Lagoinha teve início com o loteamento do empreendimento denominado Parque Ceará, realizado pela empresa do engenheiro Chagas Neto. Seu nome é assim dado em virtude das alagações que ocorriam no inverno amazônico. Formado por um quadrilátero, o bairro possui como vizinhos os bairros Três Marias, Lagoa, Agenor Martins de Carvalho, Tancredo Neves, JK e Tiradentes, e é delimitado pelas ruas Raimundo Cantuária e Benedito Inocêncio, bem como as avenidas Mamoré e Guaporé. Uma das características deste bairro é que suas ruas possuem nomes de times de futebol, como Santos, Flamengo, Grêmio, Atlético, Misto, entre outros. Cabe destaque à Biblioteca Comunitária, instalada no Instituto Social Professor Edneldo, com acervo composto por doações locais. Além disto, neste bairro localiza-se o Clube dos Advogados da OAB (BORZACOV, 2018 apud SEMPOG, 2020).

Ainda de acordo com a Secretaria Municipal de Planejamento, Orçamento e Gestão - SEMPOG, o bairro foi criado pela lei n° 840 de 10 de outubro de 1989 e

[1] Informação obtida em 5 de outubro de 2020 junto à servidora Geisa Pacheco, assistente administrativo do Departamento de Regularização Fundiária da SEMUR - Secretaria Municipal de Regularização Fundiária, Habitação e Urbanismo de Porto Velho-RO.

possui população estimada em 9662 habitantes. Segundo o Instituto Braseiro de Geografia e Estatística - IBGE, o Censo realizado no ano de 2010 apontava que a renda média da população inserida no quadrante estudado variava de R$ 2.165,00 a R$ 3.779,00, sendo classificada como C1 numa escala de 7 classes que varia de A++ até E do maior para o menor valor, ocupando a antepenúltima classe de renda considerada no Censo realizado no munícipio. O mesmo Censo indica que para o local o percentual de pessoas com ensino superior varia de 0 a 6,6% e o percentual de pessoas sem qualquer nível de instrução é de 48,5%. Um dado que chama a atenção é o potencial de consumo de materiais de construção em seu setor censitário, que em 2010 variou de R$ 2.080.323,63 até R$ 2.855.581,25, terceiro maior consumo no perímetro urbano (FUNPAR, 2017).

A observação das residências *in loco* demonstra as seguintes características: muitas casas de madeira, bastante adensadas, sem espaçamento entre muros. Nas de alvenaria foram observadas rachaduras e trincas (provavelmente provenientes de recalques diferenciais), podendo indicar movimentações de terra. Os melhores padrões de residência encontram-se nas extremidades da área estudada, nas avenidas Guaporé, Rio de Janeiro, Mamoré e Benedito Inocêncio. Na maioria dos imóveis em que foram efetuadas coletas de solo, haviam poços do tipo cacimba, e os moradores quando indagados sobre a disponibilidade de água foram unânimes em afirmar que jamais houve indisponibilidade de água nos poços.

Essas características corroboram com a fala de Deschamps (2004), que através da associação da cartografia ambiental e social, concluiu que populações em situação de vulnerabilidade social ocupam justamente os espaços mais propícios aos eventos naturais adversos. Os habitantes (geralmente, em grande número) destas áreas, normalmente, não possuem recursos para responderem adequadamente à ocorrência de eventos naturais perigosos.

5.2 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

5.2.1 Clima

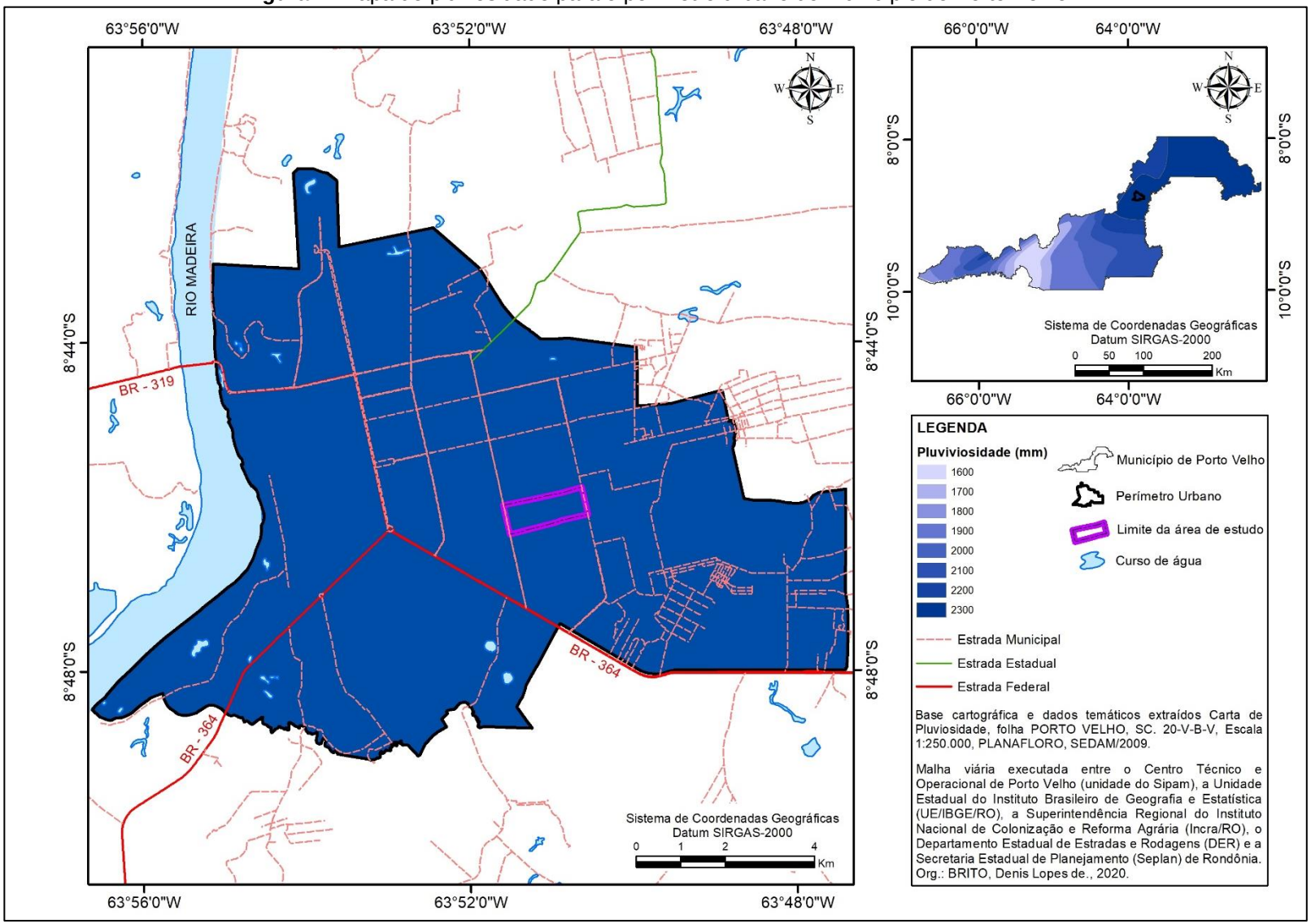
O clima predominante, no município de Porto Velho, é o tropical superúmido de transição entre semiúmido da Região Centro-Oeste e o equatorial predominante na região norte. Tem como característica ser muito quente, porém, bastante úmido.

Na escala de Koppen, está classificado como tipo (Am) que corresponde a uma estação chuvosa com faixa de pluviosidade média entre as isoietas 2.000 a 2.500 mm anuais (INMET, 2019).

Possui estação seca de junho a agosto, aproximadamente três meses. A temperatura média anual é de 25,6 °C, setembro é o mês mais quente (média de 26,2 °C) e julho o mais frio (média de 24,6°), sendo considerado também o mais seco (24 mm). Janeiro é o mês mais chuvoso com precipitação pluvial próxima dos 321 mm. São aproximadamente 156 dias de chuva média anual e umidade do ar elevada, em média maior que 80%, e tempo médio de insolação de 2.000 horas por ano, com variações que vão de 98 horas em fevereiro até 260 em julho. Alguns dos extremos climáticos registrados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no período situado entre 1961 e 1990 são: menor temperatura averiguada, de 7,4 °C, em julho de 1975, e a maior, de 40,9 °C, em 16 de agosto de 1969. A maior precipitação em 24 horas foi de 157,6 milímetros em 15 de outubro de 1979 (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO VELHO, 2019).

A Figura 7, indica o mapa de pluviosidade de Porto Velho.

Figura 7. Mapa de pluviosidade para o perímetro urbano do município de Porto Velho



Fonte: Autor (2020)

5.2.2 Hidrografia

O município de Porto Velho está localizado na Bacia do Rio Amazonas e o Rio Madeira é o principal rio que banha o município, proveniente do sul da Bolívia. Quanto ao perímetro urbano, este ocupa áreas de 5 bacias: Bate Estaca, Igarapé Grande, Penal, Tancredo Neves e Tanques conforme demonstrado na Figura 8.

A área piloto está contida na bacia Tancredo Neves (Figura 9) que possui área de 22,72 Km², ela integra a bacia do Rio Candeias localizado no município de Candeias do Jamari. Seguindo a seguinte ordem, bacia: Tancredo Neves, Rio Candeias, Rio Jamari, Rio Madeira e Rio Amazonas. Integrando a região central da Bacia do Amazonas.

Com base na geometria dos canais, a bacia Tancredo Neves possui forma dendrítica, conhecida, pela sua semelhança com os galhos de uma árvore, como arborescente. Esse padrão desenvolve-se sobre rochas de resistência uniforme ou rochas estratificadas horizontais (GUERRA et al. 2014), o corpo hídrico principal apresenta padrão meandros irregular.

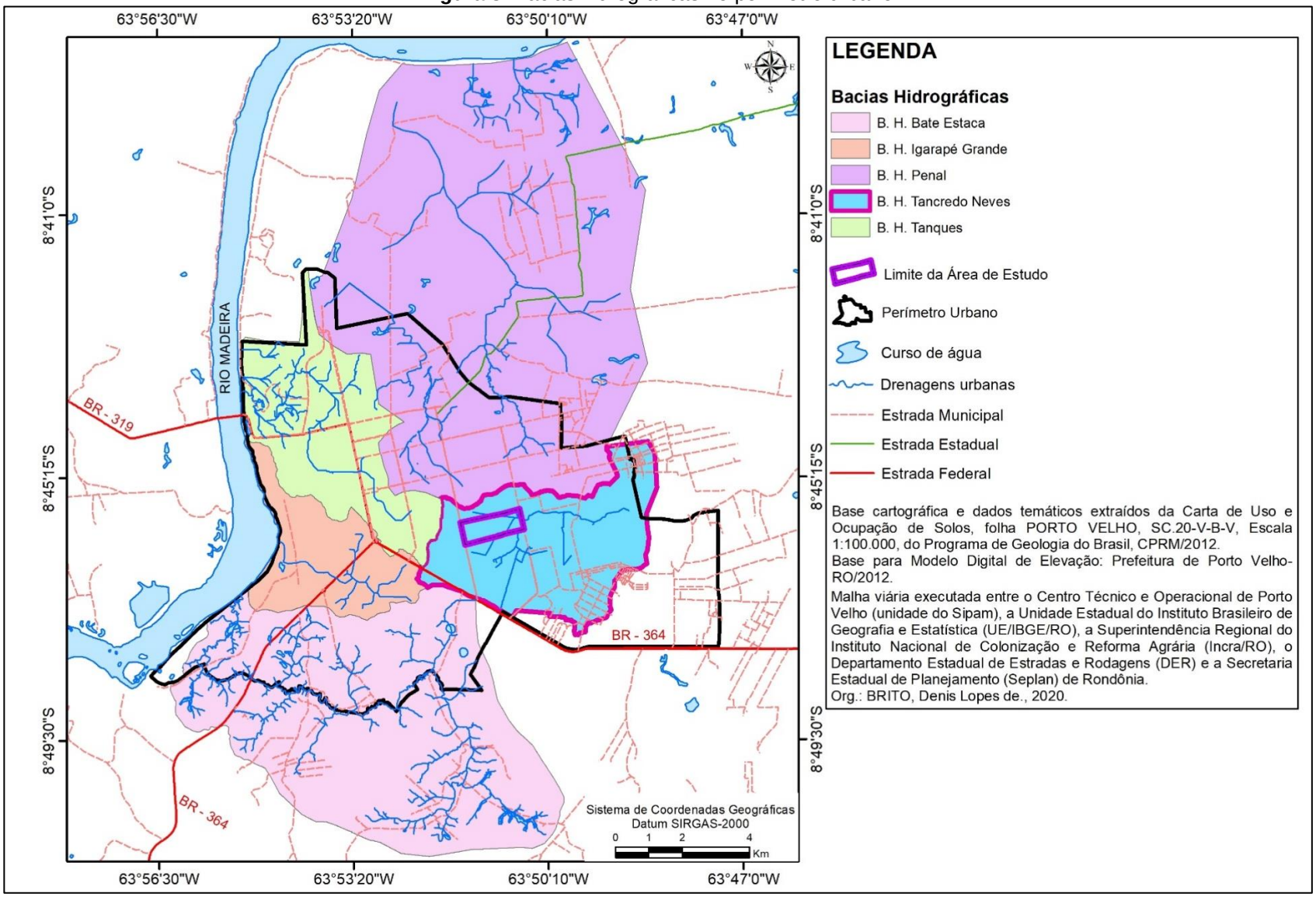
As principais características físicas da bacia hidrográfica Tancredo Neves estão apresentadas na Tabela 3. O coeficiente de compacidade e o fator forma indicam que a bacia Tancredo Neves, em condições normais de precipitação possui tendência a enchentes variando entre baixa e média. Fato reforçado pelo índice de circularidade que indica que a bacia não tende à forma circular, ou seja, possui forma mais alongada. Portanto, possui menor concentração de deflúvio.

Tabela 3. Características físicas da bacia hidrográfica Tancredo Neves

	Características Morfométricas	**Unidade**	**Bacia Hidrográfica Tancredo Neves**
Característica Geométrica	Área	km²	22,72
	Perímetro	km	24,65
	Número de canais de primeira ordem	-	16
	Comprimento do eixo da bacia	km	7,98
	Coeficiente de compacidade	-	1,448
	Fator de forma	-	0,36
	Índice de circularidade	-	0,47
	Densidade hidrográfica	Canais.km^{-2}	0,98
Característica do relevo	Altitude máxima	m	109,93
	Altitude média	m	86,18
	Altitude mínima	m	74,42

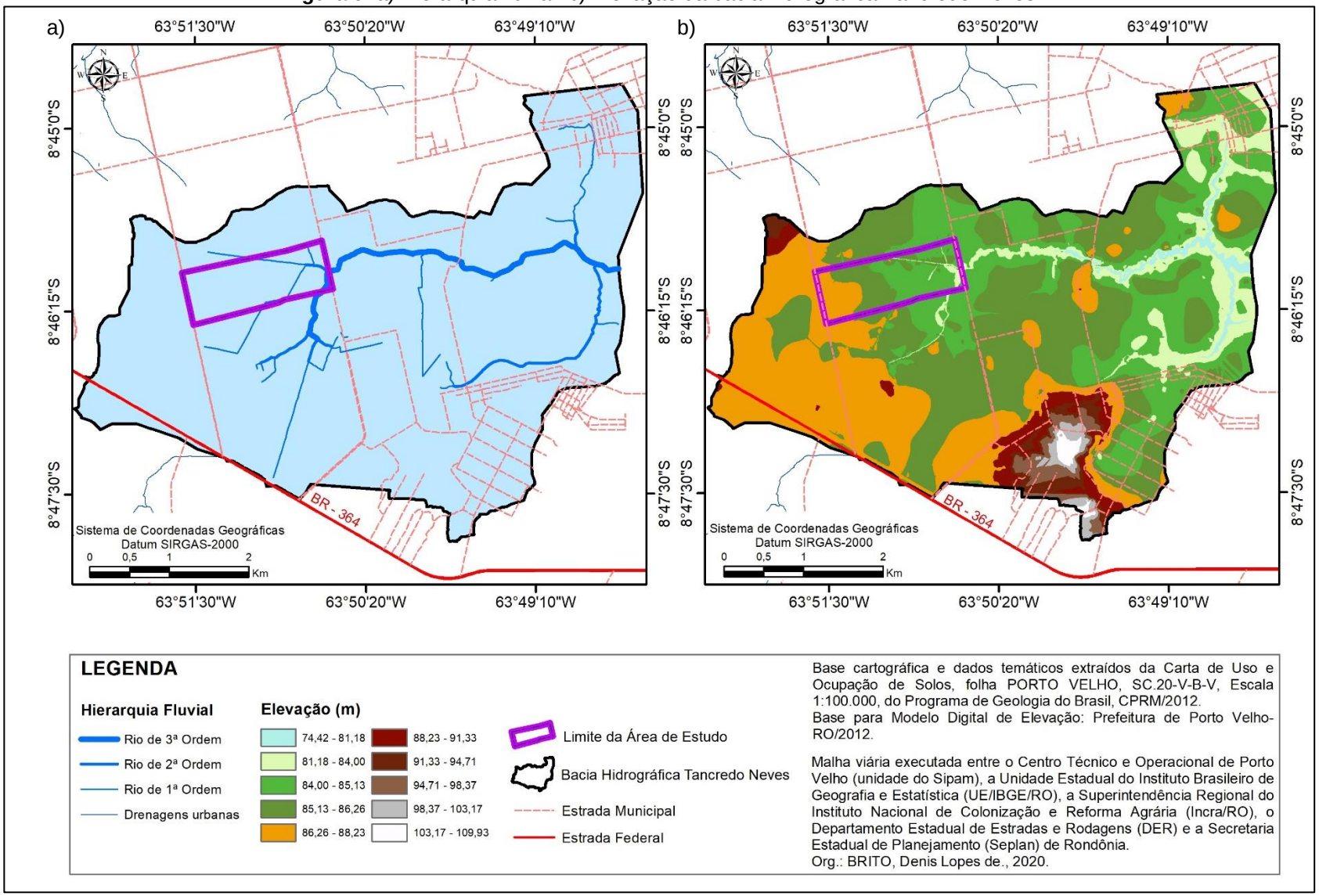
Fonte: Autor, 2020

Figura 8. Bacias hidrográficas no perímetro urbano



Fonte: Autor, (2020)

Figura 9. a) Hierarquia fluvial. b) Elevação da bacia hidrográfica Tancredo Neves



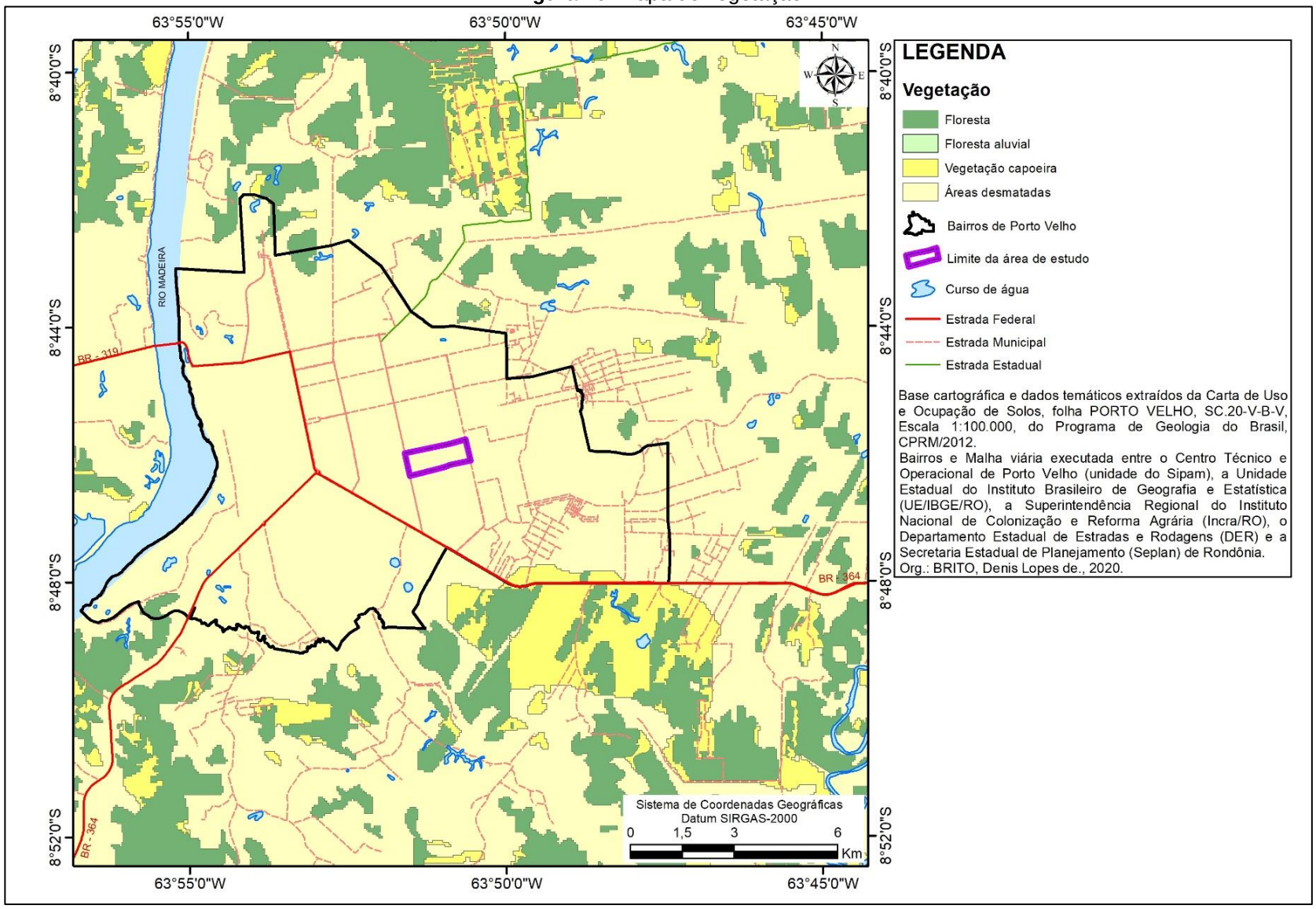
Fonte: Autor (2020)

5.2.3 Vegetação e Uso e Ocupação do Solo

De acordo com Brasil (1978), no perímetro urbano há ausência de vegetação primária e secundária, mas há pequenas áreas de Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas com Palmeiras e vegetação de capoeira.

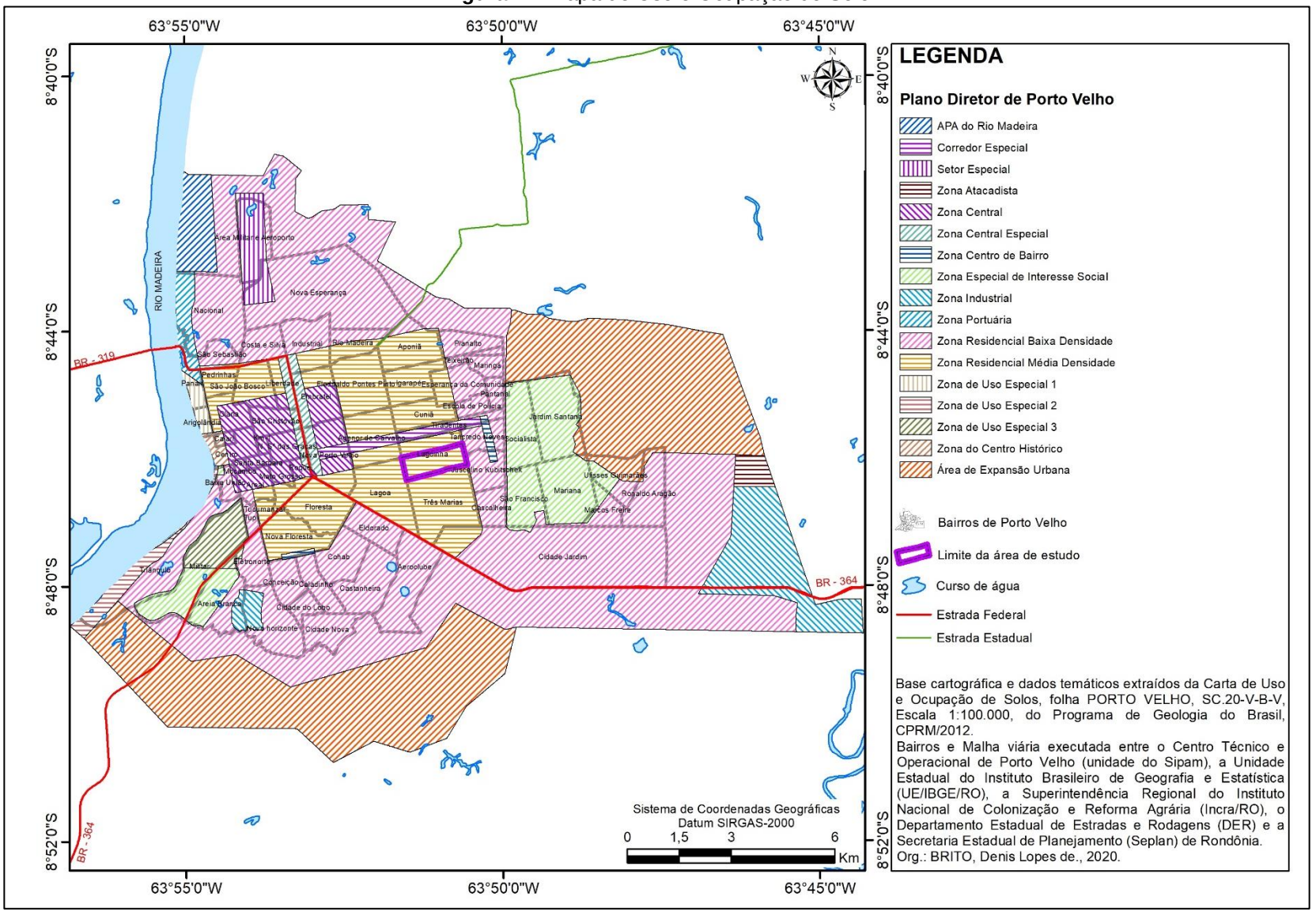
Quanto ao Uso e Ocupação do solo, a área de estudo está localizada no perímetro urbano, com áreas desmatadas (Figura 10) e de acordo a lei complementar do Plano Diretor, n° 311 de 30 de junho de 2008, capítulo VI artigo 54, inciso I, está inserida em uma Zona Residencial de Média Densidade: área predominantemente residencial, com média densidade de ocupação, em edificações habitacionais de até 04 (quatro) pavimentos onde são admitidos comércio e prestação de serviços que se relacionem com o uso habitacional em edificações até 02 (dois) pavimentos (Figura 11).

Figura 10. Mapa de vegetação



Fonte: Autor (2020)

Figura 11. Mapa de Uso e Ocupação do Solo



Fonte: Autor (2020)

5.2.4 Geomorfologia

O município de Porto Velho está localizado sob o Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental, onde a referida unidade morfoestrutural tem como principal característica apresentar extensas áreas aplainadas e relevos dissecados em interflúvios tabulares, com altimetria entre 200 e 250 metros (BRASIL, 1978). Já a área piloto, está sob a unidade D2221, caracterizada por superfícies planas com nenhum ou esporádicos *inselbergs* e *tors*, sendo dissecada pelo sistema fluvial.

A descrição das unidades geomorfológicas indicadas na legenda do mapa da Figura 12, para o perímetro urbano, foi baseada na classificação utilizada para o Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia (RONDÔNIA, 2000).

Segue abaixo uma descrição detalhada de cada unidade abrangida pelo perímetro urbano:

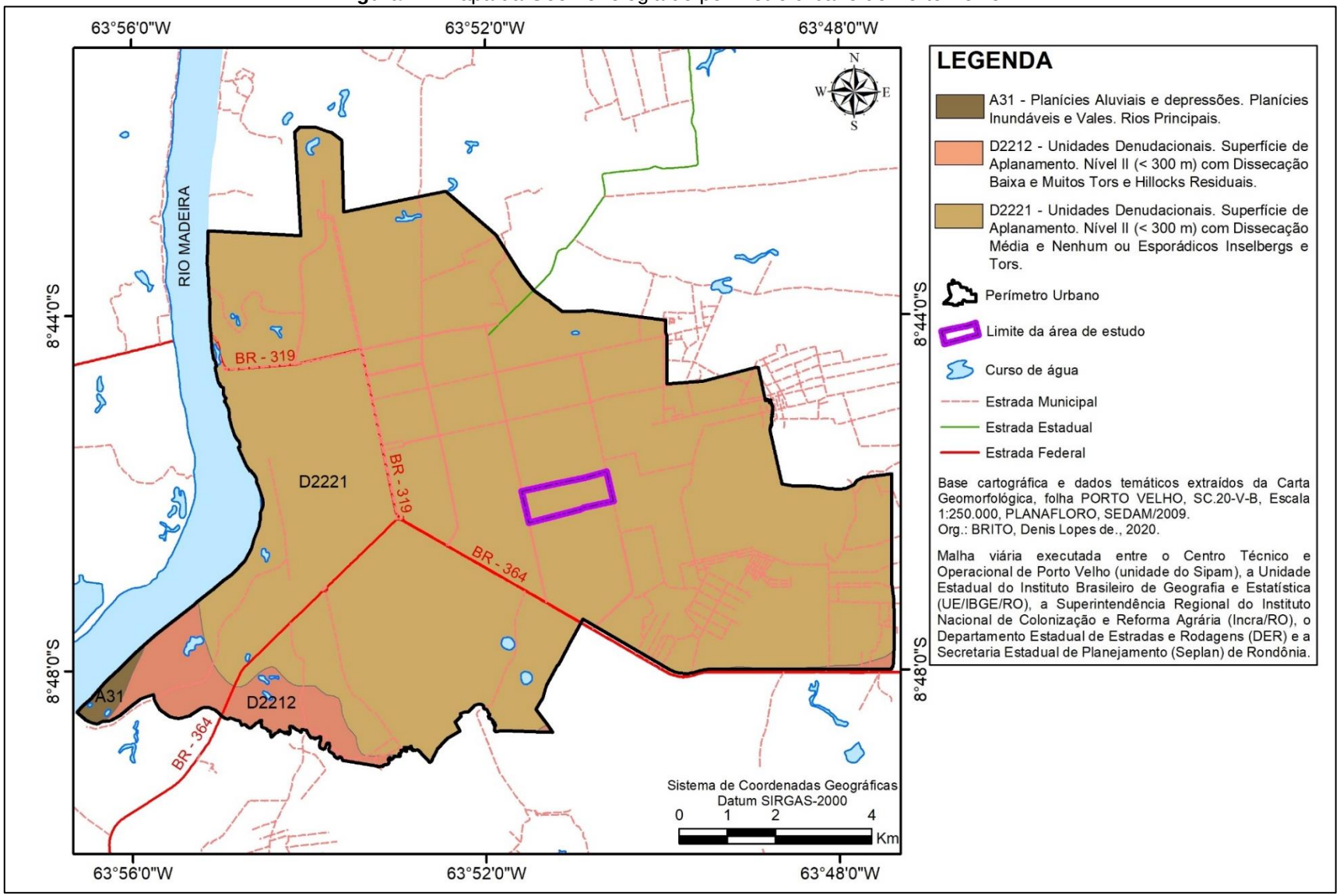
Unidades Agradacionais - A

- **A - Planícies Inundáveis e Vales – A3**
    - **A31 – Rios Principais:** ocorre ao longo do Rio Madeira, que por sua vez, apresenta sinuosidade e trechos retilíneos. São áreas formadas por sedimentos aluviais e localizam-se na porção sul do perímetro urbano de Porto Velho.

Unidades Denudacionais - D

- **Superfícies de Aplainamento – D2**
    - **D2212 - Superfície de Aplanamento Nível II, altitudes menores que 300 metros (80 - 120 m):** Dissecação baixa e muitos *tors* e *hillocks* residuais. Ocorre na região sul do perímetro urbano da cidade de Porto Velho, na margem direita do rio Madeira. Correspondem a superfícies planas com muitos *inselbergs*, e com drenagem de padrão subdendrítico e baixa densidade.
    - **D2221 - Superfície de Aplanamento Nível II, altitudes menores que 300 metros (50 - 110 m):** dissecação média e nenhum ou esporádicos *inselbergs* e *tors*. Ocorre na maior parte da área urbana da cidade de Porto Velho.

Figura 12. Mapa da Geomorfologia do perímetro urbano de Porto Velho



Fonte: Autor (2020)

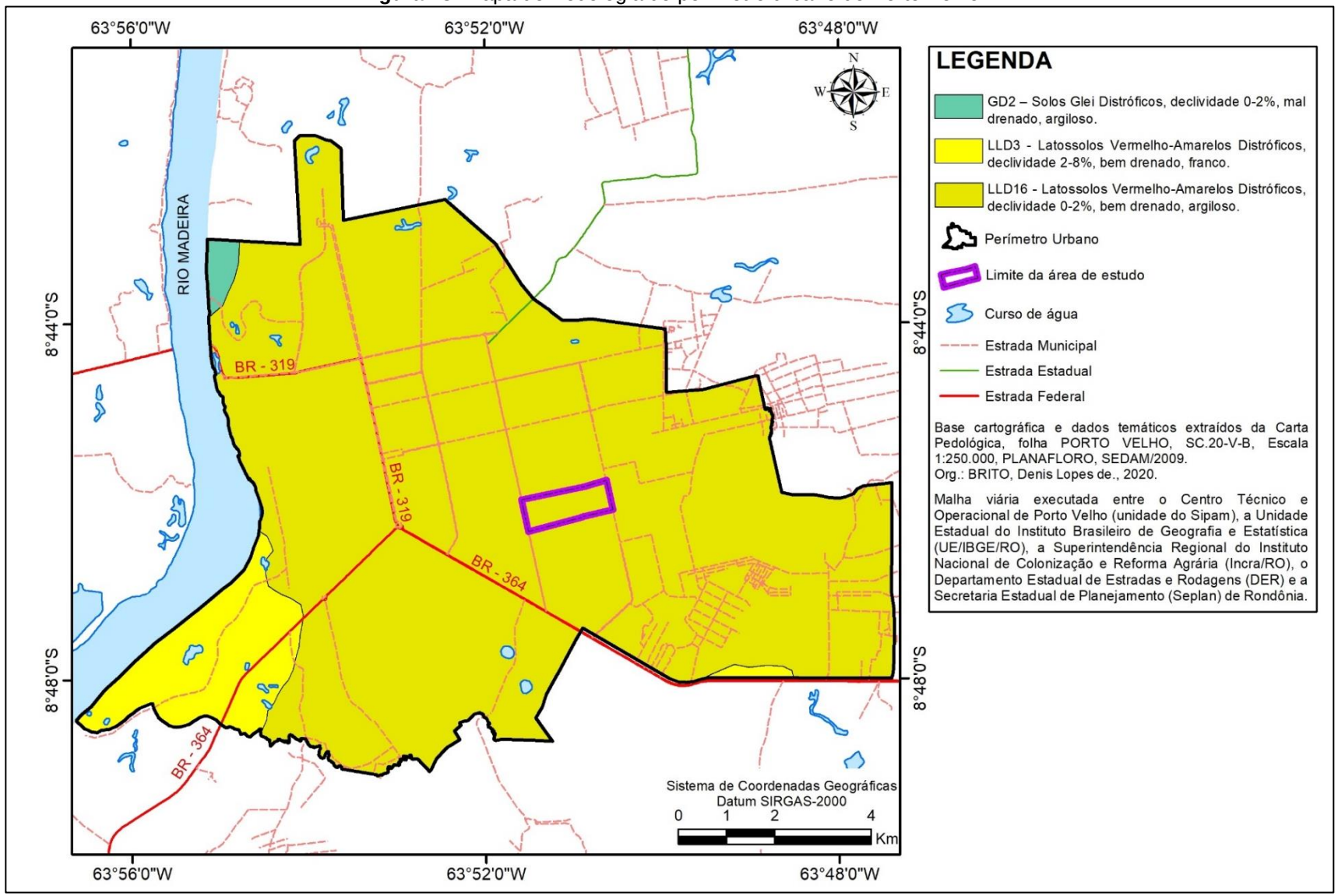
5.2.5 Solos

Em Porto Velho, cerca de 70% do solo é composto por latossolo (RONDÔNIA, 2009). No perímetro urbano foram identificados os seguintes tipos de solos de acordo com o mapa da Figura 13:

- **GD2 -** Solos Glei Distróficos, declividade de 0-2%, mal drenado, argiloso;
- **LLD3 -** Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, declividade de 2-8%, bem drenado, franco;
- **LLD16 -** Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos, declividade de 0-2%, bem drenado, argiloso.

O polígono referente à área de estudo está sob a unidade identificada como: LLD16 - latossolos vermelho-amarelos distróficos, com declividade de 0 - 2%, bem drenado, argiloso.

Figura 13. Mapa de Pedologia do perímetro urbano de Porto Velho



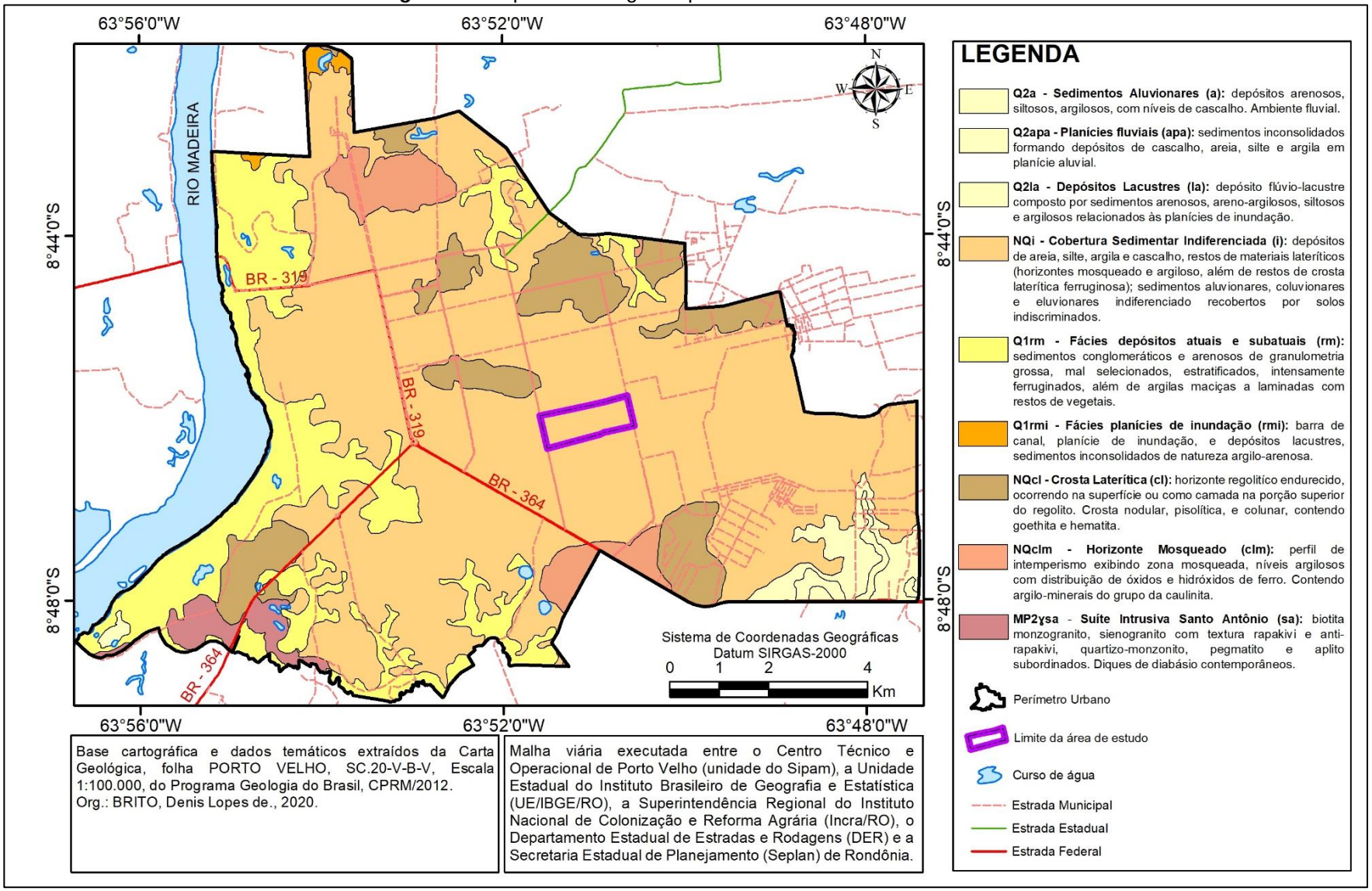
Fonte: Autor (2020)

5.2.6 Aspectos Geológicos

O município de Porto Velho faz parte, em sua maioria, do Planalto rebaixado da Amazônia Ocidental. Segundo Souza Filho et al. (1999), tem como característica ser uma superfície arrasada de relevo variante entre plano e suave ondulado, dissecado pela drenagem, com cotas que vão de 50 a 100 m. Seu desenvolvimento ocorreu a partir de depósitos pleistocênicos, onde ocorrem planícies de inundação e áreas de savanas, desenvolvidas possivelmente em condições climáticas mais secas durante o Quaternário, de acordo com Absy (1993).

A área de estudo é caracterizada como Cobertura Sedimentar Indiferenciada: depósitos de areia, silte, argila e cascalho, restos de materiais lateríticos (horizontes mosqueado e argiloso, além de restos de crosta laterítica ferruginosa); sedimentos aluvionares, coluvionares e eluvionares indiferenciados recobertos por solos indiscriminados. A Figura 14 descreve as unidades conforme CPRM (2012).

Figura 14. Mapa de Geologia do perímetro urbano de Porto Velho

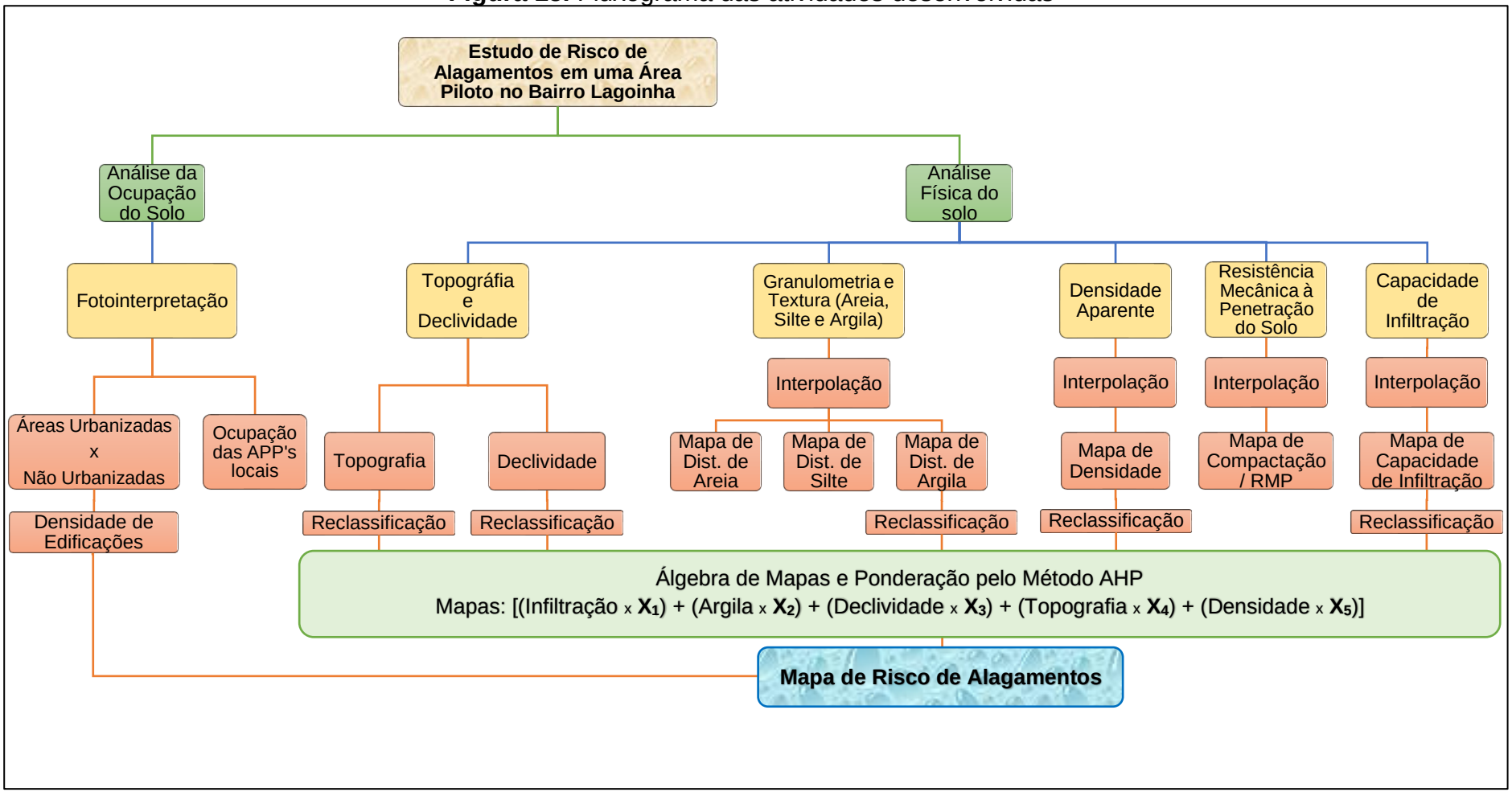


Fonte: Autor (2020)

6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As atividades foram desenvolvidas na seguinte hierarquia (Figura 15):

Figura 15. Fluxograma das atividades desenvolvidas



Fonte: Autor (2020)

6.1 ATIVIDADES DE CAMPO

6.1.1 Definição Da Área Experimental e Período de Coleta

A área experimental escolhida foi uma poligonal localizada no Bairro Lagoinha no município de Porto Velho, Estado de Rondônia. Sob as coordenadas: 8°45'59.51"S; 63°51'35.09"O/ 8°45'46.38"S; 63°50'37.72"O/ 8°46'5.78"S; 63°50'33.45"O e 8°46'20.50"S; 63°51'30.59"O. A definição desta área foi feita devido à grande incidência de alagações. Vale destacar que essa característica do terreno, levou os moradores a nomearem o bairro de Lagoinha.

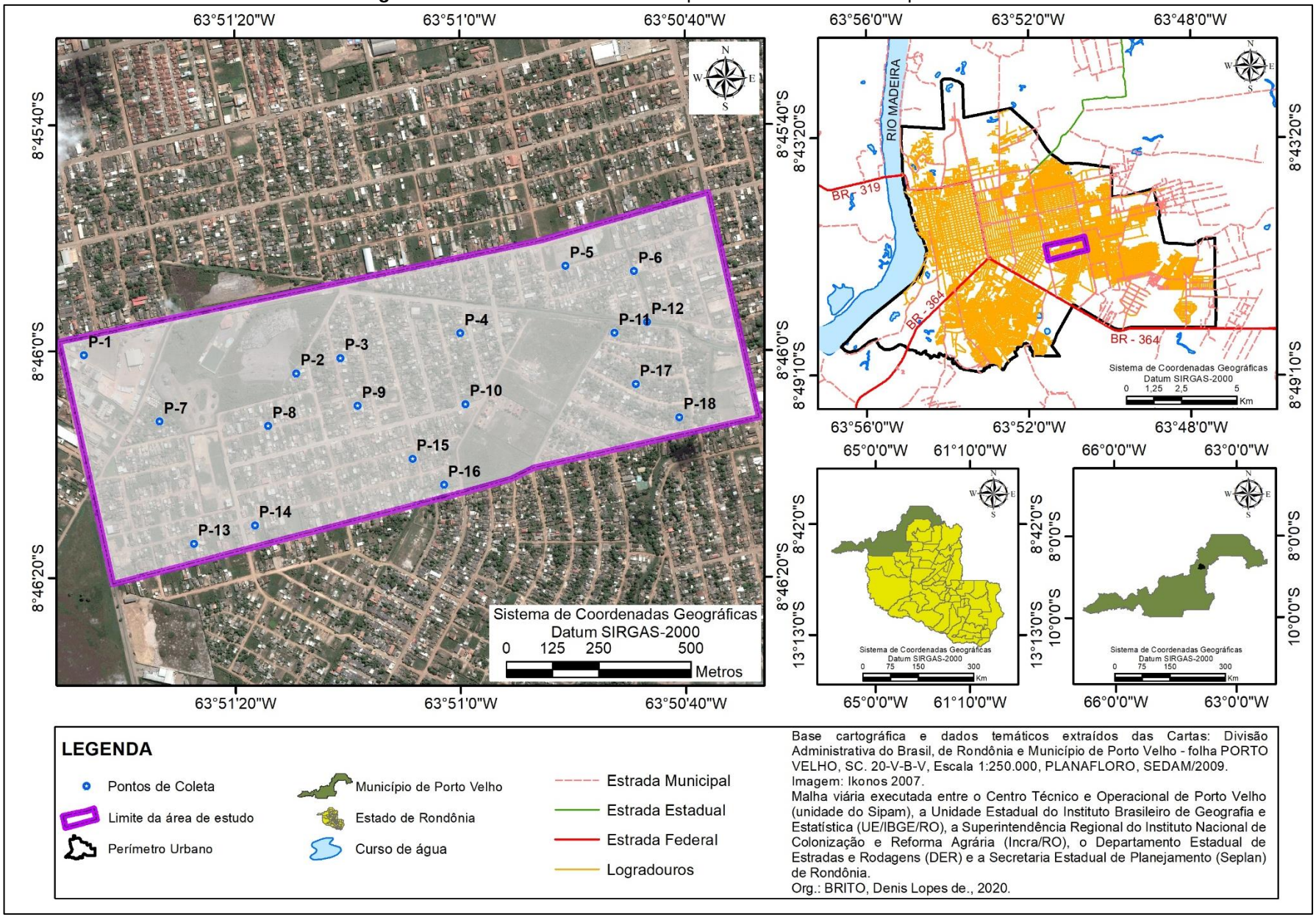
Possui aproximadamente 114 hectares e um perímetro de 4.870 metros, correspondendo a cerca de 56,75% do bairro, onde foram locados 18 pontos de análise de acordo com a disponibilidade de terrenos em solo natural, isto é, solos com o mínimo de antropização, de forma a não haver interferência nos resultados das análises e ensaios (EMBRAPA, 2006).

6.1.2 Período da Coleta

As coletas e os ensaios foram executados entre os dias 28 de outubro e 18 de dezembro de 2019. Procurou-se observar um intervalo mínimo de 48 horas em caso de chuva, bem como evitar longos períodos de seca, prevenindo assim, possíveis excessos de umidade ou ressecamento nos solos analisados. Nos 18 pontos locados (Figura 16), foram realizados os seguintes procedimentos:

- Georreferenciamento dos pontos com um GPS portátil Garmin Gap 64;
- Coleta de 36 amostras deformadas de solo de aproximadamente 500 gramas cada, utilizando uma cavadeira articulada. Sendo 18 amostras referentes à profundidade de 0 a 20 centímetros e 18 amostras na profundidade de 20 a 40 centímetros. Estas foram armazenadas em sacos plásticos de 10.000 litros e enviadas para análise em laboratório;
- Ensaios com Penetrômetro de Impacto modelo IAA/ Planalsucar-Stolf, descrito em Stolf et al. (1983);
- Ensaio de Infiltração utilizando Infiltrômetro de Cilindro Único (ICU) proposto por Roose et al. (1993).

Figura 16. Georreferenciamento dos pontos de coleta na área piloto



Fonte: Autor (2020)

6.2 MÉTODO DE ANÁLISE DO USO DO SOLO

6.2.1 Análise Visual de Imagens

As técnicas de interpretação visual de imagens de satélite ou de fotointerpretação integram o sistema de análise de dados em sensoriamento remoto (ANTUNES, 2009). Pode ser realizada por diferentes técnicas, como a fotogrametria, que é a obtenção de medidas precisas de objetos, extraindo das fotografias informações geométricas e quantitativas, ou pela fotointerpretação, que é a identificação e a determinação de objetos por meio de fotografias, produzindo informações qualitativas (ABRANTES et al., 2011).

Todas as análises visuais de imagens foram efetuadas utilizando o *software* livre QGIs versão 3.4 LTR.

6.2.1.1 Análise da Ocupação da Área, da Área Urbanizada e das APP's

Para a análise de Ocupação do Solo, foi utilizado o método de fotointerpretação descrito por Bariou (1978), onde obedeceu-se a três etapas: identificação, determinação e interpretação. Utilizando como critérios de identificação e determinação dos objetos: forma, tamanho, tonalidade, localização, textura e estrutura paralela. Por meio da ferramenta de Criação de Feições, foram criados os polígonos referentes às classes consideradas para a análise: árvores, calçadas, lagos e canais (drenagem retinilizada), edificações, solo exposto, vias pavimentadas, vias não pavimentadas e vegetação (gramíneas, arbustos etc.). As cores adotadas obedeceram ao Manual Técnico de Uso e Ocupação do Solo do IBGE (2013).

A classificação citada acima foi executada utilizando 4 imagens, essas obtidas através do aplicativo Google Earth Pro.Ink e de sua ferramenta "imagens históricas" em 4 épocas distintas, intervaladas em aproximadamente 6 anos, com exceção da 4ª imagem, onde foi adotado um intervalo de 5 anos. Tendo em vista que a análise foi efetuada em 2020, não havendo, portanto, disponibilidade ainda de imagem do ano de 2021. Em seguida foram realizadas as comparações entre os períodos considerados e a análise da evolução da ocupação. As imagens são datadas de: 05/2003, 09/2009, 05/2015 e 06/2020. Imagens obtidas por meio do satélite Landsat 5, com resolução espacial MSS: 80 m | TM: 30 m; e do Landsat 8, com resolução

espacial Pancromático: 15 m | Multiespectral: 30 m | Termal: 100 m reamostrada para 30 m, com orbita ponto de 224/61 em RGB com as bandas 5, 4 e 3 e 6, 5 e 4 respectivamente, representando a falsa cor tradicional, onde podemos analisar de forma mais fácil a área urbana, que está representada pela cor magenta.

Ressalte-se que o intervalo de tempo foi definido de acordo com a disponibilidade de imagens do aplicativo, ele disponibiliza imagens desde 2003 até o ano de 2020 (até a data da pesquisa), dessa forma tentou-se adotar intervalos de tempo aproximadamente simétricos de forma a obter 4 fotointerpretações para comparação. A alta qualidade e a definição das imagens possibilitaram o reconhecimento e diferenciação sem maiores dificuldades das classes consideradas, resultando num produto que viabilizou a quantificação dessas classes e das áreas urbanizadas e não urbanizadas através dos *shapefiles* criados.

Por fim, o estudo das Áreas de Preservação Permanente, foi efetuado através da ferramenta *Buffer* de Distância Fixa, onde utilizou-se a largura de 15 metros a partir da linha de máxima cheia do canal, de acordo com a alínea “c” do inciso I do art. 47 da Lei Complementar n° 97 de 29 de dezembro de 1999. Posteriormente, houve a utilização dos polígonos gerados na fase anterior (Mapeamento de Uso e Ocupação do Solo), para realização da subtração das áreas dos polígonos referentes à urbanização das Áreas de Preservação Permanente locais, possibilitando a quantificação das áreas invadidas.

6.3 MÉTODOS DE ANÁLISES FÍSICAS

6.3.1 Topografia e Declividade

O mapa topográfico foi obtido através do Modelo Digital de Terreno baseado em um levantamento topográfico realizado em 2014, e disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Porto Velho. Do qual foram extraídas as áreas de interesse através da ferramenta Recortar *Raster* pela Camada de Máscara (bacia Tancredo Neves e polígono da área de estudo). Posteriormente foi realizada a separação em classes de elevação, onde foram definidas 10 classes (74,42 m - 109,93 m) para a bacia hidrográfica e 4 classes (83 m - 87 m) para a área de estudo, através da barra de propriedades do produto obtido, em seguida, foram geradas as superfícies contínuas, escolhidas as rampas de cores e criadas legendas para uma melhor compreensão.

A obtenção do mapa de declividade seguiu um processo semelhante: após a extração das áreas de interesse, a declividade foi obtida através da ferramenta Análise de MDE, modo Declividade, em Porcentagem. Posteriormente nas Propriedades da camada, foi definido o tipo de renderização para estilo simples falsa cor. Assim, para o mapa de declividade da bacia Tancredo Neves foram definidas 5 classes de relevo (< 1%, 1 - 3%, 3 - 8%, 8 - 20% e 20 - 23%) de acordo com a classificação da Embrapa (1979). Para o mapa de declividade da área piloto, 4 classes de relevo foram consideradas: < 0,5%, 0,5 - 1%, 1 - 2% e 2 - 3%. Por se tratar de uma área plana os valores foram definidos de forma a refinar os resultados. Em resumo, foram geradas superfícies contínuas, escolhidas as rampas de cores e criadas legendas para uma melhor compreensão.

Todos os procedimentos foram executados no ambiente de trabalho do software QGIs 3.4.

6.3.2 Granulometria e Textura

Nesta pesquisa foi utilizado o método do densímetro, baseado na sedimentação das partículas que compõem o solo. Após a adição de um dispersante químico, fixa-se um tempo único para a determinação da densidade da suspensão que se admite ser a concentração total de argila. As frações grosseiras (areias fina e grossa) são separadas por tamisação e pesadas. O silte é obtido pela diferença (EMBRAPA, 2011).

As expressões abaixo (Figura 17) foram utilizadas para o cálculo das frações:

Figura 17. Expressões para cálculo das frações de areia, silte e argila

teor de argila = [argila (g) + dispersante (g)] – dispersante (g) x 1.000

teor de areia fina = areia fina (g) x 50

teor de areia grossa = [areia fina (g) + areia grossa (g)] – areia fina x 50

teor de silte = 1.000 - [argila (g) + areia fina (g) + areia grossa (g)]

Fonte: EMBRAPA (2011)

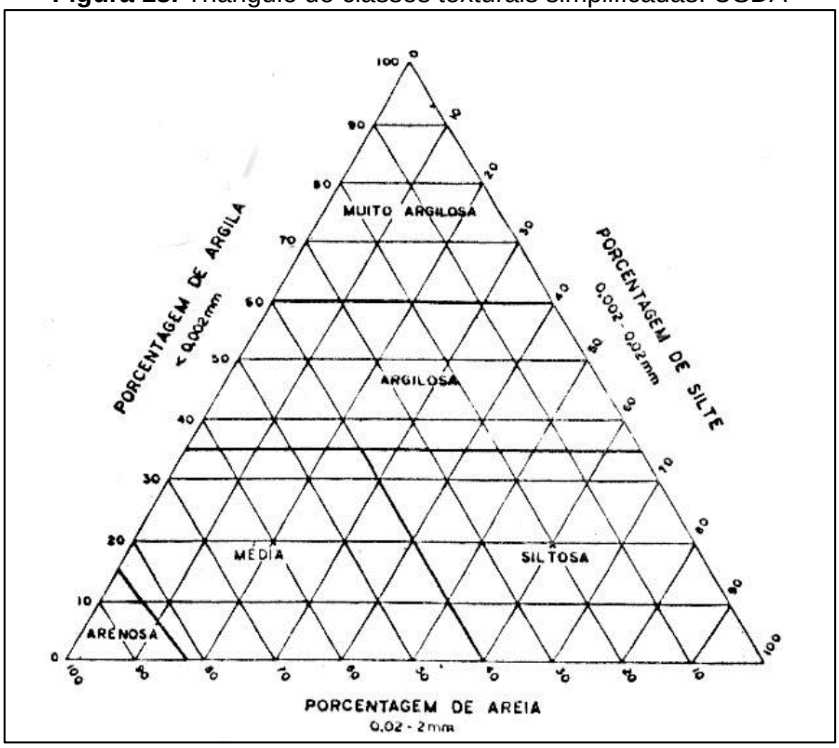
Posteriormente, procedeu-se a confirmação dos valores pelo método da pipeta. Essa, que por sua vez, considera a velocidade de queda das partículas componentes do solo. Fixa-se o tempo para o deslocamento vertical na suspensão do

solo com água, após a adição de um dispersante químico (soda ou calgon). Pipeta-se um volume da suspensão, para determinação da argila que seca em estufa é pesada. As frações grosseiras (areia fina e grossa) são separadas por tamisação, secas em estufa e pesadas para a obtenção dos respectivos percentuais. O silte corresponde ao complemento dos percentuais para 100% e é obtido por diferença das outras frações em relação à amostra original (EMBRAPA, 2011).

6.3.2.1 Análise e Classificação Textural

Após a obtenção das frações de areia, silte e argila, os solos são agrupados em classes texturais, obtidas por meio do triângulo abaixo (CAMARGO et al.,2009), recomendado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (Figura 18).

Figura 18. Triângulo de classes texturais simplificadas: USDA



Fonte: Camargo et al., (2009)

6.3.3 Densidade Aparente

Para o cálculo da densidade aparente, foi utilizado o método da proveta que consiste em determinar a massa de solo compactado necessário para completar o

volume de uma proveta de 100 ml. Exprime a relação massa/ volume do solo representada pela Equação 1 (EMBRAPA, 2011):

$$D_s = \frac{a}{b} \quad \textbf{(Equação 1)}$$

Onde:

D_s = Densidade aparente do solo ($kg.dm^{-3}$)

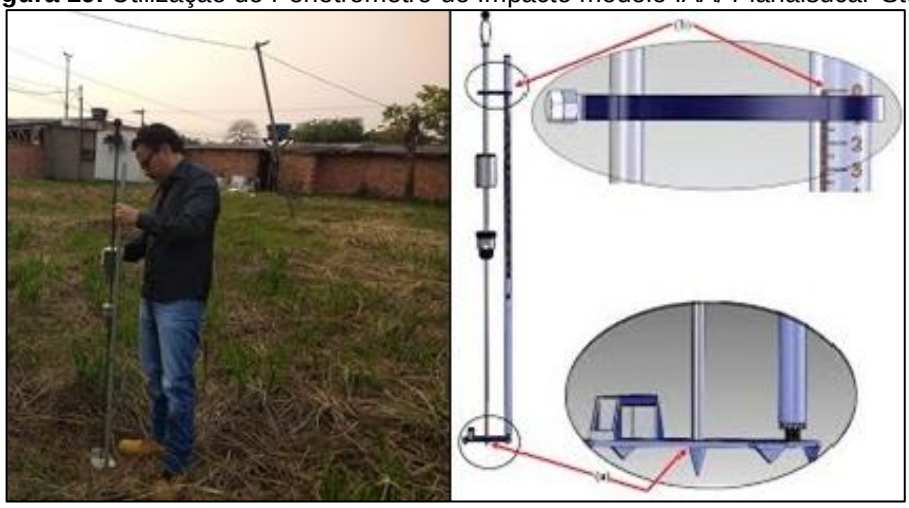
a = Massa da amostra seca a 105 °C (kg)

b = Volume de solo na proveta (dm^{-3})

6.3.4 Avaliação da Resistência Mecânica à Penetração no Solo

Para a análise da compactação do solo utilizou-se um Penetrômetro de Impacto modelo IAA/ Planalsucar-Stolf, descrito em Stolf et al. (1983) e Stolf e Faganello (1983), e que possui as seguintes características técnicas: peso que provoca impacto de 4 Kg e cursor de queda livre de 400 mm, cone com ângulo sólido de 30° e área da base 0,2 pol² (12,8 mm de diâmetro), diâmetro da haste que penetra no solo de 9,5 mm (Figura 19).

Figura 19. Utilização do Penetrômetro de Impacto modelo IAA/ Planalsucar-Stolf



Fonte: Autor (2019)

Após o posicionamento do equipamento no solo, elevou-se manualmente o peso que provoca impacto até o limite superior da haste de leitura soltando-o para provocar impacto no limitador inferior da haste. Dessa forma a ponta cônica penetrou no solo e a leitura foi feita através da haste graduada em centímetros. Esse

procedimento foi repetido sucessivamente até o cone atingir aproximadamente 40 cm de profundidade (valor conferido na régua de leitura). Os valores foram anotados na caderneta de campo. Este ensaio foi realizado nos 18 pontos estudados.

Os valores da Resistência Mecânica à Penetração do solo (RMP) foram obtidos pela Equação 2, desenvolvida por Stolf (1991):

$$RMP = \left(\frac{Mg+mg}{A}\right) + \left[\left(\frac{M}{M+m}\right) \times \left(\frac{Mg \times h}{A+P}\right)\right]$$ **(Equação 2)**

Onde:

RMP = Resistência Mecânica à Penetração do solo (kg. dm^{-3})

M = 4 kg (Massa do peso que provoca impacto)

A = $1{,}29.10^{4}$ m^2 (Área da base do cone)

g = 9,81 $m.s^{-2}$ (Velocidade de queda do peso = aceleração da gravidade)

m = 3,20 kg (Massa dos demais componentes)

h = 0,40 m (Comprimento do cursor – altura que provoca impacto)

x = Penetração unitária ocasionada por um impacto (cm. $impacto^{-1}$)

O diâmetro da haste e do cone são os mesmos do penetrógrafo convencional, padronizado pela ASAE.

6.3.5 Ensaio de Infiltração Vertical no Solo

Neste ensaio foi utilizado o método do Infiltrômetro de Cilindro Único (ICU) proposto por Roose et al. (1993), que permite examinar a permeabilidade relativa dos horizontes subsuperficiais. Para a realização do ensaio, um cilindro metálico de 150 mm de altura por 100 mm de largura foi cravado no solo cerca de 50 mm de profundidade, com o auxílio de um martelo de borracha, efetuando algumas pancadas em um pedaço de madeira posicionado em cima do cilindro com cuidado para não danificar o bisel. Após nivelado, com o auxílio de um plástico cobriu-se o interior do cilindro objetivando evitar impactos, perdas e infiltração no solo antes do início da leitura. Posicionada a régua de leitura, retirou-se o plástico e deu-se início à leitura (Figura 20). Utilizando-se de um cronômetro, as leituras foram realizadas num período máximo de 30 minutos ou até a estabilização da infiltração. Esse procedimento foi repetido em todos os pontos e as leituras, anotadas.

Figura 20. Cilindro metálico e medição da infiltração

Fonte: Autor (2019)

A lâmina de infiltração foi calculada, em mm, com o volume de água colocado no infiltrômetro conforme a Equação 3:

$$I\ (mm) = \frac{V}{A}$$ **(Equação 3)**

Onde:

I = Lâmina de infiltração;

V = Volume de água em litros;

A = Área do cilindro em m².

As taxas de infiltração foram calculadas com a seguinte Equação 4:

$$Ti\ = \frac{I(mm)}{\Delta(h)}$$ **(Equação 4)**

Onde:

Ti = Taxa de infiltração ($mm.h^{-1}$);

I = Lâmina de infiltração (mm);

Δ = Intervalo de tempo (h).

Em seguida, para desconsiderar a infiltração lateral que faz com que o raio médio da frente de molhamento (R) exceda o raio do cilindro (r), foi efetuada a correção em função do quociente entre o volume da frente de molhamento e o volume do cilindro (Equação 5). O fator de correção varia entre 4 e 8 para solos argilosos (FREITAS, 2014).

$$\frac{Vol.da\ frente\ de\ molhamento}{Vol.do\ cilindro} = \frac{\pi\ x\ H\ x\ R^2}{\pi\ x\ H\ x\ r^2} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{R^2}{25}$$ **(Equação 5)**

Onde:

R^2 = Raio da frende de molhamento;

r^2 = Raio do cilindro.

6.4 MÉTODO DE ANÁLISE GEOESTATÍSTICA - INTERPOLAÇÃO CARTOGRÁFICA (KRIGAGEN)

A Krigagem é definida como um estimador espacial de variáveis regionalizadas, através de valores adjacentes, considerados independentes na análise variográfica. O que possibilita: o cálculo médio de uma variável regionalizada para um volume maior do que o suporte geométrico e estimar a tendência principal (*drift*), similarmente à superfície de tendência; a previsão de valor pontual de uma variável regionalizada e em um local específico dentro do espaço geométrico, ou seja, um processo de interpolação preciso considerando ainda valores analisados (ISAAK e SRIVASTAVA, 1989).

De acordo com Yamamoto e Landim (2013), geralmente, a Krigagem fornece estimativas não tendenciosas e com mínima variação, valendo-se de vários métodos de estimativas, como por exemplo: krigagem simples, ordinária, universal, disjunta, indicativa e cokrigagem.

6.4.1 Krigagem ordinária

Trata-se de uma técnica de estimativa linear para uma variável regionalizada, satisfazendo a hipótese intrínseca, com objetivo de minimizar o erro de estimação sem viés. Em suma, o objetivo é que o erro residual médio seja zerado (SOARES, 2006).

As formas usuais de krigagem linear são: simples, ordinária, universal e intrínseca. Já as não lineares são as que se valem de alguma transformação não linear dos dados para evitar influência dos poucos valores altos na estimativa dos pontos da vizinhança. São elas: lognormal, multigaussiana, indicativa, probabilística e disjuntiva (LANDIM, 2003). Sendo a krigagem ordinária, a mais utilizada do grupo caracterizado

como simples. Trangmar et al. (1985), define como o valor interpolado $((x_0)\,Z)$ de uma variável regionalizada Z, num local x_0 e pode ser determinada pela Equação 6:

$$\hat{Z}(x_0) = \sum[\lambda_i . Z(x_i)] \quad \textbf{(Equação 6)}$$

Onde:

$\hat{Z}$ (x_0) - Valor estimado para local x_0 não amostrado;

$\hat{Z}$ (x_i) - Valor obtido por amostragem no campo;

λ_i - Peso atribuído a cada valor conhecido.

A krigagem ordinária considera a média flutuante ou móvel por toda a área.

6.4.1.1 Krigagem ordinária - Mapas Temáticos

Para a confecção dos mapas de distribuição dos dados referentes à Análise Granulométrica, Densidade Aparente, Resistência Mecânica à Penetração (RMP) e Ensaio de Infiltração Vertical no Solo foi utilizado o software livre QGIs 3.4 LTR. Com isso foram realizadas a interpolação (semivariogramas representados no apêndice D) dos 18 pontos pelo método da Krigagem Ordinária, através da Equação 6 descrita no item 6.4.1 deste trabalho.

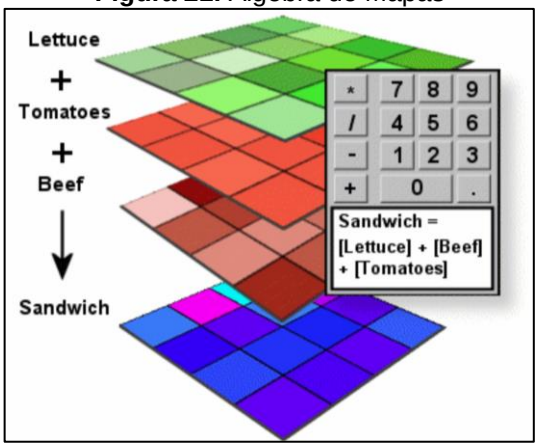
Dessa forma 4 mapas temáticos foram gerados:

- **Distribuição granulométrica (areia, silte e argila):** com 4 classes em intervalos simétricos de acordo com os valores médios encontrados em cada ponto;
- **Densidade Aparente:** com 4 classes em intervalos simétricos de acordo com os valores médios encontrados em cada ponto;
- **Resistência Mecânica à Penetração (RMP):** com 4 classes em intervalos simétricos de acordo com os valores médios encontrados em cada ponto, com exceção dos valores compreendidos entre 2,00 - 2,47 Mpa, considerados críticos. Para esse intervalo, considerou-se uma classe com intervalo maior que as demais;
- **Ensaio Vertical de Infiltração Vertical no Solo:** com 4 classes considerando a classificação proposta por Bernardo et al. (2006), de acordo com os valores médios encontrados em cada ponto.

6.4.2 Álgebra de Mapas

A álgebra de mapas é uma linguagem computacional de alto nível, utilizada para análises espaciais cartográficas, utilizando-se de dados raster. De forma objetiva, se forem empilhados raster um sobre o outro como um sanduíche matemático (Figura 21), é possível realizar desde aritmética simples até algoritmos mais complexos (UFES, 2009).

Figura 21. Álgebra de Mapas



Fonte: UFES (2009)

Na álgebra de mapas usa-se expressões contendo operadores e funções com dados raster. Os operadores são relacionais, Booleanos, lógicos, combinados e de bit, e funcionam com uma ou mais entradas para desenvolver novos valores. As funções, realizam tarefas específicas, como, calcular declividade a partir de elevações, retornando valores numéricos (UFES, 2009).

6.4.2.1 Operadores Aritméticos da Álgebra de Mapas

Os Operadores aritméticos possibilitam a realização das operações matemáticas: adição, subtração, multiplicação e divisão. Como exemplo, três rasters medindo três diferentes tipos de risco de incêndio podem ser adicionados para criar um raster de análise de risco geral. Operadores aritméticos podem também ser usados para converter valores de uma medida para outra (e.g., pés x 0.3048 = metros) (CORDEIRO et al., 2007).

6.4.2.2 Reclassificação de Dados Raster

Trata-se do processo de reatribuir um valor, uma faixa de valores ou uma lista de valores em um raster para novos valores de saída. Há um leque de possibilidades como por exemplo: configurar valores específicos para *NoData* para excluí-los da análise; alterar valores em resposta a novas informações ou esquemas de classificação, ou para substituir um conjunto de valores com um conjunto associado (por exemplo, para substituir valores representando tipos de solo com valores de pH); atribuir valores de preferência, prioridade, sensibilidade, ou critérios similares a um raster; dentre muitas outras (CORDEIRO et al., 2007).

6.4.2.3 Obtenção do Mapa de Risco a Alagações

Para a reclassificação dos dados obtidos através da interpolação por krigagem ordinária, foram atribuídas notas para cada classe em cada um dos mapas temáticos obtidos, já que todos estão em unidades de medidas diferentes, assim, essa distribuição se deu da maneira explicada a seguir.

6.4.3 Aplicação do Método AHP no Mapeamento de Áreas de Risco à alagamento

O *Decision Support Systems Glossary* (DSS, 2006) define o método de Processo Analítico Hierárquico - AHP (Analytic Hierarchy Process) como uma aproximação para tomada de decisão que envolve estruturação de multicritérios de escolha numa hierarquia, que avalia a importância relativa desses critérios e compara alternativas para cada um determinando um *ranking* total das alternativas.

A ideia principal é reduzir o estudo de sistemas a uma sequência de comparações aos pares, sendo muito útil no processo de tomada de decisões, minimizando as falhas (SILVA D., 2007). De acordo com Saaty (1991), se fundamenta na decomposição e síntese das relações entre os critérios até que se chegue a uma priorização dos indicadores.

6.4.3.1 Atribuição de Valores

A fase de distribuição de valores é considerada o momento mais importante do processo de produção do mapa de risco de alagamento, pois os valores atribuídos a um fator interferem diretamente no resultado obtido (SANTOS et al., 2010). Dessa forma, os valores foram atribuídos de acordo com informações levantadas na literatura considerando as características de cada atributo de acordo com a escala de Saaty (1977), Quadro 3, e os parâmetros analisados, Quadro 4. Os valores utilizados que não estão no Quadro 3 são considerados intermediários.

Quadro 3. Escala de comparadores

Valores	Importância Mútua
1	Igualmente importante
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Adaptado de Saaty, (1977)

Quadro 4. Atribuição de valores (notas)

Parâmetros	Risco de Alagamento	Nota
Mapa de Infiltração	De acordo com a classificação proposta por Bernardo et al. (2006), 14 pontos dos 18 analisados apresentaram baixa capacidade de infiltração. Dessa forma, foi atribuído à classe “baixa” nota 9 e para as classes: média, 5; alta, 3 e muito alta, 1.	**Baixo Risco** **0**
Mapa de Textura - Argila (0 - 20 cm)	A textura do solo foi fator determinante na capacidade de infiltração do solo. Quanto maior o teor de argila mais impermeável é o solo (MOURA et al. 2019). Assim as classes receberam notas de 5 a 9. A camada de 0 - 20 cm foi utilizada por ser a primeira que entra em contato com a água da chuva.	
Mapa de Declividade	A EMBRAPA (1979), classifica o relevo em 6 classes. Leal e Tonello (2016), afirmam que a declividade é fundamental para haver escoamento e áreas planas são mais propensas ao alagamento. Na área de estudo predomina o relevo plano. Por esse motivo foram consideradas 4 classes de forma a refinar o modelo. Foram atribuídas as seguintes notas: < 0,5%, 9 e 0,5 - 1%, 7. As áreas com valores 1 - 2% e 2 - 3%, por serem menores e a maioria estar na margem do canal e gerarem maior escoamento superficial, receberam notas entre 1 e 2.	
Mapa de Topográfico	Para as classes referentes à topografia seguiu-se a lógica dos valores atribuídos à declividade com a diferença que as cotas que margeiam o canal receberam nota 1 e as maiores cotas nota 2 por estarem menos vulneráveis. Já as cotas, 85 m - 86 m e 84 m - 85 m receberam notas maiores (3 e 4) por ocorrerem com mais frequência na área piloto.	
Mapa de Densidade (0 - 20 cm)	O mapa de densidade foi escolhido em detrimento ao mapa de RMP por ter amostras mais uniformes e com menor desvio padrão. Por apresentarem valores intermediários de acordo com Silva (2019), receberam notas de 1 a 4. A camada de 0 - 20 cm foi utilizada por ser a primeira que entra em contato com a água da chuva.	**9** **Alto Risco**

Fonte: Autor, (2021)

.

Quadro 5. Resumo das notas de acordo com a importância de cada item para o risco de alagamento

Mapa de Infiltração		Mapa de Textura - Argila (0 - 20 cm)		Mapa de Declividade		Mapa de Topográfico		Mapa de Densidade (0 - 20 cm)	
Unid. ($mm.h^{-1}$)	Notas	Unid. ($g.kg^{-1}$)	Notas	Unid. (%)	Notas	Unid. (m)	Notas	Unid. ($g.cm^{-3}$)	Nota
30 - 63,5	1	470 - 570	5	2 - 3	1	86 - 87	2	0,94 - 1,04	1
15 - 30	3	560 - 615	7	1 - 2	2	85 - 86	3	1,04 - 1,14	2
5 - 15	5	615 - 670	8	0,5 - 1	7	84 - 85	4	1,14 - 1,24	3
< 5	9	670 - 720	9	< 0,5	9	83 - 84	1	1,24 - 1,34	4

Fonte: Autor (2021)

Após a atribuição de valores (Quadro 5), os mapas de Capacidade de Infiltração, Textura - Argila, Declividade, Topografia e Densidade foram reclassificados através da ferramenta Reclassificação por tabela do *software* QGIs 3.4 LTR, onde foram atribuídas suas respectivas notas permanecendo todos com a mesma unidade, ou seja, números adimensionais de 1 a 9. Feito isso, iniciou-se a segunda etapa onde procedeu-se a elaboração da matriz de comparação pareada, demonstrada no Quadro 6.

Nessa etapa, são atribuídas notas para cada parâmetro analisado. O objetivo é ponderar as notas atribuídas e verificar a consistência da distribuição das notas, da importância avaliada de cada elemento e do método. Cada elemento indica quanto o fator da coluna esquerda tem mais importância em relação a cada fator da linha superior, por esse motivo quando um fator é confrontado com ele mesmo o resultado será 1 já que possui igual importância. Segue abaixo a matriz com os itens e valores estipulados segundo ordem e grau de importância.

Quadro 6. Matriz de comparação pareada

Fatores	Densidade	Topografia	Declividade	Argila	Infiltração
Densidade	1	1/3	1/5	1/7	1/9
Topografia	3	1	1/3	1/5	1/7
Declividade	5	3	1	1/3	1/5
Argila	7	5	3	1	1/3
Infiltração	9	7	5	3	1
Soma	25	16,33	9,53	4,68	1,79

Fonte: Autor (2021)

Após calcular a soma dos valores de cada coluna, o próximo passo foi calcular os pesos para cada parâmetro considerado. Esse cálculo é feito dividindo cada valor

pela soma de cada coluna e depois fazendo-se a média dos valores obtidos em cada linha conforme o Quadro 7.

Quadro 7. Pesos estatísticos para cada parâmetro

Fatores	Densidade	Topografia	Declividade	Argila	Infiltração	Pesos (Média)
Densidade	1/25	0,33/16,33	0,20/9,53	0,14/4,68	0,11/1,79	**0,04**
Topografia	3/25	1/16,33	0,33/9,53	0,20/4,68	0,14/1,79	**0,07**
Declividade	5/25	3/16,33	1/9,53	0,33/4,68	0,20/1,79	**0,13**
Argila	7/25	5/16,33	3/9,53	1/4,68	0,33/1,79	**0,26**
Infiltração	9/25	7/16,33	5/9,53	3/4,68	1/1,79	**0,50**

Fonte: Autor, (2021)

Para verificar a consistência dos pesos obtidos foi calculada a Razão de Consistência através da Equação 7 abaixo:

$$\mathrm{RC} = \mathrm{IC}/\mathrm{IR} \quad \textbf{(Equação 7)}$$

Onde:

RC = Razão de Consistência;

IR = Índice aleatório retirado do Quadro 8;

IC = Índice de Consistência, calculado pela Equação 8.

$$\mathrm{IC} = \frac{(\lambda \max - n)}{(n-1)} \quad \textbf{(Equação 8)}$$

Onde:

n = Número de variáveis testadas (número de parâmetros analisados, nesse caso 5);

$\lambda_{máx}$ = Autovetor, calculado pela Equação 9:

$$\lambda \mathrm{máx} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n} \frac{[Aw]\, i}{wi} \quad \textbf{(Equação 9)}$$

Onde:

[Aw] = Matriz resultante do produto da matriz de comparação pareada pela matriz dos pesos calculados (Wi);

Wi = Pesos calculados.

Com base no Quadro 8 o valor de IR é de 1,12 para os 5 parâmetros analisados, resultando no valor de Razão de Consistência (RC) de 0,05 (Equação 7), sendo menor que limite aceitável de 0,10 (TREVIZANO e FREITAS, 2005).

Quadro 8. Valores de IR pra matrizes quadradas de ordem n, segundo o Laboratório Nacional de Oak Ridge, EUA

n	2	3	4	5	6	7
IR	**0**	**0,58**	**0,9**	**1,12**	**1,24**	**1,32**

Fonte: Modificado de Santos et al., (2010)

Efetuados os cálculos, obteve-se a Equação 10, ponderada para elaboração do mapa de risco de alagamento.

$$\textbf{Risco de Alagamento} = [\text{Infiltração x } 0{,}50) + (\text{Argila x } 0{,}26) + (\text{Declividade x } 0{,}13) + (\text{Topografia x } 0{,}07) + (\text{Densidade x } 0{,}04)]$$

(**Equação 10)**

O modelo foi executado através da ferramenta Calculadora Raster do software QGIs versão 3.4 LTR, onde foram processados os mapas temáticos relativos a cada parâmetro com suas classes já reclassificadas. Após a sobreposição de mapas pelo método de álgebra de mapas por somatória (UFES, 2009), obteve-se o mapeamento de risco demonstrado nas Figuras 45 a 47.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados e discussões do estudo.

7.1 ANÁLISE DA OCUPAÇÃO DO SOLO

Após a análise visual das imagens foram produzidos mapas de ocupação do solo, nos quais observa-se a evolução da ocupação da área ao longo dos períodos analisados. A criação de polígonos no software livre QGIs possibilitou a obtenção de informações para cada classe de ocupação considerada. A quantificação dessas classes é demonstrada na Tabela 4:

Tabela 4. Evolução da ocupação da área em 3 períodos (2003 - 2009, 2009 - 2015 e 2015 - 2020)

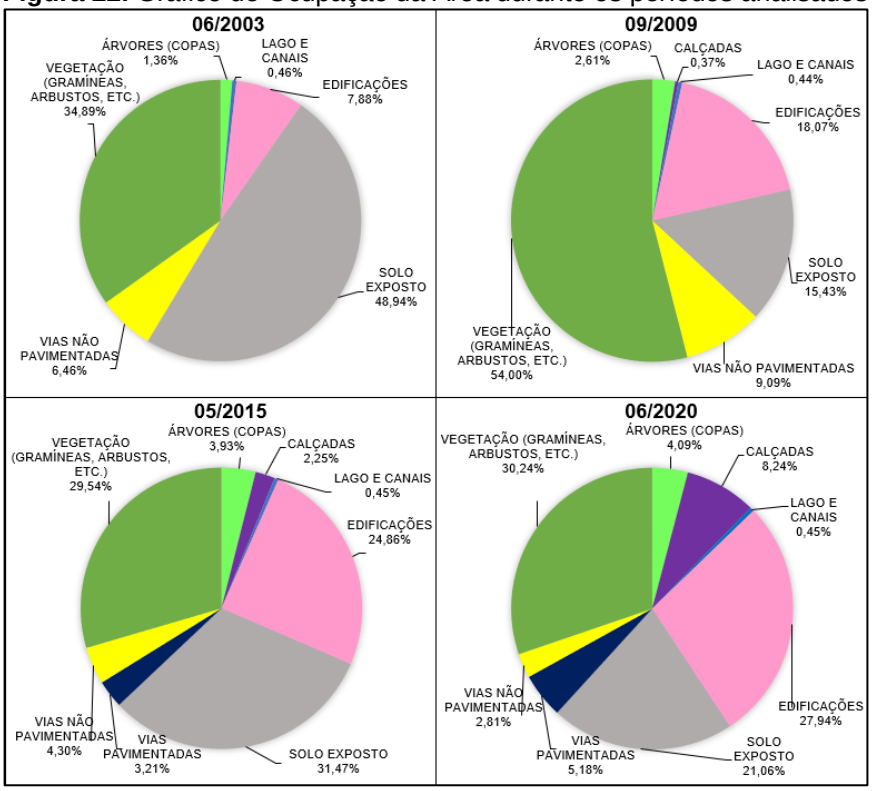
ANO	2003	2009	2015	2020
CLASSE	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)	Área (ha)
ÁRVORES (COPAS DAS ÁRVORES)	1,55	2,97	4,48	4,66
CALÇADAS	0,00	0,42	2,56	9,39
LAGO E CANAIS (DRENAGEM RETINILIZADA)	0,53	0,50	0,51	0,51
EDIFICAÇÕES	8,98	20,60	28,34	31,85
SOLO EXPOSTO	55,79	17,59	35,88	24,01
VIAS PAVIMENTADAS	0,00	0,00	3,66	5,91
VIAS NÃO PAVIMENTADAS	7,37	10,36	4,90	3,20
VEGETAÇÃO (GRAMÍNEAS, ARBUSTOS, ETC.)	39,78	61,56	33,67	34,47
TOTAL	114,00	114,00	114,00	114,00

ANO	2003	2009	2015	2020
CLASSE	Área (%)	Área (%)	Área (%)	Área (%)
ÁRVORES (COPAS DAS ÁRVORES)	1,36	2,61	3,93	4,09
CALÇADAS	0,00	0,37	2,25	8,24
LAGO E CANAIS (DRENAGEM RETINILIZADA)	0,46	0,44	0,45	0,45
EDIFICAÇÕES	7,88	18,07	24,86	27,94
SOLO EXPOSTO	48,94	15,43	31,47	21,06
VIAS PAVIMENTADAS	0,00	0,00	3,21	5,18
VIAS NÃO PAVIMENTADAS	6,46	9,09	4,30	2,81
VEGETAÇÃO (GRAMÍNEAS, ARBUSTOS, ETC.)	34,89	54,00	29,54	30,24
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Autor, (2020)

O auge da ocupação deu-se no primeiro período, onde a área edificada mais que dobrou, com um aumento de 10,19% entre 2003 e 2009. Foi a maior expansão quando comparada aos demais períodos: 6,79% entre 2009 e 2015 e 3,08% entre 2015 e 2020, mostrando decréscimo na velocidade de ocupação entre os períodos seguintes. Entre 2003 e 2009 o número de vias expandiu, essas ainda estavam surgindo e sendo encascalhadas, enquanto a pavimentação asfáltica era inexistente. A pavimentação asfáltica só começa a ser observada nesta análise a partir do ano de 2015 com 3,21% das vias pavimentadas aumentando para 5,18% em 2020 (Figura 22).

Figura 22. Gráfico de Ocupação da Área durante os períodos analisados



Fonte: Autor (2020)

Esses fatores evidenciam uma ocupação desordenada, seguida de uma movimentação tardia do poder público municipal e um nítido atraso na instalação de infraestrutura urbana básica. O que corrobora com a tese de Tucci (2004), de que a urbanização é espontânea, porém o planejamento urbano é realizado apenas para a parte da cidade ocupada pela população de média e alta renda, enquanto para as áreas de baixa renda e de periferia o processo se desenvolve de forma irregular ou clandestina. Segundo Santos (2012), essa situação ocorre por diversos fatores entre eles, a falta de uma política habitacional baseada em princípios ambientais e de igualdade social, uma vez que a baixa renda da população que migra para essas áreas e o valor dos imóveis inviabiliza a implementação de infraestrutura adequada.

O fato é que as zonas periféricas continuam a se comportarem como válvula de escape para o abrigo da população de baixa renda, tendendo ao espraiamento geográfico horizontal, incorporando seguidas porções de territórios, inclusive, mananciais (Figura 23) à mancha urbana, aspecto amplamente observado na área de estudo, onde essa classe representa 0,45% do espaço.

Esse processo produz sistematicamente áreas de risco com a ocupação de fundos de vales e margens de córregos. Como agravantes situacionais, o lixo urbano

não recolhido e o entulho de construção civil lançado irregularmente, contribuem para o assoreamento dos canais (Figura 24). Dessa forma, as ocupações irregulares acabam sendo agentes e vítimas dos riscos por elas provocados (SANTOS, 2012).

Figura 23. Nascente (lagoinha) dentro de uma propriedade particular na área piloto

Fonte: Autor (2020)

Figura 24. Margens do canal Tancredo Neves ocupadas e lixo e entulho da construção civil

Fonte: Autor (2020)

Existem na área em análise 3 terrenos baldios, que juntos representam 20,61% do total do polígono estudado e não exercem nenhuma função social. Magalhães (2005), define essa situação como urbanização periférica fragmentada, por se tratar de espaços deixados intencionalmente sem comercialização ou edificação, com fins unicamente especulativos. Vazios urbanos geram ilhas sem aproveitamento dos serviços básicos em meio ao tecido urbano em contraponto a áreas sem infraestrutura plena e densamente ocupadas pela população de baixa renda, como consequência, surgem problemas como segregação socioespacial, devido à tendência de aumento no

valor dos terrenos e a necessidade de manutenção dos investimentos em infraestrutura e serviços a custos elevados, além de causarem situações urbanas e ambientais problemáticas (VEIGA, VEIGA e MATTA, 2011).

Uma característica preocupante é a grande presença de solo exposto, em 2003 correspondia a 48,94% do total da área. Esse valor diminuiu consideravelmente em 2009, mas em 2015 e 2020 manteve-se elevado com 31,47% e 21,06% respectivamente. Isso se deve à intensa ocupação e aos cuidados dos proprietários dos lotes ao realizarem a manutenção com a retirada da vegetação, o que acaba alterando as propriedades físicas do solo, causando o aumento da densidade aparente, diminuição da capacidade de infiltração e compactação do solo devido ao pisoteio e ao tráfego de veículos leves e pesados (PEDRON et al., 2004).

Por outro lado, foi notado um pequeno aumento no percentual de arborização, de 1,36% em 2003 para 4,09% em 2020. Se somados aos valores de gramíneas, arbustos e demais coberturas rasteiras esses percentuais passam a variar de 36,25% em 2003 para 34,33% em 2020. Valores distantes dos 70% mínimos de vegetação (com solo urbano permeável) preconizados por Nucci e Presotto (2009), para ocupar a área oferecendo serviços ambientais à população. Mais especificamente, a ONU recomenda no mínimo 12 m² de área verde por habitante enquanto a Sociedade Brasileira de Arborização Urbana recomenda um mínimo de 15 m². Esses valores são essenciais para a manutenção da qualidade de vida nos centros urbanos.

A mínima arborização, somada à alta taxa de ocupação por construções, seguidas da impermeabilização do solo, constatadas na área piloto, são determinantes para a formação das Ilhas de Calor Urbano - ICU, que se caracterizam por uma condição microclimática em que a temperatura do ar é elevada, a umidade relativa do ar diminui e a velocidade dos ventos é alterada, entre outros problemas, e que tornam o ambiente desconfortável e as vezes até insalubre, para os seres humanos (ROMERO et al., 2019).

A evolução da ocupação da área pode ser visualizada nas Figuras 25 e 26.

Figura 25. Mapas de Ocupação do Solo nos anos: a) 2003 e b) 2009

Fonte: Autor (2020)

Figura 26. Mapas de Ocupação do Solo nos anos: c) 2015 e d) 2020

Fonte: Autor (2020)

7.1.1 Áreas Não Urbanizadas x Urbanizadas

Na Tabela 5 estão os valores retirados do mapa de ocupação, onde estão somadas as áreas referentes às edificações, calçadas e vias pavimentadas, denominadas áreas urbanizadas, em contraste às áreas não urbanizadas, que por sua vez, são formadas pela soma das demais classes (árvores, lago e canais, solo exposto, vias não pavimentadas e vegetação gramínea, arbustiva etc.).

Tabela 5. Evolução da área urbanizada x não urbanizada (2003 - 2009, 2009 - 2015 e 2015 - 2020)

ANO	**2003**	**2009**	**2015**	**2020**
CLASSE	**Área (ha)**	**Área (ha)**	**Área (ha)**	**Área (ha)**
ÁREA NÃO URBANIZADA	105,02	92,98	79,44	66,85
ÁREA URBANIZADA	8,98	21,02	34,56	47,15
DIFERENÇA ENTRE PERÍODOS (ÁREA URBANIZADA)	-	12,04	13,54	12,59
MÉDIA POR PERÍODO (ÁREA URBANIZADA)	-		12,72	
TOTAL	114,00	114,00	114,00	114,00

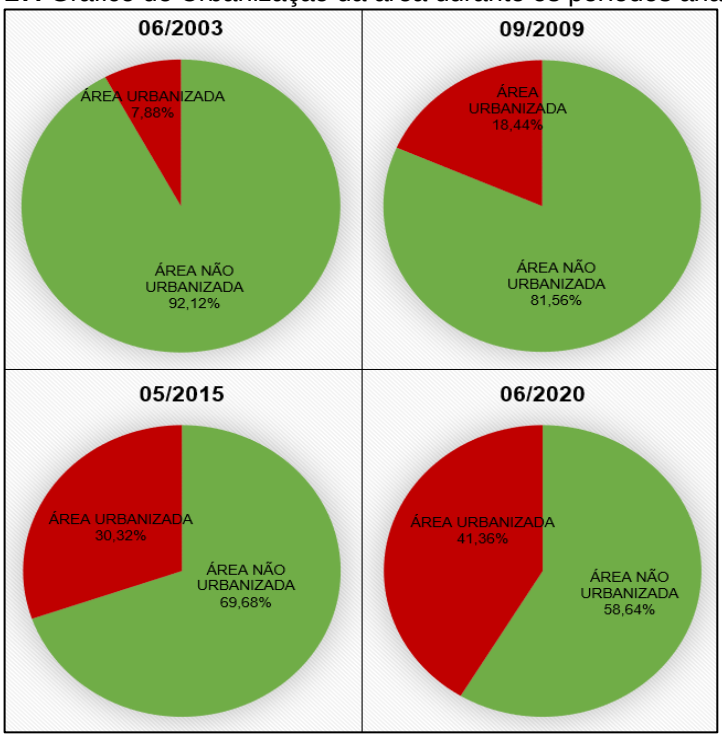
ANO	**2003**	**2009**	**2015**	**2020**
CLASSE	**Área (%)**	**Área (%)**	**Área (%)**	**Área (%)**
ÁREA NÃO URBANIZADA	92,12	81,56	69,68	58,64
ÁREA URBANIZADA	7,88	18,44	30,32	41,36
DIFERENÇA ENTRE PERÍODOS (ÁREA URBANIZADA)	-	10,56	11,88	11,04
MÉDIA POR PERÍODO (ÁREA URBANIZADA)	-		11,16	
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Autor (2020)

Nos períodos analisados a área urbanizada evoluiu da seguinte forma: de 2003 a 2009 expandiu em 10,56%, de 2009 a 2015, 11,88% e de 2015 a 2020, 11,04%. Ou seja, uma média de 11,16%. Caso essa média se mantenha linear como se mostrou nos períodos abordados, em aproximadamente 54 anos, a urbanização chegará a cerca de 100% da área. Ressalte-se que o percentual de solo urbanizado, em 2020 foi de 41,36%, no entanto, se desconsiderarmos as áreas referentes aos 3 terrenos particulares baldios que juntos somam 19,48 hectares, essa taxa sobe para 49,88%.

A Figura 27 demonstra a evolução na ocupação da área.

Figura 27. Gráfico de Urbanização da área durante os períodos analisados



Fonte: Autor (2020)

A ocupação acelerada e desordenada somada ao adensamento trazem consigo uma série de alterações ambientais, das quais pode-se citar a pressão antrópica nas bacias hidrográficas degradando os sistemas naturais em consequência do crescimento da área edificada reduzindo as áreas de infiltração. Nesse sentido, uma característica que chama a atenção é justamente a forma em que são executadas muitas das edificações existentes na área piloto, onde praticamente não há espaçamento lateral nem frontal entre as residências e os limites dos lotes, sendo lotes totalmente pavimentados em concreto, o que acarreta a impermeabilização total dos espaços ocupados gerando mais volume de água a ser escoado.

Maus et al. (2007), explicam que a impermeabilização de 7% da área de lotes acarreta a duplicação do escoamento superficial e que em casos extremos com 80% de impermeabilização geram um volume 8 vezes maior. Discurso que converge com as observações de Nunes e Rosa (2020), que estudaram o avanço da urbanização em uma área no município de Aparecida de Goiânia onde ela passou de 16,49% em 1992, para 56,02% em 2016 sendo observado aumento acentuado no acúmulo de água e no escoamento superficial.

Para Nunes e Rosa (2020), a ineficiência das drenagens urbanas e arruamentos mal planejados associados à compactação e à impermeabilização

impactam diretamente na capacidade do solo em desenvolver sua função hidrológica e principalmente na capacidade de infiltração e retenção de água. Gerando aumento no escoamento superficial e alterando os fluxos entre o lençol freático e canais de drenagem com sobrecarga no período chuvoso prejudicando a perenidade do sistema.

7.1.2 Áreas de Preservação Permanente - APP's

O estudo da ocupação das Áreas de Preservação Permanente locais foi realizado levando-se em consideração a LC nº 97/99, suplementarmente à Lei n° 12.651/12. Para efeito de comparação, o art. 4°, Inciso I, alínea "a", da Lei nº 12.651/12, considera APP's, as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura (caso das APP's da área de estudo) e ainda o inciso II, alínea "b" considera APP' áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima 30 (trinta) metros, em zonas urbanas.

Diferentemente da Lei 12.651/12, em Porto Velho, a Lei Complementar n° 97 de 29 de dezembro de 1999, visando estabelecer normas relativas ao parcelamento, uso e ocupação do solo do Município, em seus artigos 46 e 47 estabelece:

> Art. 46 - As áreas de interesse ambiental são os espaços físicos que, por suas características fisiográficas, geológicas, hidrológicas, botânicas e climatológicas, devem ter sua ocupação e utilização regulamentadas, no sentido de que o patrimônio ambiental do Município seja preservado.
> Art. 47 - Constituem-se em áreas de interesse ambiental:
> I. ao longo de qualquer curso d'água, a partir da linha de máxima cheia, será:
> a) no canal do Bate Estaca, de 50 m (cinquenta metros);
> b) nos canais das Lavadeiras, Santa Bárbara, Penal e Tanques, de 25 m (vinte e cinco metros);
> c) outros canais, será de 15 m (quinze metros).
> II. ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;
> III. nas nascentes, mesmo nos chamados "olhos d'água", seja qual for a situação topográfica;
> IV. no topo dos morros;
> V. nas encostas ou parte destas, com declividade superior a 45º (quarenta e cinco graus), equivalente a 100% da linha de maior declive (1999, p. 14).

Assim sendo, o mapa 29 considerou para o cálculo das áreas de APP's locais, a distância de 15 metros, a partir da linha de máxima cheia ao longo do canal. Através da ferramenta *Buffer* de Distância Fixa (ferramenta que cria uma área ao redor do

elemento com uma distância pré-definida) do *software* livre QGIs versão 3.4 LTR, foi gerada a área destinada à proteção ambiental tendo sua ocupação e utilização regulamentada pelo município.

O canal destacado nos mapas das Figuras 29 e 30, trata-se do canal Tancredo Neves, que corta o perímetro urbano da zona leste do município de Porto Velho. Como citado acima, a LC n° 97/99 estabelece uma faixa de proteção de 15 metros em seu entorno. As áreas ocupadas nos períodos analisados apresentam seguintes dados: de 2003 a 2009 13,40% da APP foi ocupada, entre 2009 e 2015 mais 11,13% da área foi utilizada para fins de moradia e arruamento e entre 2015 e 2020 essa taxa de ocupação foi de 0,80%. Na tabela 6 têm-se os valores detalhados:

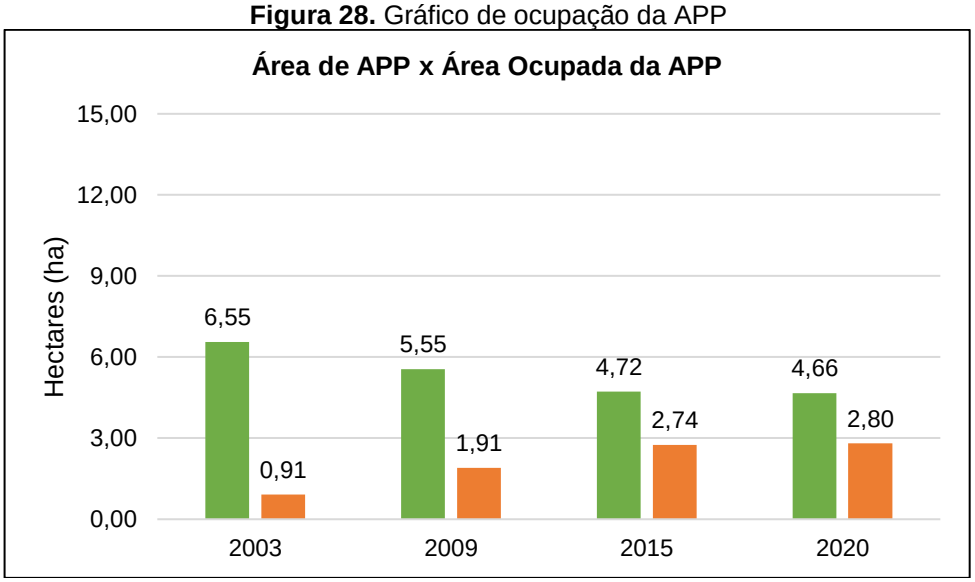
Tabela 6. Evolução da ocupação das APP's locais ao longo dos períodos analisados

ANO	**2003**	**2009**	**2015**	**2020**
CLASSE	**Área (ha)**	**Área (ha)**	**Área (ha)**	**Área (ha)**
ÁREA DE APP	6,55	5,55	4,72	4,66
ÁREA OCUPADA DA APP	0,91	1,91	2,74	2,80
DIFERENÇA ENTRE PERÍODOS	-	1,00	0,83	0,06
MÉDIA LINEAR POR PERÍODO	-		0,63	
TOTAL	7,46	7,46	7,46	7,46
ANO	**2003**	**2009**	**2015**	**2020**
CLASSE	**Área (%)**	**Área (%)**	**Área (%)**	**Área (%)**
ÁREA DE APP	87,80	74,40	63,27	62,47
ÁREA OCUPADA DA APP	12,20	25,60	36,73	37,53
DIFERENÇA ENTRE PERÍODOS	-	13,40	11,13	0,80
MÉDIA LINEAR POR PERÍODO	-		8,45	
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00

Fonte: Autor (2020)

Nos gráficos da Figura 28, fica evidente a amplitude da ocupação da Área de Proteção Permanente que atualmente está em mais um terço de seu total. Esses resultados deixam claros o descumprimento tanto da legislação federal (código florestal) quanto da legislação municipal de uso e ocupação do solo, seguido da falta de uma fiscalização rigorosa por parte da administração municipal, o que acarretou um déficit de APP's preservadas da ordem de 37,53%. Esse desrespeito às Áreas de Preservação Permanente, parte também da própria prefeitura e pode ser observado no local, já que existem ruas pavimentadas às margens dos canais, ocupando uma área que de acordo com a legislação municipal deveria ser preservada por se tratar de uma APP.

Figura 28. Gráfico de ocupação da APP



Fonte: Autor (2020)

As Áreas de Preservação Permanente (APP's) visam atender ao direito de todos os brasileiros a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, não sendo permitida a sua exploração econômica direta. Por esse motivo, é proibido construir, plantar ou explorar atividade econômica, ainda que seja para assentar famílias assistidas por programas de colonização e reforma agrária (O ECO, 2013).

Um problema sanitário notório é o depósito de lixo no canal, provocando assoreamento e poluindo o curso d'agua, situação que traz riscos aos invasores. Uma vez que em caso de inundações, essas ocupações irregulares serão as primeiras a serem atingidas, ficando sujeitas a inúmeros prejuízos econômicos, doenças e em casos mais graves até perdas de vidas.

Figura 29. Ocupação da Área de Preservação Permanente – APP nos anos: a) 2003 e b) 2009

Fonte: Autor (2020)

Figura 30. Ocupação da Área de Preservação Permanente – APP nos anos: c) 2015 e d) 2020

Fonte: Autor (2020)

7.2 ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO

7.2.1 Topografia e Declividade

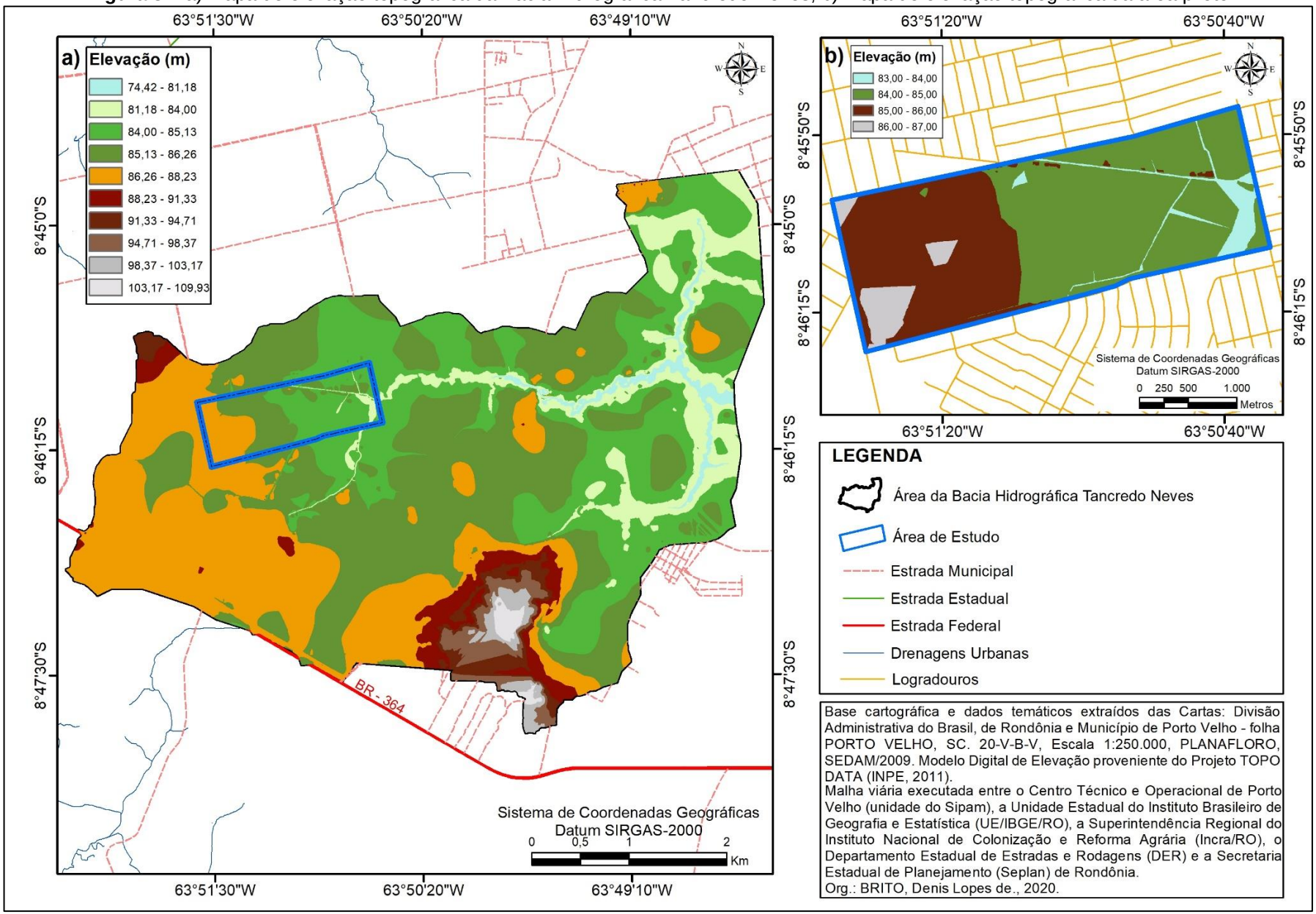
Para a análise topográfica e da declividade foram elaborados 2 mapas de elevação e 2 mapas de declividade, dois relacionados à Bacia Hidrográfica Tancredo Neves e dois com visualizações localizadas da área de estudo, mostrados nas Figuras 31 e 32. De acordo com o mapa topográfico da área piloto, o ponto mais elevado está a 87 metros e o ponto mais baixo a 83 metros, resultando numa amplitude altimétrica de 4 metros. Essa amplitude aumenta para 35,51 metros quando esta análise é estendida para a bacia hidrográfica, onde a menor cota altimétrica está a 74,42 metros e a maior a 109,93 metros.

A área da bacia tem declividade média de 1,44% (método direto), portanto trata-se de uma área plana, conforme classificação do IBGE (2009) com declividade abaixo de 3%. Tais características classificam a morfometria como muito fraca e indicam formações superficiais espessas, onde os efeitos do escoamento superficial não são visíveis, porém considera-se que há perda de materiais em solução pela ação da infiltração das águas e do escoamento subsuperficial, havendo predomínio da pedogênese sobre a morfogênese, correspondendo aos meios estáveis (IBGE, 2009).

Comparada à região do entorno, a área piloto tem 57,63% de sua totalidade nas cotas mais baixas (84 m e 85 m), margeando o Canal Tancredo Neves que possui 4 ramificações inseridas no trecho em análise, e atravessa o bairro Lagoinha diagonalmente. 37,29% estão entre as cotas 85 m e 86 m e 5,08% entre as cotas 86 m e 87 m. Sua declividade (0,002% - método direto) está predominantemente no sentido oeste-leste. As cotas mais elevadas estão localizadas a oeste e as menos elevadas estão a leste nas margens do canal. Esse motivo torna a região no entorno do canal mais suscetível a enchentes e inundações em caso de saturação do canal. Por estar inserida numa área de várzea sofre influência da dinâmica da água, havendo predominância dela na massa do solo durante o ano. Predominância que para Guerra et al. (2014), resulta em solos imperfeitamente drenados ou mal drenados dependendo da proximidade ou não do lençol freático da superfície.

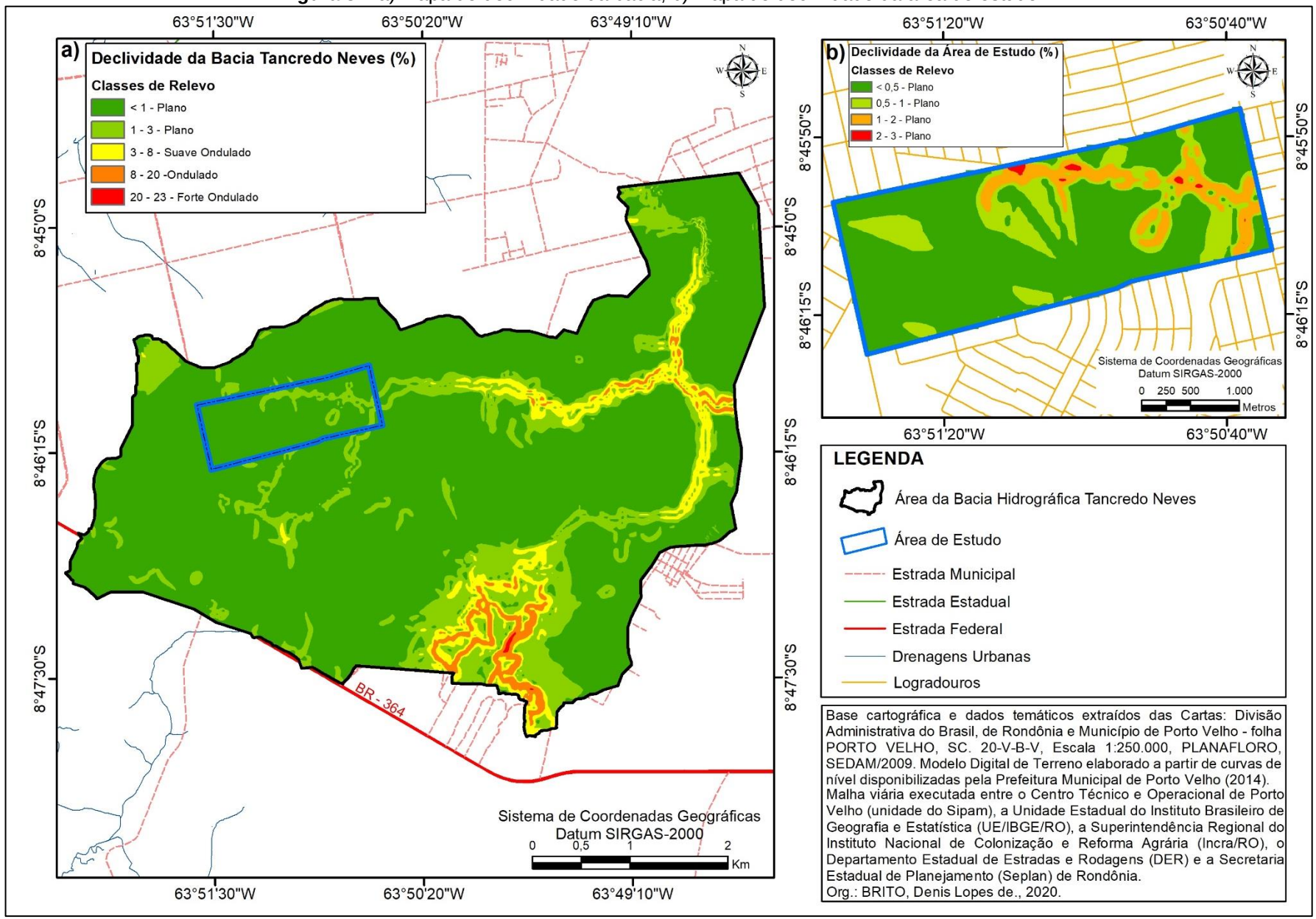
Quanto à bacia hidrográfica, o coeficiente de compacidade de 1,45 e o fator forma de 0,36 indicam que a bacia Tancredo Neves, em condições normais de precipitação, possui tendência a enchentes variando entre baixa e média.

Figura 31. a) Mapa de elevação topográfica da Bacia Hidrográfica Tancredo Neves; b) Mapa de elevação topográfica da área piloto



Fonte: Autor (2020)

Figura 32. a) Mapa de declividade da bacia; b) Mapa de declividade da área de estudo



Fonte: Autor (2020)

O comprimento do canal principal é de 5,21 km e o comprimento vetorial é 4 km enquanto o comprimento do eixo da bacia é de 7,98 km. Quanto menor a distância da nascente até a foz, maior a possibilidade de enchentes, devido à pequena distância até que ocorra a descarga do volume d'água (BRUBACHER et al., 2011).

A amplitude altimétrica de 35,51 m é considerada pequena para a bacia, já que quanto menor esse valor menor é a velocidade de escoamento no canal, causando um pior escoamento e acúmulo a montante. A densidade de drenagem é de 0,98 km², considerada baixa, já que de acordo com Christofoletti (1969), valores menores que 7,5 km² são considerados baixos. O índice de circularidade é da ordem de 0,47, quanto mais próximo de 1 a bacia tende à circularidade, o que não é o caso da bacia analisada, possuindo formato um pouco mais alongado; bacias mais alongadas têm menor propensão às enchentes que as bacias mais arredondadas, do ponto de vista qualitativo, por possuírem menor concentração de deflúvio, fato que não deve ser analisado isoladamente uma vez que são vários os fatores que agem concomitantemente sobre a formação das enchentes. O fator de forma é de 0,36, o que também indica uma forma mais alongada da bacia (WANI et al., 2018).

Na Tabela 7, está demonstrado o resumo das características físicas da bacia hidrográfica Tancredo Neves.

Tabela 7. Tabela resumo das características físicas da bacia hidrográfica Tancredo Neves

	Características Morfométricas	**Unidade**	**Bacia Hidrográfica Tancredo Neves**
Característica Geométrica	Área	Km²	22,72
	Perímetro	Km	24,65
	Número de canais de primeira ordem	-	16
	Comprimento do eixo da bacia	Km	7,98
	Coeficiente de compacidade	-	1,448
	Fator de forma	-	0,36
	Índice de circularidade	-	0,47
	Densidade hidrográfica	$Canais.Km^{-2}$	0,98
Característica do relevo	Altitude máxima	m	109,93
	Altitude média	m	86,18
	Altitude mínima	m	74,42

Fonte: Autor (2020)

Por outro lado, a bacia Tancredo Neves possui declividade menor que 3%, sendo considerada plana, o que de acordo com Leal e Tonello (2016) define a velocidade de escoamento das águas sobre a superfície. Isso porque nas bacias

planas o escoamento tem velocidades mais baixas que nas bacias íngremes, aumentando o tempo de concentração e tornando-as mais sujeitas a alagações.

A Bacia Tancredo Neves possui área de aproximadamente 22,72 km², esse dado favorece as alagações já que as nuvens de chuvas convectivas, geralmente conhecidas como chuvas de verão, que ocorrem devido à diferença de temperatura na superfície próxima às camadas da atmosfera terrestre, possuem área de cobertura média em torno de 25 km², sendo que as bacias que sofrem com as enchentes em geral, possuem áreas próximas a 20 km² (ZUFFO, 2007).

Outro fator que deve ser considerado também é que o canal Tancredo Neves inserido da área piloto foi retificado, o que demonstra ter havido uma intervenção para "facilitar" a drenagem, uma prática muito comum nas cidades brasileiras segundo o conceito higienista de drenagem, que tem por objetivo, diminuir o tempo de concentração das áreas contribuintes eliminando a água parada e evitando a propagação de doenças, mas como consequência, transfere o problema para jusante (TUCCI, 2008).

7.2.2 Granulometria e Textura

O solo da área de estudo foi identificado como sendo um latossolo vermelho-amarelo distrófico. Na Tabela 8 estão os resultados da análise granulométrica realizada para cada um dos pontos em suas respectivas profundidades.

Tabela 8. Análise granulométrica das amostras coletadas em campo

GRANULOMETRIA – ÁREA PILOTO								
PONTOS	**AREIA (g.kg^{-1})**		**SILTE (g.kg^{-1})**		**ARGILA (g.kg^{-1})**		**CLASSIFICAÇÃO**	
	Profundidade (cm)		**Profundidade (cm)**		**Profundidade (cm)**		**Profundidade (cm)**	
	0-20	**20-40**	**0-20**	**20-40**	**0-20**	**20-40**	**0-20**	**20-40**
P1	182	190	228	232	590	578	Argilosa	Argilosa
P2	210	135	205	290	585	575	Argilosa	Argilosa
P3	70	58	268	270	662	672	Muito Argilosa	Muito Argilosa
P4	98	130	182	175	720	695	Muito Argilosa	Muito Argilosa
P5	102	115	338	295	560	590	Argilosa	Argilosa
P6	105	108	337	334	558	558	Argilosa	Argilosa
P7	280	380	188	162	532	458	Argilosa	Argilosa
P8	285	245	187	253	528	502	Argilosa	Argilosa
P9	50	48	318	272	632	680	Muito Argilosa	Muito Argilosa
P10	75	110	240	180	685	710	Muito Argilosa	Muito Argilosa
P11	175	192	275	270	550	538	Argilosa	Argilosa
P12	120	102	230	236	650	662	Muito Argilosa	Muito Argilosa
P13	180	185	235	165	585	650	Argilosa	Muito Argilosa
P14	242	218	253	224	505	558	Argilosa	Argilosa
P15	72	65	266	273	662	662	Muito Argilosa	Muito Argilosa

GRANULOMETRIA – ÁREA PILOTO (CONTINUAÇÃO)								
PONTOS	AREIA (g.kg^{-1})		SILTE (g.kg^{-1})		ARGILA (g.kg^{-1})		CLASSIFICAÇÃO	
	Profundidade (cm)		Profundidade (cm)		Profundidade (cm)		Profundidade (cm)	
	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40	0-20	20-40
P16	138	110	144	232	718	658	Muito Argilosa	Muito Argilosa
P17	170	155	218	170	612	675	Muito Argilosa	Muito Argilosa
P18	268	308	147		585	692	Argilosa	Muito Argilosa
MÉDIA	157	159	237	237	607	617	MÉDIA GERAL DE 0 - 40 cm (g.kg^{-1})	
MEDIANA	154	133	233	236	588	654	AREIA	158
MODA	-	110	-	232	585	558		
MÁXIMO	285	380	338	334	720	710	SILTE	237
MÍNIMO	50	48	144	162	505	458		
D. PADRÃO	76,47	87,45	57,63	51,93	64,89	74,07	ARGILA	612
VARIÂNCIA	5848,30	7648,26	3321,43	2696,69	4211,19	5485,66		

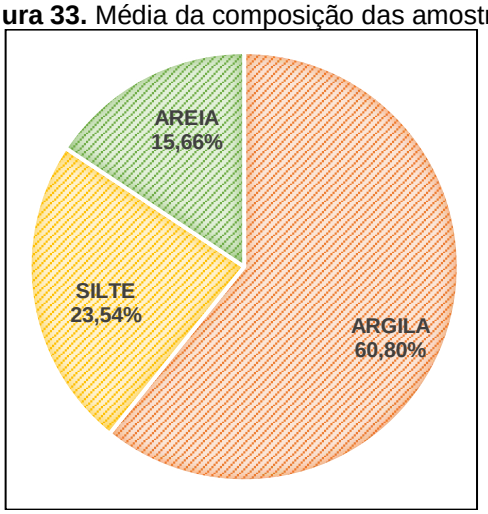
Fonte: Laboratório Solos e Plantas (2020). Adaptado pelo Autor (2020)

De acordo com a análise das amostras, cuja classificação granulométrica variou entre argilosa e muito argilosa, o solo da área foi classificado texturalmente como muito argiloso, com uma composição média de 612,00 g.kg^{-1} (60,80%) de argila, 234,00 g.kg^{-1} (23,54%) de silte e 158,00 g.kg^{-1} (15,66%) de areia em amostras de 1000 g.

Ker et al. (2012), cita que a textura se refere à proporção relativa das diversas frações granulométricas que compõem o solo, mais especificamente às proporções de areia, silte e argila. Uma amostra de solo é considerada arenosa se possuir 85% de areia; argilosa se houver mais de 35% de argila e média se tiver porções equilibradas de areia, silte e argila (LEPSCH, 2002).

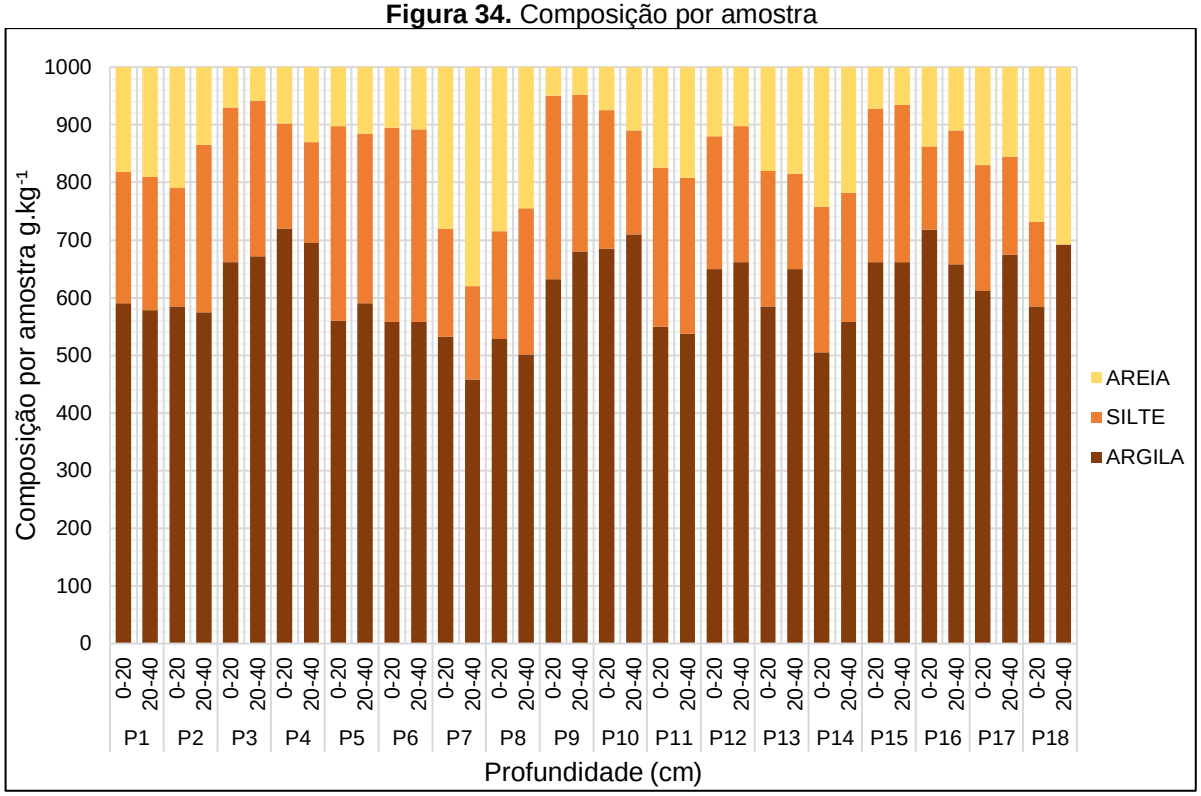
A seguir, nas Figuras 33 e 34 estão detalhadas a composição geral e por amostra respectivamente e na Figura 35 a distribuição textural pela área de estudo.

Figura 33. Média da composição das amostras



Fonte: Autor (2020)

Figura 34. Composição por amostra



Fonte: Autor, com base nos resultados fornecidos pelo Laboratório Solos e Plantas (2020).

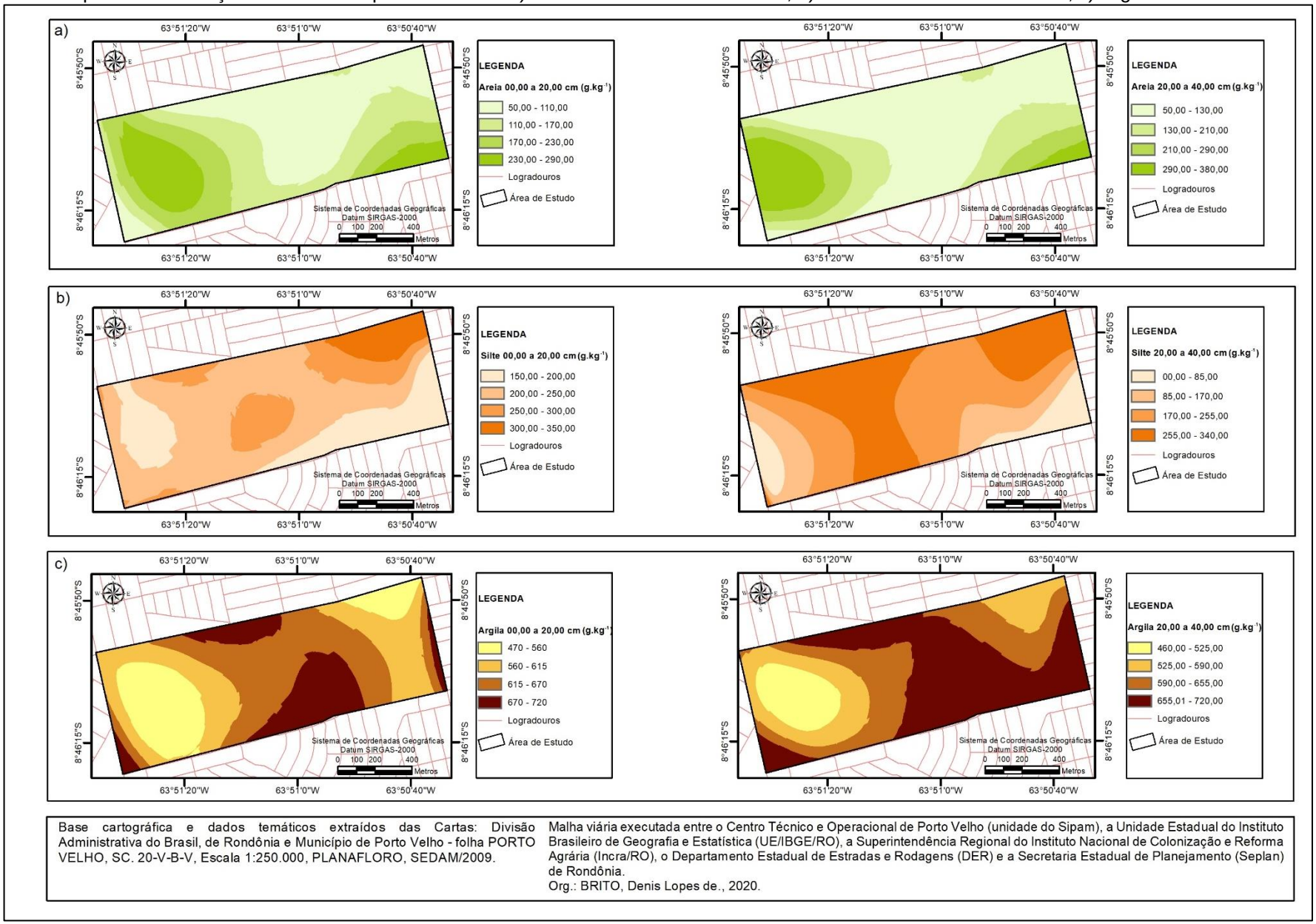
De maneira geral, a composição das partículas do solo da área piloto desfavorece à drenagem natural, uma vez que a areia, que por possuir partículas de tamanhos relativamente grandes, é a maior responsável por manter a drenagem livre e promover a entrada de ar no solo segundo Beutler et al. (2002), responde por aproximadamente 15,66% da composição granulométrica da camada superficial total analisada (0 a 40 cm). O silte, que conforme cita Ladeira (2007), pelo diâmetro reduzido de suas partículas, é mais propenso à ação do intemperismo e ao processo de *piping* liberando rapidamente significativas quantias de nutrientes para as plantas, por sua vez corresponde à parcela de 23,54%. O silte é considerado um material ruim por não possuir considerável coesão e plasticidade, formando grandes atoleiros em épocas de chuva e muito pó durante períodos secos, demandando muito cuidado e manutenção devido à erosão e desagregação natural (CAMPOS, 2013).

A argila de acordo com Klein et al. (2010), é composta por partículas menores que 0,002 mm em forma de pequenas lâminas ou placas planas e apresenta enorme capacidade de absorção de água e outras substâncias, mas por outro lado tem taxa de drenagem muito baixa; ela tem maior presença nas amostras, respondendo por 60,80% da composição. Uma das principais características da argila é a capacidade

de suas partículas manterem-se unidas em uma massa coesa depois de seca, e o fato de suas partículas serem muito pequenas e irregulares provocam um movimento lento de água e ar no solo, motivo pelo qual, as propriedades do solo, como contração, expansão, plasticidade, capacidade de retenção de água, resistência do solo e absorção de elementos químicos estão diretamente relacionados ao tipo e à quantidade de argila presente no solo (USP, 2017).

Santos, C. (2016), ressalta que a geologia determina o tipo de solo predominante e as características deste determinam a sua permeabilidade. Nas bacias onde solos arenosos predominam a frequência das alagações é menor, que nas bacias onde predominam solos argilosos. Essa característica perde a importância à medida que a bacia sofre impermeabilização pela urbanização. Ou seja, a bacia onde o solo é predominantemente argiloso é mais propensa a alagações e pode ter a sua situação agravada à medida que sofre a urbanização.

Figura 35. Mapas de distribuição textural em 2 profundidades: a) Areia: 0 - 20 cm e 20 - 40 cm; b) Silte: 0 - 20 cm e 20 - 40 cm; c) Argila: 0 - 20 cm e 20 - 40 cm



Fonte: Autor (2020)

7.2.3 Densidade Aparente

Na Tabela 9 são demonstrados os valores de Densidade Aparente em cada ponto coletado à duas profundidades: de 0 - 20 cm e de 20 - 40 cm. Os valores variaram entre 0,9 g.cm^{-3} e 1,39 g.cm^{-3}, obtendo-se uma média geral de 1,21 g.cm^{-3}. Parâmetros considerados intermediários.

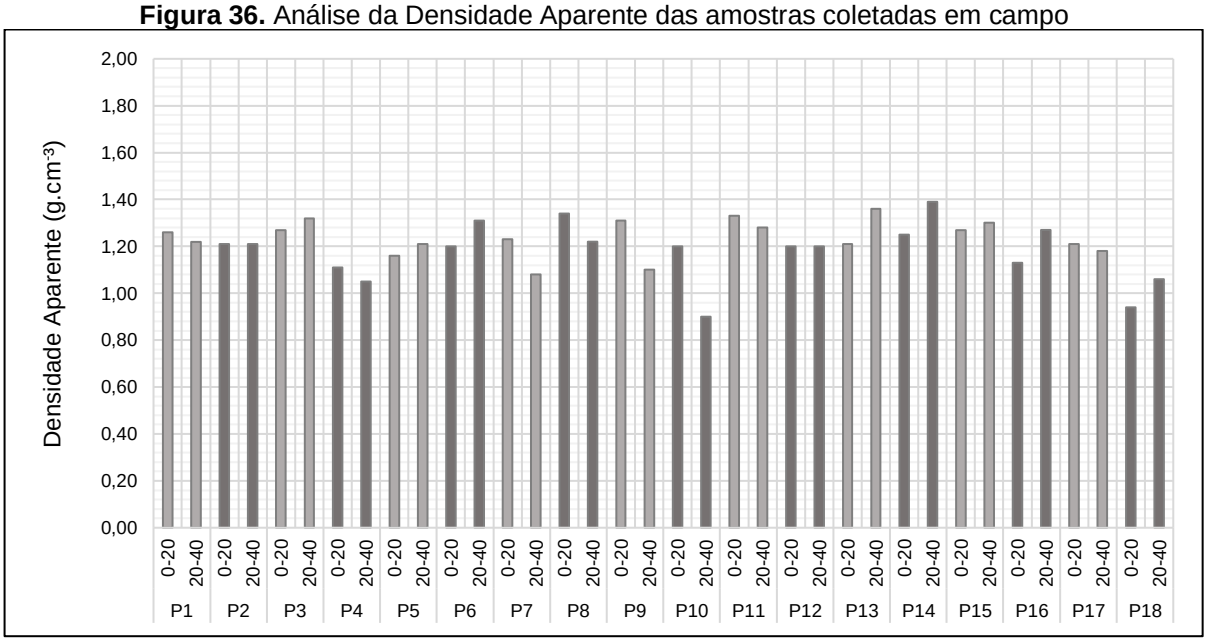
De acordo com Silva (2019), o valor médio da Densidade Aparente da maioria dos solos argilosos do Brasil varia de 1 g.cm^{-3} a 1,25 g.cm^{-3}. Já para Guerra (2014), a densidade aparente "normalmente" varia entre 0,8 g.cm^{-3} e 2 g.cm^{-3} sendo considerados baixos os valores abaixo de 1,3 g.cm^{-3} e altos os valores acima de 1,6 g.cm^{-3}. Reinert et al. (2006), cita que, valores da ordem de 1,45 g.cm^{-3} em solos argilosos estão associados ao estado de compactação. No entanto, para Fonseca et al. (2009), valores entre 1,27 e 1,57 g.cm^{-3} são indicativos de compactação, sendo restritivos ao crescimento radicular e à infiltração de água no solo por provocar a diminuição do volume dos macroporos. Nesse sentido, a redução na taxa de infiltração de água no solo leva à formação poças ou *ponds* na superfície, estágio que antecede o processo de escoamento superficial, denominado *runoff* (GUERRA et al., 2014).

Tabela 9. Densidade das amostras em 2 profundidades: 0 cm - 20 cm e 20 cm - 40 cm

BAIRRO LAGOINHA		
PONTOS ANALISADOS	**DENSIDADE (g.cm^{-3})**	
	Profundidade (cm)	
	0 - 20	**20 - 40**
P1	1,26	1,22
P2	1,21	1,21
P3	1,27	1,32
P4	1,11	1,05
P5	1,16	1,21
P6	1,20	1,31
P7	1,23	1,08
P8	1,34	1,22
P9	1,31	1,10
P10	1,20	0,90
P11	1,33	1,28
P12	1,20	1,20
P13	1,21	1,36
P14	1,25	1,39
P15	1,27	1,30
P16	1,13	1,27
P17	1,21	1,18
P18	0,94	1,06
MÉDIA	1,21	1,20
MEDIANA	1,21	1,22
MODA	1,21	1,22
MÁXIMO	1,34	1,39
MÍNIMO	0,94	0,90
D. PADRÃO	0,09	0,13
VARIÂNCIA	0,01	0,02

Fonte: Autor (2020)

Figura 36. Análise da Densidade Aparente das amostras coletadas em campo



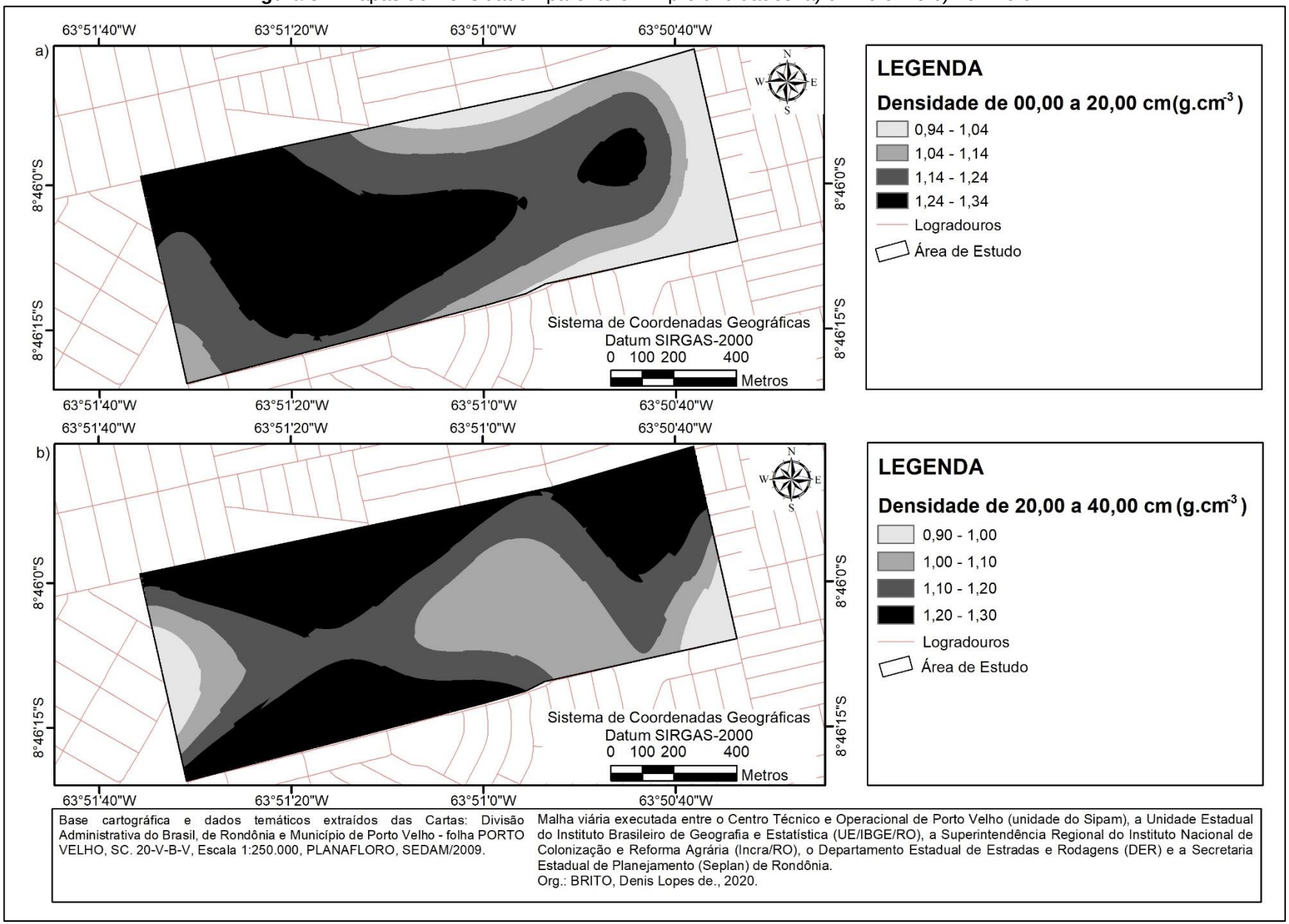
Fonte: Autor (2020)

Em áreas de relevo plano e escoamento superficial desfavorecido, partículas individuais podem preencher os poros existentes no topo do solo diminuindo a porosidade e aumentando a Densidade Aparente, contribuindo automaticamente para a formação de crosta superficial, o que diminui consideravelmente a infiltração de água, favorecendo o escoamento superficial devido à impermeabilização do topo do solo (CORADO NETO et al., 2015).

Esse comportamento pode ser observado na Figura 36, onde observam-se valores de Densidade Aparente mais elevados nas camadas superiores (0 - 20 cm) em vários pontos, em detrimento à camada inferior (20 - 40 cm). O que demonstra claramente inversão, já que a densidade deve aumentar naturalmente conforme a profundidade do perfil devido à compactação causada pelo peso (massa) das camadas superiores (REINERT e REICHERT, 2006).

De acordo com os mapas da Figura 37, os maiores valores de Densidade Aparente encontrados na profundidade de 0 - 20 cm estão concentrados nas regiões centro-oeste e leste, já na camada de 20 - 40 cm, as regiões mais densas estão localizadas nas extremidades norte, nordeste e sul. O que provavelmente pode ter resultado da forma de ocupação dessas regiões, já que os mapas de ocupação do solo das Figuras 25 e 26, mostram que essas áreas permaneceram um longo período sem cobertura vegetal, sendo posteriormente, intensamente ocupadas.

Figura 37. Mapas de Densidade Aparente em 2 profundidades: a) 0 - 20 cm e b) 20 - 40 cm



Fonte: Autor (2020)

7.2.4 RMP - Resistência Mecânica do Solo (Compactação)

O ensaio de Resistência Mecânica à Penetração realizado nos 18 pontos (Apêndice - A) possibilitou efetuar a análise da compactação do solo. Na área de estudo, a resistência média por ponto à penetração do solo na profundidade de 0 a 40 cm variou de 0,94 a 2,47 MPa, com valores médios de 1,44 MPa. De acordo com Cunha et al. (2009), o valor crítico é 2 Mpa. Apenas um ponto apresentou média superior a 2 Mpa (P12 com 2,47 Mpa) e outros dois pontos apresentaram valores de 2,56 Mpa e 2,26 Mpa na camada de 5 - 10 cm de profundidade indicando compactação nessas áreas. Para efeito de comparação, Pereira et al. (2016), avaliaram 8 pontos na profundidade de 0 - 40 cm na APP do Igarapé dos Tanques no perímetro urbano de Porto Velho e em todos os pontos os valores foram superiores a 2 MPa.

A compactação ocorre por meio da compressão do solo não saturado, causando o aumento da densidade e redução de volume, resultado da expulsão de ar dos poros do solo. Efeito que pode ser agravado à medida que o teor de umidade se eleva. Esse processo atua diretamente nas propriedades físicas do solo provocando aumento da resistência mecânica do solo (SILVA, S. 2021). Nas áreas urbanizadas a compactação ocorre devido ao tráfego de veículos, pedestres, equipamentos, pavimentação do terreno, entre outros fatores, prejudicando o desenvolvimento das raízes das plantas e absorção de água, reduzindo a infiltração e a drenagem natural, aumentando com isso, o escoamento superficial (TAIZ et al., 2006).

As características da ocupação da área estudada, como: ausência de vegetação por longos períodos devido à intensa ação de apossamento e o padrão textural do solo local vão em direção aos estudos de Assis et al. (2014), que afirmam que a compactação do solo é influenciada pelo teor de água, textura e densidade do solo. Seguindo essa vertente, Gubiani et al. (2014), citam que os maiores valores de resistência à penetração do solo ocorrem em consequência dos menores teores de água, onde valores de resistência superiores a 2 Mpa restringem o crescimento radicular e a percolação de água no interior do solo (BEUTLER e CENTURION, 2004).

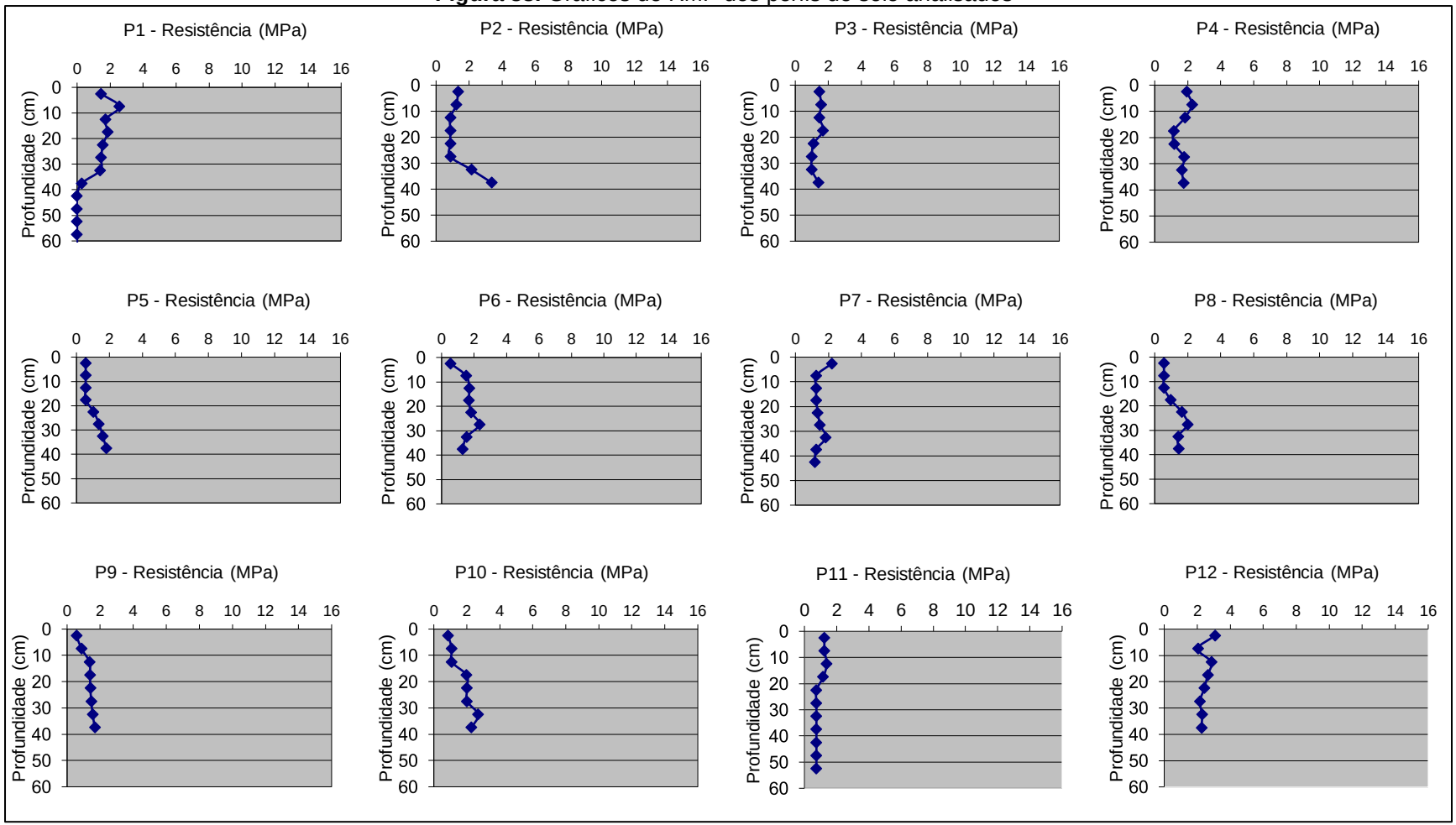
Nos gráficos de Resistência Mecânica à Penetração do solo (Figuras 38 e 39), o efeito da compactação fica evidente em alguns pontos, onde os maiores valores estão na camada superior (0 - 20 cm), quando o natural é o valor aumentar conforme a profundidade aumenta devido ao peso das camadas superiores (GUIMARÃES et al., 2008). Na Tabela 10 estão indicados os valores de RMP observados em campo.

Tabela 10. Resistência à penetração por ponto

Prof. em Camadas	Prof. média	Resistência à Penetração em Cada Ponto																		
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	Média
cm	cm	MPa																		
0-5	2,50	1,45	1,33	1,47	1,94	0,56	0,56	2,22	0,56	0,56	0,86	1,25	**3,07**	0,56	0,76	0,56	0,56	0,94	1,30	1,14
5-10	7,50	**2,56**	1,23	1,56	**2,26**	0,56	1,51	1,26	0,56	0,88	1,10	1,25	**2,04**	0,56	1,06	0,71	1,78	1,04	1,39	1,30
10-15	12,50	1,73	0,86	1,47	1,82	0,56	1,70	1,26	0,56	1,35	1,10	1,39	**2,85**	0,83	1,06	1,82	1,56	1,04	1,42	1,35
15-20	17,50	1,85	0,86	1,69	1,16	0,56	1,69	1,26	0,98	1,38	**2,00**	1,17	**2,63**	0,94	1,39	**2,14**	1,75	0,95	1,61	1,45
20-25	22,50	1,56	0,86	1,11	1,18	1,05	1,83	1,36	1,65	1,40	**2,02**	0,75	**2,43**	0,94	1,53	**2,17**	**2,08**	0,95	1,48	1,46
25-30	27,50	1,47	0,86	1,00	1,77	1,37	**2,33**	1,49	1,98	1,47	**2,02**	0,75	**2,16**	0,98	1,45	**2,15**	**2,18**	0,95	1,18	1,53
30-35	32,50	1,40	**2,14**	1,00	1,65	1,60	1,55	1,85	1,42	1,54	**2,69**	0,75	**2,30**	1,33	1,44	**2,20**	**2,44**	1,14	0,94	1,63
35-40	37,50	0,28	**3,36**	1,41	1,76	1,81	1,29	1,25	1,44	1,68	**2,28**	0,75	**2,26**	1,41	1,40	**2,58**	**2,46**	1,48	1,07	1,66
Média por ponto		1,54	1,44	1,34	**1,69**	1,01	1,56	1,49	1,14	1,28	**1,76**	1,00	**2,47**	0,94	1,26	**1,79**	**1,85**	1,06	1,30	**1,44**
Mediana		1,51	1,05	1,44	1,76	0,80	1,62	1,31	1,20	1,39	**2,01**	0,96	**2,36**	0,94	1,39	**2,14**	1,93	1,00	1,34	1,45
Moda		-	0,86	1,00	-	0,56	-	1,26	0,56	-	1,10	0,75	-	0,56	1,06	-	-	1,04	-	-
Máximo		**2,56**	**3,36**	1,69	**2,26**	1,81	**2,33**	**2,22**	1,98	1,68	**2,69**	1,39	**3,07**	1,41	1,53	**2,58**	**2,46**	1,48	1,61	1,66
Mínimo		0,28	0,86	1,00	1,16	0,56	0,56	1,25	0,56	0,56	0,86	0,75	2,04	0,56	0,76	0,56	0,56	0,94	0,94	1,14
D. Padrão		0,63	0,89	0,27	0,37	0,52	0,50	0,36	0,56	0,37	0,66	0,28	0,36	0,31	0,27	0,74	0,61	0,18	0,22	0,18
Variância		0,40	0,80	0,07	0,14	0,27	0,25	0,13	0,31	0,14	0,43	0,08	0,13	0,10	0,07	0,55	0,38	0,03	0,05	0,03

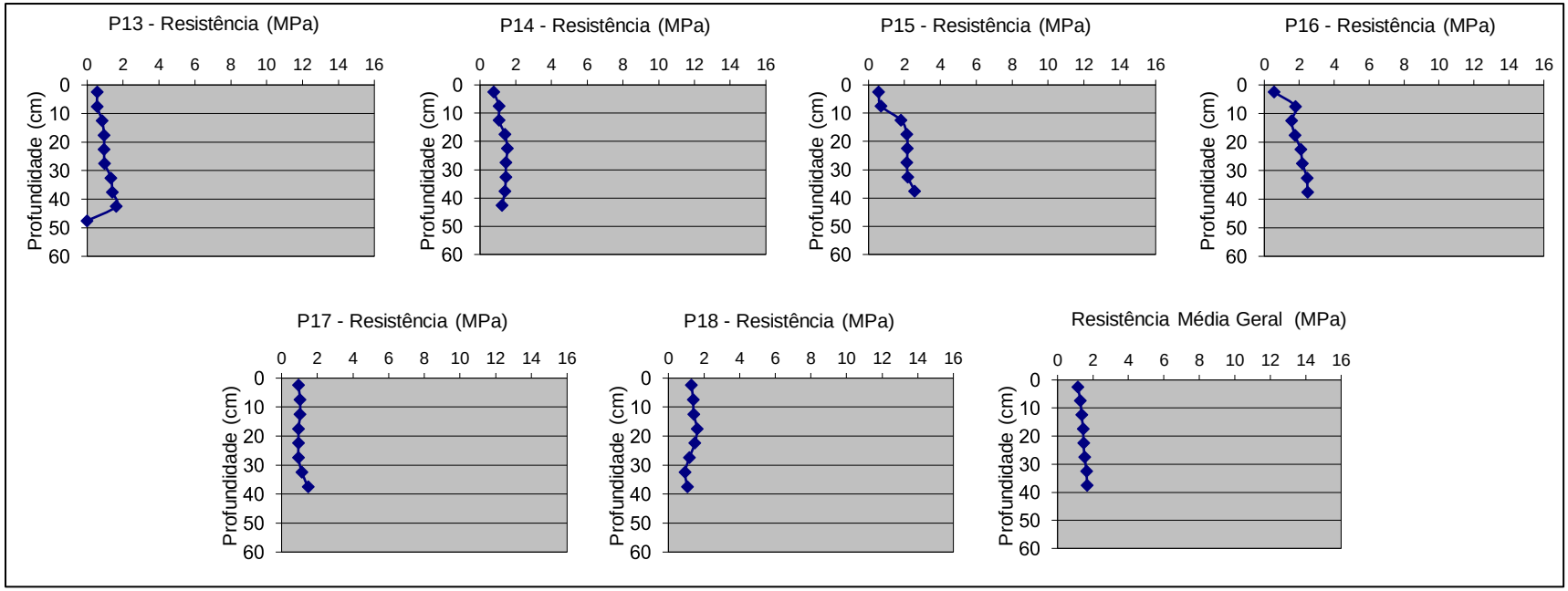
Fonte: Tabela e fórmulas de cálculo - Stolf et al., (2014). Tabela preenchida e modificada pelo autor, (2020)

Figura 38. Gráficos de RMP dos perfis de solo analisados



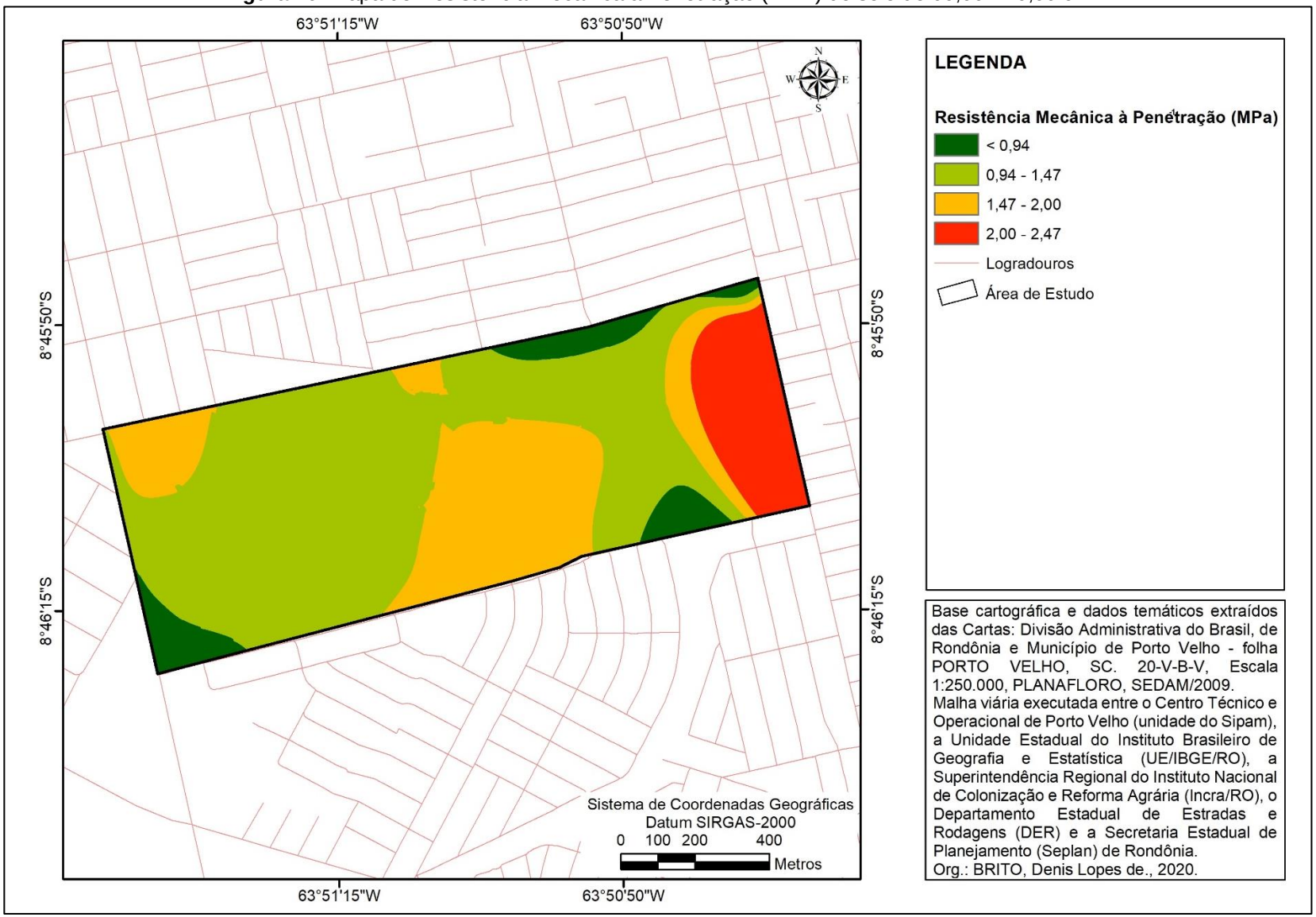
Fonte: Stolf et al., (2014). Gráficos gerados com base nos valores da Tabela 10. Modificado e adaptado pelo autor, (2020)

Figura 39. Gráficos de RMP dos perfis de solo analisados



Fonte: Stolf et al., (2014). Gráficos gerados com base nos valores da Tabela 10. Modificado e adaptado pelo autor (2020)

Figura 40. Mapa de Resistência Mecânica à Penetração (RMP) do solo de 00,00 - 40,00 cm



Fonte: Autor (2020)

Na Figura 40, está ilustrada a distribuição espacial da Resistência Mecânica à Penetração do solo na área de estudo. Observa-se que apenas a região em vermelho (a leste) apresenta valores maiores de resistência. Na área com grau de compactação entre 2 e 2,47 Mpa a compactação se encontra num estágio considerado prejudicial à percolação da água pelo solo, diminuindo a capacidade de infiltração e aumentando o escoamento superficial, causando acúmulo de água nas cotas inferiores.

7.2.5 Capacidade de Infiltração

As Taxas de Infiltração variaram de 0,05 $mm.h^{-1}$ a 56,19 $mm.h^{-1}$, enquanto a taxa média foi de 7,88 $mm.h^{-1}$. Valor que não reflete a realidade, pois os pontos P3 e P18, apresentaram resultados bastante dispersos dos demais, 31,22 $mm.h^{-1}$ e 56,19 $mm.h^{-1}$, respectivamente, valores que estão ligados à presença de vegetação nos locais, tornando o solo mais propício à infiltração. Na Tabela 11 são demonstrados os resultados médios por ponto.

Tabela 11. Taxa Média de Infiltração por Ponto (Tabela construída com base no Apêndice B)

TAXA MÉDIA DE INFILTRAÇÃO	
Ponto	**Unidade ($mm.h^{-1}$)**
P1	2,49
P2	10,61
P3	31,22
P4	4,37
P5	1,87
P6	1,87
P7	2,49
P8	2,49
P9	2,49
P10	2,5
P11	0,05
P12	2,49
P13	3,12
P14	1,44
P15	9,36
P16	4,99
P17	1,87
P18	56,19
MÉDIA	7,88
MEDIANA	2,49
MODA	2,49
MÁXIMO	56,19
MÍNIMO	0,05
D. PADRÃO	13,97
VARIÂNCIA	195,11

Fonte: Autor (2020)

Caso os dois pontos citados acima (P3 e P18) sejam desconsiderados, a Taxa Média de Infiltração referente à área piloto cai para 3,41 $mm.h^{-1}$, taxa classificada como baixa segundo Bernardo et al. (2006).

Deve-se levar em consideração que, 14 dos 18 pontos estudados tiveram valores de taxa de infiltração média baixa (< 5 $mm.h^{-1}$), correspondendo a 47,03% (Quadro 9) da área de estudo, característica de solos com argilas pesadas, muito impermeáveis (BARRETO NETO e SOUZA FILHO, 2003), evidenciando uma capacidade de drenagem natural deficiente quando comparada, por exemplo: à área estudada por Pott & de Maria (2003), que encontraram valores da ordem de 61,2 $mm.h^{-1}$ a 442,20 $mm.h^{-1}$ num Latossolo de textura argilosa; Corrêa (1985), encontrou o valor de 625,10 $mm.h^{-1}$ em um Latossolo amarelo muito argiloso em área de mata virgem, localizado na EMBRAPA de Manaus e Mancuso et al., (2014), detectaram taxas que variaram entre 34,90 $mm.h^{-1}$ e 370,33 $mm.h^{-1}$ em solos de diferentes tipos de cobertura na área urbana de Frederico Westphalen – RS.

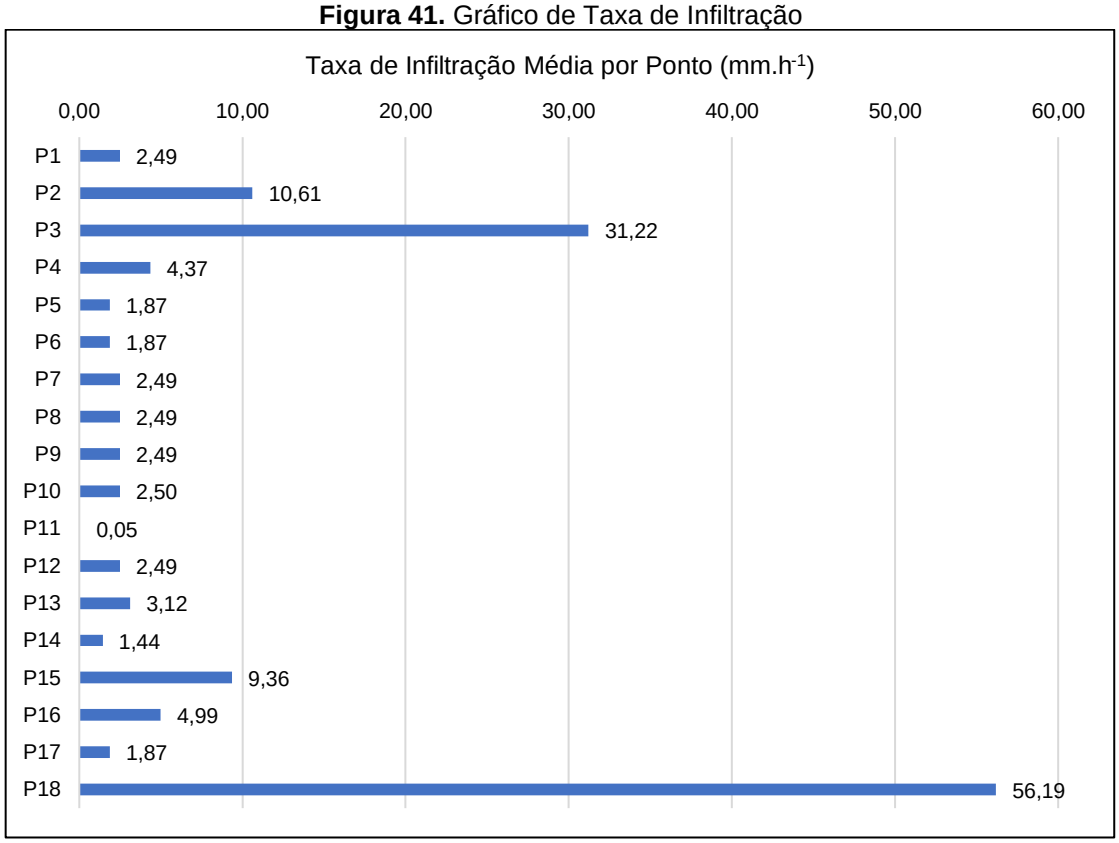
Quadro 9. Taxas Médias de Infiltração encontradas na área de estudo

TAXA MÉDIA DE INFILTRAÇÃO ($mm.h^{-1}$)	**ÁREA (ha)**	**ÁREA (%)**
Muito alta (> 30)	13,45	11,80
Alta (15 - 30)	16,77	14,71
Média (5 - 15)	30,17	26,46
Baixa (< 5)	53,61	47,03
Total	114	100

Fonte: Autor (2020)

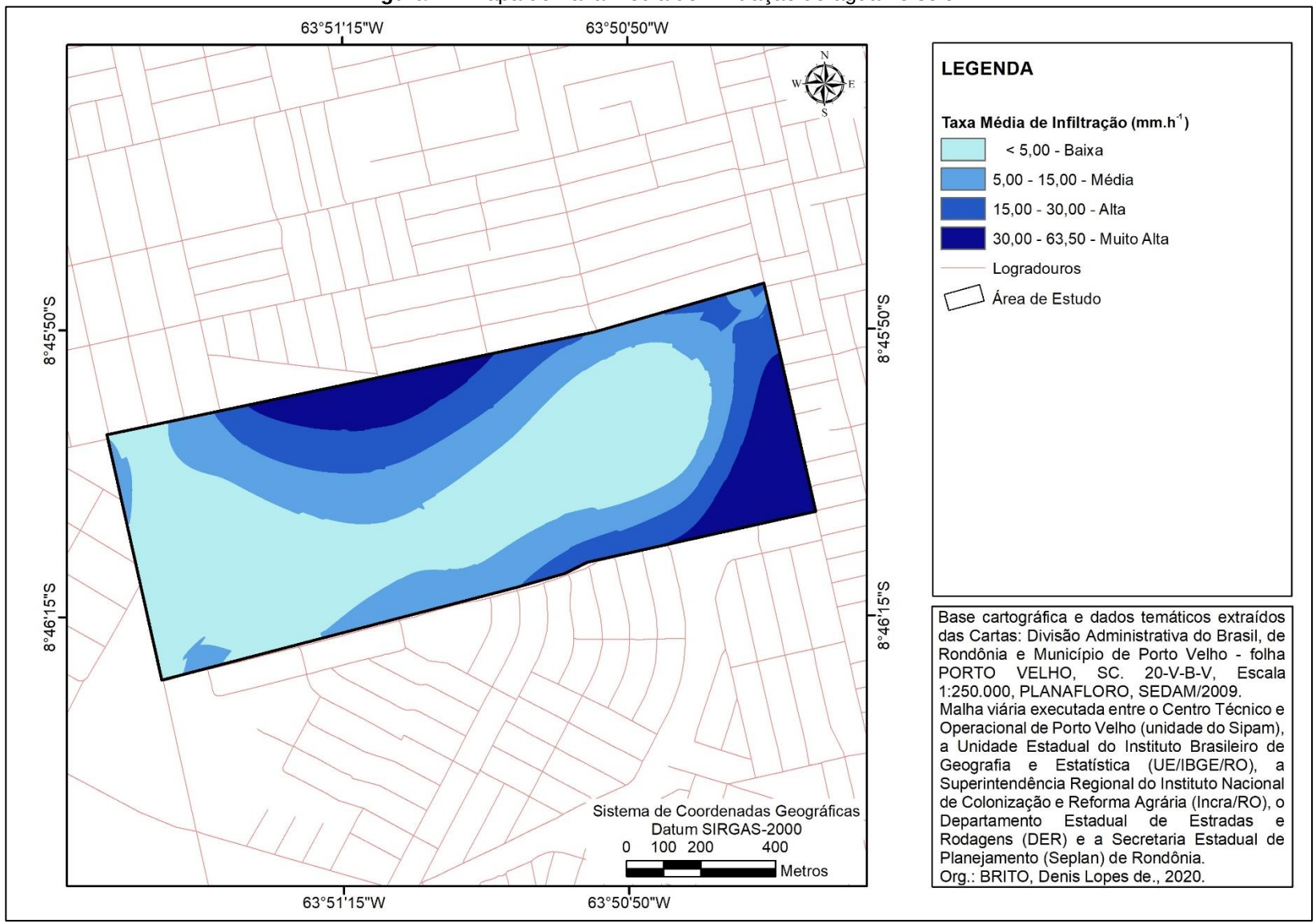
Nesse sentido, Tucci (2013), afirma que a baixa capacidade de infiltração é altamente prejudicial e indesejada no meio urbano, por ser fator determinante para o aumento do escoamento superficial. Na Figura 41 é possível visualizar as disparidades entre os pontos ensaiados e na Figura 42 é apresentado o mapeamento da Taxa Média de Infiltração na área.

Figura 41. Gráfico de Taxa de Infiltração



Fonte: Autor (2020)

Figura 42. Mapa de Taxa Média de Infiltração de água no solo



Fonte: Autor (2020)

7.3 MAPEAMENTO DE RISCO DE ALAGAÇÕES

A sobreposição ponderada dos mapas de interpolação dos dados obtidos possibilitou a produção de um mapa de risco onde foram definidas 5 classes de risco e quantificadas as áreas correspondentes a cada classe (Quadro 10).

Quadro 10. Áreas por classe de Risco de Alagamento

Classificação de Risco	Área (ha)	Área (%)	Edificações (%)
Muito Baixo	2,27	1,99	2,05
Baixo	4,59	4,03	4,10
Médio	31,49	27,62	27,85
Alto	41,07	36,03	35,23
Muito Alto	34,58	30,33	30,79
Total	114,00	100,00	100,00

Fonte: Autor (2020)

Da área piloto, 36,03% de seu total, foram classificadas como alto risco e 30,33% como muito alto risco. O que significa dizer que 35,23% das edificações estão na área considerada de alto risco e 30,79% na área considerada de muito alto risco. Ou seja, durante o período de chuvas a população residente nessas áreas fatalmente terá que lidar com as consequências das alagações.

Figura 43. a) Defesa Civil dando assistência aos moradores em 2018; b) Rua alagada após 5 minutos de chuva (cronometrados) na área de estudo

Fonte: a) Rondoniagora (2018); b) Autor (2020)

Durante as atividades de campo, a maior parte das queixas dos moradores estavam ligadas ao rápido acúmulo de água durante as precipitações e a demora para a água escoar ou infiltrar no solo (Figura 43). Discurso que converge para as características físicas do solo analisado e que tem como principal atributo possuir pouca capacidade de infiltração, comprovada nos ensaios com o Infiltrômetro de

Cilindro Único - ICU realizados, onde 14 dos pontos ensaiados acusaram baixa capacidade de infiltração com valores abaixo dos 5 $mm.h^{-1}$. Valor bastante inferior quando comparado a dois pontos que possuíam vegetação no momento do ensaio, P3 e P18 com 31,22 $mm.h^{-1}$ e 56,19 $mm.h^{-1}$ respectivamente.

Fator esse que reforça a possibilidade de que os problemas de alagação possam estar associados também à urbanização acelerada e que esta seja não a única causa, mas sim um agravante. Isso porque a crescente construção de edificações e calçadas, somada à pavimentação asfáltica causa a impermeabilização do solo. Quando a água da chuva tenta infiltrar encontra uma barreira, essa barreira por sua vez, provoca escoamento superficial da água que escoa até encontrar um espaço em que não exista nenhuma barreira, esse espaço é composto: pelo solo não urbanizado com ou sem vegetação, sendo que o solo com vegetação aumenta a capacidade de infiltração devido aos espaços produzidos no solo pelas raízes; e pelos lagos e canais de drenagem no caso específico da área piloto. Ou seja, cada metro impermeabilizado se traduz em área de contribuição e a água da chuva que infiltrava por toda a área antes de ser ocupada, agora tem um espaço muito menor para percolar e para piorar a situação, encontra um solo pouco propício à infiltração, o que causa acúmulo excessivo de água na superfície levando bastante tempo até que esse volume diminua e complete o ciclo hidrológico (evapotranspiração, infiltração, recarga de aquíferos e lagos, absorção pela vegetação). Some-se aí, o sistema de drenagem artificial ineficiente.

Silva Filho (2017), resume esse processo da seguinte forma, a ocupação do solo sem planejamento causa dentre vários impactos ambientais negativos: a sobrecarga no sistema de drenagem urbana por causa do aumento da impermeabilização do solo e diminuição da infiltração; perda de cobertura vegetal e substituição por pavimentos impermeáveis diminuindo a percolação e aumentando o volume de água e o escoamento; escassez de recursos hídricos; acúmulo de resíduos sólidos no sistema de drenagem e o aumento da densidade urbana em zonas consideradas de baixo valor especulativo imobiliário.

As características de relevo, tanto da bacia Tancredo Neves quanto da área de estudo, ajudam a explicar a recorrência de alagamentos, pois são áreas planas onde a pouca declividade do terreno desfavorece o escoamento por gravidade favorecendo o represamento e dificultando a chegada desse volume de água aos cursos de água mais próximos. A declividade, de acordo com Leal e Tonello (2016),

define a velocidade de escoamento das águas sobre a superfície. Isso porque nas bacias planas o escoamento tem velocidade mais baixa que nas bacias íngremes, aumentando o tempo de concentração, tornando-as mais sujeitas a alagações.

Dos parâmetros físicos do solo analisados, a densidade aparente e a resistência mecânica à penetração do solo ficaram dentro de um intervalo de valores considerado intermediário segundo o que diz a literatura (REINERT et al., 2006). Porém em vários pontos estudados demonstraram inversão de características, onde a camada superior de 0 - 20 cm estava mais densa e compacta que a camada inferior de 20 - 40 cm, quando o natural é que ocorra o contrário, fato que pode ser explicado pela ação antrópica por meio do movimento de pessoas e de veículos leves e pesados (TAIZ et al., 2006). Esses efeitos têm relevância e devem ser monitorados para que não atinjam os níveis críticos: para a densidade aparente 1,6 $g.cm^{-3}$ e para compactação do solo 2,0 $g.cm^{-3}$ (CUNHA et al., 2009; SILVA, 2019).

Além disso, a textura do solo local contribui consideravelmente para o acúmulo de água na superfície, já que ele é composto granulometricamente por quase 85% de partículas finas (silte, 23,54% e argila, 60,80%) sendo classificado texturalmente como muito argiloso. Esse tipo de solo além de impedir a percolação da água, uma vez que as partículas de argila selam os poros existentes, absorve (segura) a água e não permite que ela atravesse para as camadas inferiores. As partículas de areia que são as maiores responsáveis por manter a drenagem livre e promover a entrada de ar no solo segundo Beutler et al. (2002), por sua vez, correspondem a apenas 15,66% da composição granulométrica. Por esse motivo possui características de solo impermeável (MOURA et al. 2019).

A textura do solo também faz do ambiente local desfavorável à construção civil. Isto porque, solos argilosos são sensíveis à mudança de umidade e suscetíveis à expansão e retração, fato que pode estar ligado às rachaduras e fendas observadas em várias residências em alvenaria no local. Paiva et al. (2016), explica que as argilas quando secas se tornam muito resistentes, no entanto, à medida que absorvem água perdem resistência aumentando sua plasticidade. Esse efeito resulta em movimentações nas estruturas das edificações, principalmente nas de pequeno porte, causando fissuras e danos, levando-as à demolição em casos mais graves. Em obras de pavimentação solos argilosos apresentam performance ruim podendo resultar em uma vida útil curta do pavimento.

A Lei Complementar 97/99 em seu artigo 13, Inciso I, veta o parcelamento do solo para fins urbanos em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas ou proteção contra eventuais enchentes e inundações, considerando áreas com nível abaixo dos 60 metros positivos. Apesar de não se enquadrar no fator limitante nível, a área piloto, por suas características geomorfológicas tem se mostrado propensa à fenômenos de inundações e alagações, motivo pelo qual, a prefeitura municipal (informação oral[2]) interveio por meio de retificação do canal existente naquela área como forma de expulsar mais rapidamente as águas provenientes da chuva. Uma medida que como já dito, só transfere o problema para jusante, além de acarretar altos custos de manutenção com desassoreamento periódico.

Figura 44. a) Canal saturado; b) Rua alagada após precipitação

Fonte: Rondoniagora (2018)

Como agravante, são nítidos a grande quantidade de lixo e entulho de construção civil lançados no canal provocando assoreamento (Figura 44). A prática de disposição inadequada de resíduos sólidos às margens das ruas e em cursos d'água provocam continuamente a contaminação desses corpos d'água e a proliferação de vetores transmissores de doenças, como ratos, baratas, moscas entre outros, além do mau cheiro.

Cavalcante (2014), cita que o descarte de resíduos sólidos em locais indevidos e a falta de preocupação com o meio ambiente tem causado caos em vias públicas devido ao descarte incorreto do lixo, já que essa atitude aumenta o risco de retorno dos resíduos para dentro dos imóveis em eventos de alagações expondo os

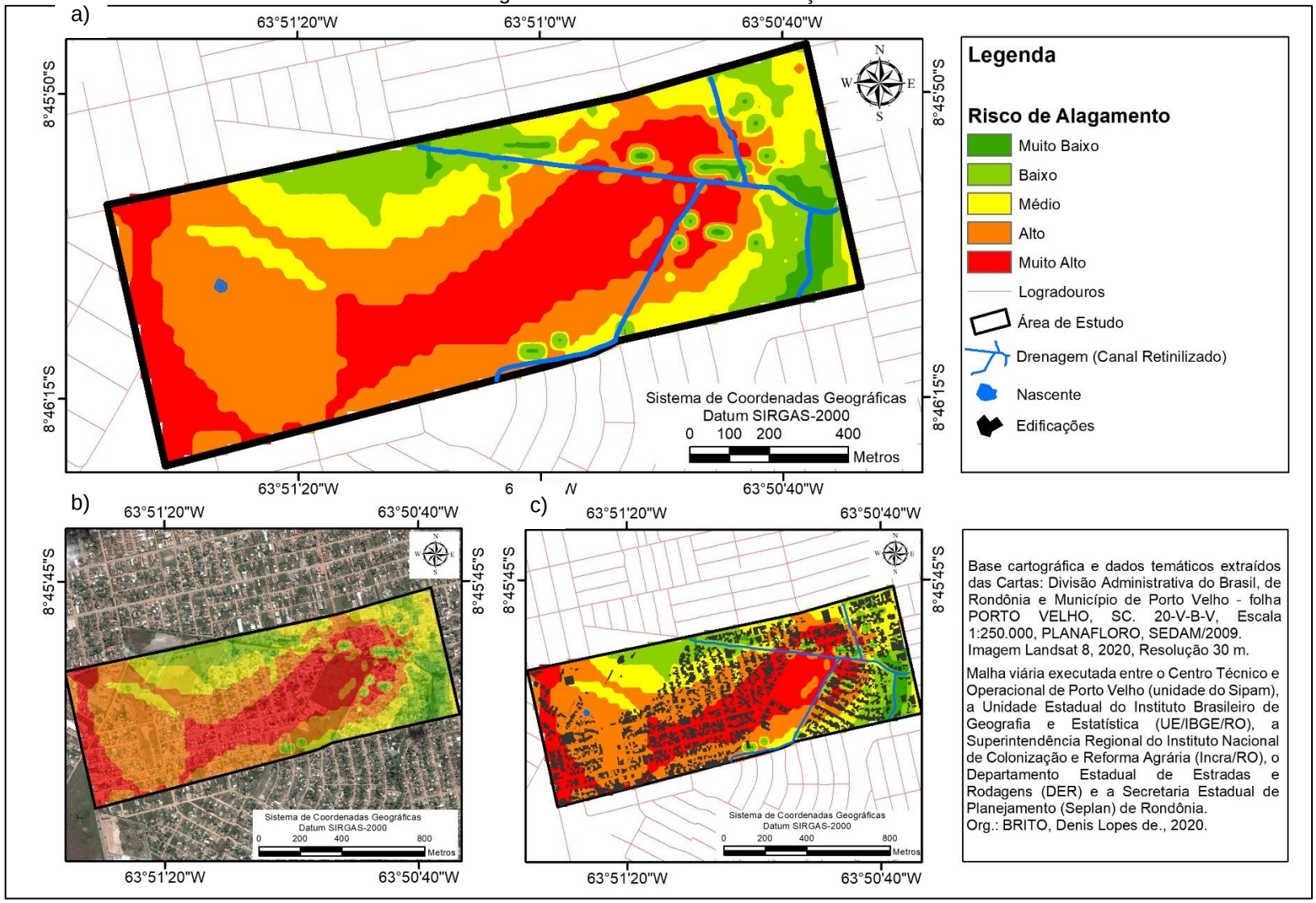
[2] Informação obtida pessoalmente junto ao servidor Kerly Gomes da Silva, encarregado de execução de obras da SEMISB - Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Serviços Básicos, no dia 6 de outubro de 2020.

moradores a pragas urbanas prejudicando a saúde dos mesmos, ou seja, é a população sendo também causadora e vítima dos problemas existentes (SANTOS, 2012).

Pelos vários motivos aqui descritos, identificar as áreas de risco, através da representação cartográfica torna-se essencial, pois possibilita a prevenção de prejuízos ambientais e econômicos, além de contribuir para o melhor planejamento das prefeituras, no sentido de evitar a ocupação de áreas de risco, e também, para as ações da defesa civil (MANTIS e VAZ, 2019).

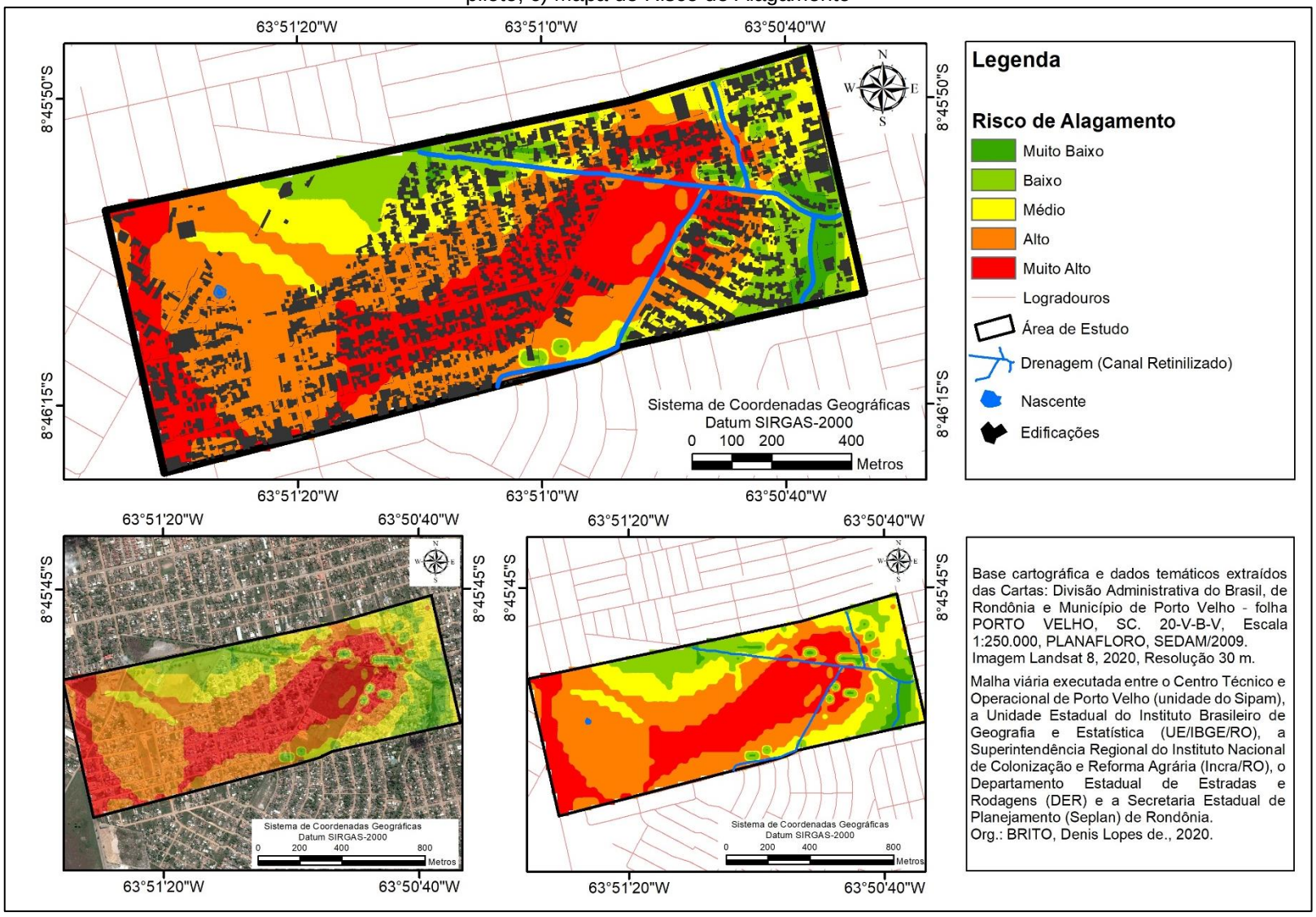
Portanto, o uso do geoprocessamento e as diversas formas e métodos de análise, foram essenciais para a elaboração do mapeamento de risco da área piloto, possibilitando o entendimento dos problemas e a compreensão dos fatores envolvidos na geração dos produtos que podem ser visualizados nas Figuras 45, 46 e 47.

Figura 45. a) Mapa de Risco de Alagamento; b) Mapa de Risco de alagamento sobreposto à uma imagem de satélite da área piloto; c) Mapa de Risco de Alagamento e densidade de edificações



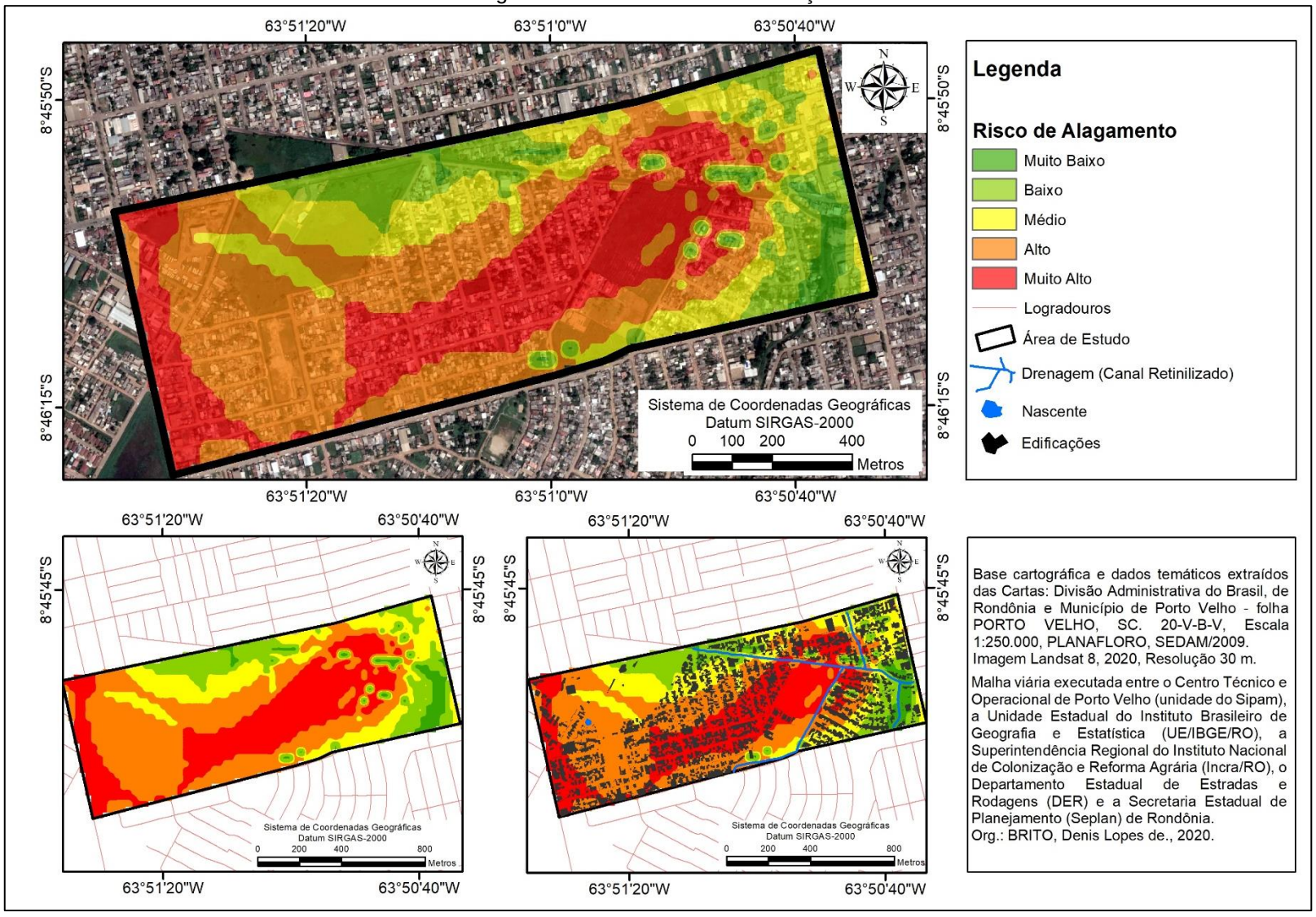
Fonte: Autor (2020)

Figura 46. a) Mapa de Risco de Alagamento e densidade de edificações; b) Mapa de Risco de alagamento sobreposto à uma imagem de satélite da área piloto; c) Mapa de Risco de Alagamento



Fonte: Autor (2020)

Figura 47. a) Mapa de Risco de alagamento sobreposto à uma imagem de satélite da área piloto; b) Mapa de Risco de Alagamento; c) Mapa de Risco de Alagamento e densidade de edificações



Fonte: Autor (2020)

8 CONCLUSÕES

A análise dos parâmetros físicos da área piloto apontou forte suscetibilidade a alagamentos. Características como relevo plano (da bacia e da área de estudo), textura do solo e principalmente a baixa capacidade de infiltração observada em campo ajudam a compreender a dinâmica dos eventos observados no período chuvoso. Embora os atributos de densidade aparente e de resistência mecânica à penetração do solo não tenham demonstrado grandes alterações, em vários pontos estudados a camada superior do solo (0 - 20 cm) apresenta maior densidade e compactação que a camada inferior considerada (20 - 40 cm), demonstrando inversão nessas características.

Observou-se o impacto de diferentes atividades antrópicas na área que justificam a compactação na camada superficial, sendo o tráfego de veículos diversos e de pessoas, os mais efetivos. Como fator agravante, a urbanização desordenada e a retirada de vegetação produzem áreas de risco de alagamentos e criam barreiras físicas através da impermeabilização do solo impedindo a percolação das águas da chuva, provocando o aumento no acúmulo de água na superfície.

Ante a esse cenário, o mapeamento de risco proporcionou a identificação das áreas em que o solo está mais propenso a acumular as águas da chuva e a população em potencial risco. Criando com isso, uma ferramenta a mais na prevenção de prejuízos ambientais e econômicos, podendo ser utilizado pela prefeitura municipal de Porto Velho para um melhor planejamento urbanístico e para ações da defesa civil. Nesse sentido o uso do geoprocessamento e as diversas formas e métodos de análise foram essenciais para o entendimento dos problemas e compreensão dos fatores envolvidos, demonstrando a importância da representação cartográfica do risco.

Assim, fica evidente a importância do planejamento urbano associado ao ambiental na elaboração de políticas públicas com relação à questão dos alagamentos urbanos, pois o planejamento deve focar em ordenar a ocupação urbana, impedindo que áreas consideradas importantes para o meio ambiente, como as APP’s, planícies de inundação, margens de rios e canais sejam ocupadas.

8.1 SUGESTÕES DE PESQUISAS

Ante aos motivos expostos acima, seguem algumas sugestões para estudos futuros, analisando os parâmetros abaixo:

- Áreas urbanizadas x áreas não urbanizadas (estudo comparativo para avaliação de impacto ambiental);
- Ocupação das APP's, para análise de impacto ambiental;
- Granulometria e textura (visando comparar áreas mais ou menos permeáveis de acordo com a composição granulométrica, já que a permeabilidade varia de acordo com nível de partículas finas no solo);
- Densidade aparente e compactação do solo (RMP), objetivando investigar eventuais prejuízos à drenagem urbana;
- Capacidade de Infiltração (avaliar a eficiência da drenagem natural do solo).

A análise desses parâmetros pode ser feita isoladamente ou em conjunto e no caso deste último, os resultados podem ainda, ser sobrepostos para gerarem mapas de risco e vulnerabilidade tanto a alagações como a inundações. Quanto à delimitação espacial, os estudos podem ser realizados:

- Nos bairros da capital;
- Nas bacias urbanas (Bate Estaca, Igarapé Grande, Penal, Tancredo Neves e Tanques);
- No perímetro urbano;
- Em outras cidades.

As possibilidades são muitas, podendo até ser utilizado o modelo apresentado neste trabalho. Uma vez que os produtos obtidos serão de extrema importância para o planejamento urbano e melhoramento dos planos diretores municipais, orientando e balizando as ações de expansão das cidades através da identificação das regiões de potencial risco e/ou vulnerabilidade.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, A.; CARVALHO, R.; FARINHA, N.; MORGADO, P.; PEREIRA, H.; ROCHA, J. **Cartografia de Uso/Ocupação do Solo por Fotointerpretação**. MOPT, Lisboa, [s.n.], p. 1-22, 2011. Disponível em: http://www.mopt.org.pt/uploads/1/8/5/5/1855409/apg-guimaraes04.pdf. Acesso em: 22 nov. 2020.

ABSY, M.L. 1993. Mudanças da vegetação e clima da Amazônia durante o Quaternário. *In*: Ferreira, E.J.G.; Santos, G.M.; Leão, E.L.M.; Oliveira, L.A. (ed.). **Bases científicas para estratégias de preservação e desenvolvimento da Amazônia**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, v. 2. p.3-10.

ALMEIDA, L. Q. D. **Riscos ambientais e vulnerabilidades nas cidades brasileiras:** conceitos, metodologias e aplicações. 1. ed. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012. 250 p.

ANEAS DE CASTRO, S. D. Riesgos y peligros: una visión desde la Geografía. **Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**, Barcelona, n. 60, [s.n.], mar. 2000. Disponivel em: http:/www.ub.es/geocrit/sn-60.htm. Acesso em: 24 set. 2020.

ANTUNES, A. F. **Fotointerpretação**. UFPR, 2009. Disponivel em: http://people.ufpr.br/~felipe/fotointer.pdf. Acesso em: 22 ago. 2020.

ASSIS, E. B. D.; NUNES, M. C. M.; BARELLI, M. A. A.; SEABRA JÚNIO, S.; SERAFIM, M. E. Resistência à penetração em argissolo vermelho-amarelo sob pousio e diferentes culturas de cobertura Conhecer. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico**, Goiânia, v. 10, n. 19, p. 1678-1677, 2014. Disponível em: http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/AGRARIAS/resistencia%20a%20penetracao.pdf. Acesso em: 25 set. 2020.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502:** Rochas e Solos. Rio de Janeiro: 1995.

BARBOSA JÚNIOR, A. R. B. **Elementos de hidrologia aplicada**. Cariri: UFOP, 2007. 248 p.

BARIOU, R. **Manuel de télédéction**. Paris: Sodipe, 1978. 349 p.

BARRETO NETO, A. A.; DE SOUZA FILHO, C. R. Modelagem dinâmica de escoamento superficial. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais** [...]. Belo Horizonte: INPE, 2003. Disponível em: http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.13.18.12/doc/18_149.pdf. Acesso em: 27 set. 2020.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G.Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vicoça, n. 26, p. 829-834, 2002. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v26n3/29.pdf. Acesso em: 23 fev. 2021.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 6, p. 581-8, 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/pab/v39n6/v39n6a10.pdf. Acesso em: 25 fev. 2021.

SEMPOG - SECRETARIA DE PLANEJAMENTO ORÇAMENTO E GESTÃO. **Bairro Lagoinha**. Porto Velho: Prefeitura, 2020. Disponivel em: https://sempog.portovelho.ro.gov.br//artigo/28656/bairro-lagoinha. Acesso em: 11 fev. 2021.

BORZACOV, Y. P. **Os bairros na História de Porto Velho**. Academia Rondonienise de Letras, 2018.

BRASIL. DNPM. **Projeto RadamBrasil**. Folha SC. 20 - Porto Velho. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro, v. 16, 1978. 850 p.

BRASIL. DNIT. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. 2. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2005. 133 p. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf. Acesso em: 27 nov. 2020.

BRASIL. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margens de Rios.** Brasilia: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007.

BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa [...]. Brasília, DF: Presidência da República, 25 mai. 2012. Disponivel em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 30 nov. 2019.

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A. Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba: INPE, 2011. Disponível em: http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.26.17.48/doc/p0366.pdf. Acesso em: 10 fev. 2021.

CAMARGO, O. A. de.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas. **Boletim Técnico**, 106. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. Disponível em: http://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/docs/Boletim_Tecnico_106_rev_atual_2009.pdf. Acesso em: 8 mar. 2021.

CAMPOS, I. M. **Conheça os três tipos principais de solo**: areia, silte e argila. IBDA - Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Construção Civil. Fórum da construção, 2013.
Disponivel em:http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=59. Acesso em: 2 dez. 2020.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. Disponivel em: http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/apostila_HIDROLOGIA_APLICADA_UERGS.pdf. Acesso em: 23 nov. 2020.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 301 p.

CARVALHO, E. T. L. **Avaliação geotécnica de poços de infiltração de águas pluviais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2013. Disponível em: https://repositorio.unb.br/handle/10482/15071. Acesso em: 11 dez. 2020.

CASTRO, C. M.; PEIXOTO, M. N. O.; RIO, G. A. P. Riscos ambientais e Geografia: conceituações, abordagens e escalas. **Anuário do Instituto de Geociências** - **UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 28-2, p. 11-30, 2005. Disponível em: http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/4830/4342. Acesso em: 12 fev. 2021.

CAVALCANTE, R. S. **Esgoto não é lixo:** um pensar reflexivo a cerca de resíduos sólidos presentes nos esgotos. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios)- Universidade Tecnológica Fedral do Paraná, Medianeira, 2014. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/22867. Acesso em: 11 dez. 2020.

CENSIPAM - CENTRO GESTOR E OPERACIONAL DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA AMAZÔNIA. Sistema de Alertas Hidrometeorológicos de Bacias Urbanas - Porto Velho. **Alertas Sipam**. CENSIPAM, 2020. Disponivel em: http://alertasibu.sipam.gov.br. Acesso em: 20 mai. 2020.

CENSIPAM - CENTRO GESTOR E OPERACIONAL DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA AMAZÔNIA. **Mapas de manchas de inundação ajudam no planejamento urbano e no ressarcimento de danos.** CENSIPAM, 2015. Disponível em: http://www.sipam.gov.br/mapas-de-risco-ajudam-no-planejamento-urbano-e-no-ressarcimento-de-danos. acesso em: 23 nov. 2019.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.

COBRADE - CLASSIFICAÇÃO E CODIFICAÇÃO BRASILEIRA DE DESASTRES. 2016. Disponivel em: https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2012/06/1.-Codifica%C3%A7%C3%A3o-e-

Classifica%C3%A7%C3%A3o-Brasileira-de-Desastres-COBRADE2.pdf. Acesso em: 2 ago. 2019.

COLLARES, E. G. **Avaliação de alterações em sistemas de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas**: aplicação na bacia hidrográfica do rio Capivarí - SP. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2000. Disponivel em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-25012001-115727/publico/Collares.pdf. Acesso em: 23 nov. 2020.

CORDEIRO, P. J.; BARBOSA, C. C. F.; GILBERTO, C. **Álgebra de Campos e Objetos**. INPE, 1 ago. 2007, p. 8-26. Disponível em: https://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap8-algebra.pdf. Acesso em: 10 dez. 2020.

CORRÊA, J. C. Características físicas de um latossolo amarelo muito argiloso (*typic acrorthox*) do estado do Amazonas, sob diferentes métodos de preparo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n. 20, v. 12, p. 1381 - 1387, 30 set. 1985. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/112372/1/16391-71342-1-SM.pdf. Acesso em: 4 nov. 2020.

COSTA, O.G.F.; VALVERDE, O. **Vista área de Porto Velho - RO**. Negativo 16552. Foto digitalizada em CD-ROM. Imagens de Rondônia, vol. 4. 1968. 1 fotografia. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=46110. Acesso em: 6 nov. 2020.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapas de áreas de risco em Rondônia. **Brasil Mineral**, 30 nov. 2017. Disponível em: https://www.brasilmineral.com.br/noticias/mapas-de-%C3%A1reas-de-risco-em-rond%C3%B4nia. Acesso em: 30 set. 2021.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundação**. Porto Velho: CPRM, 2015. 1 mapa, colorido. Escala 1:50.000.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Carta de Uso e Ocupação do Solo do Município de Porto Velho**.Porto Velho: CPRM, 2012. 1 mapa, colorido. Escala: 1: 100.000.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico do Município de Porto Velho**. Porto Velho: CPRM, 2012. 1 mapa, colorido. Escala: 1: 100.000.

CUNHA, J. P. A. R.; CASCÃO, V. N.; REIS, E. F. Compactação causada pelo tráfego de trator em diferentes manejos de solo. **Revista Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 371-375, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/asagr/v31n3/a01v31n3.pdf. Acesso em: 25 nov. 2020.

CUNHA, S. B. D. Geomorfologia Fluvial. *In*: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia:** Uma Atualização de Bases e Conceitos. 13. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 211-252.

DAS B. M.; SOBHAN, K. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica**. Tradução da 8 edição norte-americana. 8. ed. São Paulo: Gisela Alencar, 2014.

DESCHAMPS, M. V. **Vulnerabilidade socioambiental na Região Metropolitana de Curitiba/PR**. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. Disponível em: https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/531/Marley%20V.%20Deschamps.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Acesso em: 19 jan. 2021.

DIAS JUNIOR, M. S. Compactação do solo. *In*: NOVAIS, R. F.; ALVARES, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2000. p. 55-94.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária . **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 314 p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Súmula da 10. **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, RJ: 1979. 83p. (Embrapa-SNLCS. Micelânea, 1).

EMBRAPA. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas**. 1. ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 169 p. Disponivel em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/15292/manual-de-procedimentos-de-coleta-de-amostras-em-areas-agricolas-para-analise-da-qualidade-ambiental-solo-agua-e-sedimentos. Acesso em: 20 abr. 2018.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. Disponivel em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wtr.pdf. Acesso em: 20 abr. 2018.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Revista e ampliada. Brasília: Empaba, 2017. Disponivel em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1088695/1/Pt2Cap17RelacoesmoleculariesKieKr.pdf. Acesso em: 4 abr. 2018.

FERREIRA, A. B. H. **Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. São Paulo: Nova Fronteira, 1988.

FONSECA, E. L. **Avaliação do nível de degradação das pastagens cultivadas com Brachiaria brizantha cv. marandú na região de Ji-Paraná/RO.** Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário Luterano de Ji-Paraná, Ji-Paraná - RO, 2009.

FREITAS, P. L. Um simples teste de campo para a avaliação da capacidade de infiltração e comportamento hidrodinâmico de horizontes pedológicos superficiais**. ResearchGate**, 2014. Disponivel em: https://www.researchgate.net/publication/32976426_Um_simples_teste_de_avaliacao_da_capacidade_de_infiltracao_e_comportamento_hidrodinamico_de_horizontes_pedologicos_superficiais_Traducao_livre. Acesso em: 10 nov. 2019.

FUNPAR. **Diagnóstico Essencial para Aceleração do Território de Porto Velho, RO**. Agência de Desenvolvimento de Porto Velho e Fundação da Universidade Federal do Paraná - FUNPAR. Porto Velho, 2017.

GEREMIAS, M. L.; KAHN, H.; GOUVÊA, D. **Caracterização das Argilas da Bacia do Paraná, no Sul de Santa Catarina, para uso na Fabricação de Pisos Cerâmicos**. Relatório Técnico. São Paulo: EPUSP, 2003. 225 p.

GOMES, L. F. Há hierarquia entre as leis federais, estaduais, municipais e distritais? **Jusbrasil**, Notícias, 2010. Disponível em: https://lfg.jusbrasil.com.br/noticias/2543248/ha-hierarquia-entre-as-leis-federais-estaduais-municipais-e-distritais. Acesso em: 30 nov. 2019.

GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Interação entre disponibilidade de água e compactação do solo no crescimento e na produção de feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Brasil, v. 38, n. 3, p. 765-773, maio-jun. 2014. Disponível em: http://www.sbcs.org.br/wp-content/uploads/2014/07/V38N3a08.pdf. Acesso em: 3 nov. 2020.

GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos:** conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, v. 9, 2014. 340 p.

GUERRA, A. T. **Novo dicionário Geológico-geomorfológico**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 652 p.

GUIMARÃES, C. F. M. D.; PEJON, O. J. Aplicação do penetrômetro de impacto em estudos de processos erosivos na bacia do córrego da Barra em São Pedro - SP. *In*: Congresso Nacional de Geotecnia, 11., 2008, Coimbra. **Anais** [...]. Coimbra: [s.l.], 2008.

HERZOG, C. P. **Cidades para Todos:** (re) aprendendo a conviver com a natureza. 1. ed. Rio de Janeiro: Mauad X; Inverde, 2013. 312 p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e estados**. Porto Velho, IBGE, 2019. Disponivel em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ro/porto-velho.html. Acesso em: 26 out. de 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico De Geomorfologia***.* 2. ed. Rio de Janeiro, 2009.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. 2013.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mesorregiões, microrregiões e municípios de Rondônia.** IBGE, 2018. Disponivel em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv2269_2.pdf. Acesso em: 29 nov. 2019.

INMET- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Precipitação Total Anual**. INMET, 2019. Disponivel em: https://clima.inmet.gov.br/progp/0. Acesso em: 29 nov. 2019.

ISAAK, E.; SRIVASTAVA, R. **An introduction to applied geoestatistic**. New York: Oxford University Press, 1989.

KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P.**Pedologia:** fundamentos. 1. ed. Viçosa, MG: SBCS, 2012.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 7, jul. 2010.

LADEIRA, J. E. R. **Avaliação de segurança em barragem de terra, sob o cenário de erosão tubular:** o caso UHE-São Simão. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meo Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/FRPC-78HHUG. Acesso em: 11 dez. 2020.

LANDIM, P. M. B. **Análise Estatística de Dados Geológicos**. 2. ed. São Paulo: Unesp, 2003. 254 p.

LEAL, M. S.; TONELLO, K. C. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da microbacia do córrego Ipaneminha de baixo, Sorocaba, SP. **Floresta**, Curitiba, v. 46, n. 4, p. 439 - 446, out.- dez. 2016. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/45809/30143. Acesso em: 15 jan. 2021.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação do solo**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

MAGALHÃES, S. F. **Ruptura e contiguidade, a cidade na incerteza.** Tese (Doutorado em Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: https://www.if.ufrj.br/~coelho/ruptura_e_contiguidade.pdf. Acesso em: 9 jan. 2021.

MANCUSO, M. A.; FLORES, B. A.; ROSA, M.G.,da; SCHROEDER, J. K.; PRETTO, R. P. Características da taxa de infiltração e densidade do solo em distintos tipos de cobertura de. **Revista Monografias Ambientais - REMOA**, Santa Maria, v. 14, n.1, p. 2890 - 2998, fev. 2014. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/10932/pdf. Acesso em: 17 dez. 2020.

MANTIS, A. B.; VAZ, J. A. Mapeamento de Áreas de Risco de Alagamento do Município de Guarujá - SP Utilizando Método de Análise Hierárquica.*In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais** [...]. Santos, 2019, p. 320-323. Disponível em: https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/mapeamento-de-areas-de-risco-de-alagamento-do-municipio-de-guaruja-----sp-utilizando-metodo-de-analise-hierarquica. Acesso em: 16 dez. 2020.

MARCONDES, M. J. A. **Cidade e natureza:** proteção dos mananciais e exclusão social. 1. ed. São Paulo: EDUSP, 1999.

MAUS, V. W.; RIGHES, A. A.; BURIOL, G. A. Pavimento permeável e Escoamento Superficial da água em áreas urbanas. *In*: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE E CENTRO-OESTE, 1., 2007, Cuiabá. **Anais** [...]. Cuiabá, 2007.

MOURA, T. C. C.; SANTOS, C. J. F. dos; FILHO, D. S. S.; LUNA, V. T. F.; NOTARO, K. A. A interação drenagem urbana com o solo. *In*: WORKSHOP DE MUDANÇAS CLIMÁTIAS E RECURSOS HIDRÍCOS DO ESTADO DE PERNAMBUCO, 9.; WORKSHOP INTERNACIONAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E BIODIVERSIDADE, 7., 2019, Recife. **Anais** [...] Recife: UFPE; UFRPE, 2019. p. 6-15.

NASCIMENTO, C. P.; SANTOS, C.; SILVA, M. Porto Velho: a produção do espaço urbano de Rondônia (1980-2010). **Geografar: Revista Eletrônica do Programa de Pós-Gradução em Geografia - UFPR**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 20-52, jun. 2012. Disponivel em: http://revistas.ufpr.br/geografar/article/view/22447. Acesso em: 27 nov. 2019.

CORADO NETO, F. D. C. et al. Variabilidade espacial da resistência à penetração em Neossolo Litólico degradado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 1353-1361, 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v39n5/0100-0683-rbcs-39-5-1353.pdf. Acesso em: 11 dez. 2020.

NUCCI, J. C.; PRESOTTO, A. Planejamento dos espaços livres localizados nas zonas urbanas. *In*: SANTOS, D.G.; NUCCI, J.C.(Eds.). **Paisagens Geográficas:** Um tributo a Felisberto. Campo Mourão: Editora da FECILCAM, 2009. p. 78-102.

NUNES, E. D.; ROSA, L. E. Compactação e impermeabilização do solo e implicações nos canais fluviais urbanos. **Mercartor**, Fortaleza, v. 19, e19023, dez. 2020. Disponivel em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1984-22012020000100223&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 20 dez. 2020.

O ECO. **O que é uma Área de Preservação Permanente**. Dicionário Ambiental, O ECO, ago. 2013. Disponivel em: https://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/27468-o-que-e-uma-area-de-preservacao-permanente/. Acesso em: 30 nov. 2019.

PAIVA, C. D. S.; LIMA, M. A. A.,de.; FERREIRA, M. G. V. X.; FERREIRA, S. R. M,de. Propriedades geotécnicas de um solo expansivo tratado com cal. **Matéria**, Rio de Janeiro, v. 21, n. 2, p. 437-449, abr.-jun. 2016. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-

70762016000200437#:~:text=A%20estabiliza%C3%A7%C3%A3o%20da%20argila%20expansiva,podem%20ser%20mec%C3%A2nicas%20ou%20qu%C3%ADmicas.&text=Os%20resultados%20indicam%20que%20o,principalmente%20as%2. Acesso em: 21 nov. 2020.

PALMIERI, E.; LARACH, J. O. I. L. Pedologia e Geomorfologia. *In*: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. D (Orgs.). **Geomorgologia e meio ambiente**. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2016. p. 59-122.

PEDRON, F. D. A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C., de.; KAMINSKI, J. Solos Urbanos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1647-1653, set.-out. 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/cr/v34n5/a53v34n5. Acesso em: 14 dez. 2020.

PEREIRA, G. E. D. S.; LOCATELLI, M.; DE SOUZA, R. C. Centro Científico Conhecer. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 13, n. 23, p. 1569, 2016.

PINHEIRO, A. Enchente e Inundação. *In*: [AUTOR] AMBIENTE, M. D. M. **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 2007. p. 95-106.

PINTO, C. D. S. **Curso Básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

POTT, C. A.; DE MARIA, I. C. Comparação de métodos de campo para determinação da velocidade de infiltração básica. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 19 - 27, 2003. Disponivel em: https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n1/v27n1a03.pdf. Acesso em: 07 jan. 2021.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: Departamento de Solos, UFSM, v. 18, 2006. 18 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/337498761_Reinert_Reichert_-_Propriedades_fisicas_do_solo. Acesso em: 20 nov. 2020.

ROMERO, M. A. B. et al. **Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas. Universidade de Brasília, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo**. 1. ed. Brasília: ETB, 2019. 151 p.

RONDÔNIA. Decreto n. 5124/91, Declara como área de proteçõ especial do Governo de Rondônia, o trecho do Riom Madeira, compreendido o montante das corredeiras do Santo Antônio até abaixo do Igarapé Belmont, e dá outras providências. ***Casa Civil.*** Porto Velho, RO, 6 de junho de 1991.

RONDÔNIA. **Diagnóstico Sócio Econômico - Ecológico d Estado de Rondônia, Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico de Rondônia- ZSEE-RO**. Porto Velho: Governo do Estado de Rondônia, v. 1-16, 2000.

RONDÔNIA. **Zoneamento Socioeconômico Ecológico de Rondônia**. SIAGEO Amazônia, 2009. Disponivel em: http://www.amazonia.cnptia.embrapa.br/publicacoes_estados/Rondonia/ZEE_Rondonia.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.

RONDONIAGORA. Lixo e entulho provocam alagamento no Lagoinha durante forte chuva em Porto Velho. **Rondoniagora**, 4 jan. 2018. Disponivel em: https://www.rondoniagora.com/geral/lixo-e-entulho-provocam-alagamento-no-lagoinha-durante-forte-chuva-em-porto-velho. Acesso em: 20 nov. 2019.

ROOSE, E.; BLANCANEAUX, P.; FREITAS, P. L. D. Un simple test de terrain pour évaluer la capacité d'infiltration et le comportement hydrodynamique des horizons pédologiques superficiels: méthode et exemples. **Cahiers Orstom, Série Pédologie (Spécial érosion:réhabilitation des sols)**, Paris, v. XXVIII, n. 2, p. 413-419, 1993.

SAATY, T. L. A scaling method form priority in hierarquical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 3, n. v.15, p. 234-281, 1977. Disponivel em: https://doi.org/10.1016/0022- 2496(77)90033-5. Acesso em: 13 fev. 2021.

SAATY, T. L. **Método de análise hierárquica**. São Paulo: McGraw-Hill Publisher, 1991. 367 p.

SANTO ANTÔNIO ENERGIA. 100 anos de Porto Velho. **Santo Antônio Energia**, 2019. Disponivel em: http://www.santoantonioenergia.com.br/wp-content/uploads/2014/10/cartilha_100anos_ok_visual.pdf. Acesso em: 27 nov. 2019.

SANTOS, A. R. D. **Enchentes e alagamentos:** causas e soluções. São Paulo: Pini, 2012.

SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; EUGENIO, F. C. **ArcGIS 9.3 total:** aplicações para dados especiais. 2010, 180 p. Disponivel em: http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_ArcGIS%209.3_Aplicacoes_para_dados_espaciais/Livro_arcgis93_Total.pdf. Acesso em: 13 fev. 2021.

SANTOS, C. L. D. **Análise da suscetibilidade a ocorrência de enchentes e inundações na bacia do rio Jaguaribe – João Pessoa/PB.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2016. Disponível em: https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/18687. Acesso em: 05 fev. 2021.

SCHUELLER, T. The compaction of urban soils. Technical note n° 107. 3, 2. **Watershed Protectiona Techniques**, p. 661-665, 2000. Disponivel em: http://www.stormwatercenter.net/Practice/36. Acesso em: 20 out. 2019.

SILVA FILHO, E. P. D. **Compactação dos Solos*.*** Mestrado em Geografia da Universidade Federal de Rondônia - UNIR. Notas de aula. Porto Velho. 2017. 7 p.

SILVA, A. P. **Relações massa/volume.** Atributos físicos e químicos do solo. Aula 7. 2019. Disponível em: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/AULA%207_RELA%C3%87%C3%95ES_MASSA_VOLUME.pdf. Acesso em: 3 nov. 2020.

SILVA, D. M. R. **Aplicação do Método AHP para avaliação de projetos industriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial)-Pontifícia

Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/10385/10385_1.PDF. Acesso em: 13 fev. 2021.

SILVA, L. B. **Relações entre aporte de Serrapilheira, Nutrientes e Efluxo de Dióxido de Carbono em Floresta Inundável de *Vochysia divergens* Pohl no Pantanal Mato-Grossense**. Tese (Doutorado em física ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013.

SILVA, S. M. D. A. Resistência mecânica do solo à penetração associado à umidade, densidade, Granulometria e Macronutrientes em Ji-Paraná-RO. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 5629-5647, jan. 2021. Disponível em: https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/23214. Acesso em: 10 fev. 2021.

SOARES, A. **Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente**. Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, p. 214, 2006.

SOUZA, Z. M. D.; ALVES, M. C. Movimento de água a resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18-23, 2003. Disponível em: https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v7n1/v7n1a04.pdf. Acesso em: 11 fev. 2020.

STOLF, R.; FAGANELLO, B. F. **Utilização do penetrometro de impactoIAA/PLANALSUCAR – STOLF, na recomendação do preparo do solo na Usina Nossa Senhora Aparecida, (Pontal S. Paulo)**. STAB, Piracicaba, n. 1, v.6, p. 11-23, 1983. Disponível em: http://www.servidores.ufscar.br/hprubismar/hprubismar_ARTIGOS/25._Utilizacao_do_penetrometro_de_impacto_modelo_.STOLF,_na_recomendacao_do_preparo_do_solo.pdf. Acesso em: 15 abr. 2018.

STOLF, R.; FERNADES, J.; FURLANI NETO, V. L. **Penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf**. 3. ed. Piracicaba: STAB, v. 1, 18-23, 1983.

STOLF, R.; MURAKAMI, J. H.; BRUGANRO, C.; SILVA, L. G.; SILVA, L. C. F.; MARGARIDO, L. A. C. Penetrômetro de impacto modelo – programa computacional de dados em EXCEL-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 38, p. 774-782, 2014. Download do aplicativo: http://www.servidores.ufscar.br/hprubismar/hprubismar_ARTIGOS/100._Penetrometro(Stolf,R).xls. Acesso em: 20 abr. 2020.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmula de transformação dos dados depenetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 229-235, set.-dez. 1991.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia Vegetal.** Los Angeles: Artmed, 2006.

TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Applications of geoestatistics to spatialstudies of soil proprieties. **Advances in Agronomy**, Kent, v. 38, p. 45-94, 1985.

TREVIZANO, W. A.; FREITAS, A. L. P. Emprego do Método da Análise Hierárquica (A.H.P.) na seleção de Processadores. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 25., 2005, Porto Alegre. **Anais** [...]. Porto Alegre: ABEPRO, Porto Alegre, 2005. Disponível em: http://www2.ic.uff.br/~emitacc/AMD/Artigo%2015.pdf. Acesso em: 11 mar. 2020.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n., 63, p. 97-112, 2008. Disponível em: https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10295/11943. Acesso em: 7 dez. 2020.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. *In*: [AUTOR]. **Rega/Global Water Partnership South America.** v. 1, n. 1, jan.-jun. 2004. Santiago: GWP/South America, 2004.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades, Global Water Partnership, World Bank, Unesco 2005.

TUCCI, E. M. C. **Hidrologia ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ABRH, 2013.

TUCCI, C. E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Príncípio e Concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997. Disponível em: http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/12/plano-diretor-drenagem-urbana.pdf. Acesso em: 17 fev. 2020.

UFES – UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO. **Apostila de ArcGIS**. Laboratório de Topografia e Cartografia Universidade Federal do Espírito Santo. 4 nov. 2009, 159 p. Disponível em: http://www.geolab.faed.udesc.br/sites_disciplinas/SIG/Apostilas/Apostila-ArcGIS-(Geodatabase).pdf. Acesso em: 26 set. 2020.

USP - Edisciplinas. **Apostila de física do solo (LSN-310)**. USP, 2017. Disponívem em: https://edisciplinas.usp.br/course/view.php?id=38630. Acesso em: 16 nov. 2020.

VEIGA, A. J. P.; VEIGA, D. A. M.; MATTA, J. M. B. D. Vazios urbanos e sustentabilidade. *In*: SEMANA DA GEOGRAFIA DA UEBS, 10., 2011, Bahia. **Anais** [...]. Bahia: UEBS, Bahia, 2011. Disponível em: http://www.uesb.br/eventos/ebg/?pagina=anais. Acesso em: 1 nov. 2020.

VEYRET, Y.; RICHEMOND, N. M. D. **O risco, os riscos**. Tradução de Dilson Ferreira da CRUZ. 1. ed. São Paulo: Contexto, 2007. 316 p.

WANI, M. B.; ALI, S. A.; ALI, U. Flood Assessment of Lolab Valley from Watershed Characterization Using Remote Sensing and GIS Techniques. **Modeling, Water Science and Technology Hydrologic**, Singapore, p. 367-390, 2018.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística**: Conceitos e Aplicações. 1.ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2013.

ZUFFO, A. C. **Vulnerabilidade Ambiental. Desastres natural ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 192 p.

APÊNDICE A - Dados coletados em campo - Resistência Mecânica à Penetração (RMP) do Solo

PONTO 1		PONTO 2		PONTO 3		PONTO 4		PONTO 5		PONTO 6	
GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)	GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)	GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)	GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)	GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)	GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)
0	1,7	0	0	0	1,1	0	0	0	22	0	5,5
1	6,8	1	9	1	7	1	5	1	30,5	1	12
2	9,4	2	32	2	14,7	2	9	2	37	2	17,8
3	15,3	3	34,9	3	20,8	3	13,3	3	42	3	24,3
4	20,6	4	36,6	4	36,4	4	24,8			4	27
5	27,8	5	39,9	5	43,2	5	30,5			5	32,5
6	36	6	41			6	36,9			6	42
7	53 até 67 só com o peso					7	42,3				
PONTO 7		**PONTO 8**		**PONTO 9**		**PONTO 10**		**PONTO 11**		**PONTO 12**	
GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)	GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)	GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)	GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)	GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)	GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)
0	0	0	18	0	8	0	2,2	1	0	1	0,5
1	3	1	24,6	1	16,7	1	15	2	10	2	6
2	12,9	2	29	2	24,9	2	19,8	3	18,3	3	10,5
3	22,8	3	37	3	32,5	3	24,5	4	55,5	4	13,4
4	30,2	4	44,7	4	39	4	29,5			5	16,3
5	35,5			5	44,1	5	32,6			6	19,8
6	46,5						36				23,3
							40,2				27,4
											31,9
											35,6
											39,7
											44,1
PONTO 13		**PONTO 14**		**PONTO 15**		**PONTO 16**		**PONTO 17**		**PONTO 18**	
GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)	GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)	GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)	GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)	GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)	GOLPE	PROFUNDIDADE (CM)
0	11,5	0	3	0	9,4	0	6	0	1	0	0,5
1	29,5	1	16,7	1	14,9	1	10,5	1	15,4	1	8,9
2	38,5	2	23,6	2	19,3	2	17,8	2	33,2	2	16,9
3	45 até 50 (só com o peso)	3	31,3	3	23,5	3	22,4	3	40,7	3	22,8
		4	39,2	4	28	4	26,9			4	34
		5	49,5	5	32,1	5	31			0	37,8
				6	36,4	6	34,6			5	41,5
				7	39,6	7	38				
				8	42,5	8	42				

Fonte: Autor (2019)

APÊNDICE B – Dados coletados em campo – Capacidade de infiltração pelo método do Infiltrômetro de Cilindro Único – ICU

PONTO		P-01						
LEITURA	**LÂMINA (mm)**	**(Δt) LÂMINA**	**TEMPO**	**T ACUM.**	**Tempo Decimal**	**(Δt) min.**	**Taxa ($mm.min^{-1}$)**	**Taxa ($mm.h^{-1}$)**
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	5,00	5,00	15:00	15:00	15,00	15,00	0,33	20,00
3	8,32	3,32	10:00	25:00	25,00	10,00	0,33	19,92
LÂMINA TOTAL								8,32
TEMPO TOTAL (2 LÂMINAS)								25,00
INFILTRAÇÃO MÉDIA								19,97
INFILTRAÇÃO FINAL								19,97
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								2,49
PONTO		**P-02**						
LEITURA	**LÂMINA (mm)**	**(Δt) LÂMINA**	**TEMPO**	**T ACUM.**	**Tempo Decimal**	**(Δt) min.**	**Taxa ($mm.min^{-1}$)**	**Taxa ($mm.h^{-1}$)**
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	5,00	5,00	00:11	00:11	0,18	0,18	27,27	1636,36
3	10,00	5,00	00:12	00:23	0,38	0,20	25,00	1500,00
4	15,00	5,00	00:12	00:35	0,58	0,20	25,00	1500,00
5	20,00	5,00	00:16	00:51	0,85	0,27	18,75	1125,00
6	25,00	5,00	00:23	01:14	1,23	0,38	13,04	782,61
7	30,00	5,00	00:29	01:43	1,72	0,48	10,34	620,69
8	35,00	5,00	00:20	02:03	2,05	0,33	15,00	900,00
9	40,00	5,00	00:28	02:31	2,52	0,47	10,71	642,86
10	45,00	5,00	00:21	02:52	2,87	0,35	14,29	857,14
11	50,00	5,00	00:22	03:14	3,23	0,37	13,64	818,18
13	55,00	5,00	00:46	04:00	4,00	0,77	6,52	391,30
14	60,00	5,00	00:09	04:09	4,15	0,15	33,33	2000,00
15	65,00	5,00	00:33	04:42	4,70	0,55	9,09	545,45
16	70,00	5,00	00:34	05:16	5,27	0,57	8,82	529,41
17	75,00	5,00	00:24	05:40	5,67	0,40	12,50	750,00
18	80,00	5,00	00:34	06:14	6,23	0,57	8,82	529,41
19	85,00	5,00	00:24	06:38	6,63	0,40	12,50	750,00
20	90,00	5,00	00:43	07:21	7,35	0,72	6,98	418,60
21	95,00	5,00	00:28	07:49	7,82	0,47	10,71	642,86
22	100,00	5,00	00:19	08:08	8,13	0,32	15,79	947,37
24	105,00	5,00	00:35	08:43	8,72	0,58	8,57	514,29
25	110,00	5,00	00:23	09:06	9,10	0,38	13,04	782,61
26	115,00	5,00	00:45	09:51	9,85	0,75	6,67	400,00
27	120,00	5,00	00:33	10:24	10,40	0,55	9,09	545,45
28	125,00	5,00	00:27	10:51	10,85	0,45	11,11	666,67
29	130,00	5,00	00:33	11:24	11,40	0,55	9,09	545,45
30	135,00	5,00	00:35	11:59	11,98	0,58	8,57	514,29
31	140,00	5,00	00:36	12:35	12,58	0,60	8,33	500,00
32	145,00	5,00	00:38	13:13	13,22	0,63	7,89	473,68
33	150,00	5,00	00:37	13:50	13,83	0,62	8,11	486,49
34	155,00	5,00	00:39	14:29	14,48	0,65	7,69	461,54
35	160,00	5,00	00:42	15:11	15,18	0,70	7,14	428,57
36	165,00	5,00	00:41	15:52	15,87	0,68	7,32	439,02
37	170,00	5,00	00:45	16:37	16,62	0,75	6,67	400,00
38	175,00	5,00	00:47	17:24	17,40	0,78	6,38	382,98
39	180,00	5,00	00:50	18:14	18,23	0,83	6,00	360,00
40	185,00	5,00	00:53	19:07	19,12	0,88	5,66	339,62
41	190,00	5,00	00:56	20:03	20,05	0,93	5,36	321,43
42	195,00	5,00	00:59	21:02	21,03	0,98	5,08	305,08
43	200,00	5,00	01:02	22:04	22,07	1,03	4,84	290,32
44	205,00	5,00	01:05	23:09	23,15	1,08	4,62	276,92
45	210,00	5,00	01:08	24:17	24,28	1,13	4,41	264,71
46	215,00	5,00	01:11	25:28	25,47	1,18	4,23	253,52
LÂMINA TOTAL								215,00
TEMPO TOTAL (LÂMINAS)								25,47
INFILTRAÇÃO MÉDIA								506,54
INFILTRAÇÃO FINAL								85,00
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								10,61

Fonte: Autor (2019)

APÊNDICE B – Dados coletados em campo – Capacidade de infiltração pelo método do Infiltrômetro de Cilindro Único – ICU (Continuação)

PONTO		P-03						
LEITURA	LÂMINA (mm)	(Δt) LÂMINA	TEMPO	T ACUM.	Tempo Decimal	(Δt) min.	Taxa ($mm.min^{-1}$)	Taxa ($mm.h^{-1}$)
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	50,00	50,00	01:28	01:28	1,47	1,47	34,09	2045,45
3	100,00	50,00	01:59	03:27	3,45	1,98	25,21	1512,61
4	150,00	50,00	02:06	05:33	5,55	2,10	23,81	1428,57
5	200,00	50,00	02:12	07:45	7,75	2,20	22,73	1363,64
6	250,00	50,00	02:13	09:58	9,97	2,22	22,56	1353,38
7	300,00	50,00	02:22	12:20	12,33	2,37	21,13	1267,61
8	350,00	50,00	02:25	14:45	14,75	2,42	20,69	1241,38
9	400,00	50,00	02:30	17:15	17,25	2,50	20,00	1200,00
10	450,00	50,00	02:37	19:52	19,87	2,62	19,11	1146,50
11	500,00	50,00	02:43	22:35	22,58	2,72	18,40	1104,29
12	550,00	50,00	02:53	25:28	25,47	2,88	17,34	1040,46
LÂMINA TOTAL								550,00
TEMPO TOTAL (LÂMINAS)								25,47
INFILTRAÇÃO MÉDIA								1295,81
INFILTRAÇÃO FINAL								250,00
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								31,22
PONTO		I-04						
LEITURA	LÂMINA (mm)	(Δt) LÂMINA	TEMPO	T ACUM.	Tempo Decimal	(Δt) min.	Taxa ($mm.min^{-1}$)	Taxa ($mm.h^{-1}$)
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	5,00	5,00	00:25	00:25	0,42	0,42	12,00	720,00
3	10,00	5,00	00:33	00:58	0,97	0,55	9,09	545,45
4	15,00	5,00	00:33	01:31	1,52	0,55	9,09	545,45
5	20,00	5,00	00:34	02:05	2,08	0,57	8,82	529,41
6	25,00	5,00	00:40	02:45	2,75	0,67	7,50	450,00
7	30,00	5,00	00:39	03:24	3,40	0,65	7,69	461,54
8	35,00	5,00	00:46	04:10	4,17	0,77	6,52	391,30
9	40,00	5,00	00:48	04:58	4,97	0,80	6,25	375,00
10	45,00	5,00	00:55	05:53	5,88	0,92	5,45	327,27
11	50,00	5,00	00:56	06:49	6,82	0,93	5,36	321,43
12	55,00	5,00	01:08	07:57	7,95	1,13	4,41	264,71
13	60,00	5,00	01:11	09:08	9,13	1,18	4,23	253,52
14	65,00	5,00	01:18	10:26	10,43	1,30	3,85	230,77
15	70,00	5,00	01:22	11:48	11,80	1,37	3,66	219,51
16	75,00	5,00	01:30	13:18	13,30	1,50	3,33	200,00
17	80,00	5,00	01:37	14:55	14,92	1,62	3,09	185,57
18	85,00	5,00	01:39	16:34	16,57	1,65	3,03	181,82
19	90,00	5,00	01:45	18:19	18,32	1,75	2,86	171,43
20	95,00	5,00	01:53	20:12	20,20	1,88	2,65	159,29
21	100,00	5,00	01:55	22:07	22,12	1,92	2,61	156,52
22	105,00	5,00	02:03	24:10	24,17	2,05	2,44	146,34
23	110,00	5,00	02:05	26:15	26,25	2,08	2,40	144,00
LÂMINA TOTAL								110,00
TEMPO TOTAL (LÂMINAS)								26,25
INFILTRAÇÃO MÉDIA								251,43
INFILTRAÇÃO FINAL								35,00
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								4,37

Fonte: Autor (2019)

APÊNDICE B – Dados coletados em campo – Capacidade de infiltração pelo método do Infiltrômetro de Cilindro Único – ICU (Continuação)

PONTO		P-05						
LEITURA	LÂMINA (mm)	(Δt) LÂMINA	TEMPO	T ACUM.	Tempo Decimal	(Δt) min.	Taxa ($mm.min^{-1}$)	Taxa ($mm.h^{-1}$)
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	5,00	5,00	03:45	03:45	3,75	3,75	1,33	80,00
3	10,00	5,00	04:15	08:00	8,00	4,25	1,18	70,59
4	15,00	5,00	04:01	12:01	12,02	4,02	1,24	74,69
5	20,00	5,00	03:21	15:22	15,37	3,35	1,49	89,55
6	25,00	5,00	04:00	19:22	19,37	4,00	1,25	75,00
7	30,00	5,00	04:22	23:44	23,73	4,37	1,15	68,70
8	35,00	5,00	04:14	27:58	27,97	4,23	1,18	70,87
9	40,00	5,00	04:06	32:04	32,07	4,10	1,22	73,17
LÂMINA TOTAL								40,00
TEMPO TOTAL (LÂMINAS)								32,07
INFILTRAÇÃO MÉDIA								74,84
INFILTRAÇÃO FINAL								15,00
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								1,87
PONTO		**P-06**						
LEITURA	**LÂMINA (mm)**	**(Δt) LÂMINA**	**TEMPO**	**T ACUM.**	**Tempo Decimal**	**(Δt) min.**	**Taxa ($mm.min^{-1}$)**	**Taxa ($mm.h^{-1}$)**
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	5,00	5,00	07:41	07:41	7,68	7,68	0,65	39,05
3	10,00	5,00	08:15	15:56	15,93	8,25	0,61	36,36
4	15,00	5,00	08:00	23:56	23,93	8,00	0,63	37,50
5	20,00	5,00	06:02	29:58	29,97	6,03	0,83	49,72
LÂMINA TOTAL								20,00
TEMPO TOTAL (LÂMINAS)								29,97
INFILTRAÇÃO MÉDIA								40,04
INFILTRAÇÃO FINAL								15,00
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								1,87
PONTO		**P-07**						
LEITURA	**LÂMINA (mm)**	**(Δt) LÂMINA**	**TEMPO**	**T ACUM.**	**Tempo Decimal**	**(Δt) min.**	**Taxa ($mm.min^{-1}$)**	**Taxa ($mm.h^{-1}$)**
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	5,00	5,00	15:00	15:00	15,00	15,00	0,33	20,00
3	8,32	3,32	10:00	25:00	25,00	10,00	0,33	19,92
LÂMINA TOTAL								8,32
TEMPO TOTAL (2 LÂMINAS)								25,00
INFILTRAÇÃO MÉDIA								19,97
INFILTRAÇÃO FINAL								19,97
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								2,49
PONTO		**P-08**						
LEITURA	**LÂMINA (mm)**	**(Δt) LÂMINA**	**TEMPO**	**T ACUM.**	**Tempo Decimal**	**(Δt) min.**	**Taxa ($mm.min^{-1}$)**	**Taxa ($mm.h^{-1}$)**
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	5,00	5,00	15:00	15:00	15,00	15,00	0,33	20,00
3	8,32	3,32	10:00	25:00	25,00	10,00	0,33	19,92
LÂMINA TOTAL								8,32
TEMPO TOTAL (2 LÂMINAS)								25,00
INFILTRAÇÃO MÉDIA								19,97
INFILTRAÇÃO FINAL								19,97
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								2,49

Fonte: Autor (2019)

APÊNDICE B – Dados coletados em campo – Capacidade de infiltração pelo método do Infiltrômetro de Cilindro Único – ICU (Continuação)

PONTO		P-09						
LEITURA	LÂMINA (mm)	(Δt) LÂMINA	TEMPO	T ACUM.	Tempo Decimal	(Δt) min.	Taxa ($mm.min^{-1}$)	Taxa ($mm.h^{-1}$)
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	5,00	5,00	15:00	15:00	15,00	15,00	0,33	20,00
3	8,32	3,32	10:00	25:00	25,00	10,00	0,33	19,92
LÂMINA TOTAL								8,32
TEMPO TOTAL (2 LÂMINAS)								25,00
INFILTRAÇÃO MÉDIA								19,97
INFILTRAÇÃO FINAL								19,97
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								2,49
PONTO		P-10						
LEITURA	LÂMINA (mm)	(Δt) LÂMINA	TEMPO	T ACUM.	Tempo Decimal	(Δt) min.	Taxa ($mm.min^{-1}$)	Taxa ($mm.h^{-1}$)
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	5,00	5,00	00:23	00:23	0,38	0,38	13,04	782,61
3	10,00	5,00	00:21	00:44	0,73	0,35	14,29	857,14
4	15,00	5,00	00:25	01:09	1,15	0,42	12,00	720,00
5	20,00	5,00	00:41	01:50	1,83	0,68	7,32	439,02
6	25,00	5,00	00:50	02:40	2,67	0,83	6,00	360,00
7	30,00	5,00	00:42	03:22	3,37	0,70	7,14	428,57
8	35,00	5,00	00:41	04:03	4,05	0,68	7,32	439,02
9	40,00	5,00	00:42	04:45	4,75	0,70	7,14	428,57
10	45,00	5,00	00:42	05:27	5,45	0,70	7,14	428,57
11	50,00	5,00	00:57	06:24	6,40	0,95	5,26	315,79
13	55,00	5,00	01:04	07:28	7,47	1,07	4,69	281,25
14	60,00	5,00	00:47	08:15	8,25	0,78	6,38	382,98
15	65,00	5,00	00:41	08:56	8,93	0,68	7,32	439,02
16	70,00	5,00	00:55	09:51	9,85	0,92	5,45	327,27
17	75,00	5,00	00:48	10:39	10,65	0,80	6,25	375,00
18	80,00	5,00	01:05	11:44	11,73	1,08	4,62	276,92
19	85,00	5,00	00:59	12:43	12,72	0,98	5,08	305,08
20	90,00	5,00	00:59	13:42	13,70	0,98	5,08	305,08
21	95,00	5,00	01:07	14:49	14,82	1,12	4,48	268,66
22	100,00	5,00	01:01	15:50	15,83	1,02	4,92	295,08
24	105,00	5,00	01:02	16:52	16,87	1,03	4,84	290,32
25	110,00	5,00	00:42	17:34	17,57	0,70	7,14	428,57
26	115,00	5,00	00:33	18:07	18,12	0,55	9,09	545,45
27	120,00	5,00	00:55	19:02	19,03	0,92	5,45	327,27
28	125,00	5,00	00:52	19:54	19,90	0,87	5,77	346,15
29	130,00	5,00	00:58	20:52	20,87	0,97	5,17	310,34
30	135,00	5,00	00:59	21:51	21,85	0,98	5,08	305,08
31	140,00	5,00	01:01	22:52	22,87	1,02	4,92	295,08
32	145,00	5,00	00:59	23:51	23,85	0,98	5,08	305,08
33	150,00	5,00	00:41	24:32	24,53	0,68	7,32	439,02
35	152,20	2,20	00:28	25:00	25,00	0,47	4,71	282,86
LÂMINA TOTAL								152,20
TEMPO TOTAL (2 LÂMINAS)								25,00
INFILTRAÇÃO MÉDIA								365,28
INFILTRAÇÃO FINAL								20,00
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								2,50
PONTO		P-11						
LEITURA	LÂMINA (mm)	(Δt) LÂMINA	TEMPO	T ACUM.	Tempo Decimal	(Δt) min.	Taxa ($mm.min^{-1}$)	Taxa ($mm.h^{-1}$)
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	0,10	0,10	15:00	15:00	15,00	15,00	0,01	0,40
3	0,17	0,07	10:00	25:00	25,00	10,00	0,01	0,40
LÂMINA TOTAL								0,17
TEMPO TOTAL (LÂMINAS)								25,00
INFILTRAÇÃO MÉDIA								0,40
INFILTRAÇÃO FINAL								0,40
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								0,05

Fonte: Autor (2019)

APÊNDICE B – Dados coletados em campo – Capacidade de infiltração pelo método do Infiltrômetro de Cilindro Único – ICU (Continuação)

PONTO		P-12						
LEITURA	LÂMINA (mm)	(Δt) LÂMINA	TEMPO	T ACUM.	Tempo Decimal	(Δt) min.	Taxa ($mm.min^{-1}$)	Taxa ($mm.h^{-1}$)
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	5,00	5,00	15:00	15:00	15,00	15,00	0,33	20,00
3	8,32	3,32	10:00	25:00	25,00	10,00	0,33	19,92
LÂMINA TOTAL								8,32
TEMPO TOTAL (LÂMINAS)								25,00
INFILTRAÇÃO MÉDIA								19,97
INFILTRAÇÃO FINAL								19,97
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								2,49
PONTO		P-13						
LEITURA	LÂMINA (mm)	(Δt) LÂMINA	TEMPO	T ACUM.	Tempo Decimal	(Δt) min.	Taxa ($mm.min^{-1}$)	Taxa ($mm.h^{-1}$)
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	5,00	5,00	01:10	01:10	1,17	1,17	4,29	257,14
3	10,00	5,00	01:30	02:40	2,67	1,50	3,33	200,00
4	15,00	5,00	00:49	03:29	3,48	0,82	6,12	367,35
5	20,00	5,00	01:02	04:31	4,52	1,03	4,84	290,32
6	25,00	5,00	00:45	05:16	5,27	0,75	6,67	400,00
7	30,00	5,00	01:31	06:47	6,78	1,52	3,30	197,80
8	35,00	5,00	01:07	07:54	7,90	1,12	4,48	268,66
9	40,00	5,00	01:17	09:11	9,18	1,28	3,90	233,77
10	45,00	5,00	01:22	10:33	10,55	1,37	3,66	219,51
11	50,00	5,00	01:40	12:13	12,22	1,67	3,00	180,00
13	55,00	5,00	01:03	13:16	13,27	1,05	4,76	285,71
14	60,00	5,00	01:20	14:36	14,60	1,33	3,75	225,00
15	65,00	5,00	01:07	15:43	15,72	1,12	4,48	268,66
16	70,00	5,00	01:12	16:55	16,92	1,20	4,17	250,00
17	75,00	5,00	01:01	17:56	17,93	1,02	4,92	295,08
18	80,00	5,00	01:12	19:08	19,13	1,20	4,17	250,00
19	85,00	5,00	01:06	20:14	20,23	1,10	4,55	272,73
20	90,00	5,00	01:15	21:29	21,48	1,25	4,00	240,00
21	95,00	5,00	01:16	22:45	22,75	1,27	3,95	236,84
22	100,00	5,00	01:16	24:01	24,02	1,27	3,95	236,84
22	105,00	5,00	01:15	25:16	25,27	1,25	4,00	240,00
LÂMINA TOTAL								105,00
TEMPO TOTAL (LÂMINAS)								25,27
INFILTRAÇÃO MÉDIA								249,34
INFILTRAÇÃO FINAL								25,00
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								3,12
PONTO		P-14						
LEITURA	LÂMINA (mm)	(Δt) LÂMINA	TEMPO	T ACUM.	Tempo Decimal	(Δt) min.	Taxa ($mm.min^{-1}$)	Taxa ($mm.h^{-1}$)
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	3,00	3,00	15:00	15:00	15,00	15,00	0,20	12,00
3	4,80	1,80	10:00	25:00	25,00	10,00	0,18	10,80
LÂMINA TOTAL								4,80
TEMPO TOTAL (LÂMINAS)								25,00
INFILTRAÇÃO MÉDIA								11,52
INFILTRAÇÃO FINAL								11,52
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								1,44

Fonte: Autor (2019)

APÊNDICE B – Dados coletados em campo – Capacidade de infiltração pelo método do Infiltrômetro de Cilindro Único – ICU (Continuação)

PONTO		P-15						
LEITURA	LÂMINA (mm)	(Δt) LÂMINA	TEMPO	T ACUM.	Tempo Decimal	(Δt) min.	Taxa ($mm.min^{-1}$)	Taxa ($mm.h^{-1}$)
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	5,00	5,00	00:32	00:32	0,53	0,53	9,38	562,50
3	10,00	5,00	00:58	01:30	1,50	0,97	5,17	310,34
4	15,00	5,00	02:06	03:36	3,60	2,10	2,38	142,86
5	20,00	5,00	01:24	05:00	5,00	1,40	3,57	214,29
6	25,00	5,00	02:12	07:12	7,20	2,20	2,27	136,36
7	30,00	5,00	02:07	09:19	9,32	2,12	2,36	141,73
8	35,00	5,00	01:22	10:41	10,68	1,37	3,66	219,51
9	40,00	5,00	02:11	12:52	12,87	2,18	2,29	137,40
10	45,00	5,00	01:44	14:36	14,60	1,73	2,88	173,08
11	50,00	5,00	01:29	16:05	16,08	1,48	3,37	202,25
13	55,00	5,00	02:08	18:13	18,22	2,13	2,34	140,63
14	60,00	5,00	01:36	19:49	19,82	1,60	3,13	187,50
15	65,00	5,00	01:31	21:20	21,33	1,52	3,30	197,80
16	70,00	5,00	02:12	23:32	23,53	2,20	2,27	136,36
17	75,00	5,00	01:49	25:21	25,35	1,82	2,75	165,14
18	80,00	5,00	01:35	26:56	26,93	1,58	3,16	189,47
LÂMINA TOTAL								80,00
TEMPO TOTAL (LÂMINAS)								26,93
INFILTRAÇÃO MÉDIA								178,22
INFILTRAÇÃO FINAL								75,00
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								9,36
PONTO		P-16						
LEITURA	LÂMINA (mm)	(Δt) LÂMINA	TEMPO	T ACUM.	Tempo Decimal	(Δt) min.	Taxa ($mm.min^{-1}$)	Taxa ($mm.h^{-1}$)
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	5,00	5,00	00:56	00:56	0,93	0,93	5,36	321,43
3	10,00	5,00	01:03	01:59	1,98	1,05	4,76	285,71
4	15,00	5,00	01:43	03:42	3,70	1,72	2,91	174,76
5	20,00	5,00	01:43	05:25	5,42	1,72	2,91	174,76
6	25,00	5,00	01:47	07:12	7,20	1,78	2,80	168,22
7	30,00	5,00	02:02	09:14	9,23	2,03	2,46	147,54
8	35,00	5,00	02:21	11:35	11,58	2,35	2,13	127,66
9	40,00	5,00	02:46	14:21	14,35	2,77	1,81	108,43
10	45,00	5,00	02:43	17:04	17,07	2,72	1,84	110,43
11	50,00	5,00	01:07	18:11	18,18	1,12	4,48	268,66
13	55,00	5,00	01:38	19:49	19,82	1,63	3,06	183,67
14	60,00	5,00	01:48	21:37	21,62	1,80	2,78	166,67
15	65,00	5,00	02:52	24:29	24,48	2,87	1,74	104,65
16	70,00	5,00	02:50	27:19	27,32	2,83	1,76	105,88
LÂMINA TOTAL								70,00
TEMPO TOTAL (LÂMINAS)								27,32
INFILTRAÇÃO MÉDIA								153,75
INFILTRAÇÃO FINAL								40,00
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								4,99

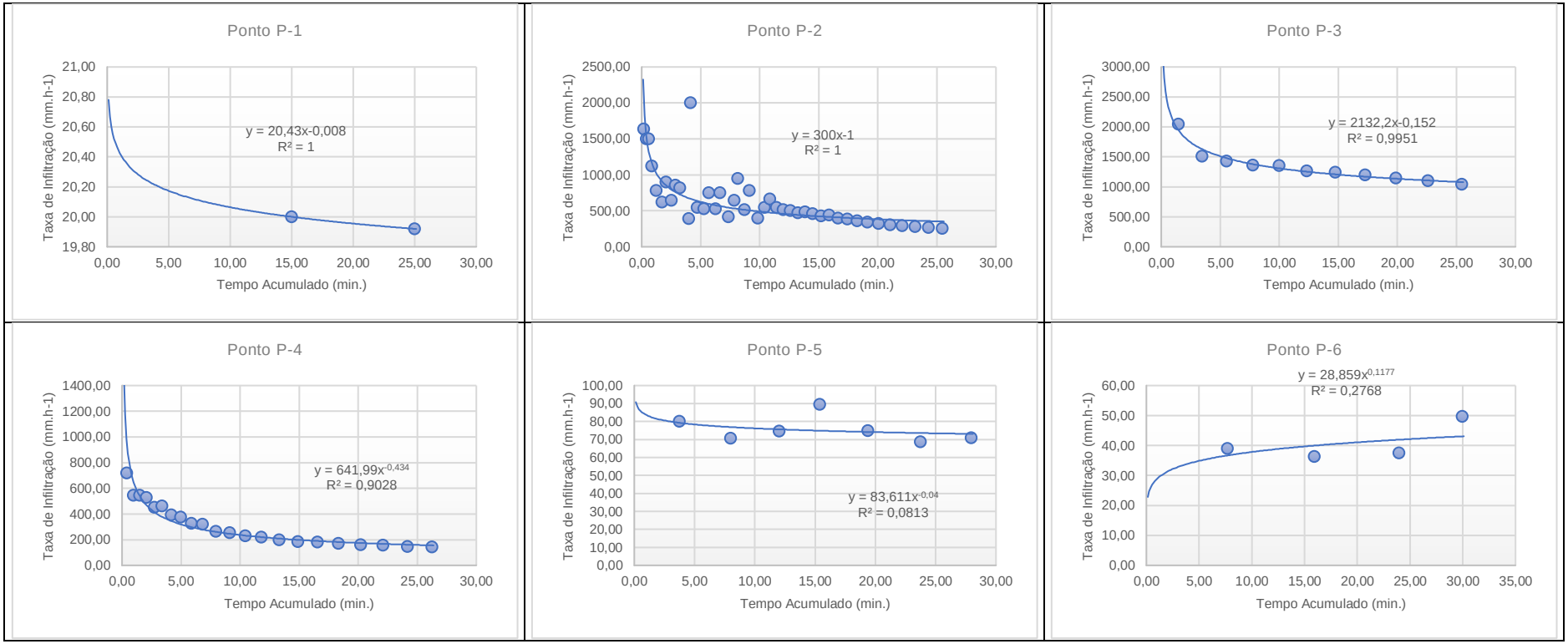
Fonte: Autor (2019)

APÊNDICE B – Dados coletados em campo – Capacidade de infiltração pelo método do Infiltrômetro de Cilindro Único – ICU (Continuação)

PONTO		P-17						
LEITURA	LÂMINA (mm)	(Δt) LÂMINA	TEMPO	T ACUM.	Tempo Decimal	(Δt) min.	Taxa ($mm.min^{-1}$)	Taxa ($mm.h^{-1}$)
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	5,00	5,00	04:15	04:15	4,25	4,25	1,18	70,59
3	10,00	5,00	03:31	07:46	7,77	3,52	1,42	85,31
4	15,00	5,00	01:16	09:02	9,03	1,27	3,95	236,84
5	20,00	5,00	02:10	11:12	11,20	2,17	2,31	138,46
6	25,00	5,00	02:41	13:53	13,88	2,68	1,86	111,80
7	30,00	5,00	02:19	16:12	16,20	2,32	2,16	129,50
8	35,00	5,00	02:41	18:53	18,88	2,68	1,86	111,80
9	40,00	5,00	02:48	21:41	21,68	2,80	1,79	107,14
10	45,00	5,00	03:07	24:48	24,80	3,12	1,60	96,26
11	50,00	5,00	02:21	27:09	27,15	2,35	2,13	127,66
13	53,00	3,00	02:46	29:55	29,92	2,77	1,08	65,06
14	55,00							
LÂMINA TOTAL								53,00
TEMPO TOTAL (LÂMINAS)								29,92
INFILTRAÇÃO MÉDIA								106,30
INFILTRAÇÃO FINAL								15,00
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								1,87
PONTO		P-18						
LEITURA	LÂMINA (mm)	(Δt) LÂMINA	TEMPO	T ACUM.	Tempo Decimal	(Δt) min.	Taxa ($mm.min^{-1}$)	Taxa ($mm.h^{-1}$)
1	0,00	0,00	00:00	00:00	0,00	0,00	0,00	
2	50,00	50,00	00:49	00:49	0,82	0,82	61,22	3673,47
3	100,00	50,00	01:05	01:54	1,90	1,08	46,15	2769,23
4	150,00	50,00	01:14	03:08	3,13	1,23	40,54	2432,43
5	200,00	50,00	01:16	04:24	4,40	1,27	39,47	2368,42
6	250,00	50,00	01:30	05:54	5,90	1,50	33,33	2000,00
7	300,00	50,00	01:33	07:27	7,45	1,55	32,26	1935,48
8	350,00	50,00	01:45	09:12	9,20	1,75	28,57	1714,29
9	400,00	50,00	01:47	10:59	10,98	1,78	28,04	1682,24
10	450,00	50,00	01:50	12:49	12,82	1,83	27,27	1636,36
11	500,00	50,00	01:53	14:42	14,70	1,88	26,55	1592,92
12	550,00	50,00	01:55	16:37	16,62	1,92	26,09	1565,22
13	600,00	50,00	01:57	18:34	18,57	1,95	25,64	1538,46
14	650,00	50,00	01:59	20:33	20,55	1,98	25,21	1512,61
15	700,00	50,00	01:58	22:31	22,52	1,97	25,42	1525,42
16	750,00	50,00	02:01	24:32	24,53	2,02	24,79	1487,60
17	800,00	50,00	02:03	26:35	26,58	2,05	24,39	1463,41
LÂMINA TOTAL								800,00
TEMPO TOTAL (LÂMINAS)								26,58
INFILTRAÇÃO MÉDIA								1805,64
INFILTRAÇÃO FINAL								450,00
RAIO MÉDIO FRENTE DE MOLHAMENTO								14,15
FATOR DE CORREÇÃO								8,01
INFILTRAÇÃO FINAL CORRIGIDA								56,19

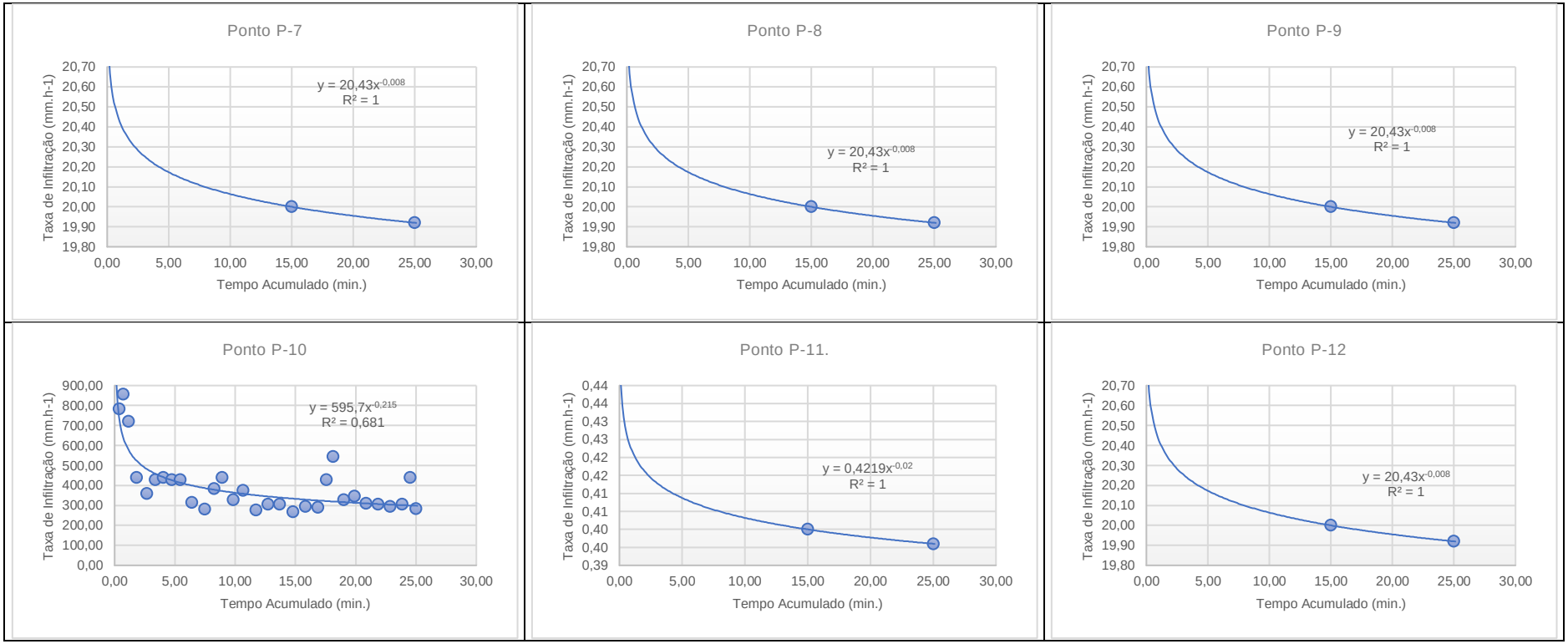
Fonte: Autor (2019)

APÊNDICE C – Gráficos produzidos com base nos valores obtidos em campo (Apêndice B) – Capacidade de infiltração por ponto pelo método do Infiltrômetro de Cilindro Único – ICU



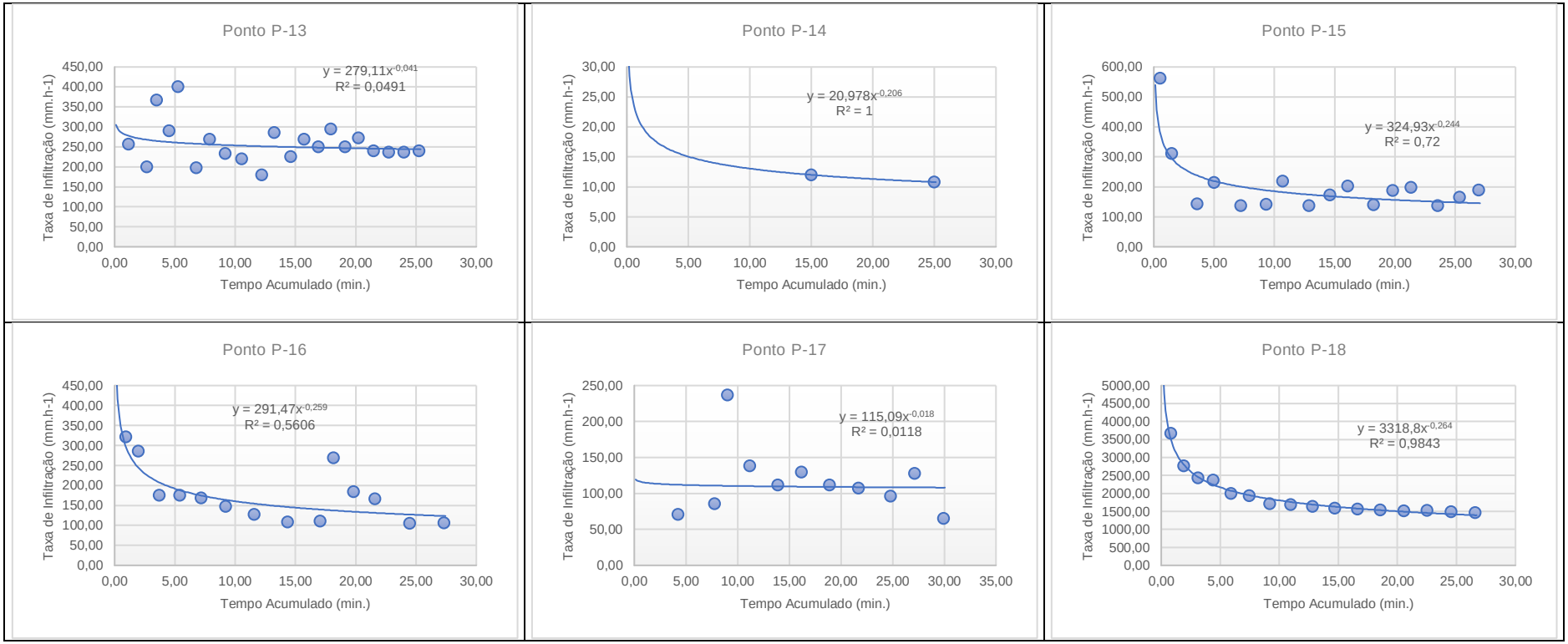
Fonte: Autor (2019)

APÊNDICE C – Gráficos produzidos com base nos valores obtidos em campo (Apêndice B) – Capacidade de infiltração por ponto pelo método do Infiltrômetro de Cilindro Único – ICU (Continuação)



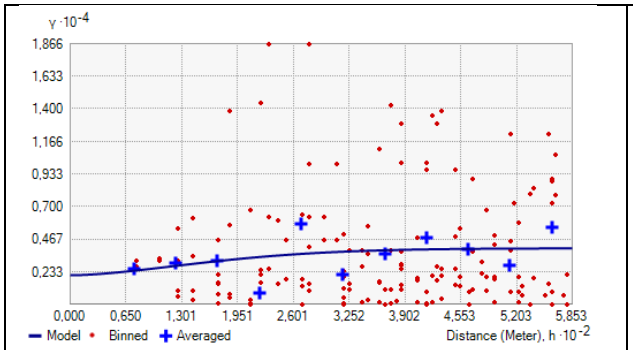
Fonte: Autor (2019)

APÊNDICE C – Gráficos produzidos com base nos valores obtidos em campo (Apêndice B) – Capacidade de infiltração por ponto pelo método do Infiltrômetro de Cilindro Único – ICU (Continuação)

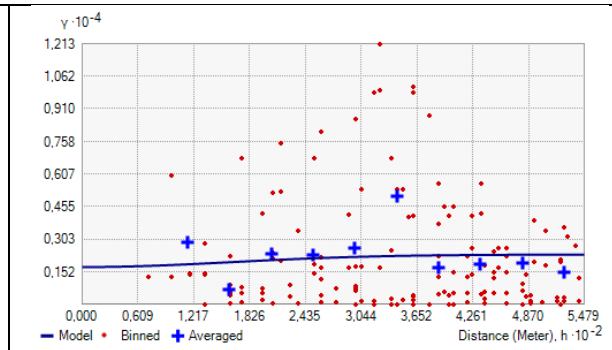


Fonte: Autor (2019)

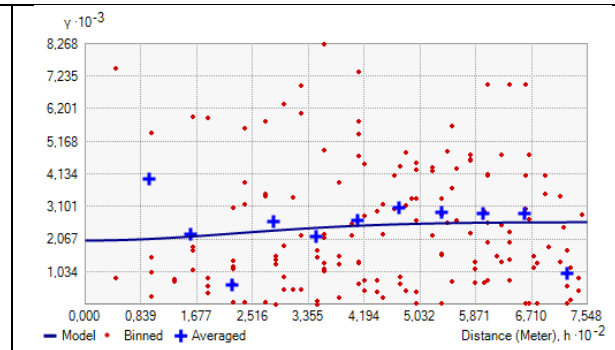
APÊNDICE D – Semivariogramas de interpolação dos dados pontuais obtidos em campo



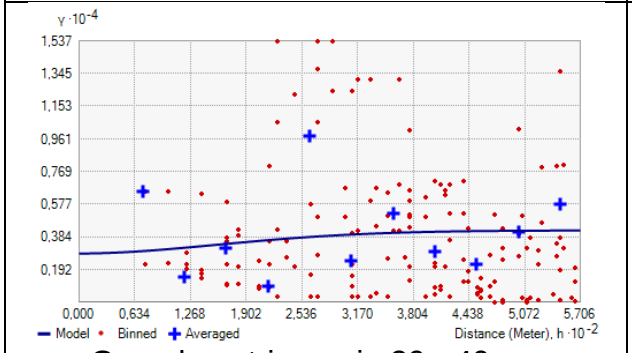
Granulometria: Areia 0 - 20 cm



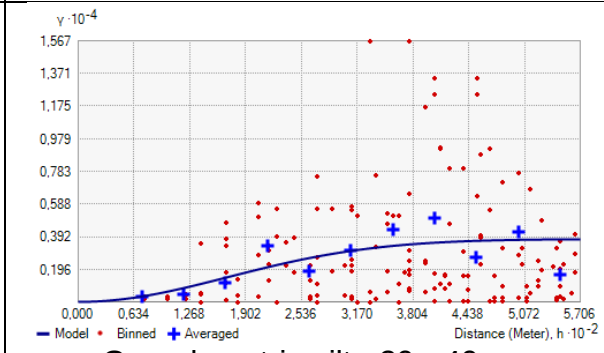
Granulometria: silte 0 - 20 cm



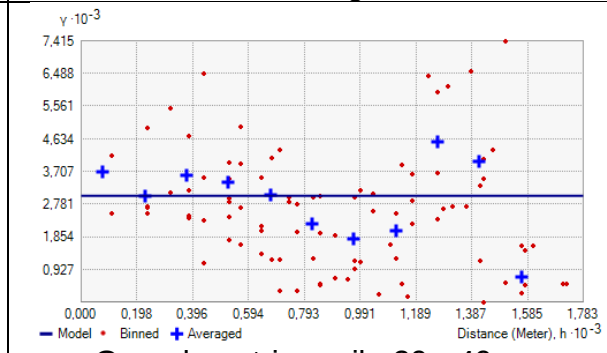
Granulometria: argila 0 - 20 cm



Granulometria: areia 20 - 40 cm



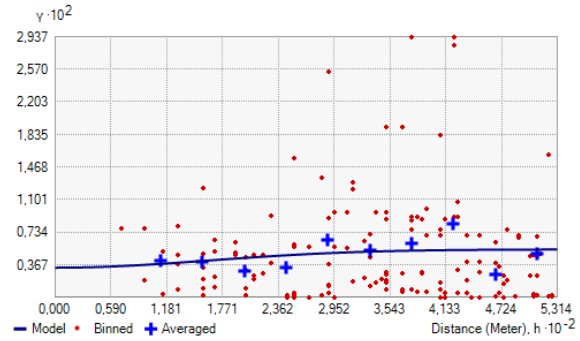
Granulometria silte 20 - 40 cm



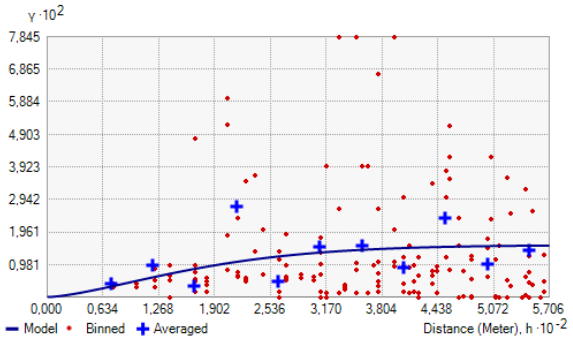
Granulometria argila 20 - 40 cm

Fonte: Autor (2019)

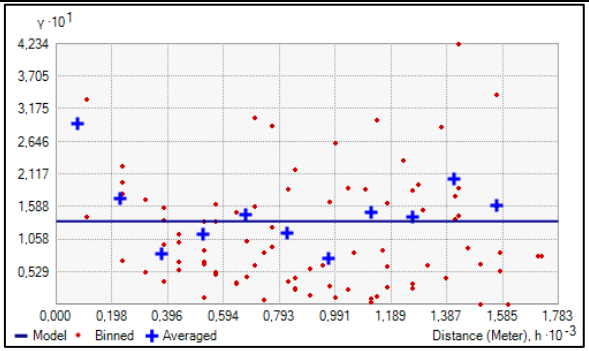
APÊNDICE D – Semivariogramas de interpolação dos dados pontuais obtidos em campo (Continuação)



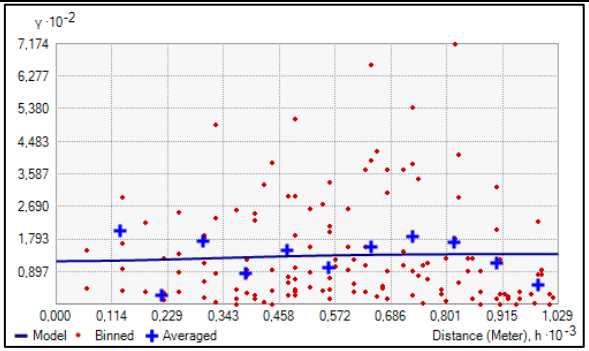
Densidade Aparente 0 - 20 cm



Densidade Aparente 20 - 40 cm



RMP – Resistência Mecânica a Penetração do Solo 0 - 40 cm



Taxa Média de Infiltração do Solo

Fonte: Autor (2019)