

Elaboração do Plano e Projetos de Macrodrenagem Petrolina/PE

PRODUTO P11 – MINUTA DO RELATÓRIO TÉCNICO FINAL

RELATÓRIO SÍNTESE



Recife/PE

Abril, 2025

PREFEITURA DE PETROLINA
Secretaria Municipal de Infraestrutura e Mobilidade

Contrato Nº 252/2021

**Elaboração do Plano e Projetos de
Macro drenagem do Município de Petrolina**

PRODUTO P11 – MINUTA DO RELATÓRIO TÉCNICO FINAL

RELATÓRIO SÍNTESE

Apoio Técnico



Recife/PE

Abril, 2025

APRESENTAÇÃO

A PDCA Engenharia, estabelecida na Rua Guimarães Peixoto, nº. 75, sala 1604, no Bairro de Casa Amarela, Recife/PE, e-mail: pdca@pdca.eng.br, CNPJ MF 11.019.554/0001-57, apresenta o seguinte documento, que compõe o Produto 11 – Relatório Final Síntese, quinto relatório decorrente do Contrato de Ordem de Serviços nº 252/2021, celebrado entre a Prefeitura Municipal de Petrolina (PE) e a PDCA Engenharia, tendo como objeto a prestação de serviços técnicos de elaboração de Plano Diretor e Projetos de Macrodrenagem da área urbana do Município de Petrolina/PE, e apoio técnico à audiências públicas, de forma a possibilitar a criação de mecanismos de gestão pública de infraestrutura do município de Petrolina/PE relacionados ao manejo de águas pluviais.

O Plano Diretor de Macrodrenagem de Petrolina/PE é o documento que consolida o planejamento do setor de drenagem urbana e manejo de águas pluviais no município, conduzindo as medidas que serão efetivadas pela Prefeitura Municipal, objetivando diminuir os prejuízos causados por inundações urbanas. Este plano será integrado aos demais planos setoriais componentes do Plano Municipal de Saneamento Básico, e tem interface importante com o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, quanto ao uso do solo e regramento de ocupação em áreas de risco de inundação.

O Relatório Final Síntese, referente ao Produto 11, abrange um resumo das principais atividades realizadas no decorrer da elaboração do Plano, assim como os principais resultados obtidos em cada etapa.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas de Elaboração do Plano de Macrodrenagem de Petrolina.	16
Figura 2 - Rio São Francisco: Curva Cota x Vazão.	19
Figura 3 - Visualização da malha computacional adotada nas simulações.	22
Figura 4 - Classificação hidrológica dos solos na área de estudo.	24
Figura 5 - Índice CN (Curve Number) estimado para as bacias hidrográficas.	27
Figura 6 - Coeficiente de Manning estimado para as bacias hidrográficas.	29
Figura 7 - Modelo Digital do Terreno adotado nas simulações.	30
Figura 8 - Atualização do Modelo Digital do Terreno.	31
Figura 9 - Preenchimento do armazenamento em barragens.	33
Figura 10 - Precipitação adotada na simulação de validação (04/11/2022).	34
Figura 11 - Resultados do modelo na simulação de validação (04/11/2022).	34
Figura 12. Modelagem de cenário futuro e análise de desempenho das ações propostas.	38
Figura 13. Áreas de expansão urbana definidas no Plano Diretor de Petrolina.	38
Figura 14 – Mapa com localização de Petrolina.	43
Figura 15 – Distribuição da população de Petrolina por faixa etária e gênero.	44
Figura 16 – Mapa geotectônico esquemático do Cráton do São Francisco.	47
Figura 17 – Mapa geotectônico esquemático da faixa riacho do Pontal.	48
Figura 18 – Mapa Exploratório - Reconhecimento de solos do município de Petrolina/PE.	55
Figura 19 – Regiões climáticas de Pernambuco.	59
Figura 20 – Precipitação média mensal em Petrolina de 1981 a 2021.	60
Figura 21 – Precipitações totais anuais em Petrolina.	61
Figura 22 – Valores máximos de chuvas diárias anuais em Petrolina.	61
Figura 23 – Quantidade de dias de chuva por ano em Petrolina.	62
Figura 24 – Radiação solar global do período de 1968 a 2009 em Petrolina.	63
Figura 25 – Insolação média mensal do período de 1981 a 2021 em Petrolina.	63
Figura 26 – Temperatura máxima, média e mínima mensal do ar no período de 1981 a 2021 em Petrolina/PE.	64
Figura 27 – Umidade média relativa do ar mensal do período de 1981 a 2021 em Petrolina/PE.	66
Figura 28 – Velocidade média mensal do vento do período de 1981 a 2021 em Petrolina/PE.	67
Figura 29 – Evaporação média mensal do período de 1981 a 2019 em Petrolina/PE.	68
Figura 30 – Histogramas de deficiência hídrica do período de 1981 a 2019 em Petrolina/PE.	69

Figura 31 – Curva Intensidade - Duração - Frequência do município de Petrolina.....	72
Figura 32 – Definição das bacias da área urbana da sede de Petrolina-PE.....	74
Figura 33 – Identificação dos bairros do município de Petrolina-PE de acordo com as bacias.	75
Figura 34 – Sub-bacias da bacia 01 em Petrolina-PE.....	76
Figura 35 – Sub-bacias da bacia 02 em Petrolina-PE.....	77
Figura 36 – Sub-bacias da bacia 03 em Petrolina-PE.....	78
Figura 37 – Sub-bacias da bacia 04 em Petrolina-PE.....	79
Figura 38 – Sub-bacias da bacia 05 em Petrolina-PE.....	80
Figura 39 – Bacia 06 em Petrolina-PE.....	81
Figura 40 – Sub-bacias da bacia 07 em Petrolina-PE.....	82
Figura 41 – Bacia 08 em Petrolina-PE.....	83
Figura 42 – Bacia 09 em Petrolina-PE.....	84
Figura 43 – Sub-bacias da bacia 10 em Petrolina-PE.....	85
Figura 44 – Sub-bacias da bacia 11 em Petrolina-PE.....	86
Figura 45 – Bacia 12 em Petrolina-PE.....	87
Figura 46 – Bacia 13 em Petrolina-PE.....	88
Figura 47 – Bacia 14 em Petrolina-PE.....	89
Figura 48. Rede de drenagem da região urbanizada.....	90
Figura 49. Canal São José.....	92
Figura 50. Canal do Alto Cheiroso.....	93
Figura 51. Canal Henrique Leite.....	94
Figura 52. Riacho do Batalhão.....	95
Figura 53. Riacho Pau Ferro.....	96
Figura 54. Canal da Av. da Redenção.....	96
Figura 55. Lagoa Dom Avelar.....	97
Figura 56. Lagoa São Joaquim.....	97
Figura 57. Lagoas do Jatobá.....	98
Figura 58. Canal Dom Malan.....	99
Figura 59. Canal da Av. João Campos.....	99
Figura 60. Riacho das Porteiras.....	100
Figura 61. Canal do João de Deus.....	101
Figura 62. Canal do Grande Rio.....	101
Figura 63. Canal do Massangano.....	102
Figura 64. Riacho da Vitória.....	103
Figura 65. Canal da Av. Tapuio.....	103
Figura 66. Canal do bairro Jardim Petrópolis.....	104

Figura 67 – Percentual de cobertura do sistema de microdrenagem de Petrolina.....	106
Figura 68 - Levantamento do sistema de drenagem – Malha Viária do Município de Petrolina/PE.....	107
Figura 69 – Classificação de uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas do Rio Pontal e do Grupo de Rios Interiores - GI8.	110
Figura 70 – Uso e ocupação no município de Petrolina/PE em 2017.....	113
Figura 71 – Classificação das ruas de Petrolina/PE por tipo de revestimento de pavimento.	115
Figura 72 – Mapa de uso e cobertura das terras do perímetro urbano de Petrolina/PE.	116
Figura 73 – Evolução da mancha urbana de Petrolina.....	119
Figura 74 – Síntese da leitura do perímetro urbano e seus principais elementos.....	121
Figura 75 – Macrozoneamento de Petrolina.	123
Figura 76 – Macroáreas do perímetro urbano da sede de Petrolina.....	124
Figura 77 – Zoneamento do perímetro urbano da sede de Petrolina.	126
Figura 78 – Zoneamento urbano dos núcleos NS1 e NS2 de Petrolina.....	128
Figura 79 – Zoneamento urbano do núcleo N1 de Petrolina.	129
Figura 80 – Mapa da Mancha Urbana de Petrolina de 1990 a 2022.	131
Figura 81 – Tendência da Mancha Urbana de Petrolina.	133
Figura 82 – Estimativa de crescimento geométrico da população de Petrolina.	135
Figura 83 – Regra para avaliação da degradação, utilizando imagens Landsat-8.....	136
Figura 84 – Evolução temporal e espacial do NDVI no Município de Petrolina/PE.....	137
Figura 85 – Evolução temporal e espacial do albedo da superfície em Petrolina/PE.	138
Figura 86 – Área em hectares (%) das classes da degradação no Município de Petrolina e adjacência nos períodos de 2013, 2014 e 2015. Ar = Acurácia e Kp = Índice Kappa.....	139
Figura 87 – Evolução temporal e espacial da degradação do Município de Petrolina-PE. .	140
Figura 88 – Evolução temporal e espacial da magnitude da mudança do Município de Petrolina/PE.....	142
Figura 89 – Mapa temático da detecção de mudança do Município de Petrolina-PE.	142
Figura 90 – Mapa das áreas de risco de erosão em Petrolina/PE.....	143
Figura 91 – Situação da disposição final no Lixão Raso da Catarina em 2006.	145
Figura 92 – Atividades desenvolvidas na área como remediação ambiental.....	146
Figura 93 – Localização da área de recuperação ambiental.	147
Figura 94 – Localização da área da nova CTR.	147
Figura 95 – Áreas de disposição irregular de RCC's em Petrolina.....	151
Figura 96 – Unidade de Beneficiamento de Entulho da CTR Petrolina.	151
Figura 97 – Indicadores de Desempenho Relacionados aos Resíduos da Construção Civil.	152

Figura 98 – Vazões simuladas TR 50 anos.....	158
Figura 99 – Vazões simuladas na Bacia 01	159
Figura 100 – Vazões simuladas na Bacia 02	160
Figura 101 – Vazões simuladas na Bacia 03	161
Figura 102 – Vazões simuladas na Bacia 04	162
Figura 103 – Exutórios – Bacia 05	163
Figura 104 – Exutórios – Bacia 06	164
Figura 105 – Exutórios – Bacia 07	165
Figura 106. Impactos das chuvas no ano de 2004.....	166
Figura 107. Problemas de macrodrenagem identificados.	167
Figura 108. Principais trechos críticos identificados.....	168
Figura 109 – Trecho crítico 01	169
Figura 110. Trecho crítico 02	170
Figura 111. Trecho crítico 03.....	171
Figura 112 - Trecho crítico 04.....	172
Figura 113. Trecho crítico 05.....	173
Figura 114. Trecho crítico 06.....	174
Figura 115. Trecho crítico 07.....	175
Figura 116. Trecho crítico 08.....	176
Figura 117. Trecho crítico 09.....	177
Figura 118. Lagoa já existente na área urbana de Petrolina (Lagoa Dom Avelar).....	208
Figura 119. Leitões (calhas) de um rio.....	209
Figura 120. Exemplo de seção tipo para a requalificação de calha de riachos.....	210
Figura 121. Passagens configuradas como pontos de estrangulamento.....	211
Figura 122. Exemplos de riachos com calha alargada de forma naturalizada.....	211
Figura 123. Exemplo de seção tipo para a requalificação de calha de canais.....	212
Figura 124. Alagamento na Av. Mar da Tasmânia por insuficiência de microdrenagem.....	213
Figura 125. Parâmetros para a definição de APP's em rios, riachos e lagoas.....	214
Figura 126. Exemplos de parques urbanos implantados em APP's.	215
Figura 127. Delimitação de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações.....	216
Figura 128. Pontos críticos na Bacia 02.....	218
Figura 129. Ações propostas para os trechos críticos da Bacia 02	221
Figura 130. Redução de área inundável a partir da revitalização do Riacho das Porteiras.....	224
Figura 131. Revitalização de riachos em duas calhas.....	225
Figura 132. Barramentos existentes na Bacia 03.....	225
Figura 133. Medidas propostas relacionadas ao Canal João de Deus.....	226
Figura 134. Medidas propostas para o Canal do Vale do Grande Rio.....	227

Figura 135. Medidas propostas relacionadas Canal Dom Malan.	228
Figura 136. Principais medidas propostas para a Bacia 03.....	229
Figura 137. Trecho final a ser implementado no canal do Alto Cheiroso.....	233
Figura 138. Trecho crítico no Canal do São José	234
Figura 139. Sistema de lagoas do Jatobá.....	235
Figura 140. Ações propostas para os trechos críticos da Bacia 04	236
Figura 141. Revitalização da Lagoa São Joaquim e Canal da Av. Redenção	238
Figura 142. Ações recomendadas para o trecho crítico no talvegue principal da bacia 05.	239
Figura 143. Ações recomendadas para o trecho final de jusante da bacia 05.....	241
Figura 144. Revitalização de calha de canal e de galerias subterrâneas, e implantação de lagoa no Bairro Henrique Leite	242
Figura 145. Ações propostas para os trechos críticos da Bacia 05	243
Figura 146. Trecho crítico no Riacho Pau Ferro com concentração de edificações irregulares sobre o talvegue natural	246
Figura 147. Revitalização das Lagoas Topázio e integração com o Riacho Pau Ferro.	247
Figura 148. Implantação da Lagoa Dom Avelar e integração com o Riacho Pau Ferro.....	248
Figura 149. Ações propostas para os trechos críticos da Bacia 06	249
Figura 150 - Reservatórios de retenção de resíduos sólidos.....	254
Figura 151 - Filmagem de trecho de canal fechado.	255
Figura 152 - Sensores de nível de alagamentos em logradouros.....	256
Figura 153 - Processo de retenção com eco barreiras.....	256
Figura 154. Custo e Índice de Custo das ações por bacia.	266
Figura 155. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 02.	267
Figura 156. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 03.	268
Figura 157. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 04.	269
Figura 158. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 05	270
Figura 159. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 06.	271
Figura 160. Quantidade de edificações em situação de risco.	273
Figura 161. Quantidade de edificações em situação de risco por bacia e faixa de risco. ...	273
Figura 162. Índice de benefício direto das ações por Bacia.	274
Figura 163. Edificações em situação de risco.	275
Figura 164. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 02.....	276
Figura 165. Imóveis em situação de risco por trechos na Bacia 02.....	277
Figura 166. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 03.....	278
Figura 167. Imóveis em situação de risco por trechos na Bacia 03.....	279
Figura 168. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 04.....	280
Figura 169. Imóveis em situação de risco por trechos na Bacia 04.....	281

Figura 170. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 05.....	282
Figura 171. Imóveis em situação de risco por trechos na Bacia 05.....	283
Figura 172. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 06.....	284
Figura 173. Imóveis em situação de risco por trechos na Bacia 06.....	285
Figura 174. Índices de Custo, Benefício e Prioridade das ações por Bacia.....	287
Figura 175. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 02.....	288
Figura 176. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 03.....	289
Figura 177. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 04.....	290
Figura 178. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 05.....	291
Figura 179. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 06.....	292

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cenários simulados.	19
Tabela 2 - Valores de CN para a classificação de uso e ocupação do MapBiomias por grupo hidrológico.	27
Tabela 3 - Coeficiente de <i>Manning</i> estimado para as bacias hidrográficas.	28
Tabela 4 - Classificação do grau de risco hidrológico das edificações	40
Tabela 5 – Dados referentes a estação pluviométrica de Petrolina.	60
Tabela 6 – Precipitação média mensal de série de 41 anos em Petrolina.	60
Tabela 7 – Insolação média mensal de série de 41 anos em Petrolina.	63
Tabela 8 – Temperaturas máxima, média e mínima mensais de série de 41 anos em Petrolina.	64
Tabela 9 – Umidade relativa do ar média mensal de série de 41 anos em Petrolina.	65
Tabela 10 – Velocidade média mensal do vento de série de 41 anos em Petrolina.	66
Tabela 11 – Evaporação média mensal de série de 39 anos em Petrolina.	68
Tabela 12 – Deficiência hídrica média mensal de série de 39 anos em Petrolina.	69
Tabela 13 – Dados de precipitação e intensidade em função do tempo de duração de chuva e de retorno do município de Petrolina.	73
Tabela 14 – Características correspondentes as principais redes de drenagem.	75
Tabela 15 – Características correspondentes as principais redes de drenagem.	91
Tabela 16 – Aspectos gerais da drenagem urbana na cidade de Petrolina/PE.	105
Tabela 17 – Áreas das manchas urbanas de Petrolina.	132
Tabela 18 – Aumento das manchas urbanas de Petrolina.	132
Tabela 19 – Áreas observadas e calculadas por regressão das manchas urbanas de Petrolina.	133
Tabela 20 – População anual estimada de Petrolina.	135
Tabela 21 – Evolução da coleta de Resíduos Sólidos Urbanos.	145
Tabela 22 – Estações de Tratamento de Esgoto existentes na sede de Petrolina.	155
Tabela 23 – Vazões de pico simuladas nas bacias hidrográficas.	158
Tabela 24. Indicação de manutenção na macrodrenagem.	201
Tabela 25. Medidas Propostas para a Bacia 02.	222
Tabela 26. Localização dos barramentos existentes na Bacia 03.	226
Tabela 27. Medidas propostas para a Bacia 03.	230
Tabela 28. Medidas Propostas para a Bacia 04.	237
Tabela 29. Medidas Propostas para a Bacia 05.	244
Tabela 30. Medidas Propostas para a Bacia 06.	250
Tabela 31. Medidas Propostas para os Núcleos Urbanos.	253

Tabela 32. Proposta de Gestão de Manutenção por Bacias Hidrográficas.....	260
Tabela 33. Custo e Índice de Custo das ações por bacia.	266
Tabela 34. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 02.....	267
Tabela 35. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 03.....	268
Tabela 36. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 04.....	269
Tabela 37. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 05.....	270
Tabela 38. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 06.....	271
Tabela 39. Ordem de prioridade dos trechos em relação do Índice de Custo das ações. ...	272
Tabela 40. Índice de benefício direto das ações por Bacia.	274
Tabela 41. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 02.....	276
Tabela 42. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 03.....	278
Tabela 43. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 04.....	280
Tabela 44. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 05.....	282
Tabela 45. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 06.....	284
Tabela 46. Ordem de prioridade dos trechos em relação do Índice de Benefício das ações.	286
Tabela 47. Índices de Custo, Benefício e Prioridade das ações por Bacia.....	287
Tabela 48. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 02.....	288
Tabela 49. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 03.....	289
Tabela 50. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 04.....	290
Tabela 51. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 05.....	291
Tabela 52. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 06.....	292
Tabela 53. Ordem de prioridade dos trechos.	293
Tabela 54. Custo e potencial de redução de riscos das ações por horizonte de implantação.	295
Tabela 55. Horizonte temporal de implementação das ações propostas para a Bacia 1....	296
Tabela 56. Horizonte temporal de implementação das ações propostas para a Bacia 2....	296
Tabela 57. Horizonte temporal de implementação das ações propostas para a Bacia 3....	296
Tabela 58. Horizonte temporal de implementação das ações propostas para a Bacia 4....	296
Tabela 59. Horizonte temporal de implementação das ações propostas para a Bacia 5....	297
Tabela 60. Horizonte temporal de implementação das ações propostas para a Bacia 6....	297
Tabela 61. Horizonte temporal de implementação das ações propostas para a Bacia 7....	297
Tabela 62. Horizonte temporal de implementação de outras ações propostas.	297

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	3
LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS.....	10
SUMÁRIO.....	12
1 INTRODUÇÃO	15
2 RESUMO DAS ATIVIDADES REALIZADAS	16
2.1 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES BÁSICAS	16
2.2 ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL.....	18
2.2.1 Identificação de pontos críticos por modelagem hidrodinâmica.....	19
2.3 ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES	35
2.3.1 Definição de ações imediatas	35
2.3.2 Definição de ações sistemáticas	36
2.3.3 Definição de ações prioritárias	36
2.3.4 Hierarquização das ações.....	39
2.3.5 Definição do cronograma de implementação das ações	41
2.4 ELABORAÇÃO DE DOCUMENTOS FINAIS.....	42
2.4.1 Plano de Macrodrenagem.....	42
2.4.3 Lei do Plano de Macrodrenagem	42
2.4.2 Manual de Drenagem.....	42
3. RESULTADOS OBTIDOS - DIAGNÓSTICO	43
3.1 ÁREA E LOCALIZAÇÃO	43
3.2 SOCIOECONOMIA	44
3.2.1 População	44
3.2.2 Trabalho e Rendimento.....	45
3.2.3 Educação.....	45
3.2.4 Economia.....	45
3.2.5 Saúde	46
3.3 GEOMORFOLOGIA	46
3.4 GEOLOGIA REGIONAL	47
3.4.1 O Cráton do São Francisco.....	47
3.4.2 O Sistema de Dobramentos Riacho do Pontal	48
3.4.3 O Sistema de Dobramentos Riacho do Pontal	49
3.5 ESTRATIGRAFIA.....	50
3.6 TIPOS DE SOLOS	51

3.7 HIDROGRAFIA REGIONAL	55
3.7.1 Bacia hidrográfica do Rio Pontal	55
3.7.2 Grupo de bacias de pequenos rios interiores 8 (GI8)	56
3.7.3 Recursos hídricos superficiais e subterrâneos	56
3.8 CLIMATOLOGIA	57
3.9 EQUAÇÃO I-D-F	71
3.10 BACIAS E SUB-BACIAS DA ÁREA URBANA E RURAL URBANIZADA	74
3.11 REDE DE MACRODRENAGEM	90
3.12 REDE DE MICRODRENAGEM	105
3.13 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	108
3.14 EXPANSÃO URBANA E POPULACIONAL	117
3.15 PERDA DA BIODIVERSIDADE E COBERTURA VEGETAL	136
3.16 ÁREAS SUJEITAS A EROÇÃO	143
3.17 RESÍDUOS SÓLIDOS	144
3.17.1 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	144
3.17.2 Resíduos de Grandes Geradores	148
3.17.3 Resíduos de Construção Civil (RCC)	150
3.17.4 Resíduos Sólidos Industriais (RSI)	153
3.17.5 Resíduos de Saneamento	154
3.17.6 Resíduos Agrossilvopastoris	156
3.18 ESCOAMENTO SUPERFICIAL	158
3.19 PROBLEMÁTICA DA MACRODRENAGEM EM PETROLINA	166
3.19.1 Problemas existentes	166
3.19.2 Principais trechos críticos	168
3.19.3 Outros pontos críticos	178
4 RESULTADOS OBTIDOS - PROGNÓSTICO	194
4.1 DIRETRIZES DE INTERVENÇÃO DO PLANO	194
4.1.1 Princípios e diretrizes gerais de intervenção	194
4.1.2 Diretrizes básicas de intervenção	196
4.2 RECOMENDAÇÕES DE AÇÕES IMEDIATAS E/OU EMERGENCIAIS	199
4.2.1 Indicações de ordem operacional e de manutenção nos sistemas de drenagem	199
4.2.2 Recomendações de áreas de ocupação restrita	205
4.2.3 Cotas para implantação de novos empreendimentos	205
4.3 RECOMENDAÇÕES DE AÇÕES PRIORITÁRIAS – TRECHOS CRÍTICOS	207

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS MEDIDAS PROPOSTAS	208
3.2 MEDIDAS PROPOSTAS - BACIA 01	217
3.3 MEDIDAS PROPOSTAS - BACIA 02	218
3.4 MEDIDAS PROPOSTAS - BACIA 03	223
3.5 MEDIDAS PROPOSTAS - BACIA 04	233
3.6 MEDIDAS PROPOSTAS - BACIA 05	238
3.7 MEDIDAS PROPOSTAS - BACIA 06	246
3.8 MEDIDAS PROPOSTAS - BACIA 07	252
3.9 MEDIDAS PROPOSTAS - NÚCLEOS URBANOS ISOLADOS	253
3.10 OUTRAS MEDIDAS PROPOSTAS	254
4.4 RECOMENDAÇÕES DE AÇÕES SISTEMÁTICAS	257
4.4.1 Mecanismos e procedimentos de controle social e urbano	257
4.4.2 Programa de monitoramento hidráulico-hidrológico	257
4.4.3 Controle de uso e ocupação do solo	259
4.4.4 Programa de manutenção do sistema de drenagem	259
4.4.5 Implementação e atualização do sistema municipal de informações de drenagem urbana	261
4.4.6 Programa de educação hidroambiental	261
4.4.7 Plano de contingência de proteção e defesa civil – PLANCON	263
4.4.8 Manual de drenagem	264
4.4.9 Programa de implementação do plano de macrodrenagem	264
4.5 HIERARQUIA DAS AÇÕES PROPOSTAS	265
4.5.1 Prioridade das ações em relação ao custo	266
4.5.2 Prioridade das ações em relação ao benefício	273
4.5.3 Hierarquia de prioridade das ações	287
4.6 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES	294
4.7 DOCUMENTOS FINAIS	298
REFERÊNCIAS	299
LISTA DE ANEXOS	311

1 INTRODUÇÃO

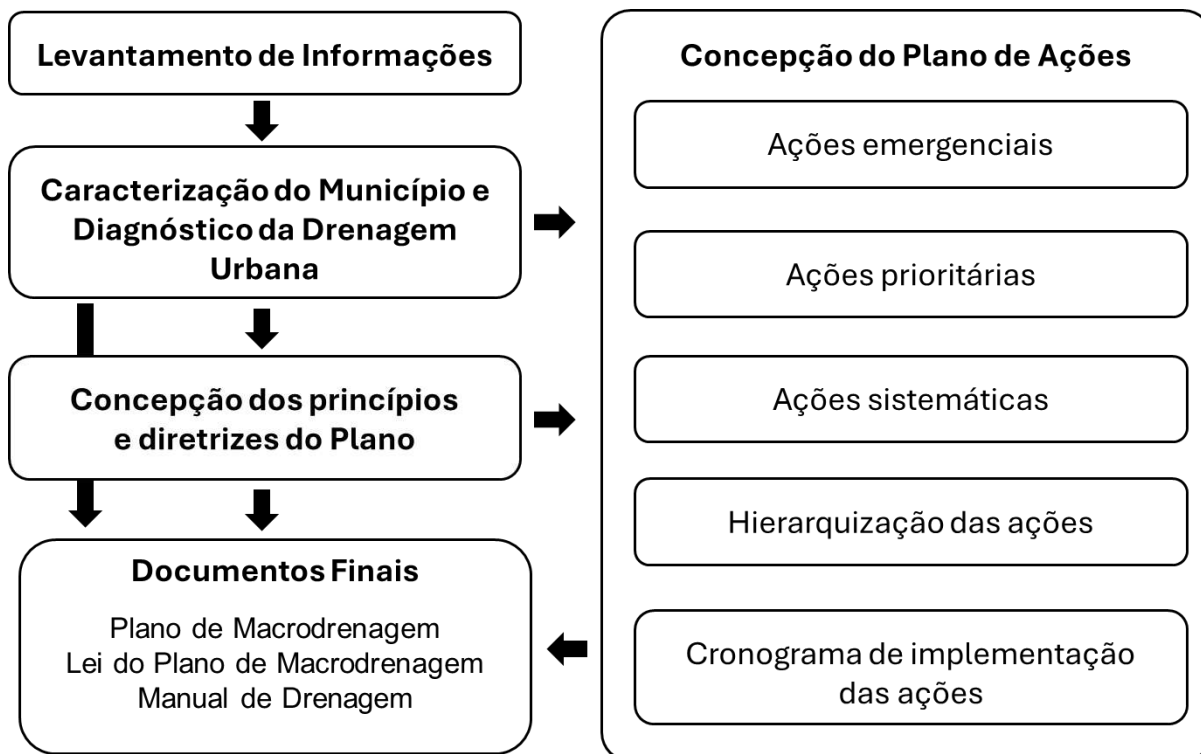
Com o presente produto pretende-se apresentar O Relatório Final Síntese do Plano de Macrodrenagem do município de Petrolina/PE. O relatório tem como objetivo apresentar uma síntese das principais etapas de elaboração do Plano, possibilitando o entendimento da sua construção e dos seus resultados. O documento está estruturado em 03 seções e 30 subseções, com a seguinte estrutura:

- **Seção 02:** Apresenta o resumo metodológico, abrangendo a síntese das principais atividades realizadas para a construção do Plano de Macrodrenagem de Petrolina, buscando possibilitar o entendimento dos materiais e métodos adotados;
- **Seção 03:** Apresenta a síntese dos resultados obtidos na caracterização e diagnóstico da situação atual da macrodrenagem no município de Petrolina, abrangendo características urbanas, socioeconômicas, fisiográficas, hidrográficas, problemas de macrodrenagem existentes e pontos críticos;
- **Seção 04:** Apresenta as medidas estabelecidas para o Plano, abrangendo os princípios e diretrizes, ações imediatas, ações sistemáticas e ações prioritárias, além da hierarquia de prioridade das ações e cronograma de implementação.

2 RESUMO DAS ATIVIDADES REALIZADAS

Nesta seção é apresentado o resumo das atividades realizadas para a elaboração do Plano de Macrodrenagem do Município de Petrolina, conforme etapas ilustradas no fluxograma da Figura 1, sendo descritas em seguida. Por sua vez, o detalhamento das etapas de elaboração do Plano pode ser visualizado nos Relatórios Parciais.

Figura 1 - Etapas de Elaboração do Plano de Macrodrenagem de Petrolina.



Fonte: PDCA (2024).

2.1 LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES BÁSICAS

Esta atividade compreendeu o levantamento das informações básicas que serviram como base para a elaboração do Plano, sendo elas:

- Serviços de coleta de dados cartográficos, hidrografia, geologia, de uso e ocupação do solo, hidrometeorologia, estudos e projetos existentes;
- Levantamento do sistema de macrodrenagem atual, com indicação dos pontos de contribuição das galerias e das respectivas áreas de drenagem, bem como cadastramento e mapeamento das estruturas e componentes de engenharia existentes (canalizações fechadas, canalizações abertas, reservatórios de contenção de cheias, entre outras) – serviços topográficos;

- Levantamento de dados socioeconômicos (população atual e projetada para o horizonte de no mínimo 20 anos para o plano, área do município, densidade demográfica, taxa geométrica de crescimento anual da população, grau de urbanização etc.;
- Levantamento das manchas de inundação do evento mais crítico registrado na bacia, indicadas em plantas, em escala adequada, com indicação das áreas atingidas, obtidas a partir de informações das inspeções de campo e estudos existentes; além das manchas urbanas, atual e projetada; das delimitações das bacias, sub bacias e do município; das indicações dos corpos d'água; e dos pontos críticos de inundação/alagamento e de erosão;
- Levantamento das causas das inundações e dos alagamentos com base nos eventos de extrema significância ocorridos e documentação por meio de registros fotográficos existentes;
- Cadastramento e mapeamento das estruturas de microdrenagem, com o levantamento topográfico das coordenadas e altitudes de tampa e fundo das caixas de coleta e poços de visita existentes para as bacias de contribuição dos eventos críticos registrados (área crítica), bem como o ponto de lançamento das galerias de águas pluviais existentes; tais como mapeamento da localização das bocas de lobo, poços de visitas, dimensionamento das tubulações, trajeto da tubulação tipo de tubulação;
- Definição de poligonal das áreas onde existem construções localizadas dentro de manchas de inundação/alagamentos levantados;
- Levantamento das informações ambientais básicas tais como: crescimento demográfico sem planejamento urbano, despejo inadequado de resíduos sólidos e de efluentes sanitários e industriais, perda da biodiversidade e da cobertura vegetal;
- Consolidação dos critérios básicos, tais como as vazões de dimensionamento e as taxas de impermeabilização dos terrenos, que levam em consideração os índices de ocupação futura estimados para área de estudo, além do período de retorno.

2.2 ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL

Esta etapa compreendeu a realização de análises da situação atual da macrodrenagem no município de Petrolina, consolidando assim o diagnóstico do Plano contendo a identificação dos pontos críticos e demais problemas existentes a serem abarcados no contexto do Plano. Além das informações básicas levantadas na primeira etapa, também foram realizadas visitas técnicas em áreas específicas indicadas pela COMPDEC (Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil), AMMPLA (Autarquia Municipal de Mobilidade de Petrolina), e pela fiscalização da SEINFRA (Secretaria Municipal de Infraestrutura e Mobilidade), com base no histórico de eventos de chuvas intensas na zona urbana do município. Por fim, também foram realizadas análises a partir de modelos hidrológicos e hidrodinâmicos, permitindo explorar de forma detalhada o comportamento do escoamento superficial no município. Assim, de modo geral, esta etapa contemplou as seguintes atividades

- Consolidação e análise das informações básicas levantadas;
- Consolidação dos critérios básicos, tais como vazões de dimensionamento e as taxas de impermeabilização dos terrenos, que levam em consideração os índices de ocupação futura estimados para área de estudo, além do período de retorno;
- Identificação de áreas inundáveis vegetadas, áreas preservadas/ocupadas em APP, possíveis áreas de instalação de equipamentos de melhoria da drenagem entre outras, em nível de detalhe para as áreas consideradas críticas;
- Estágio atual das unidades hidrográficas do município, para os cenários para o horizonte de projeto do plano (mínimo de 20 anos), a partir dos dados cartográficos, de uso e ocupação do solo e socioeconômicos;
- Análise das obras em curso e programadas com foco na eficiência;
- Aplicação de Modelo Matemático Hidrodinâmico: com os cenários elaborados, utilizando os demais dados coletados, serão efetuados os cálculos hidráulico-hidrológicos que, em conjunto com o levantamento de áreas inundáveis, permite identificar os principais problemas existentes e a antevisão de quais são as medidas que podem ser tomadas para a mitigação

dos efeitos das cheias e quais medidas preventivas poderão ser tomadas nas áreas com desenvolvimento urbano acentuado.

- Definição das simulações hidráulico-hidrológicas a serem realizadas e análise dos resultados, apontando as vantagens e desvantagens para cada caso, e definição da melhor situação;
- Definição de critérios para estudos e projetos de drenagem urbana, tais como as vazões de restrição, níveis de cheias para vários períodos de retorno, entre outros;
- Identificação das bacias prioritárias.

2.2.1 Identificação de pontos críticos por modelagem hidrodinâmica

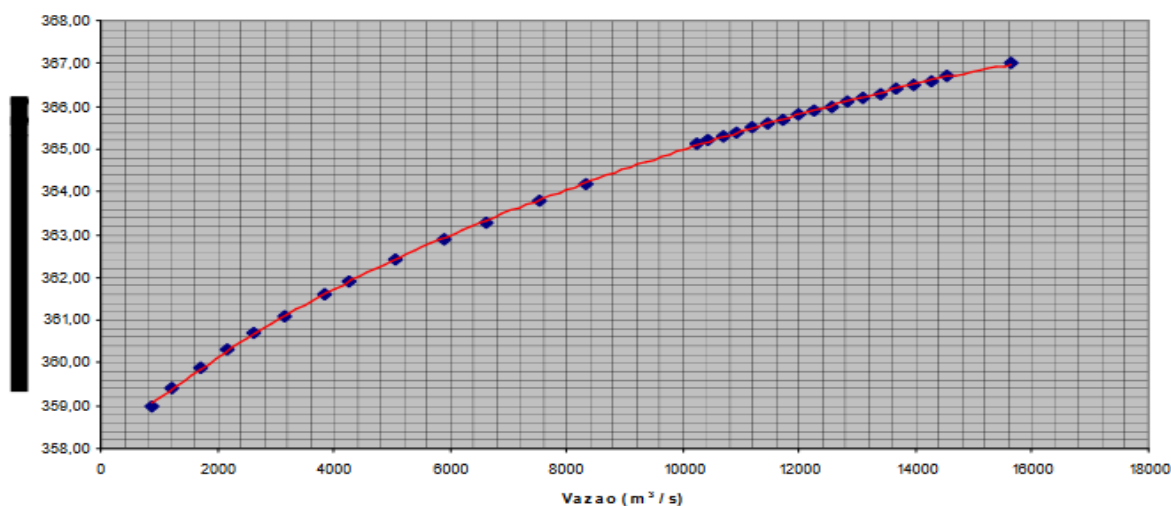
Foram simulados 03 cenários, considerando os tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos, as vazões e cota do Rio São Francisco em condições de maior frequência (Tabela 1). Os valores adotados para o Rio São Francisco foram obtidos no estudo realizado pela CHESF/ANA (2008) intitulado “Mapeamento das áreas inundáveis nas margens do Rio São Francisco no trecho entre os reservatórios de Sobradinho e Itaparica” (Figura 2).

Tabela 1 - Cenários simulados.

Cenário	Tempo de Retorno (hietograma)	Rio São Francisco	
		Vazão	Cota
Cenário 01	10 Anos	4.000 m³/s	361,75 m
Cenário 02	25 Anos	4.000 m³/s	361,75 m
Cenário 03	50 Anos	4.000 m³/s	361,75 m

Fonte: PDCA (2023).

Figura 2 - Rio São Francisco: Curva Cota x Vazão.



Fonte: CHESF/ANA (2008).

Para a modelagem e simulação dos cenários de projeto foi selecionado o software HEC-RAS, desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (HEC-USACE, 2016). O software é de uso gratuito, e no qual é possível realizar simulações em sua forma unidimensional (1D), bidimensional (2D), ou acoplado (1D/2D).

Atualmente, o software HEC-RAS possui um módulo que corresponde a um modelo hidrológico baseado em células, de modo que é possível realizar a modelagem hidrológica e hidráulica de forma acoplada, como foi realizado neste trabalho. O modelo hidrológico, responsável pela conversão de chuva em vazão, baseia-se na distribuição das chuvas sobre a malha computacional, sendo então calculada a precipitação efetiva (vazão) a partir do Método do *Soil Conservation Service* (SCS), conforme equação apresentada:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)}$$

Onde:

Q – *Runoff* ou chuva excedente, em mm
 P – Precipitação, em mm
 I_a – Abstração inicial, em mm
 S – Capacidade de armazenamento do solo, em mm

Sendo $I_a = 0,2.S$

Sendo $S = \frac{25400}{CN} - 254$

CN – Índice *Curve Number* (adimensional)

Para o cálculo das perdas iniciais (I_a) foi adotado o valor de $0,1.S$, correspondendo apenas as perdas iniciais por interceptação e evapotranspiração, uma vez que as perdas por armazenamento em pequenas depressões já são consideradas no modelo hidráulico baseado em células (2D). A determinação do índice *Curve Number* (CN) na área de estudo, referente a capacidade de armazenamento no solo, é apresentada posteriormente (Índice CN – *Curve Number*).

Por sua vez, para a propagação do escoamento entre as células da malha computacional foi adotado modelo hidrodinâmico completo, cuja formulação matemática é dada pelo sistema de equações de *Saint Venant* (Equações 2 e 3), baseando-se em princípios físicos que regem o movimento dos fluidos, especificamente as leis da conservação de massa e conservação do movimento (CHAUDHRY, 2008; POPESCU, 2012). Adotando-se um volume de controle para a representação do sistema (canal), delimitado por seções transversais (forma unidimensional), assume-se que as vazões na seção de entrada (Q_{in}) devem corresponder ao volume na seção de saída (Q_{out}), em que a diferença entre Q_{in} e Q_{out} num determinado intervalo de tempo se refere ao volume armazenado no sistema neste mesmo passo de tempo. Dessa forma, a vazão, a velocidade e a altura da lâmina d'água podem ser estabelecidas em função da distância e do tempo, sendo então calculadas a partir da equação da continuidade (Equação 2).

$$\frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} = q \quad (2)$$

Onde:

A = Área da seção transversal (m^2);

Q = Vazão (m^3/s);

x = distância no sentido do escoamento (m);

t = tempo (s).

Por sua vez, a equação da quantidade de movimento (Equação 3), ou equação dinâmica, considera os efeitos hidrodinâmicos presentes no escoamento, como a translação e atenuação do hidrograma, e efeitos de jusante, que ocorrem em função das forças atuantes no sistema. Tais efeitos são acoplados no modelo através do balanço da quantidade movimento, considerando a inserção, na Equação 2, dos termos (forças) relativos à inércia ($\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\frac{Q^2}{A})}{\partial x}$), pressão ($gA \frac{\partial h}{\partial x}$), atrito (gAS_f), e gravidade (gAS_0).

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\frac{Q^2}{A})}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + gAS_f - gAS_0 = 0 \quad (3)$$

Onde:

Q = Vazão (m^3/s);

t = tempo (s);

x = distância no sentido do escoamento (m);

A = Área da seção transversal (m^2);

h = altura da lâmina d'água (m);

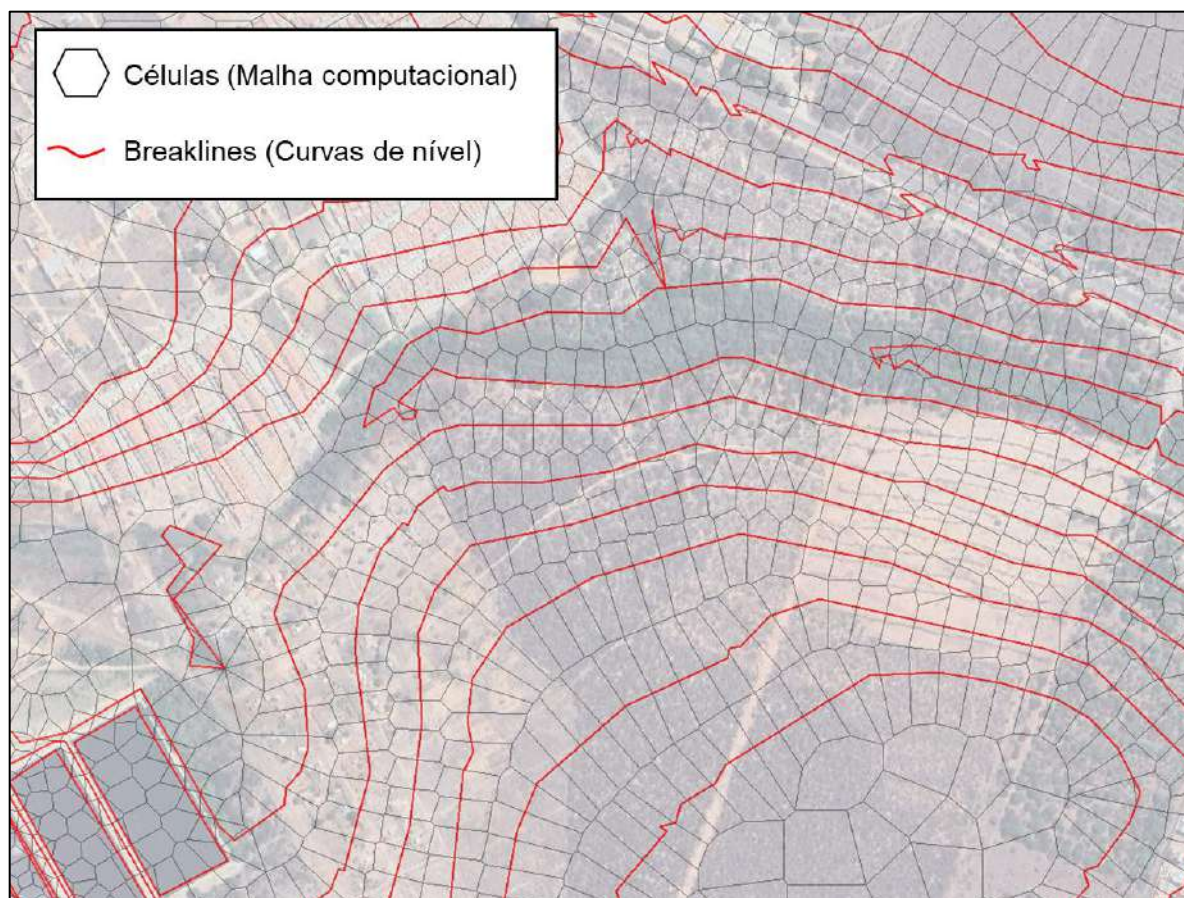
g = aceleração da gravidade (m^2/s);

S_f = declividade da linha de energia (m/m);

S_0 = declividade do fundo do canal (m/m).

Para a malha computacional, a resolução espacial adotada foi de 100m, sendo refinada com células entre 10m e 30m. Para o refinamento da malha, foram utilizadas as curvas de nível na área de estudo com equidistância de 2 metros, sendo implementadas no modelo na forma de *breaklines* (Figura 3).

Figura 3 - Visualização da malha computacional adotada nas simulações.



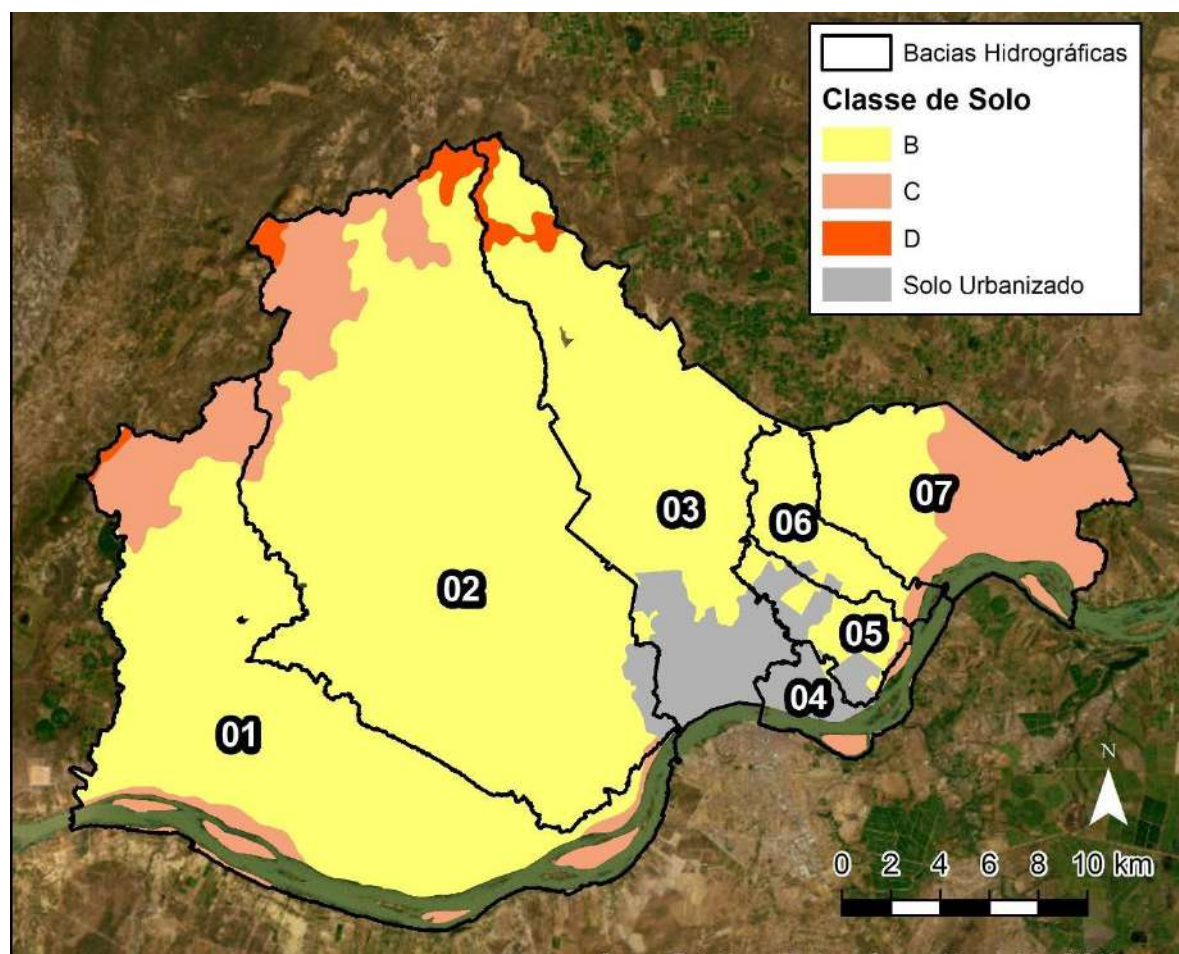
Fonte: PDCA (2023).

Para geração do escoamento superficial utilizando o Método do *Soil Service Conservation* (SCS) se faz necessária a classificação hidrológica dos solos para determinação do índice CN (*Curve Number*). Uma vez conhecidos os tipos de solos, foi feita a classificação hidrológica dos solos segundo Sartori *et al.* (2005). A classificação hidrológica dos solos, além da ordem apresentada, considera a avaliação da classificação textural dos solos, sendo utilizado para tal as informações disponíveis na base de dados da Embrapa.

A classificação hidrológica propõe a divisão dos solos em quatro grupos. Para a área estudada foram classificados solos nos Grupos B, C e D (SARTORI *et al.*, 2005), conforme distribuição de classes apresentada na

Figura 4.

Figura 4 - Classificação hidrológica dos solos na área de estudo.



Fonte: PDCA (2023).

Uma vez definidos os grupos hidrológicos dos solos de cada bacia, foi feita a determinação do CN para cada tipo de uso e ocupação do solo. Inicialmente foram analisados os valores de CN amplamente aplicados em estudos hidrológicos no Brasil, de acordo com os valores propostos por Tucci (2012), conforme

Tabela 2. Nas áreas onde não existe mapeamento de solos, como áreas urbanizadas e alguns corpos d'água, foi adotada a classe D que favorece o escoamento superficial.

O CN calculado para cada pixel, de acordo com os valores da

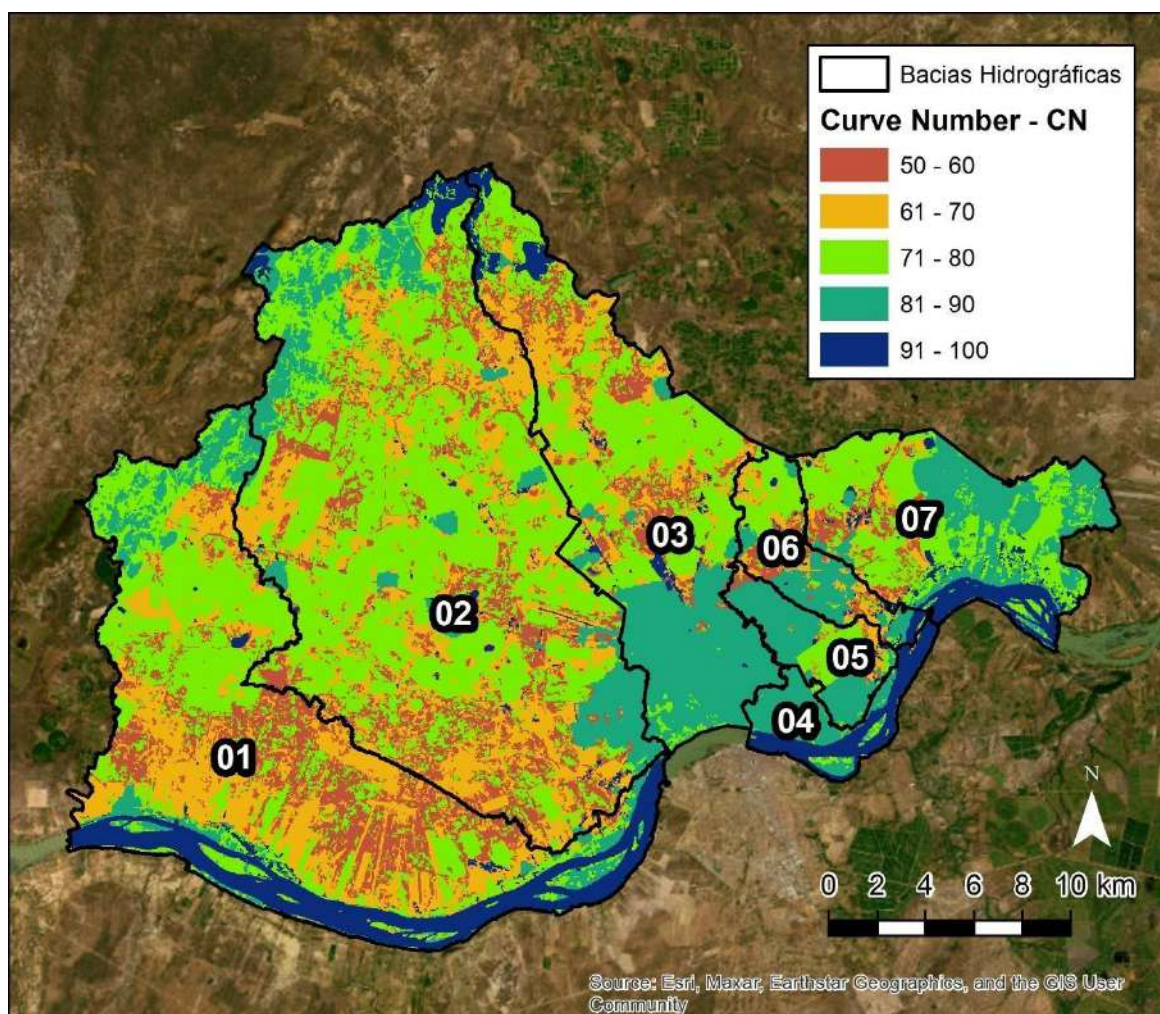
Tabela 2 e para o respectivo grupo de solo, gerou a distribuição espacial do índice apresentada na Figura 5. O escoamento superficial é diretamente proporcional ao CN, e logo, as bacias com maior percentual de áreas com CN mais elevado possuem maior capacidade de escoamento, enquanto as bacias onde prevalecem valores menores de CN possuem menor capacidade de escoamento em função das características de solos e uso e ocupação do solo.

Tabela 2 - Valores de CN para a classificação de uso e ocupação do MapBiomas por grupo hidrológico.

Classe de uso e ocupação do solo	CN por grupo de solo		
	B	C	D
Formação Florestal	60	70	76
Formação Savânica	75	86	91
Formação Campestre	60	73	79
Pastagem	69	79	84
Cana	65	77	82
Agricultura e Pastagem	67	78	83
Infraestrutura Urbana	85	90	92
Outras Áreas Não Vegetadas	85	90	92
Afloramento Rochoso	98	98	98
Rio, Lago e Oceano	100	100	100
Outras Lavouras Temporárias	73	82	86
Outras Lavouras Perenes	76	84	88

Fonte: TUCCI (2012).

Figura 5 - Índice CN (Curve Number) estimado para as bacias hidrográficas.



Fonte: PDCA (2023).

Por sua vez, o coeficiente de *Manning* é um parâmetro necessário quando se pretende modelar o escoamento superficial a partir da equação da onda dinâmica. O coeficiente representa o grau de rugosidade do solo, sendo considerada na modelagem da propagação do escoamento como sendo a tensão de cisalhamento que o solo exerce sobre o escoamento superficial. De modo geral, o coeficiente *Manning* varia entre os valores de 0,025 e 0,1, em que os menores valores representam terrenos com menor rugosidade e valores mais elevados se configuram como terrenos mais rugosos. Dessa forma, entende-se que o escoamento superficial irá ocorrer com maior velocidade em terrenos de menor rugosidade (menores valores do coeficiente *Manning*), da mesma forma como o escoamento terá menor velocidade em terrenos de maior rugosidade (valores elevados para o coeficiente de *Manning*).

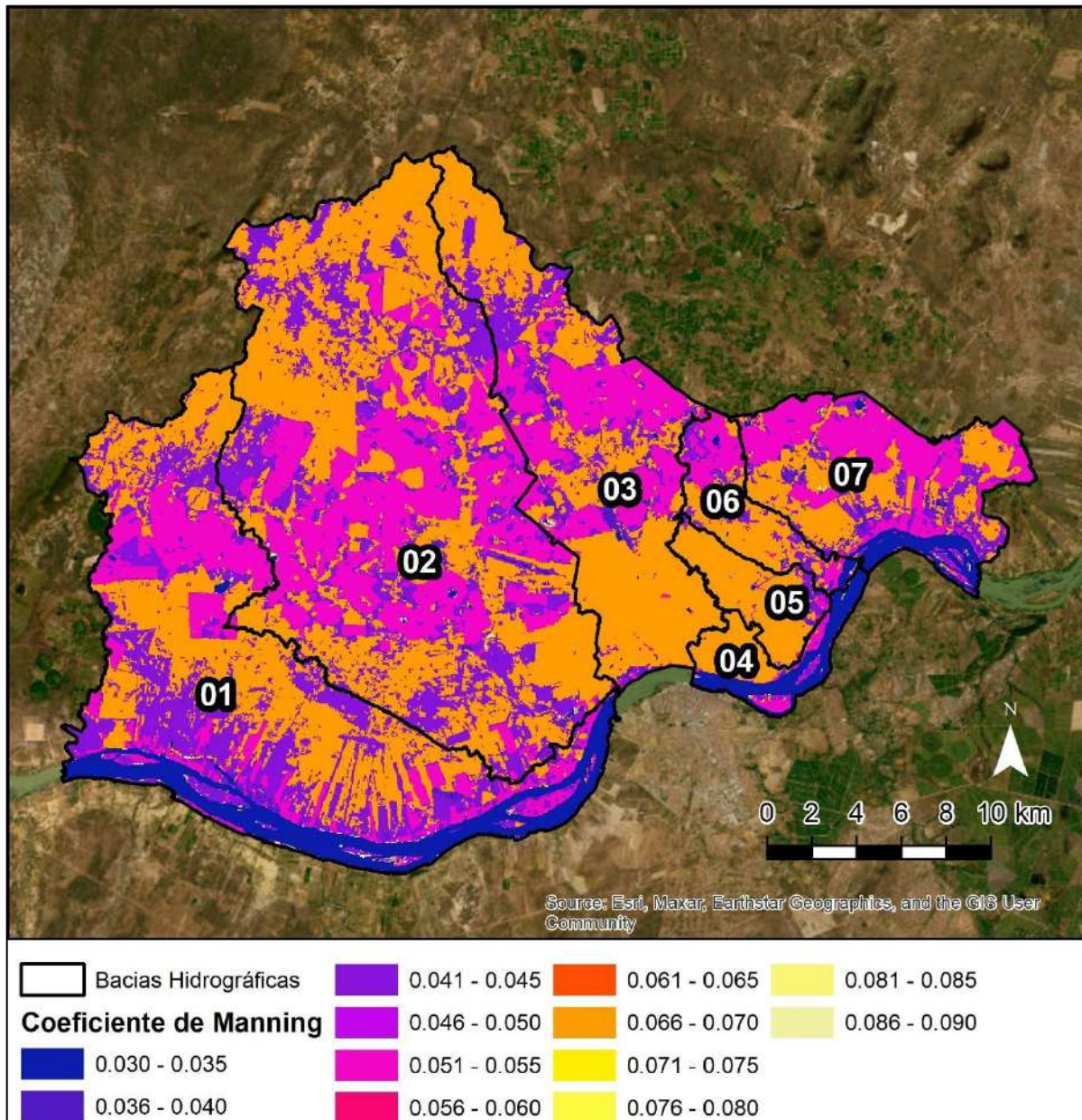
Para a sua estimativa neste trabalho, foi utilizada a base de uso e ocupação do solo (MapBiomas), e os respectivos valores para o coeficiente de *Manning* foram estabelecidos conforme a literatura consolidada em HEC-USACE (2016). As classes de uso e ocupação do solo e seus respectivos valores para o coeficiente de *Manning* são apresentados na Tabela 3 e Figura 6.

Tabela 3 - Coeficiente de *Manning* estimado para as bacias hidrográficas.

Uso e ocupação do solo	Coeficiente de <i>Manning</i>
Afloramento Rochoso	0.030
Rio, Lago e Oceano	0.035
Outras áreas não vegetadas	0.040
Agricultura e Pastagem	0.045
Pastagem	0.045
Cana	0.050
Outras Lavouras Perenes	0.050
Outras Lavouras Temporárias	0.050
Área Urbanizada	0.065
Formação Campestre	0.065
Formação Savânica	0.065
Formação Florestal	0.090

Fonte: Vem-te-Chow, 1959

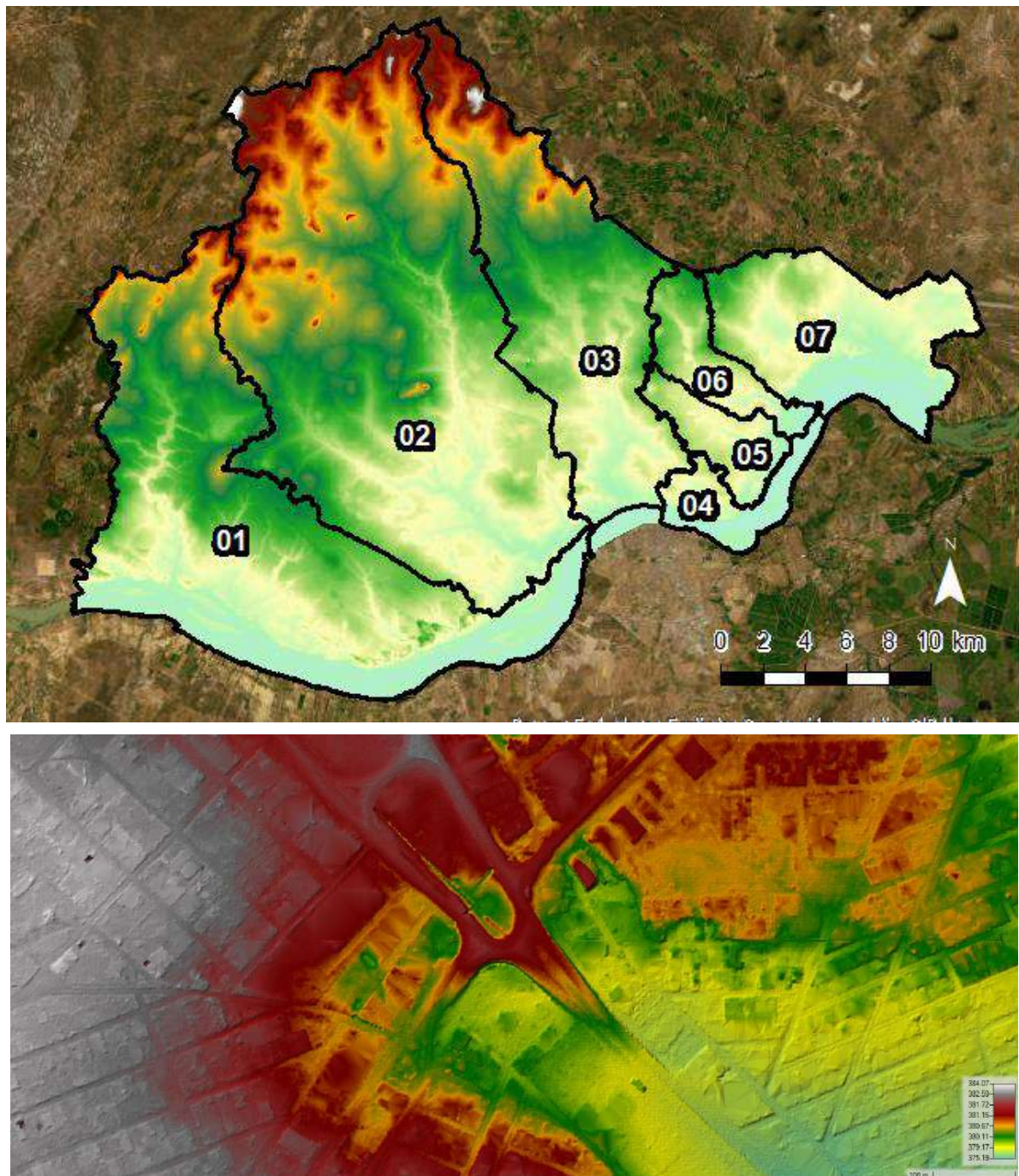
Figura 6 - Coeficiente de Manning estimado para as bacias hidrográficas



Fonte: PDCA (2023).

O modelo Digital do Terreno (MDT) utilizado se refere aos produtos do Projeto Pernambuco Tridimensional (PE3D), obtidos por tecnologia LiDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*), com resolução espacial de 1m e acurácia vertical de 0,25m, conforme pode ser visualizado na Figura 7.

Figura 7 - Modelo Digital do Terreno adotado nas simulações.



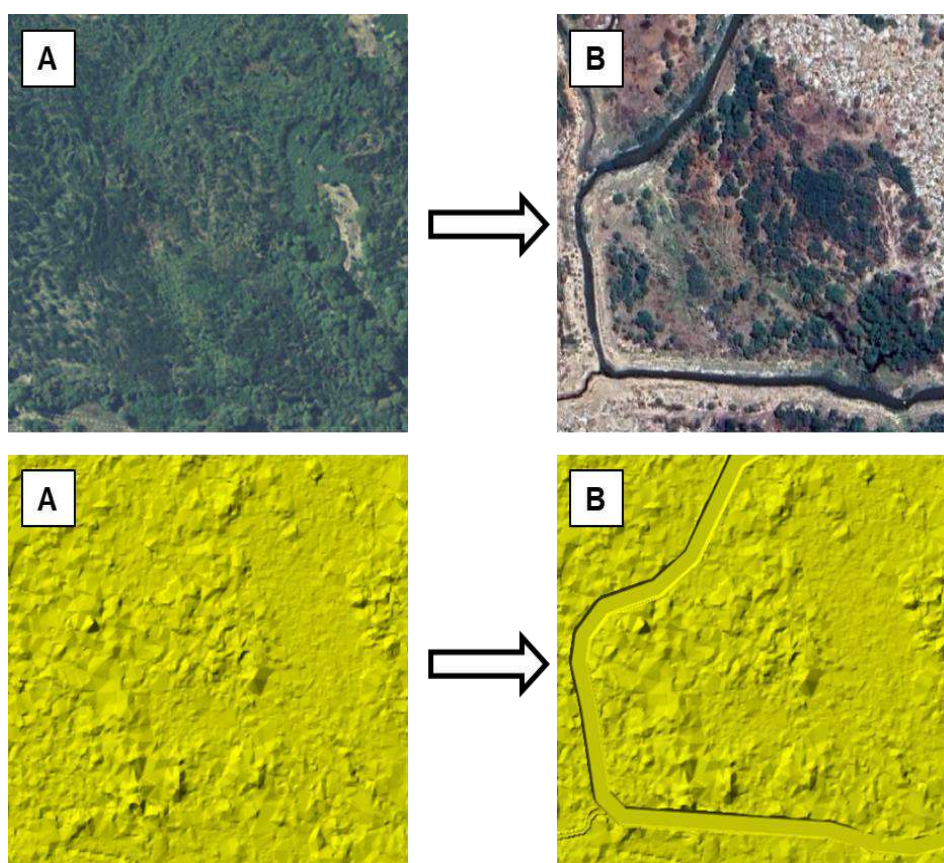
Fonte: PDCA (2023).

Em relação às condições de contorno de entrada, foram adotados os hietogramas Hietogramas de projeto calculados para os cenários simulados (TR 25 anos, 50 anos e 100 anos). Por sua vez, a jusante do sistema considerou-se as cotas médias do Rio São Francisco, conforme especificado anteriormente (Cenários simulados).

Atualmente o MDT produzido no projeto PE3D é considerado como a base altimétrica com melhor resolução espacial e acurácia altimétrica disponível para o Estado de Pernambuco, de modo que a sua utilização neste trabalho amplia o desempenho e precisão da modelagem. Em relação às modificações ocorridas no uso e ocupação do solo no município de Petrolina desde o período de realização dos levantamentos do Projeto PE3D até os dias atuais, as principais modificações identificadas (cortes e aterros) foram atualizadas no MDT.

Portanto considerando que desde o período de realização dos levantamentos do projeto PE3D até os dias atuais houveram intervenções e outras modificações no terreno, foram realizados ajustes no modelo de modo a buscar a representação do escoamento em condições atuais. Como exemplo dos procedimentos realizados neste aspecto, a Figura 8 apresenta a inserção de um canal no Modelo Digital do Terreno (MDT), cujas obras foram realizadas após a realização dos levantamentos do projeto PE3D.

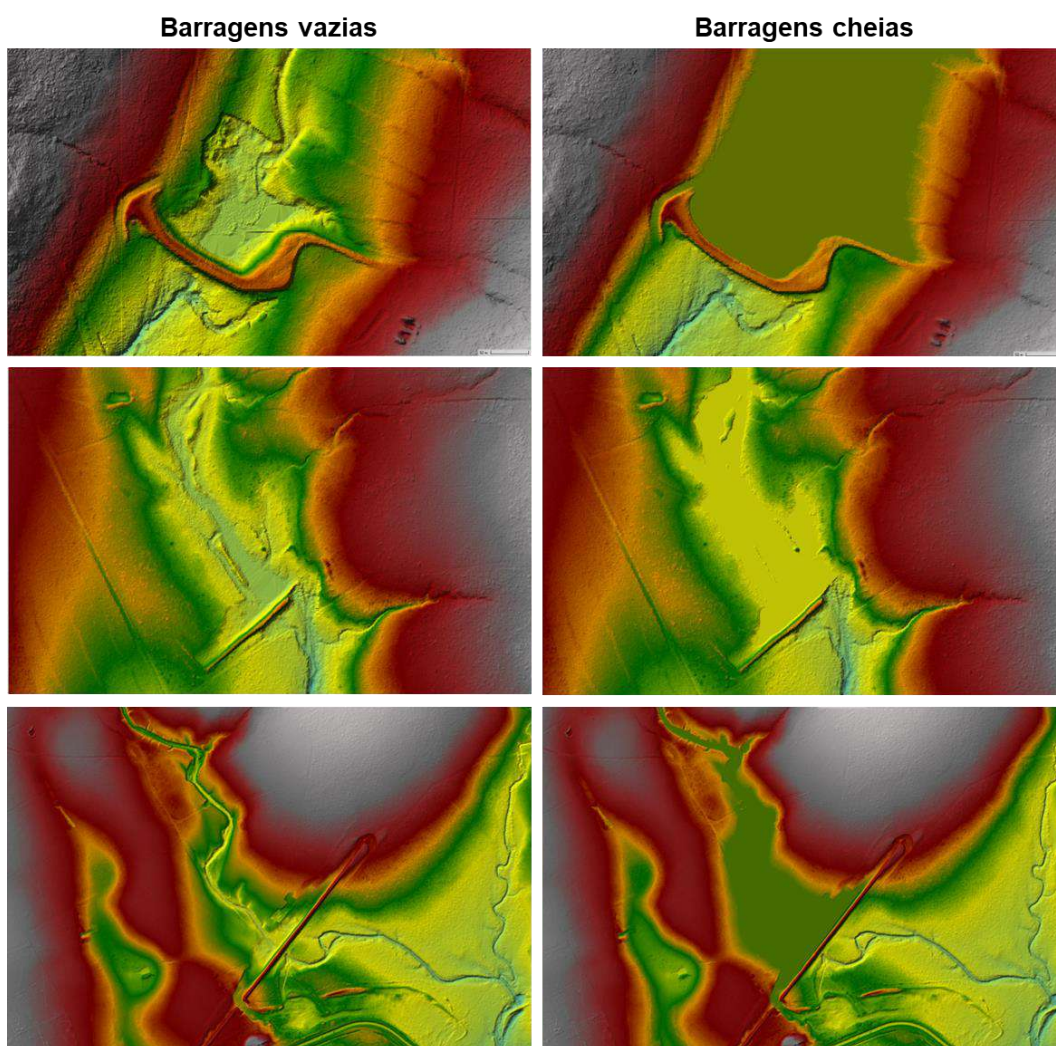
Figura 8 - Atualização do Modelo Digita do Terreno.



Fonte: PDCA (2023).

Além de atualizações no terreno, foi observado que a área de estudo possui barragens de acumulação de água para fins de abastecimento para fazendas existentes nas bacias. Neste aspecto, as barragens existentes foram consideradas como cheias, visando representar o escoamento nas bacias em condições extremas, quando as barragens estão com a sua capacidade de amortecimento reduzida, conforme ilustrado na Figura 9.

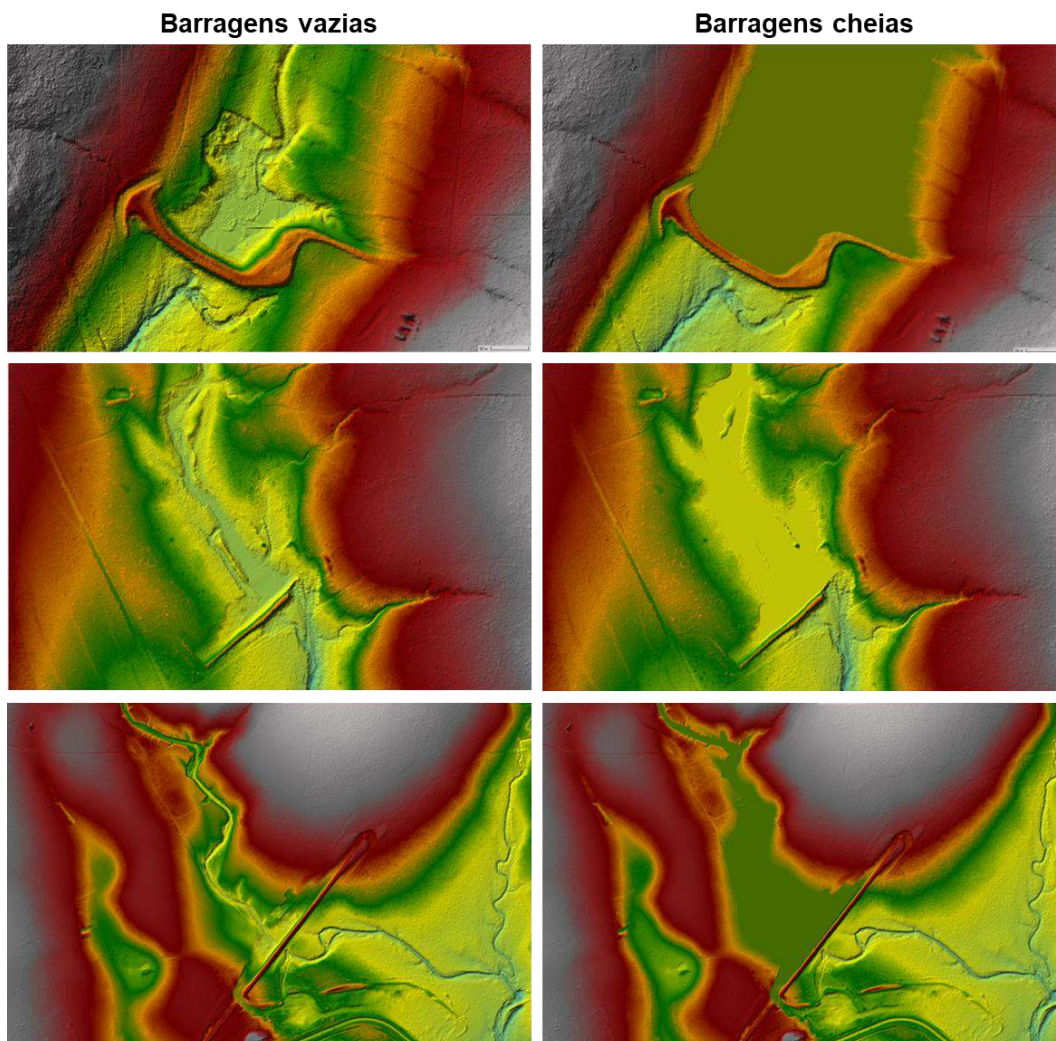
Figura 9 - Preenchimento do armazenamento em barragens.



Fonte: PDCA (2023).

Para a validação do modelo, foi simulado o evento de chuva ocorrido em Petrolina na data de 04 de novembro de 2022, uma vez que as precipitações ocorridas nesta data acarretaram inundações e alagamentos na área de Petrolina, e considerando também que foram realizados levantamentos de marcas de cheia para o evento. O evento foi simulado para a Bacia 03, com o intuito de validar o seu desempenho a partir da comparação entre os valores simulados e os dados verificados em campo.

Figura 9 - Preenchimento do armazenamento em barragens.

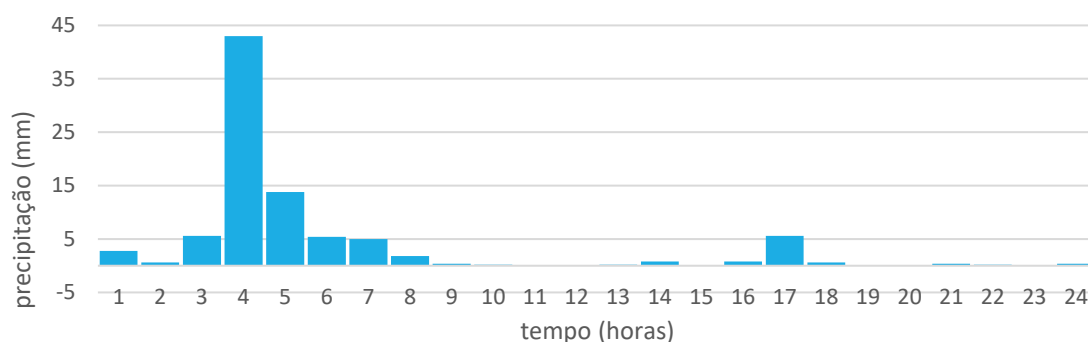


Fonte: PDCA (2023).

Para a validação do modelo, foi simulado o evento de chuva ocorrido em Petrolina na data de 04 de novembro de 2022, uma vez que as precipitações ocorridas nesta data acarretaram inundações e alagamentos na área de Petrolina, e considerando também que foram realizados levantamentos de marcas de cheia para o evento. O evento foi simulado para a Bacia 03, com o intuito de validar o seu desempenho a partir da comparação entre os valores simulados e os dados verificados em campo.

A simulação de validação seguiu as especificações mencionadas ao longo deste item do relatório, sendo então adotada a chuva ocorrida como condição de contorno de entrada. Os dados de precipitação foram obtidos da estação “Jardim São Paulo”, implantada na área urbana de Petrolina pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). O hietograma adotado na simulação é apresentado na Figura 10. O hietograma foi elaborado em intervalos de discretização de 05 minutos, mas é apresentado no gráfico a seguir com intervalo de tempo em horas apenas com o intuito de simplificar a sua visualização.

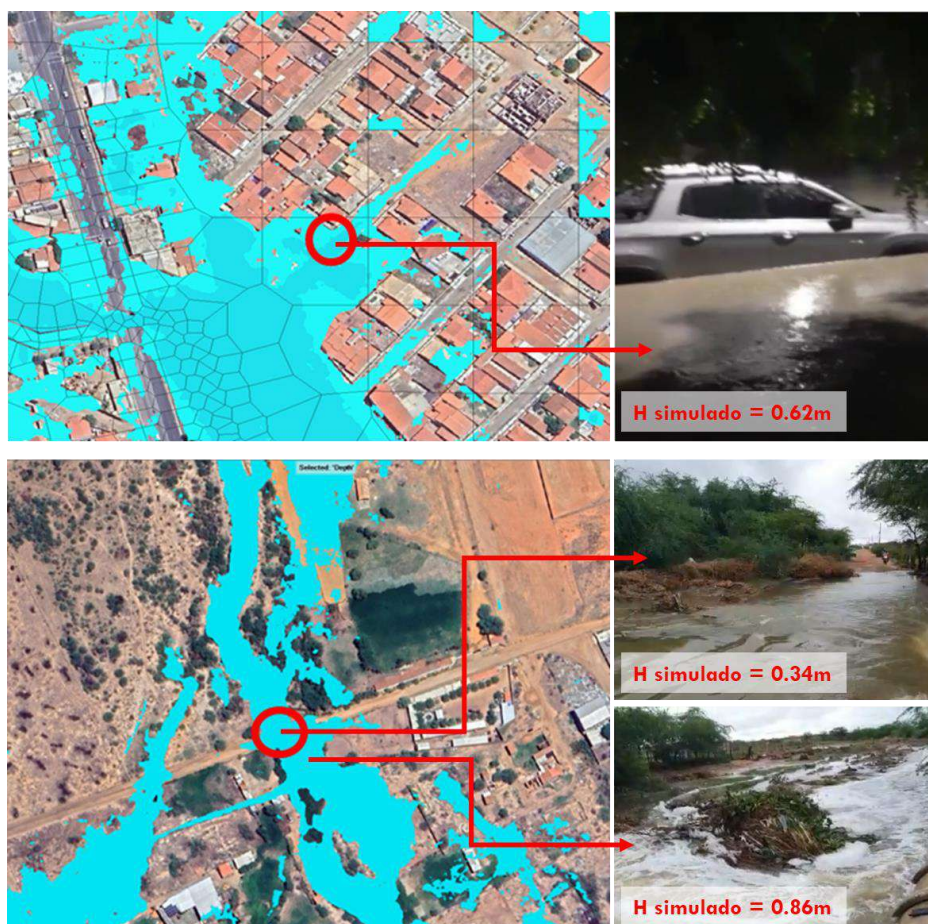
Figura 10 - Precipitação adotada na simulação de validação (04/11/2022).



Fonte: PDCA (2023).

Quando comparados os resultados da simulação de validação com as informações de campo, aqueles apontaram similaridades com margem de erro de aproximadamente 15cm entre as lâminas d'água simuladas e valores observados em campo (Figura 11). Dessa forma, os resultados de validação foram apresentados para a equipe técnica da Secretaria de Infraestrutura e Mobilidade (SEINFRA), de modo que a metodologia e validação do modelo foi aprovada e considerada adequada para a realização dos estudos.

Figura 11 - Resultados do modelo na simulação de validação (04/11/2022).



Fonte: PDCA (2023).

2.3 ELABORAÇÃO DO PLANO DE AÇÕES

A partir da consolidação dos estudos desenvolvidos nas fases anteriores, foi elaborado o plano de ações, abrangendo ações estruturais e não estruturais, classificadas em ações imediatas, ações sistemáticas e ações prioritárias. Por sua vez, foi realizada a análise de prioridade das ações, buscando hierarquizar as mesmas por ordem de prioridade, e por fim, definir o cronograma de implementação.

2.3.1 Definição de ações imediatas

Esta atividade compreendeu a definição das ações de curto prazo inseridas no Plano, sobretudo no que diz respeito a: indicações de ordem operacional e de manutenção nos sistemas de drenagem; correções ou adaptações de obras ou projetos em curso; recomendações de áreas a serem protegidas, desocupadas ou reservadas; e proposição de medidas de utilização e manutenção da várzea após desapropriação.

A partir do diagnóstico da situação atual, e das características de ocupação urbana das bacias do município, foram propostas as diretrizes básicas de ações estruturais e não estruturais para composição do Plano Diretor de Macrodrenagem do município, levando-se em conta: bacias com urbanização consolidada, ou seja, aquelas cujas áreas se encontram totalmente ocupadas e servidas inteiramente, ou quase a totalidade, por redes de galerias de águas pluviais; bacias com urbanização em consolidação, ou seja, aquelas cujas áreas se encontram parcialmente ocupadas, com exceção das várzeas inundáveis e esparsamente dotadas de redes de galerias de águas pluviais; bacias em urbanização, ou seja, aquelas cujas áreas estão atualmente em início de processo de urbanização; áreas abrangendo núcleos isolados.

Além disso, foram definidos critérios básicos para estudos e projetos de drenagem urbana, sendo estabelecidos e discutidos os padrões e critérios hidráulicos e hidrológicos a serem utilizados na elaboração do Plano Diretor de Macrodrenagem e na comparação das alternativas, como: vazões de restrição; níveis de cheias para vários períodos de retorno; período de retomo das vazões superiores às de projeto pelas quais devem ser delineadas as áreas inundáveis ao longo dos macrodrenos, para efeito de aquisição dos terrenos pela municipalidade, de regulamentação do uso e ocupação do solo das várzeas, seguro contra inundações etc.; os bordos livres a

serem adotados para cada tipo de obra (canais abertos e de contorno fechado, reservatórios de detenção ou retenção, bueiros, diques etc.); as condições para utilização ou não de canais de contorno fechado; as condições a serem consideradas para retificação e/ou revestimento de canais; os critérios hidráulicos a serem observados no dimensionamento dos reservatórios de detenção; período de retomo das vazões para efeito de dimensionamento ou remanejamento de travessias de sistemas viários (pontes, pontilhões etc.); considerar o regime de chuvas com o maior período de recorrência possível.

2.3.2 Definição de ações sistemáticas

Nesta etapa foram definidas ações sistemáticas a serem aplicadas no sistema de macrodrenagem do município de Petrolina/PE. A partir do diagnóstico da situação atual do sistema de macrodrenagem realizado e das características de ocupação urbana das bacias do município, foram propostas ações sistemáticas, aliadas às medidas estruturais e não estruturais, além do programa de implementação do Plano Diretor. Foi utilizada a divisão da macrozona urbana de Petrolina em bacias hidrográficas, sendo estabelecidas ações diretamente para cada uma delas, não eliminando, no entanto, a proposição de ações que atuem de forma global em toda a macrozona urbana municipal.

2.3.3 Definição de ações prioritárias

Para a concepção de ações, objetivo deste produto, partiu-se do diagnóstico realizado no Produto 04 e das diretrizes gerais estabelecidas para o Plano de Macrodrenagem no Produto 05. A partir do diagnóstico, os pontos críticos identificados foram analisados neste momento de forma detalhada, buscando identificar principais causas dos problemas existentes e diferentes alternativas de propostas para a mitigação dos riscos já incidentes. Em seguida, as análises e proposição de ações foram realizadas para pontos críticos secundários identificados no diagnóstico, os quais consistem em problemas isolados e de pequeno alcance em comparação com os principais trechos críticos. Por fim, buscou-se também a proposição de ações na perspectiva preventiva, em que foram formuladas proposições para áreas de expansão da cidade que ainda não são ocupadas pela malha urbana.

Dessa forma, adotando-se tais princípios e diretrizes, foram estabelecidas possíveis alternativas para a mitigação dos problemas identificados em cada ponto crítico. A definição de diferentes alternativas de ações foi realizada buscando explorar e analisar um conjunto de medidas possíveis de serem aplicadas, e não apenas uma única solução. Todas as ações concebidas foram apresentadas, analisadas e discutidas com a equipe técnica da Secretaria

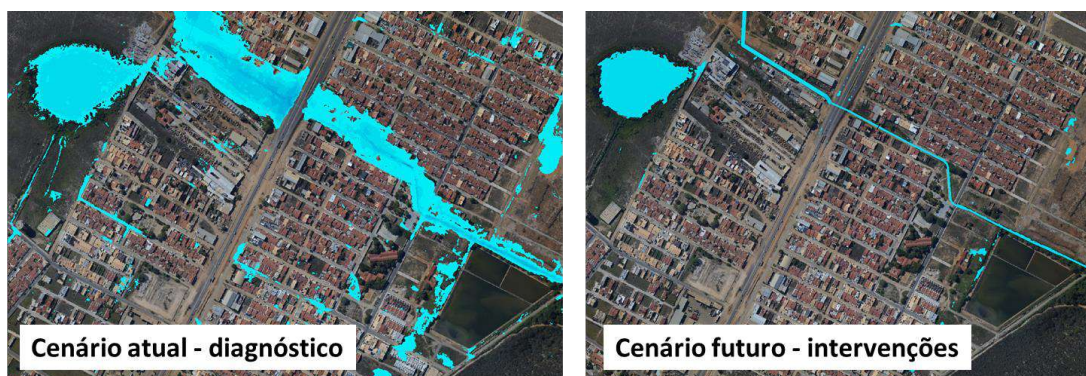
de Infraestrutura e Mobilidade de Petrolina (SEINFRA), a partir de reuniões realizadas durante todo o período de desenvolvimento deste produto, de modo que fossem estabelecidas apenas soluções que estivessem compatíveis e alinhadas com a Gestão Municipal. Por fim, uma vez elencadas as possíveis alternativas de ações para os pontos críticos, foi realizada a modelagem de cenários futuros com o intuito de verificar o desempenho de cada uma das alternativas, e a sua respectiva viabilidade de implementação considerando aspectos técnicos, financeiros, sociais e ambientais. Dessa forma, com base nos resultados da modelagem, foram definidas as ações a serem propostas no Plano de Macrodrenagem, conforme procedimentos metodológicos apresentados na seção a seguir.

A definição de ações prioritárias (ações estruturais e não-estruturais) recomendadas para cada uma das bacias, foi realizada a partir da modelagem de cenários futuros, buscando avaliar as diretrizes mais adequadas do ponto de vista técnico, econômico, social e ambiental. Para isso, foram analisadas diferentes alternativas para mitigar problemas de drenagem identificados no diagnóstico do Plano, consistindo assim nos cenários de intervenções explorados nesta etapa do trabalho. Foi adotado o tempo de recorrência de 25 anos para a modelagem dos cenários, assim como para a concepção das ações e o seu respectivo dimensionamento (no caso de ações estruturais).

A definição de cenários pode ser exemplificada a partir da seguinte situação hipotética: Em um determinado curso hídrico, a mitigação dos riscos ocasionados pelo seu transbordamento pode ser realizada adotando-se a implantação apenas de dispositivos de amortecimento de vazões (cenário 01); ampliando-se apenas a capacidade de vazão do curso hídrico a partir de intervenções em seu leito, como o aumento da seção transversal e/ou da sua declividade (cenário 02); adotando-se apenas a implementação de medidas não estruturais, como a definição de áreas “*Non Aedificandi*” em toda a margem suscetível à ocorrência de inundações, sem que seja necessário executar obras hidráulicas mas podendo acarretar em desapropriações e desocupação de imóveis já existentes na área (cenário 03); e também, a mitigação dos riscos nesta área pode ser efetuada implementando-se diferentes intervenções em conjunto, considerando as ações mencionadas nos cenários anteriores (cenário 04). Dessa forma, buscou-se explorar diferentes alternativas para um mesmo problema, possibilitando a definição das ações mais adequadas para o Plano de Macrodrenagem, em relação a sua viabilidade técnica, financeira, social e ambiental.

Cada um dos cenários propostos foi avaliado a partir de modelagem hidrodinâmica (*software* HEC-RAS), sendo verificado o desempenho das alternativas concebidas na mitigação dos problemas de drenagem (Figura 12), os aspectos relacionados à sua viabilidade técnica e custos financeiros, sociais e ambientais. Cada um dos cenários foi apresentado e discutido em reuniões realizadas com a equipe técnica da SEINFRA no intuito de definir o cenário adotado, compondo assim a lista de ações propostas no Plano de Macrodrenagem.

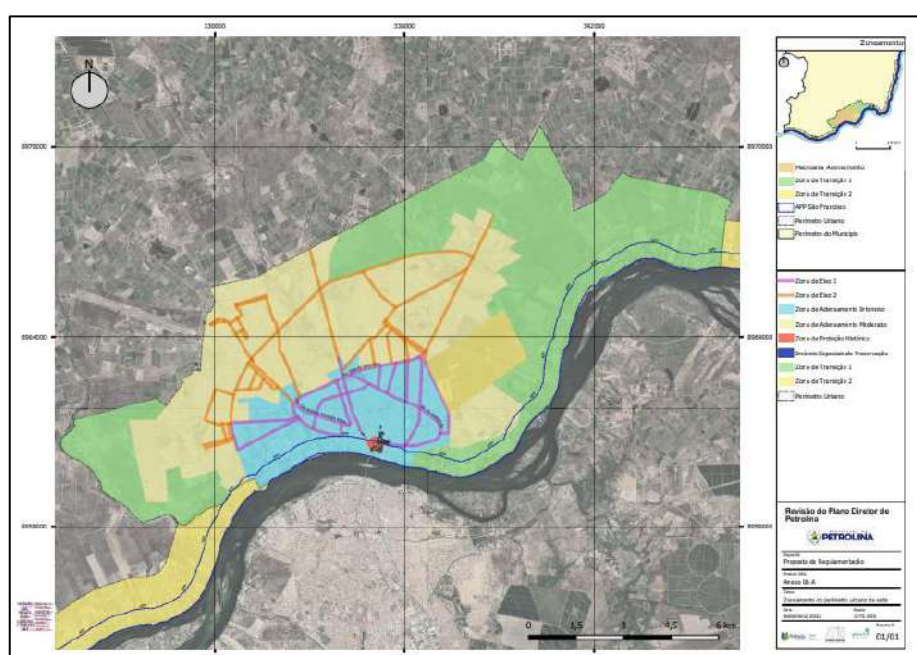
Figura 12. Modelagem de cenário futuro e análise de desempenho das ações propostas



Fonte: PDCA (2023).

Além das intervenções, os cenários modelados levaram em consideração a expansão da área urbana ocupada, uma vez que este processo irá acarretar a redução de áreas permeáveis nas bacias, e por sua vez, alterando o comportamento do escoamento em relação ao cenário atual modelado na etapa de diagnóstico. Assim, além das áreas atualmente ocupadas, adotou-se na modelagem a projeção de crescimento urbano proposto no Plano Diretor do Município, abrangendo a ocupação urbana na Zona de Transição 01 (ainda não ocupada) e a taxa de impermeabilização de 90% (Figura 13). Dessa forma, buscou-se a concepção e definição de ações compatíveis com horizontes futuros e possibilitando a proposição de ações preventivas, sobretudo no que diz respeito a delimitação de Áreas de Proteção Permanente e de Áreas “Non Aedificandi” necessárias para a prevenção de eventuais riscos hidrológicos futuros em regiões da cidade que ainda não são ocupadas.

Figura 13. Áreas de expansão urbana definidas no Plano Diretor de Petrolina



Fonte: PDCA (2023).

Dessa forma, buscou-se explorar diferentes cenários para a mitigação dos problemas identificados no diagnóstico, de forma compatível com o planejamento municipal, favorecendo a definição de propostas com maior viabilidade de implementação, seja do ponto vista técnico, financeiro, social ou ambiental. Como resultados desta etapa é apresentada a descrição do cenário futuro proposto pelo plano para cada uma das bacias, incluindo os aspectos considerados para a sua definição e as diretrizes propostas.

2.3.4 Hierarquização das ações

A classificação de prioridade das ações propostas foi realizada a partir da análise de cada uma das medidas elencadas, em função do seu respectivo custo financeiro de execução e o seu impacto positivo obtido após efetivada (benefício). Dessa forma, buscou-se estabelecer uma ordem de prioridade de implementação de cada uma das ações a partir do seu custo-benefício, sendo assim fundamental para a consolidação do Plano de Ações, conforme procedimentos metodológicos detalhados nesta seção do relatório.

Para isso, as medidas propostas foram agrupadas em trechos definidos de acordo com as suas ordens de execução, ou seja, de jusante para montante, uma vez que para o bom funcionamento do encaminhamento das águas pluviais o caminho precisa estar livre até o seu exultório no Rio São Francisco. Portanto os trechos foram subdivididos tendo como limitadores avenidas importantes para o município ou mudança de sentido do corpo hídrico.

Após a definição dos trechos, foi calculado o respectivo custo e benefício de cada trecho, possibilitando assim a hierarquização de prioridade das medidas propostas.

Para o cálculo do custo foram considerados alguns projetos realizados para o município, assim como planilhas de órgãos públicos como referência. Portanto todas as diretrizes foram transformadas em serviços, obtendo como resultado uma planilha geral contendo itens de serviços que por fim determina o custo parametrizado para a bacia.

Por sua vez, o cálculo do benefício de cada trecho foi realizado a partir da identificação do número de edificações existentes atualmente em situação de risco hidrológico, e as quais serão beneficiadas com a implementação das medidas propostas no trecho. Sendo assim, o benefício das ações foi considerado como o seu potencial de reduzir o número de edificações atualmente expostas à riscos hidrológicos. Para isso, foi utilizada a base de dados georreferenciados referente à lotes e edificações existentes na área urbana de Petrolina, disponibilizada pela SEINFRA, e as áreas suscetíveis à ocorrência de inundações obtidas por modelagem hidrodinâmica na etapa de diagnóstico do Plano de Macrodrenagem (Produto 04). Dessa forma, foi possível identificar o quantitativo de edificações atualmente em situação de risco hidrológico, considerando também o respectivo grau de risco de cada edificação, conforme apresentado na Tabela 4, cuja classificação das categorias de risco foi realizada a

partir dos estudos realizados por Appelbaum (1985), Zonensein (2007), Cançado (2009), e Almeida e Euletério (2019).

Tabela 4 - Classificação do grau de risco hidrológico das edificações

Grau de Risco	Altura da lâmina d'água	Potenciais danos e prejuízos ocasionados
Risco 01	Abaixo de 0,50m	A lâmina d'água se encontra poucos centímetros acima do meio, podendo ocasionar em alagamentos no interior de imóveis, mas com danos de menor magnitude.
Risco 02	Entre 0,50m e 0,70m	A lâmina d'água com 50cm inunda ruas, além de parques, calçadas, canteiros, quintais e estacionamentos. Pode interromper tráfego de veículos e principalmente de pessoas, podendo invadir casas mais simples, com soleiras próximas ao nível das calçadas.
Risco 03	Entre 0,70m e 1,0m	A 70cm, a água muito provavelmente já invadiu o interior de casas, causando danos a sua estrutura e conteúdo.
Risco 04	Entre 1,0m e 1,5m	A esta altura a água atinge praticamente todos os bens no interior das casas
Risco 05	Acima de 1,5m	Esta profundidade atinge não só bens, mas também é suficiente para causar afogamentos.

Fonte: Adaptado de Zonensein (2007)

A partir das faixas de risco estabelecidas, o Índice de Benefício das ações foi calculado considerando o número de edificações que serão beneficiadas pela realização das intervenções em cada trecho. Para isso, considerou-se também o grau de risco em que as edificações se situam atualmente, a partir da seguinte equação:

$$\text{Índice de Benefício} = (\text{Edificações em Risco 01} * 0,2) + (\text{Edificações em Risco 02} * 0,4) + (\text{Edificações em Risco 03} * 0,6) + (\text{Edificações em Risco 04} * 0,8) + (\text{Edificações em Risco 05} * 1,0)$$

Por fim, uma vez calculados o custo e o benefício das ações em cada trecho, o grau de prioridade foi obtido por meio de análise multicritério, a partir da soma ponderada do custo e do benefício calculados. O peso dos critérios foi obtido a partir da consulta, por formulário, de gestores, analistas e técnicos da SEINFRA, AM, SEDURBHS, SESP e Defesa Civil. O peso final dos critérios foi estabelecido em função da média aritmética obtida dos pesos fornecidos individualmente, chegando-se à seguinte equação:

$$\text{Prioridade do Trecho} = (\text{Custo de implementação} * 0,23) + (\text{Benefício obtido} * 0,77)$$

Assim, buscou-se hierarquizar as ações de modo que quanto menor o custo e maior benefício, maior é a sua prioridade de implementação, mas de forma ponderada, considerando que o benefício das ações deve ter um maior peso do que o custo no grau de prioridade. Dessa forma, foi possível estabelecer a hierarquia de prioridade de todas as ações propostas no plano, agrupadas em trecho, e possibilitando também identificar as bacias prioritárias para a implementação das medidas propostas

Por fim, a partir da classificação de prioridade das medidas propostas, foi realizada a elaboração do Plano de Implementação das Ações, o qual consiste na definição dos horizontes temporais em que cada ação deverá ser executada (curto prazo, médio prazo e longo prazo). Nesta etapa foram consideradas todas as ações propostas no Plano, e não apenas as ações específicas determinadas para os trechos prioritários.

Para isso, considerou-se a urgência das ações e aspectos relacionados às possibilidades de implementação. Em relação à urgência, foi observado o grau de prioridade obtido a partir da hierarquização de prioridade calculada, e também, aspectos identificados ao longo da elaboração do plano e os quais explicitam as necessidades de ações com maior e menor urgência. Por sua vez, em relação às possibilidades de implementação buscou-se distribuir as ações de modo que estas possam ser viabilizadas no aspecto temporal, considerando o seu tempo de execução, evitando concentrar a execução de um número excessivo de ações num mesmo período de tempo, e assim, buscando o máximo possível distribuir as ações ao longo do horizonte do plano.

2.3.5 Definição do cronograma de implementação das ações

Por fim, a partir da classificação de prioridade das medidas propostas, foi realizada a elaboração do Plano de Implementação das Ações, o qual consiste na definição dos horizontes temporais em que cada ação deverá ser executada (curto prazo, médio prazo e longo prazo). Nesta etapa foram consideradas todas as ações propostas no Plano, e não apenas as ações específicas determinadas para os trechos prioritários.

Para isso, considerou-se a urgência das ações e aspectos relacionados às possibilidades de implementação. Em relação à urgência, foi observado o grau de prioridade obtido a partir da hierarquização de prioridade calculada, e também, aspectos identificados ao longo da elaboração do plano e os quais explicitam as necessidades de ações com maior e menor urgência. Por sua vez, em relação às possibilidades de implementação buscou-se distribuir as ações de modo que estas possam ser viabilizadas no aspecto temporal, considerando o seu tempo de execução, evitando concentrar a execução de um número excessivo de ações num mesmo período de tempo, e assim, buscando o máximo possível distribuir as ações ao longo do horizonte do plano.

2.4 ELABORAÇÃO DE DOCUMENTOS FINAIS

Como última etapa, foram elaborados os seguintes documentos que se constituem enquanto produtos finais do Plano de Macrodrenagem de Petrolina em sua totalidade:

2.4.1 Plano de Macrodrenagem

O plano de Macrodrenagem se constitui enquanto relatório técnico que abrange a apresentação do Plano de Macrodrenagem de Petrolina, a partir da consolidação dos estudos e trabalhos desenvolvidos nas etapas anteriores. Enquanto o presente relatório apresenta todo o escopo das atividades realizadas e resultados obtidos, o Plano de Macrodrenagem contém apenas as informações necessárias para o seu estabelecimento, sobretudo no que diz respeito aos princípios e diretrizes, ações imediatas, ações sistemáticas e ações prioritárias, além da hierarquia de prioridade das ações e cronograma de implementação.

2.4.3 Lei do Plano de Macrodrenagem

Enquanto o Plano de Macrodrenagem se constitui em formato de relatório e apresenta todo o seu escopo, a Lei do Plano de Drenagem foi elaborada para se constituir enquanto instrumento normativo, possibilitando que a gestão da macrodrenagem no município possa ser realizada também de forma legislativa. Para a sua elaboração foram considerados os elementos do Plano de Drenagem que passam se configura enquanto lei a partir da aprovação do Plano, e também, todos os demais itens obrigatórios para que o documento possa se intituir enquanto instrumento jurídico.

2.4.2 Manual de Drenagem

Por fim, o Manual de Drenagem de Petrolina foi elaborado a partir dos estudos e diretrizes do Plano Diretor de Macrodrenagem (PDM) e do Plano Diretor Participativo do Município de Petrolina (PDPMP) vigente, fornecendo diretrizes e parâmetros essenciais para dimensionar adequadamente a drenagem urbana na cidade, levando em consideração as restrições e métodos aceitos.

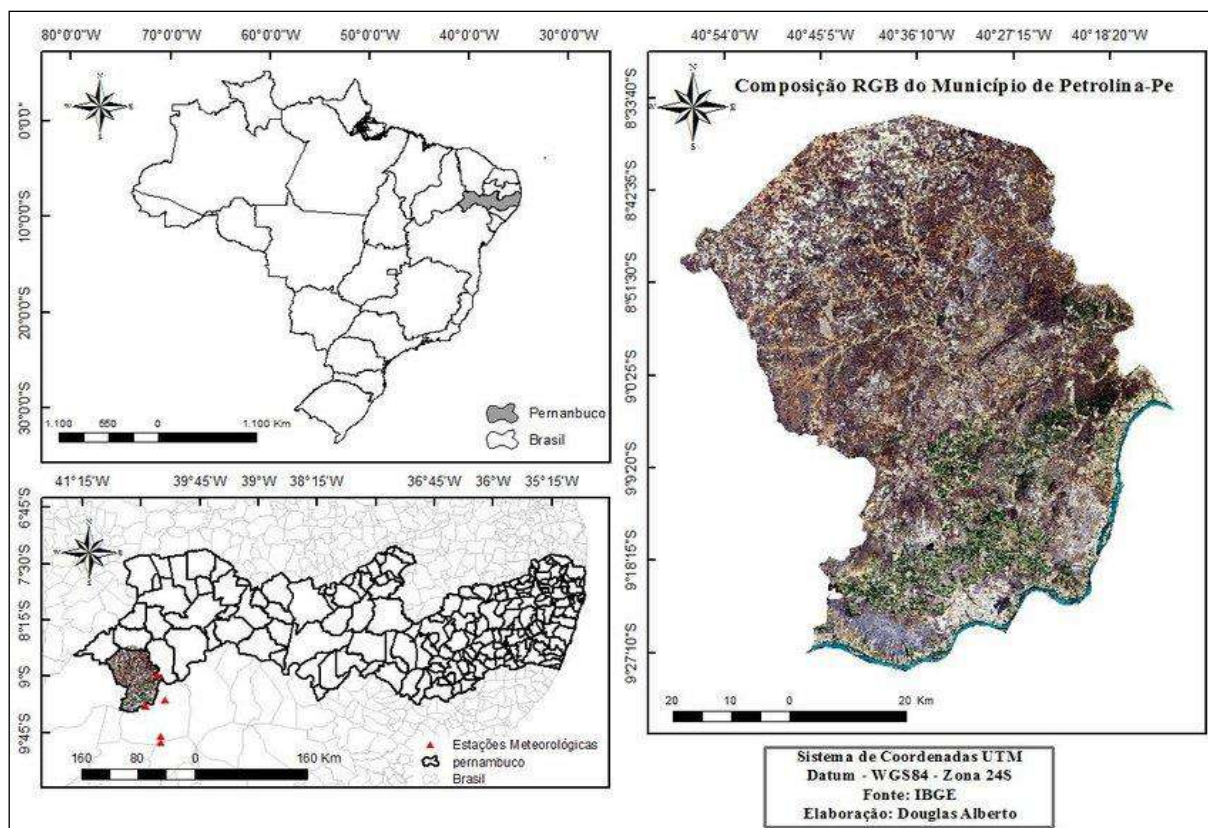
3. RESULTADOS OBTIDOS - DIAGNÓSTICO

3.1 ÁREA E LOCALIZAÇÃO

O município de Petrolina possui uma área de 4561,87 km², situando-se a 09° 23' 55" de latitude sul e 40° 30' 03" de longitude oeste, estando a 712 km a oeste da capital estadual. A Figura 14 mostra uma imagem de satélite de Petrolina com indicação de sua área urbanizada. Petrolina está inserida na microbacia menor do Riacho do Pontal, inserida na macrobacia hidrográfica do Rio São Francisco, além do grupo de Bacias de Pequenos Rios Interiores. Todos seus cursos d'água, com exceção do São Francisco, são intermitentes e têm como padrão de drenagem o dendrítico.

O município se localiza na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, unidade que é formada pelas principais características do semiárido nordestino. Seu relevo é marcado por uma superfície de pediplanação muito monótona, sendo predominantemente suave-ondulado e atravessado por vales estreitos com vertentes dissecadas. Na linha do horizonte, também pontuam elevações residuais, cristas com/sem outeiros.

Figura 14 – Mapa com localização de Petrolina.



Fonte: PDCA (2022).

3.2 SOCIOECONOMIA

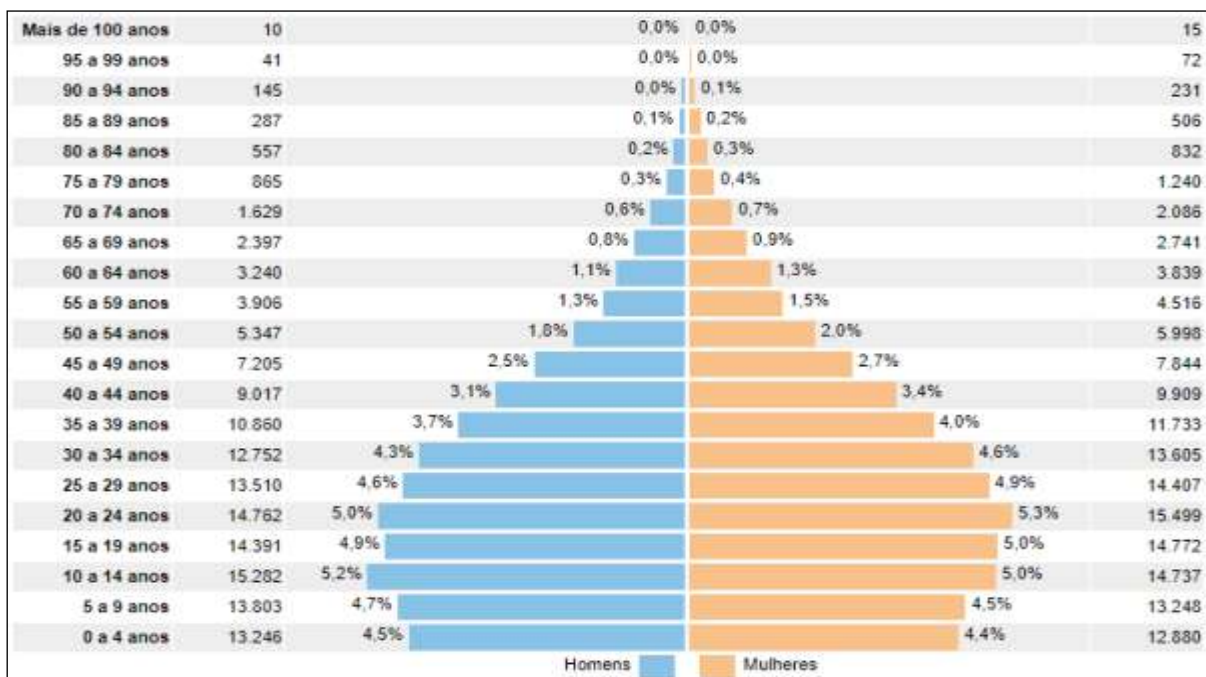
3.2.1 População

A população estimada atual (2021) de Petrolina é de 359.372 habitantes, segundo IBGE (2021). Essa estimativa foi calculada pelo método matemático desenvolvido por João Lira Madeira e Celso Cardoso da Silva Simões, denominado AiBi, que utiliza como insumos básicos as populações obtidas pelas Projeções da População para o Brasil e as Unidades da Federação mais recentes, além do crescimento populacional de cada município na última década.

A população do município no censo de 2010 foi de 293.962 habitantes, um aumento de 22,3% no número de habitantes. O município tem extensão territorial de 4.561,87 km². A densidade demográfica, segundo o censo de 2010 do IBGE, é de 64,44 hab/km². Considerando a população atual estimada, a densidade demográfica de Petrolina em 2021 é de 78,78 hab/km².

A Figura 15 mostra a Pirâmide Etária de Petrolina do ano de 2010, de acordo com o último censo do IBGE (2021), que divide a população de acordo com o gênero e faixa etária. Observa-se que a maior porcentagem de homens se concentra na faixa etária de 10 a 14 anos, com 15.282 homens, seguida da faixa etária de 20 a 24 anos, com 14.762 homens.

Figura 15 – Distribuição da população de Petrolina por faixa etária e gênero.



Fonte: IBGE (2021).

Com relação às mulheres, a maior porcentagem se concentra na faixa etária de 20 a 24 anos, com 15.499 mulheres, seguida da faixa etária de 15 a 19 anos, com 14.772 mulheres. É importante salientar que essa informação é necessária na elaboração de ações e prestação de serviços de saúde para a população do município.

Com relação ao grau de urbanização de Petrolina, que é o percentual da população urbana em relação à população total do município, a população urbana da cidade no último censo do IBGE de 2010 era de 219.215 habitantes. A população total da cidade era de 293.962. Assim, o grau de urbanização do município é de 74,57%.

3.2.2 Trabalho e Rendimento

Com relação ao trabalho e rendimento da população de Petrolina, em 2019, o salário médio mensal era de 2.1 salários-mínimos. A proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 20.3%. Considerando domicílios com rendimentos mensais de até meio salário-mínimo por pessoa, a cidade tinha 39.8% da população nessas condições segundo o censo do IBGE (2021). O setor que mais emprega em Petrolina é o de serviços, seguido do da agricultura.

3.2.3 Educação

Segundo dados de educação de Petrolina, a taxa de escolarização de crianças de 6 a 14 anos de idade, de acordo com o censo de 2010, foi de 97%. Com relação aos dados do Índice de Desenvolvimento da Educação Básica (IDEB) de 2019, os alunos dos anos iniciais e finais do ensino fundamental da Rede pública tiveram índice de 6,2 e 5,0, respectivamente. O IDEB é calculado como a média dos resultados padronizados do Saeb de português e matemática multiplicados pela taxa de aprovação do Censo Escolar.

O número de matrículas de alunos no ensino fundamental e no ensino médio em 2020 foi de 59.993 e 16.016 matrículas, respectivamente. O número de estabelecimentos de ensino fundamental e ensino médio em 2020 foi de 179 e 54 escolas, respectivamente. O número de docentes no ensino fundamental e ensino médio foi de 2.246 e 1.001 docentes, respectivamente, em 2020 (IBGE, 2021).

3.2.4 Economia

A região de Petrolina é conhecida por ter a fruticultura como uma de suas maiores atividades econômicas, responsável pelo aumento populacional no Vale do São Francisco. No entanto, o desenvolvimento econômico da cidade atrai novos investimentos em diversas áreas, com um crescimento na geração de emprego e renda em outros segmentos do município, como administração pública, construção civil, comércio e serviço.

Segundo dados econômicos de Petrolina fornecidos pelo IBGE (2021), o PIB per capita do município em 2019 foi de R\$ 20.811,26. O PIB de Petrolina é composto em sua maior parte por serviços, seguido pelo setor de indústrias e agropecuária. O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de Petrolina, do censo de 2010 do IBGE, foi de 0,697.

3.2.5 Saúde

A taxa de mortalidade infantil média em Petrolina em 2019 foi de 18,07 óbitos para 1.000 nascidos vivos. As internações devido a diarreias, em 2016, são de 0,3 para cada 1.000 habitantes. Segundo o Plano Municipal de Saúde de Petrolina/PE (PMSP, 2017), em 2009, havia 84 estabelecimentos de Saúde (SUS) e 18 estabelecimentos dos prestadores de serviços da Rede Complementar no município.

Atenção Básica (AB) tem um papel importante na estruturação como ordenadora das Redes de Atenção em Saúde (RAS) e coordenadora do cuidado, além de aperfeiçoar o funcionamento político-institucional do Sistema Único de Saúde (SUS). Em Petrolina, a AB é conformada por 44 Unidades Básicas de Saúde (UBS). As ações e os serviços de saúde são ofertados de acordo com as necessidades de saúde da população, considerando a gravidade do risco individual e coletivo (PMSP, 2017).

3.3 GEOMORFOLOGIA

Com relação à geomorfologia da cidade, segundo Kreysing *et. al.* (1973), a parte da área em que dominam os micaxistos é ocupada por solos siltico-argilosos, espessos, castanho-amarelados a avermelhados, relativamente ricos em substâncias nutritivas. Sua permeabilidade é reduzida e geralmente são capeados por seixos e blocos de quartzo pouco arredondados a angulosos. Na região dos gnaisses, migmatitos e granitóides, os solos são pouco espessos, constituídos por areias médias a grosseiras, brancas a acinzentadas e com boa porosidade (regossolos e regolatossolos). Ao longo dos rios e riachos, ocorrem solos espessos, amarronzados, siltico-argilosos, parcialmente salinizados, onde se concentram mais as atividades agrícolas.

A paisagem geomorfológica é dominada por um vasto pediplano, com uma série de elevações residuais. Esta paisagem é limitada pelos relevos tabulares elevados da Chapada Diamantina, a sul, pela depressão da Bacia do Parnaíba, a noroeste, e pela Chapada do Araripe, a norte, todos situados fora dos limites da área de estudo (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

Regionalmente, esse pediplano apresenta cotas variando de 370 a 550m, com extensas coberturas detríticas arenosas e mostrando relevos dissecados, onde se distinguem formas ora de topos aplainados, ora colinosas, ora aguçadas. Na área, o aplainamento

apresenta altitudes variando de 370 a 390 m na parte sul da área, nas proximidades do rio São Francisco, elevando-se no sentido norte para altitudes que variam de 460 a 470 m. O aplainamento tem seu destaque de maior altitude na serra Curral Queimado, na parte central da área, com 624 m (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

Os destaques topográficos que ocorrem na área aplainada são representados por *inselbergs* suportados por granitos e migmatitos, serras e cristas constituídas por veios de quartzo e quartzitos, que formam os principais acidentes geográficos da área. Ao longo do rio São Francisco e nos baixos cursos de seus principais afluentes, ocorrem os principais depósitos aluvionares. As elevações residuais estão mais concentradas nas partes sudoeste e central da área. Na parte sudoeste, destacam-se as serras do Olho d'água, São Gonçalo, Redonda, do Agreste, Atravessada e Esperança e, na parte central, a serra do Curral Queimado e os morros Pelado e Gentil (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

3.4 GEOLOGIA REGIONAL

A área de Petrolina compreende duas grandes entidades geotectônicas: de um lado, o Cráton do São Francisco, com vários compartimentos, e o Sistema de Dobramentos Riacho do Pontal, de outro, limite noroeste do primeiro (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

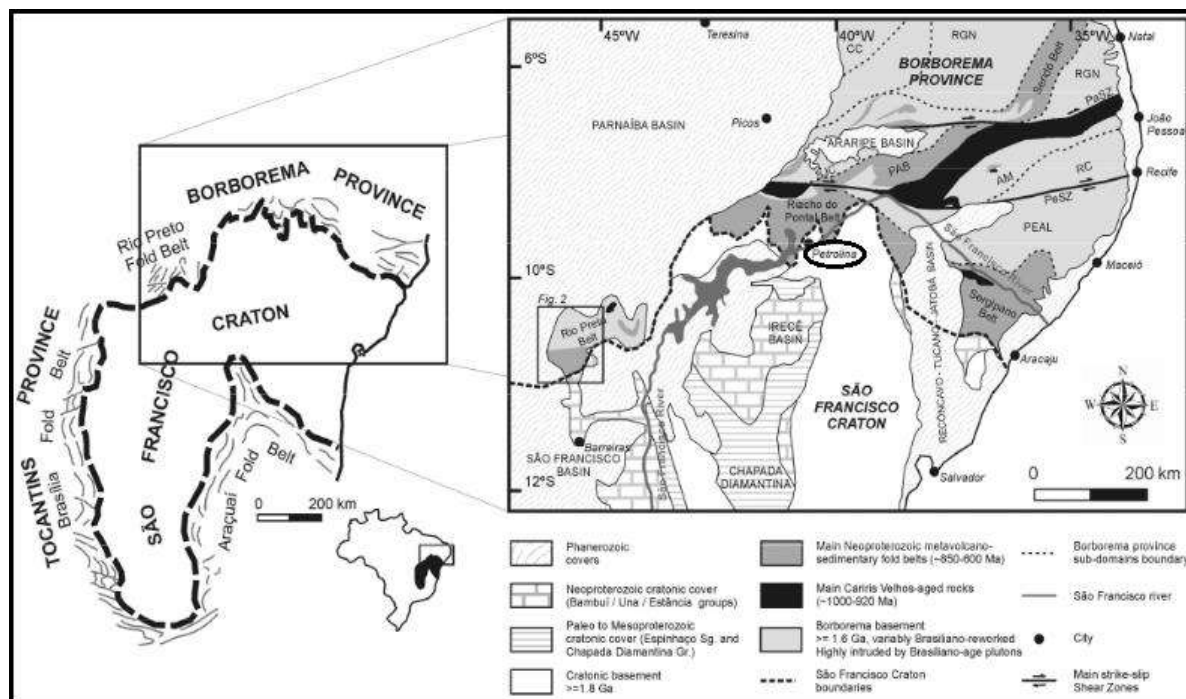
3.4.1 O Cráton do São Francisco

Almeida (1967) definiu a plataforma do São Francisco como sendo uma área consolidada antes do Ciclo Brasileiro durante o qual não sofreu dobramentos de tipo alpino. Posteriormente, Almeida (1977) lançou o conceito de cráton com o mesmo sentido de plataforma, entendendo como cráton uma plataforma cujo embasamento consolidou-se em tempos pré-brasileiros. A Figura 16 mostra o mapa geotectônico esquemático do Cráton do São Francisco, bem como a localização do município de Petrolina.

Os estágios de seu desenvolvimento são representados por diversas associações biológicas. Desse modo, são reconhecidas, no Arqueano: sequências do tipo greenstone-belts, cinturões granulíticos e terrenos migmatíticos com relíquias de rochas básicas anfibolitizadas e outras supracrustais (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

Os cinturões granulíticos são entidades complexas, onde é notório o retrabalhamento de sequências mais antigas, inclusive dos greenstones e de outras sequências vulcanossedimentares metamorizadas. Por outro lado, esses cinturões se apresentam sob dois aspectos deformacionais distintos; ou formando faixas lineares em geral de composição quartzofeldspática, ou como faixas apresentando múltiplos padrões de interferência de deformação (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

Figura 16 – Mapa geotectônico esquemático do Cráton do São Francisco.



Fonte: Caxito (2013).

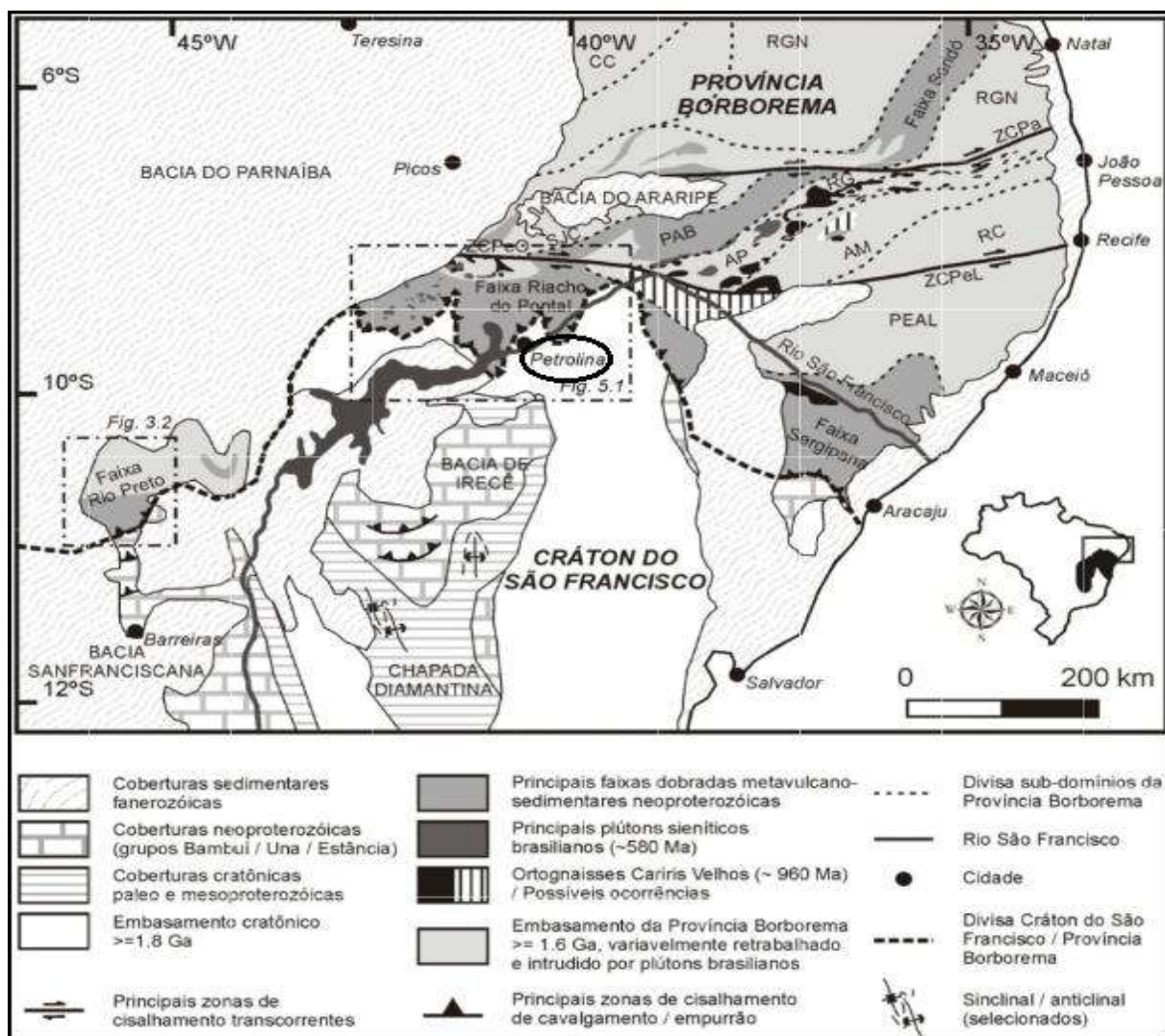
3.4.2 O Sistema de Dobramentos Riacho do Pontal

O Sistema de Dobramentos Riacho do Pontal foi definido por Brito Neves (1967) para congrega metassedimentos que limitam o Cráton do São Francisco na porção ocidental de Pernambuco, noroeste da Bahia e sudeste do Piauí. As supracrustais desse sistema entram em contato com aquelas do Sistema de Dobramentos Piancó-Alto Brigida, através do Lineamento Pernambuco, o que induz à suposição de que ambos constituíram uma única entidade geotectônica, com os metassedimentos mencionados sendo cronocorrelatos (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

Pode ser visto na Figura 17 o mapa geológico regional da faixa riacho do Pontal e limites do Cráton São Francisco, com indicação da localização do município de Petrolina. A localização dos mapas da faixa riacho do Pontal é indicada pelos quadros traço-pontilhados.

Sua compartimentação considerou os seus metassedimentos como uma facies pelito-psamítica da Serie Bambuí. Santos e Brito Neves (1984), individualizaram três compartimentos: o do sul, que margeia o cráton, está metamorfizado na facies anfíbolito e apresenta estruturação de dobras na direção norte-sul, observando-se ampla projeção do embasamento no anticlinório de Ponta da Serra: um compartimento nordeste, com estruturação leste-oeste aproximada, com frentes de empurrão, facies xisto-verde, amplas exposições da infraestrutura gnáissico-migmatítica, e, finalmente, um compartimento noroeste com orientação nordeste-sudoeste, atravessado por numerosos stocks graníticos e matamorfizados na facies xisto-verde.

Figura 17 – Mapa geotectônico esquemático da faixa riacho do Pontal.



Fonte: Caxito (2013).

3.4.3 O Sistema de Dobramentos Riacho do Pontal

Petrolina situa-se no limite entre um cinturão granulítico e um complexo migmatítico, cujas relações eram pouco compreendidas. A leste da área estudada, no vale do Curaçá, no cinturão granulítico, ocorre uma sequência de rochas supracrustais, que afloram de modo esparso, atravessadas por rochas plutônicas gnaissificadas e migmatizadas. As supracrustais afloram de modo mais contínuo, anotando-se xistos com cordierita e sillimanita, quartzitos, calcissilicatadas, formações ferríferas e metavulcânicas ácidas e básicas (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

Do exposto, verifica-se a presença na área de estudo de três sequências fundamentais: o embasamento do cráton, suas coberturas antigas com os ortognaisses intrusivos e os componentes sedimentares e ígneos da faixa dobrada. Os contatos entre as sequências do cráton e da faixa dobrada são, em sua maioria, tectônicos, representados por zonas de cisalhamento, associadas à cinemática tangencial (rampas frontais, laterais, fatias

de empurrão etc.), ou transcorrente. Os contatos internos, restritos à faixa dobrada, apresentam esse mesmo comportamento (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

3.5 ESTRATIGRAFIA

A área que corresponde à Petrolina situa-se na margem setentrional do Cráton do São Francisco (ALMEIDA *et. al.*, 1977), abrangendo litótipos do Sistema de Dobramentos Riacho do Pontal, com partes retrabalhadas no Ciclo Brasileiro.

Sua coluna estratigráfica tem suas rochas mais antigas colocadas no Arqueano Inferior - no Complexo Caraíba, constituídas por gnaisses bandados e ortognaisses migmatizados, com deformação polifásica e bandas palcosomáticas tonalíticas a granodioríticas alternando-se com faixas félsicas, neossomáticas, de composição leucogranítica; localmente esses gnaisses têm neossoma de natureza trondhjemitica. Cortando essas rochas, observam-se diques básicos dobrados retrometamorfizados. Ainda no Arqueano, ocorrem sequências vulcanossedimentares, que constituem os complexos Rio Salitre e complexo Tanque Novo (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

O Complexo Rio Salitre está subdividido em Unidade Inferior (Arsui), constituída por vulcanitos básico-ultrabásicos, quartzitos, quartzo-feldspato-gnaisses, metavulcânicas félsicas etc, e uma Unidade Superior (Arsus), constituída por uma sequência metassedimentar indivisa de filitos e subordinadamente xistos e ardósias, com alternância de níveis de metagrauvacas e metarcóseos.

O Complexo Tanque Novo (Atn), que junto com o Complexo Rio Salitre apresenta deformação polifásica, é constituído por xistos e paragnaisses eventualmente migmatizados com intercalações individualizáveis ou não de metabasitos (Atnmtb), quartzitos (Atnqt), metaultrabásicas (Atnub), formação ferrífera e metachert (Atnche), calcissilicáticas (Atncs), metavulcânicas ácidas (Atnmtv), e talco xistos (Atnltxt). Ortognaisses, introduzidos nessas sequências, ocorrem associados à deformação tangencial D_n/D_{n+1} . Trata-se de gnaisses trondhjemiticos/tonalíticos ($Ay_{1.2tdi}$), e ortognaisses tonalíticos/granodioríticos ($Ay_{1.2B}$), ambos contêm xenólitos de supracrustais do Complexo Tanque Novo e de ortognaisses do embasamento (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

Posteriormente, ocorrem granitóides desenvolvidos na fase de deformação transcorrente sin a tardi D_{n+2} já do Proterozóico Inferior. Estes são representados por biotita-monzogranito (Ay_{3a}), ortognaisse granítico-leucocrático (Ay_{3c}), leucogranito pegmatóide (Ay_{3d}) e álcali-feldspato granito com ferro-hastingsita (Ay_{3e}). Também do Proterozóico Inferior é o Sistema de Dobramentos Riacho do Pontal, representado pelo Complexo Casa Nova, onde foram distinguidos os domínios marinho plataformar e marinho profundo.

O primeiro é representado pela Unidade Barra Bonita, constituído por uma sequência metapsamítica, composta de quartzo xistos algo feldspáticos, localmente granadíferos (Plbb), quartzitos micáceos um pouco feldspáticos (Plbbqt) e lentes de calcário cristalino fino de cor cinza (Plbbcc). O domínio marinho profundo é representado pela Unidade Mandacaru, constituída por uma sequência metaturbidítica, composta por xistos a duas miras, granadíferos, podendo conter feldspato e cordicrita e com intercalações métricas de metagrauvacas homogêneas (Plme). Cortando o Complexo Casa Nova ocorrem granitóides sindeformação tangencial F_1/F_2 , tipo Rajada (Pl_{yiA}) e sindeformação transcorrente (Pl_{y2}) (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

O Proterozóico Médio é representado por um pequeno testemunho de quartzito, subhorizontalizado, da Formação Tombador (PMt). Posteriormente, ocorrem no espaço do Sistema de Dobramentos Riacho do Pontal, os granitóides tardi a pós-transcorrência, do Proterozóico Superior, representados por hedembergita-quartzo-monzonito, leucocrático, fino, com foliação incipiente, (PS_{y3A}), álcali-sienito com aegirina, fino, cinza e com foliação tênue (PS_{y3B}), e álcali-sienito grosseiro com aegirina, róseo, com fraca orientação (PS_{y3C}). Por fim, ocorrem coberturas fanerozóicas, do Terciário e Quaternário, representadas por depósitos detríticos-lateríticos (TQd/ltr), detríticos (TQd), sedimentos eólicos (Qe), aluviões (Qa) e tálus (Qt) (FIGUEIRÔA e SILVA FILHO, 1990).

3.6 TIPOS DE SOLOS

Em Petrolina, em função do aumento de espessura do recobrimento pedimentar, os solos apresentam-se mais profundos e desenvolvidos, destacando-se as seguintes classes: Argissolos Vermelho-Amarelos e Amarelos, ambos Eutróficos plínticos e não plínticos, abruptos ou não abruptos, concrecionários e não concrecionários. Em menores proporções, ocorrem áreas de Latossolos Vermelho-Amarelos Eutróficos, Neossolos Quartzarênicos Distróficos, Neossolos Litólicos Eutróficos, Vertissolos, Cambissolos, Planossolos Nátricos e Planossolos Solódicos.

Os Argissolos Compreendem solos com acúmulo de argila em subsuperfície constituídos por material com argila de atividade baixa (Tb) ou raramente alta (Ta), quando distróficos. Apresentam horizonte B textural (Bt), imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para serem enquadrados nas classes dos Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos (SANTOS *et. al.*, 2006).

Os Argissolos amarelos incorporam argissolos com coloração de intensa tonalidade laranja-amarelado (matiz 7,5 YR) ou mais amarelados. Os Argissolos vermelhos incorporam argissolos com coloração castanha (matiz 2 YR) ou mais vermelha. Os Argissolos vermelho-

amarelos incorporam argissolos cujas cores vermelho-amareladas e/ou amarelo-avermelhadas não se enquadram nas classes anteriores.

Os Planossolos são solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com horizonte Bt imediatamente subjacente. Esta modalidade de Bt é tipicamente adensado, em geral, de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta; constituindo, por vezes, um horizonte pã, responsável pela detenção de lençol d'água sobreposto - suspenso - de existência periódica e presença variável durante o ano. (SANTOS *et. al.*, 2006).

Os vertissolos são solos minerais não hidromórficos ou com séria restrição temporária à percolação de água, com 30% ou mais de argila ao longo do perfil e que apresentam pronunciada mudança de volume de acordo com a variação do teor de umidade, apresentando sequência de horizontes A-C-R ou A-C-Cr-R. Têm como feições morfológicas características, a presença de fendas de retração largas e profundas que se abrem desde o topo do perfil nos períodos secos e superfícies de fricção - slickensides - em seções mais internas do perfil portadoras de unidades estruturais grandes e inclinadas em relação ao prumo do perfil (OLIVEIRA *et. al.*, 1992)

Os Neossolos são solos constituídos por material mineral, podendo englobar material orgânico pouco espesso - menos de 20 cm de espessura - com pequena expressão dos processos pedogenéticos em consequência da baixa intensidade de atuação destes processos, que não conduziram, ainda, as modificações expressivas do material originário. Não apresentam qualquer tipo de B diagnóstico e horizonte plíntico, glei, vértico e A chenezêmico quando presente, não satisfaz aos requisitos de outras classes de solos (SANTOS *et. al.*, 2006).

Os Neossolos Litólicos são solos pedogeneticamente pouco evoluídos e rasos. Apresentam horizonte superficial A ou hístico - H ou O com menos de 20 cm de espessura - assente diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% - volume - ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm - cascalhos, calhaus e matacões - e que apresentam um contato lítico dentro de 50 cm da superfície do solo. Admite um horizonte B, em início de formação cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (SANTOS *et. al.*, 2006).

Os Neossolos Quartzarênicos são solos sem contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, com sequência de horizontes tipo A-C, porém, apresentando textura areia ou areia-franca em todos os horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150 cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico; são essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis - menos resistentes ao intemperismo.

Os Cambissolos são solos pouco desenvolvidos, cuja característica diferencial é a presença de um horizonte B incipiente. São solos minerais, não hidromórficos, pouco profundos ou profundos, com textura variando de média, siltosa a muito argilosa, com drenagem acentuada a imperfeitamente drenada. Apresentam sequência de horizontes do tipo A, Bi, e C ou Cr. O horizonte A é predominantemente moderado, podendo ser qualquer outro, excluído o chernozêmico quando a argila do horizonte Bi for de atividade alta (EMBRAPA, 2010).

Na região estudada, os processos pedogenéticos ainda não destruíram as principais reservas minerais oriundas do material de origem, o que permite uma distinção dos Cambissolos com os Latossolos, já que estes não apresentam materiais primários na massa do solo. São solos que não apresentam incremento significativo de argila entre o horizonte A e o B, característica que permite sua distinção com a classe dos Argissolos. Quanto à profundidade, encontram-se desde solos rasos até profundos (EMBRAPA, 2010).

Os Argissolos e os Neossolos Quartzarênicos (antes conhecidos como Podzólicos e Areias Quartzosas, respectivamente), destacam-se na região do município, tanto por serem solos profundos a muito profundos, como também pela expressão geográfica. Vários ambientes compõem a região, mas, de forma simplificada, pode-se agrupá-los em três unidades morfológicas ou unidades físicas de paisagem (EMBRAPA, 2010), ou seja:

- As superfícies com recobrimentos relacionadas aos sedimentos terciários - Argissolos;
- As encostas suavizadas intermediárias, onde dominam os Neossolos Litólicos (Solos Litólicos), Planossolos e Neossolos Quartzarênicos; e
- A área de baixada aluvionar, onde se destacam Neossolos e Cambissolos Flúvicos.

Nas superfícies com recobrimento pedimentar sobre rochas cristalinas, os Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos desenvolvidos em relevo plano e suave ondulado, por serem derivados de materiais re trabalhados - coberturas do Terciário -, apesar das boas condições físicas, apresentam como principais limitações a baixa fertilidade natural e, às vezes, a presença de pedregosidade. Portanto, exigem a remoção das pedras e a aplicação de fertilizantes para melhorar as condições de fertilidade exigidas pelas culturas adaptadas às condições climáticas da região (EMBRAPA, 2010).

Os de textura média/média e argilosa em relevo plano e suave ondulado favorecem a utilização agrícola, desde que não apresentem pedregosidade ou outros impedimentos à motomecanização e sejam corrigidas as deficiências de nutrientes essenciais às plantas. Alguns Argissolos podem apresentar limitações quanto aos aspectos físicos, em função do alto grau de coesão natural quando secos e do adensamento que normalmente ocorre no

horizonte AB e/ou BA, que vão dificultar a permeabilidade e diminuir a infiltração da água no solo.

Nas áreas de encostas, entre as superfícies com recobrimento e os terraços aluvionares, destacam-se solos com problemas diversos. De um lado, ocorrem os solos raros pedregosos, isto é, os Neossolos Litólicos, bem como solos com problemas sérios de drenagem e sais, como é o caso dos Planossolos. Os Neossolos Litólicos, por causa de suas limitações como profundidade, pedregosidade, rochosidade, relevo, etc., não são recomendados para uso agrícola. Os Planossolos, em consequência de suas características químicas e físicas, também não são indicados para o uso agrícola, principalmente por causa dos elevados teores de sódio trocável (EMBRAPA, 2010).

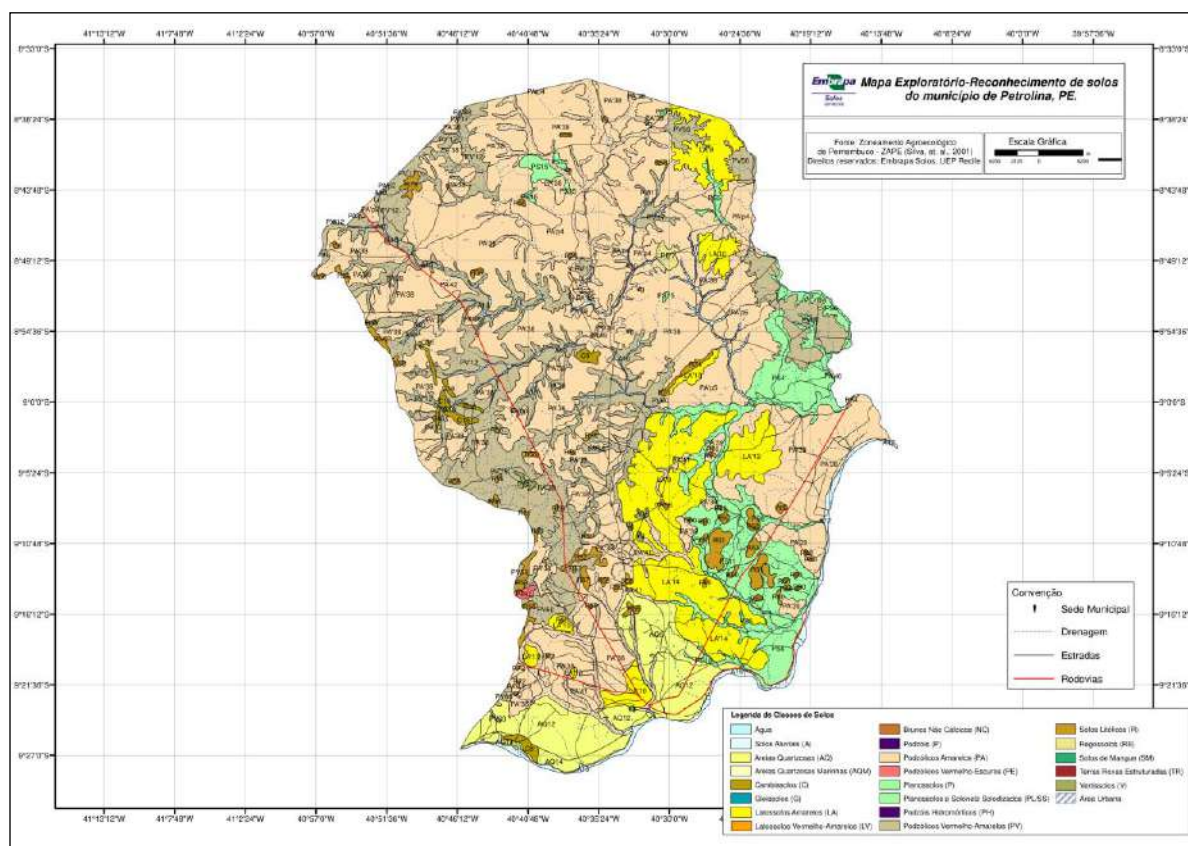
São recomendados para preservação da fauna e da flora, porém, quando ocorrem com horizonte A espesso, podem ser utilizados com culturas anuais - como milho, feijão, etc. - e pastagem de gramíneas. De outro lado, existem solos profundos, mas essencialmente arenoquartzosos que são os Neossolos Quartzarênicos. Estes, no entanto, em condições de relevo plano a suave ondulado, sob manejo adequado, podem ser utilizados em manejos irrigados (EMBRAPA, 2010).

Nas áreas da baixada aluvionar, o ambiente apresenta sérias limitações impostas pela presença de lençol freático, a pouca profundidade e acúmulo de sais. Os solos predominantes são os Neossolos e Cambissolos Flúvicos. São utilizados com culturas de subsistência, pequenos cultivos de banana, tomate, cebola, pastagens de gramíneas e, em menor proporção com o agronegócio relacionado aos cultivos de uva e manga.

Por causa, provavelmente, das condições intrínsecas do ambiente como material de origem, clima, posição na paisagem, profundidade do lençol freático, etc., aliada a um provável histórico de uso intensivo com cultura irrigadas sem nenhum critério técnico, estes solos encontram-se, em sua grande maioria, salinizados. As características dos solos que aí ocorrem, combinadas com a baixa capacidade adsorptiva, faz com que sejam inadequados para receber efluentes que contenham produtos prejudiciais às plantas, aos animais e ao homem. Estas áreas são, portanto, inaptas para aterros sanitários, lagoas de decantação e outros usos correlatos, por causa da facilidade de contaminação dos aquíferos (EMBRAPA, 2010).

Entre os problemas ambientais mais sérios, hoje comuns em todo o País, têm destaque: as queimadas, erosão dos solos e poluição da água, provocada por dejetos humanos e de animais. Uma alternativa para tentar minimizar este problema é adotar práticas corretas de uso e manejo dos solos que promovam o uso sustentado desse recurso. A Figura 18 mostra o mapa de solos do município de Petrolina.

Figura 18 – Mapa Exploratório - Reconhecimento de solos do município de Petrolina/PE.



Fonte: EMBRAPA (2001).

3.7 HIDROGRAFIA REGIONAL

O município de Petrolina está inserido na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, do Rio Pontal e do grupo de bacias de pequenos rios Interiores de Cristália, Nova Descoberta, Tapera, Izacolândia, Pedrinhas, Uruás, Lagoa dos Carneiros e Caatinguinha. Chamada de "Passagem de Juazeiro", Petrolina era caminho para a vizinha cidade de Juazeiro, na margem oposta do Rio São Francisco no Estado da Bahia. (APAC, 2013).

3.7.1 Bacia hidrográfica do Rio Pontal

A bacia hidrográfica do Rio Pontal, localizada entre 08° 19' 00" e 09° 13' 24" de latitude Sul, e 40° 11' 42" e 41° 20' 39" de longitude Oeste, está representada por uma área de 6.015,33 km², correspondendo a 6,12% da área total do Estado de Pernambuco.

A área de drenagem do Riacho Pontal envolve quatro municípios, dos quais apenas o município de Afrânio, onde nasce o riacho, está totalmente inserido na bacia. Os municípios de Dormentes e Lagoa Grande têm suas sedes inseridas na bacia, e o de Petrolina está parcialmente inserido na bacia (APAC, 2013).

O Rio Pontal tem como principais afluentes, pela margem direita, os riachos Caieira, Sítio Novo, Terra Nova e Simão. Pela margem esquerda, destacam-se os riachos do Caboclo, Caldeirão, do Dormente, Baixo, do Areia e da Serra Branca, todos intermitentes (APAC, 2013).

O Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação/PAN – BRASIL, baseado nos estudos de Vasconcelos Sobrinho na Sudene (1982) apontou os municípios de Petrolina e Afrânio, pertencentes à bacia do riacho Pontal, como Áreas Susceptíveis à Desertificação (ASD) (BRASIL, 2004).

3.7.2 Grupo de bacias de pequenos rios interiores 8 (GI8)

O grupo de bacias de pequenos rios interiores 8 (GI8), localizado entre 07° 18' 29" e 07° 40' 43" de latitude Sul, e 39° 17' 56" e 39° 44' 01" de longitude Oeste, apresenta uma área de 1.298,22 km², representando um percentual de 1,32% da área total do estado e abrangendo apenas parte do município de Petrolina, incluindo a sua sede (PERNAMBUCO, 2011).

O grupo GI8 é formado por pequenos riachos intermitentes que deságuam na margem esquerda do rio São Francisco. Destacam-se, dentre eles, os riachos Vitória, das Porteiras, Salina, Bebedouro e Imburana, que drenam a porção sul do município de Petrolina (APAC, 2013).

No GI8, o município de Petrolina, em termos de áreas prioritárias para a conservação da caatinga, é considerado de importância biológica extrema e grau de vulnerabilidade média, sendo recomendado pelo Ministério do Meio Ambiente o uso sustentável dos recursos naturais, na publicação Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. (BRASIL, 2002).

3.7.3 Recursos hídricos superficiais e subterrâneos

A cidade de Petrolina está inserida nos domínios da macrobacia do Rio São Francisco, da bacia hidrográfica do Rio Pontal e do Grupo de Bacias de Pequenos Rios Interiores. O Rio São Francisco banha a cidade e é essencial para a economia e vida da região.

Além de ser fonte de energia para população, ainda é uma das poucas fontes de água potável para a população. Assim, o rio São Francisco carrega a responsabilidade de garantir o desenvolvimento econômico da região, como por exemplo, a fruticultura irrigada envolvida no Vale do São Francisco, entre os municípios de Petrolina/PE e Juazeiro/BA, onde há a maior produção de frutas como manga e uva voltadas para exportação.

Os principais tributários do município de Petrolina são o Rio Jardim e os riachos Baixa Salina, da Pedra Preta, Baixa do Procópio, Bom Jesus, Terra Nova, da Grota Grande, do Maçarico, Baixa do Coveiro, Baixa do Boi, Goela do Mocó, do Estandarde, da Porca, Baixa

do Malaquias, Barreiro, Baixa do Morro Branco, Baixa das Panelinhas, Satisfeito, do Caboclo, Barra da Cabeceira, do Dormente, São Bento, do Encantado, da Caieira, do Pontal, do Tanque Novo, do Tigre, Salina, Santa Fé, Sítio Novo, Baixa do Moronjongo, Baixa do Eugênio, Baixa do Gergelim, Baixa do Quarenta e Nove, do Barreiro, Baixa dos Velhos, Baixa da Vassoura, Baixa do Caldeirão, Baixa da Imburana Grande, do Corredor, Varginha, dos Cachorros, do Simão, Imburana, do Cavalo Morto, Baraúna, Baixa do Santinho, da Cruz, Baixa do Juá, da Salina, Baixa do Serafim, Baixa do Socorro, Baixa do Mulungu, da Formosa, da Areia, da Viração, do Espanto, do Simão, Baixa da Marreca e da Lagoa de Pedra. Todos os cursos d'água, à exceção do Rio São Francisco, têm regime de escoamento intermitente e o padrão de drenagem é o dendrítico (CPRM, 2005).

Os principais corpos de acumulação na cidade são: Açudes - Baixa do Icó, Cacimba Velha, Cruz de Salina, Morros, Pau Ferro, Poço da Onça, Terra Nova, Vira Beiju, Barreira Alegria, Roça, da Consolação, da Comprida e Rajada; e Lagoas - da Marreca, Nova, da Craíba, do Junco, da Areia, do Pajeú, do Capim, da Tapera, das Cabaças, do Caldeirão, do Espinho, Tabuleiro, do Saco, do Peixe, dos Cavalos, do Veado, do Boi, do Curral Velho, do Pau-Ferro, do Muquém, da Boa Vista, do André, do Arroz, do Sovaco, Alagadiço, Redonda, da Formosa, do Barro e do Simão (CPRM, 2005).

Em relação às águas subterrâneas, no município de Petrolina têm sido executados centenas de poços para exploração das águas subterrâneas, tanto em propriedades públicas como em privadas. Em um levantamento realizado em 2005, foram registrados a existência de 752 pontos d'água, sendo 115 poços escavados e 637 poços tubulares (CPRM, 2005).

3.8 CLIMATOLOGIA

A climatologia do município de Petrolina será apresentada a partir da sua caracterização meteorológica, tipologia climática e registro de precipitações pluviométricas. Essas informações serão a base para analisar e compreender a dinâmica das bacias hidrográficas do município, do seu sistema de drenagem urbana e como esses fatores climáticos se correlacionam com os diferentes aspectos da caracterização física e ambiental, no escopo do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Petrolina.

A partir da revisão bibliográfica e de análise de série de dados temporais disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foi desenvolvida a caracterização meteorológica de Petrolina/PE. A descrição das condições climatológicas do município foi baseada nos gráficos de temperatura, chuva acumulada e umidade relativa do ar observados no INMET.

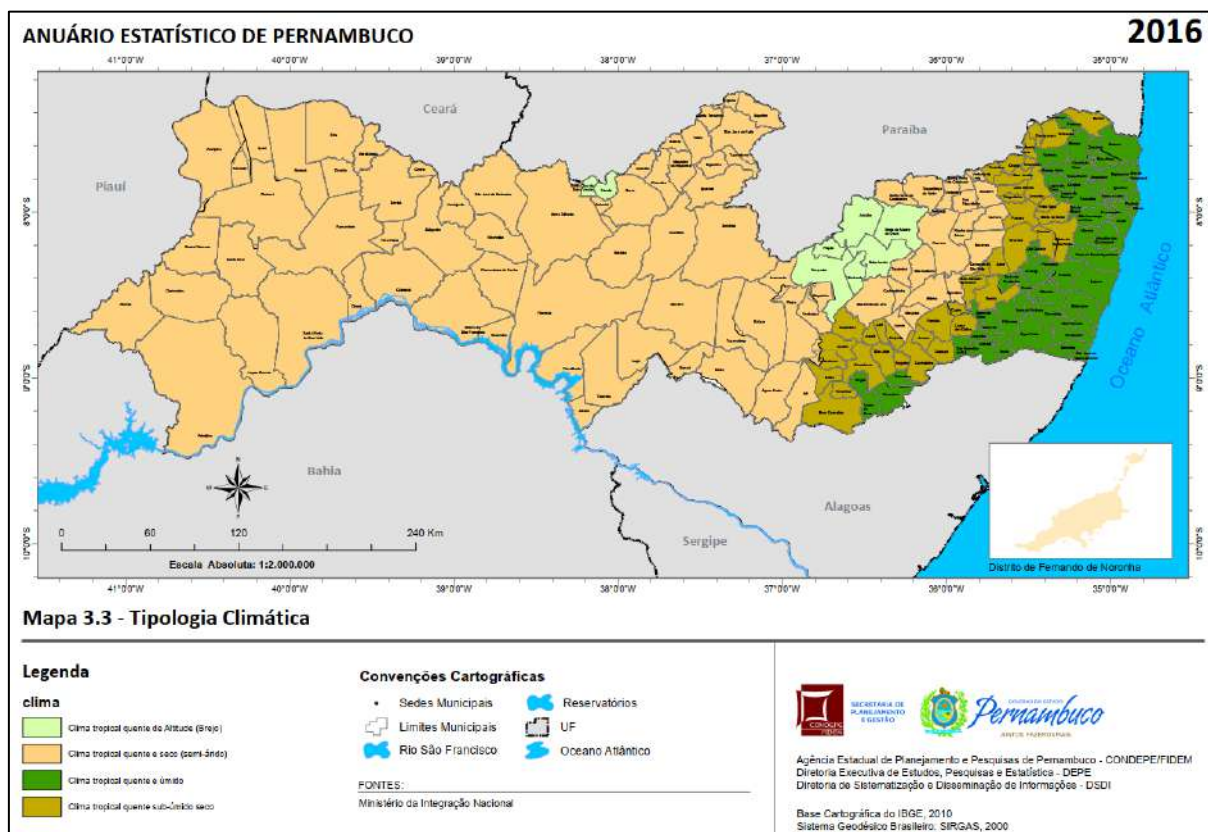
A classificação climática é uma tentativa de reunir o maior número de elementos possíveis que possam caracterizar os diferentes climas existentes em grupos distantes como,

por exemplo: temperatura, precipitação, radiação e vento. O sistema de classificação climática mais utilizada na climatologia, ecologia e geografia é o de Köppen–Geiger, que é uma classificação genérica, lançado pela primeira vez em 1900, onde Köppen relacionava o clima com a vegetação, a partir de critérios numéricos que definiriam os tipos climáticos, porém em algumas ocasiões esta classificação não apresenta parâmetros para distinguir quanto às regiões e biomas distintos (AYOADE, 1996).

Segundo Thornthwaite (1948), levam-se em consideração diversos elementos climáticos de forma simultânea para definir o clima de uma região. Assim, a troca de informações e análises futuras é facilitada para diferentes objetivos. A Evapotranspiração Potencial (ETP) e sua Precipitação Anual também são levadas em consideração para classificar o clima. Dessa forma, é possível realizar um balanço hídrico, onde a deficiência hídrica do solo e seu excedente hídrico são analisados e expressos em números. Porém, os estudos climatológicos realizados pelo IBGE são baseados em analisar as medidas pluviométricas e de temperatura.

Segundo a APAC (2013), o Estado de Pernambuco apresenta predominantemente climas do tipo semiárido, representando cerca de 70% da área total, caracterizando-se por baixos índices pluviométricos anuais, com valores oscilando entre 500 e 800 mm, sendo situados nos sertões Pernambucanos e parte do Agreste. Nas outras localidades, observam-se precipitações acima de 1000 mm caracterizando climas sub-úmido no agreste e úmido na zona da mata e litoral. As regiões climáticas de Pernambuco, segundo o índice de Thornthwaite, estão apresentadas na Figura 19.

Figura 19 – Regiões climáticas de Pernambuco.



Fonte: MI (2016).

No Sertão do São Francisco, observam-se climas semiáridos, como é o caso de Petrolina. Localizada na região do médio São Francisco, parte central do Polígono das Secas, a área do município possui um clima do tipo semiárido quente (BSh), com chuvas de verão, segundo a classificação de Köppen. Esse tipo de clima caracteriza-se pela alternância de duas estações definidas, com escassez e irregularidade das precipitações, com chuvas no verão e forte evaporação em consequência das altas temperaturas. O período chuvoso se inicia em novembro com término em abril.

As temperaturas são elevadas, com médias anuais variando de 24 a 29°C, com raros picos menores ou maiores que esse intervalo. A umidade é baixa e as chuvas são poucas e irregulares. As precipitações oscilam entre 300 a 500 mm anuais, com raros picos de 600 mm, sendo que os valores máximos ocorrem quase sempre em março, devido à massa equatorial que se expande nesta época.

A precipitação é o elemento meteorológico de maior variabilidade espacial e temporal no semiárido. Os dados de precipitação do município de Petrolina foram obtidos pela estação pluviométrica convencional 82983 do INMET (2021), onde pode ser visto na Tabela 5 as informações referentes a esta estação.

Os dados abaixo, conforme a

Tabela 6 e a Figura 20, representam a precipitação (média) de Petrolina, para cada mês, da estação 82983 do INMET (2021). Foram considerados dados de 41 anos (1981 a 2021).

Tabela 5 – Dados referentes a estação pluviométrica de Petrolina.

Estação	Petrolina
UF	PE
Situação	Operante
Latitude	9° 23' 19.0" S
Longitude	40° 31' 24.0" O
Altitude	372,54
Data de Instalação	31/12/1940
Código	82983

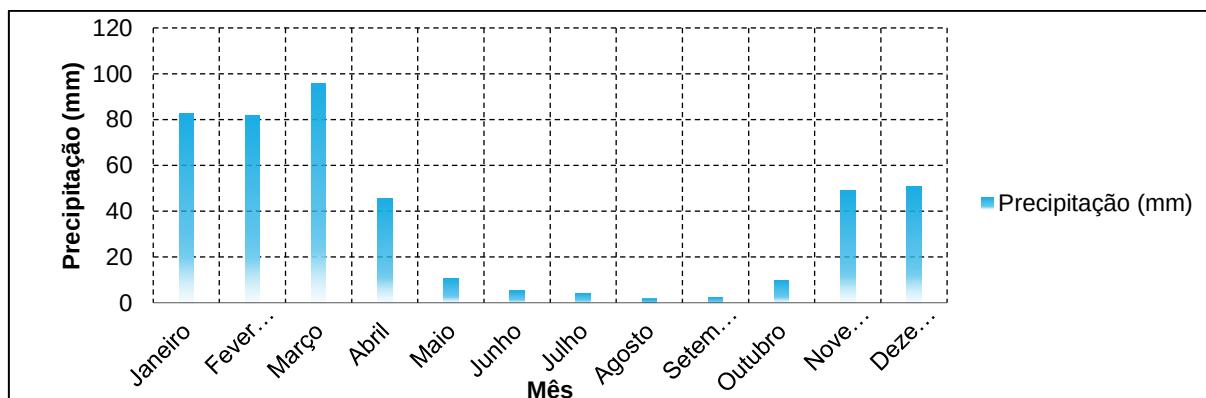
Fonte: INMET (2021).

Tabela 6 – Precipitação média mensal de série de 41 anos em Petrolina.

Mês	Precipitação (mm)
Janeiro	82,5
Fevereiro	81,6
Março	95,7
Abril	45,7
Maio	10,7
Junho	5,2
Julho	4,2
Agosto	1,6
Setembro	2,4
Outubro	9,9
Novembro	48,8
Dezembro	50,6
Anual	438,9

Fonte: INMET (2021).

Figura 20 – Precipitação média mensal em Petrolina de 1981 a 2021.



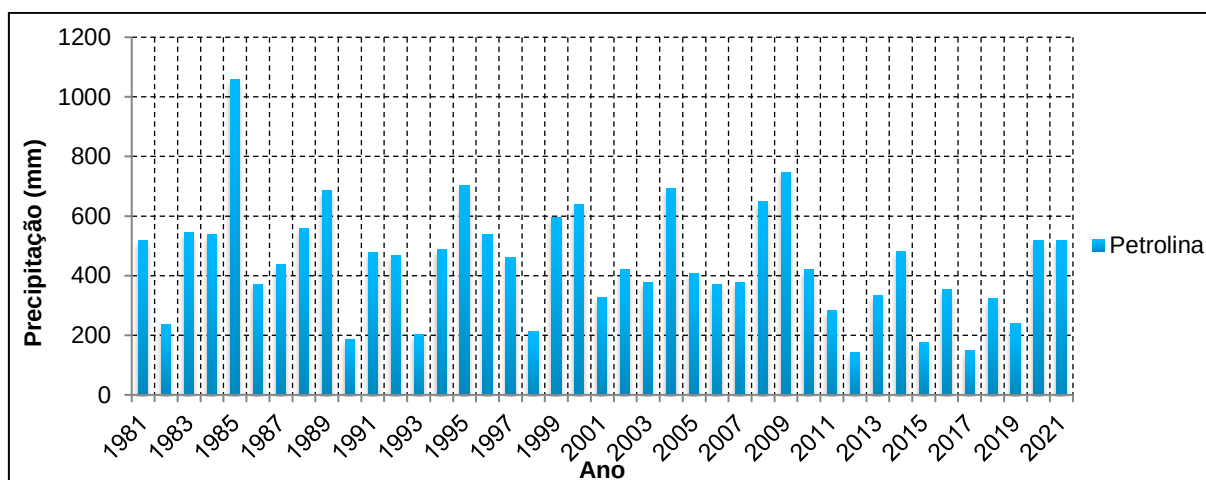
Fonte: INMET (2021).

O total anual médio é da ordem de 439 mm. O período chuvoso concentra-se entre os meses de novembro a abril. A quadra chuvosa, de janeiro a abril, contribui com cerca de 70% do total anual, destacando-se os meses de março e o de agosto como o mais e o menos chuvoso, com totais médios de 95,7 mm e 1,6 mm (INMET, 2021).

Conforme a A Figura 22 mostra os valores das chuvas máximas diárias anuais para o posto do município de Petrolina. A precipitação diária máxima ocorreu no ano de 2014, com valor de 116,6 mm. Em 2019, ocorreu a precipitação com menor valor, 26,4 mm.

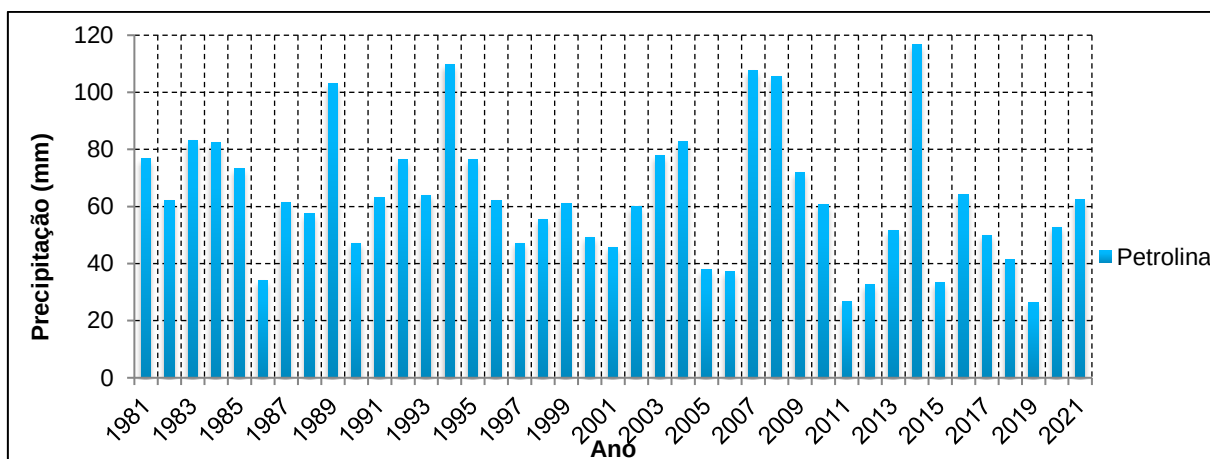
Figura 21, que mostra as precipitações totais anuais na série histórica analisada de Petrolina, o ano com maior precipitação acumulada foi 1985, com 1059 mm, enquanto que o ano com menor precipitação acumulada foi 2012, com 141 mm. A Figura 22 mostra os valores das chuvas máximas diárias anuais para o posto do município de Petrolina. A precipitação diária máxima ocorreu no ano de 2014, com valor de 116,6 mm. Em 2019, ocorreu a precipitação com menor valor, 26,4 mm.

Figura 21 – Precipitações totais anuais em Petrolina.



Fonte: INMET (2021).

Figura 22 – Valores máximos de chuvas diárias anuais em Petrolina.

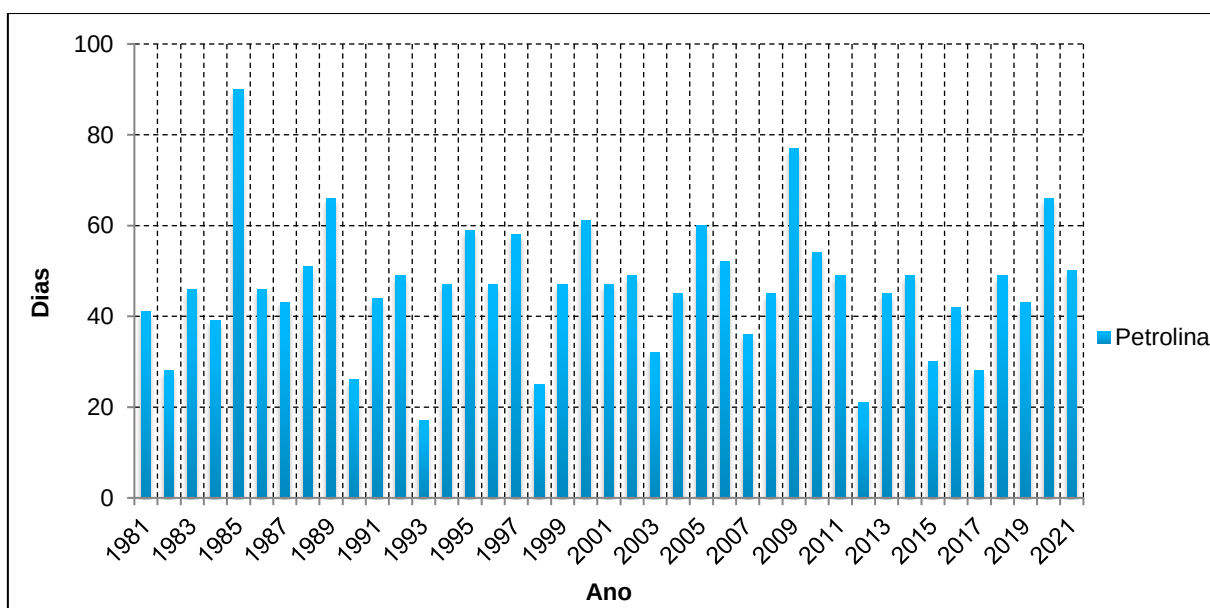


Fonte: INMET (2021).

Pode ser visto na

Figura 23 a quantidade de dias de chuva por ano em Petrolina na série histórica apresentada anteriormente. O ano com mais dias de chuva foi 1985, com 90 dias chuvosos, enquanto que o ano com menos dias de chuva foi 1993, com 17 dias chuvosos.

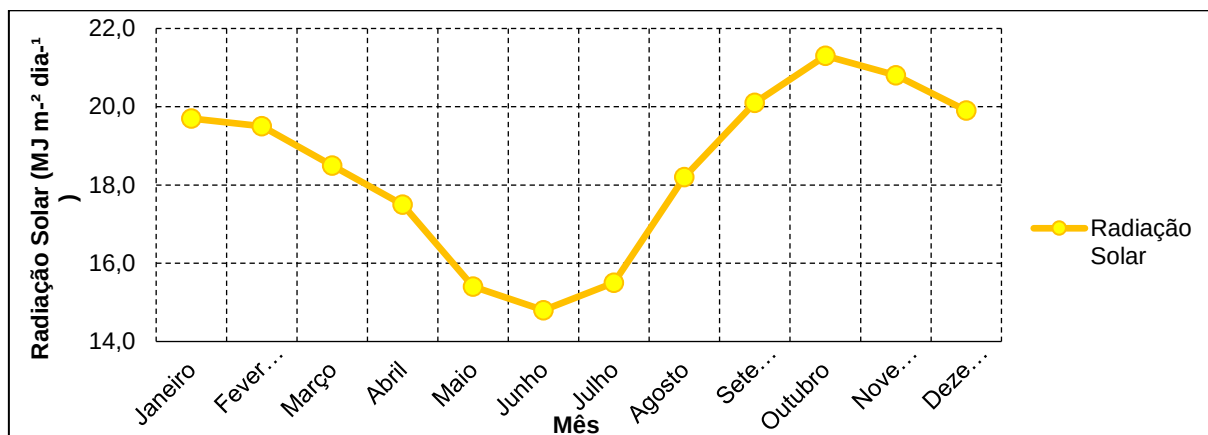
Figura 23 – Quantidade de dias de chuva por ano em Petrolina.



Fonte: INMET (2021).

O índice de radiação solar é a soma da radiação solar incidente e difusa, representando a maior fonte de energia nos processos fotossintéticos e evaporativos, sendo a insolação uma medida indireta desta energia (EMBRAPA, 2010). Os dados médios mensais de radiação solar para o período de 1968 a 2009 em Petrolina/PE são apresentados na Figura 24. O maior valor de $21,3 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ($508 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) é registrado no mês de outubro, enquanto o menor acontece no mês de junho, em torno de $14,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ($351 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) em Petrolina.

Figura 24 – Radiação solar global do período de 1968 a 2009 em Petrolina.



Fonte: EMBRAPA (2010).

A Tabela 7 e a

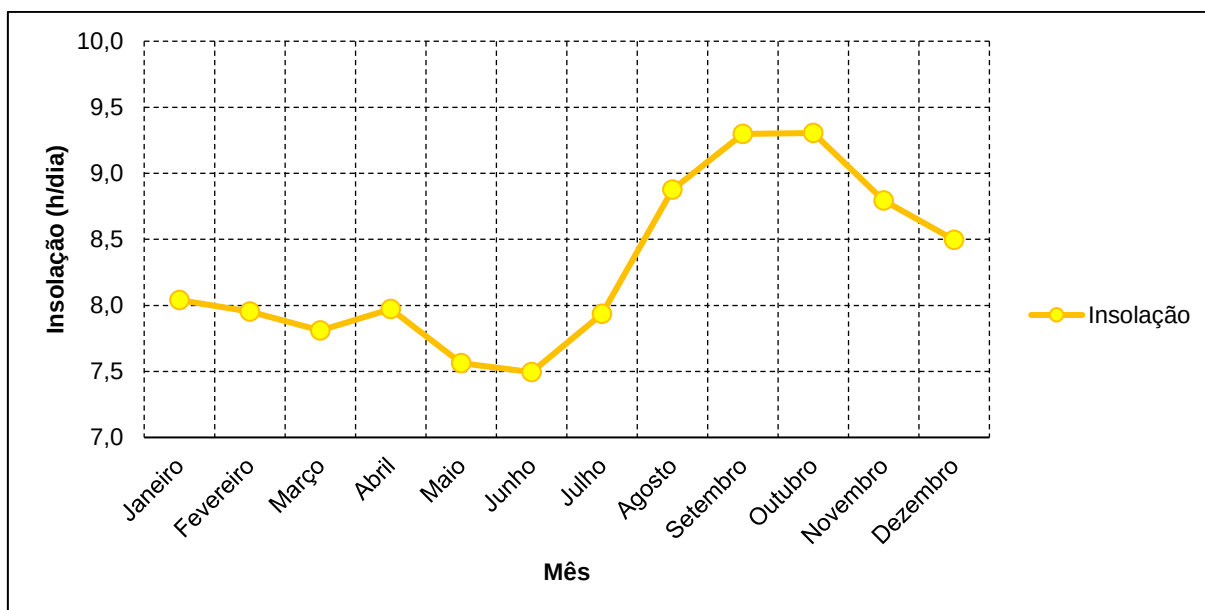
Figura 25 apresentam os valores médios de insolação no período de 1981 a 2021 em Petrolina. Os meses com maiores valores correspondem ao período mais seco do ano entre agosto e novembro, com valor de 9,31 horas/dia no mês de outubro. Os menores valores são registrados no período de abril a julho, com registro de média de 7,49 horas/dia no mês de junho (INMET, 2021). A região possui uma oferta bastante alta de radiação solar, apresentando elevados valores tanto de insolação quanto de radiação solar global, com média de 8,3 horas/dia de brilho solar e 18.2 MJ m⁻² dia⁻¹ de irradiância solar (EMBRAPA, 2010).

Tabela 7 – Insolação média mensal de série de 41 anos em Petrolina.

Mês	Insolação (h/dia)
Janeiro	8,04
Fevereiro	7,95
Março	7,81
Abril	7,97
Maio	7,56
Junho	7,49
Julho	7,94
Agosto	8,88
Setembro	9,30
Outubro	9,31
Novembro	8,79
Dezembro	8,49
Anual	8,30

Fonte: INMET (2021).

Figura 25 – Insolação média mensal do período de 1981 a 2021 em Petrolina.



Fonte: INMET (2021).

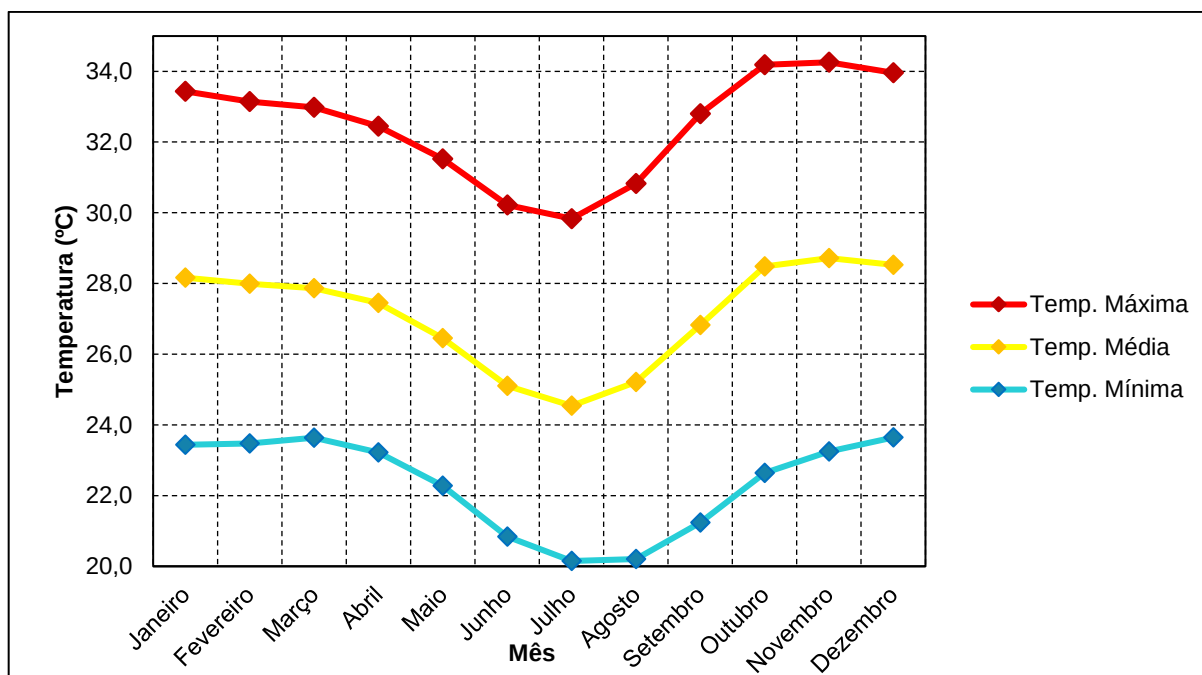
A temperatura do ar atua no processo de evaporação, porque o ar aquecido próximo à superfície de água transfere energia na forma de fluxo de calor sensível aumentando as taxas evaporativas (NUNEZ-ELISEA e DAVENPORT, 1995). A Tabela 8 e a Figura 26 mostram a variação anual média dos dados de temperatura máxima, média e mínima do ar na estação 82983, em Petrolina/PE, para o período de 1981 a 2021.

Tabela 8 – Temperaturas máxima, média e mínima mensais de série de 41 anos em Petrolina.

Mês	Temp. Máxima (°C)	Temp. Média (°C)	Temp. Mínima (°C)
Janeiro	33,4	28,2	23,4
Fevereiro	33,1	28,0	23,5
Março	33,0	27,9	23,6
Abril	32,4	27,4	23,2
Maio	31,5	26,5	22,3
Junho	30,2	25,1	20,8
Julho	29,8	24,5	20,2
Agosto	30,8	25,2	20,2
Setembro	32,8	26,8	21,2
Outubro	34,2	28,5	22,6
Novembro	34,3	28,7	23,3
Dezembro	34,0	28,5	23,6
Anual	32,5	27,1	22,4

Fonte: INMET (2021).

Figura 26 – Temperatura máxima, média e mínima mensal do ar no período de 1981 a 2021 em Petrolina/PE.



Fonte: INMET (2021).

Em Petrolina, as normais mensais de temperatura média do ar variaram de 24,5 °C a 28,7 °C, enquanto as de temperatura máxima e de mínima variaram de 29,8 °C a 34,3 °C e de 20,2 °C a 23,6 °C, respectivamente (INMET, 2021). Confirma-se uma pequena amplitude térmica anual, atribuída à proximidade da região em relação ao equador terrestre, com desvio padrão menor que 2,0 °C e coeficiente de variação máximo de 6,0%. Em decorrência das pequenas latitudes, a variabilidade térmica anual é pequena. Os meses mais quentes são outubro e novembro, que coincidem com a época em que o Sol está culminando na região e os mais frios são junho e julho, quando o sol está culminando no Trópico de Câncer.

Em regiões semiáridas, elevados valores de déficit de pressão de vapor, que estão associados a baixos valores de umidade relativa do ar, promovem altas taxas evaporativas. Os dados de umidade relativa do ar para o período de 1981 a 2021 de Petrolina são apresentados na Tabela 9 e na

Figura 27 (INMET, 2021).

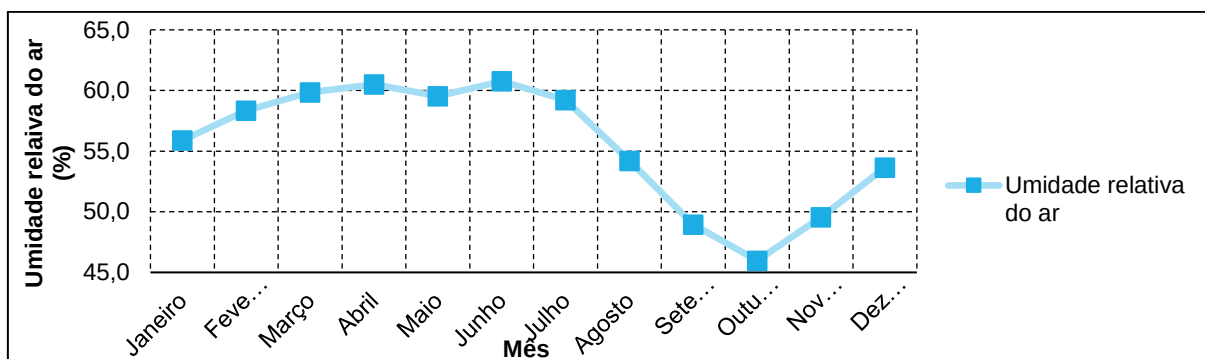
Tabela 9 – Umidade relativa do ar média mensal de série de 41 anos em Petrolina.

Mês	Umidade relativa do ar (%)
Janeiro	55,9
Fevereiro	58,4
Março	59,9
Abril	60,5
Maio	59,5
Junho	60,8
Julho	59,2
Agosto	54,2

Setembro	49,0
Outubro	46,0
Novembro	49,6
Dezembro	53,7
Anual	55,5

Fonte: INMET (2021).

Figura 27 – Umidade média relativa do ar mensal do período de 1981 a 2021 em Petrolina/PE.



Fonte: INMET (2021).

Os meses mais úmidos correspondem àqueles do período chuvoso. Nesse período, a umidade relativa do ar varia em média de 60% a 61%. Os menores valores ocorrem nos meses de setembro e novembro, abaixo de 50%, coincidindo com o período mais quente do ano. Os meses mais úmidos são abril, que corresponde ao final do período chuvoso, e junho, e o mais seco é outubro, correspondendo ao final do período de ausência de chuvas (EMBRAPA, 2010).

A Tabela 10 e a Figura 28 apresentam o comportamento das normais mensais de velocidade do vento em m s^{-1} para o período de 1981 a 2021 em Petrolina. Os valores mais elevados ocorrem no período seco, entre os meses de julho e setembro, chegando a 3,6 m/s no mês de agosto. Os menores valores ocorrem no período chuvoso, apresentando valor médio de 2,6 m/s no mês de março (INMET, 2021).

Todos os parâmetros climáticos abordados anteriormente atuam com maior ou menor intensidade no processo da evaporação, dependendo do posicionamento geográfico e da época do ano. Os dados de evaporação são importantes para o conhecimento das reais disponibilidades hídricas da região, representando a água que é perdida para a atmosfera por uma superfície livre de água (EMBRAPA, 2010).

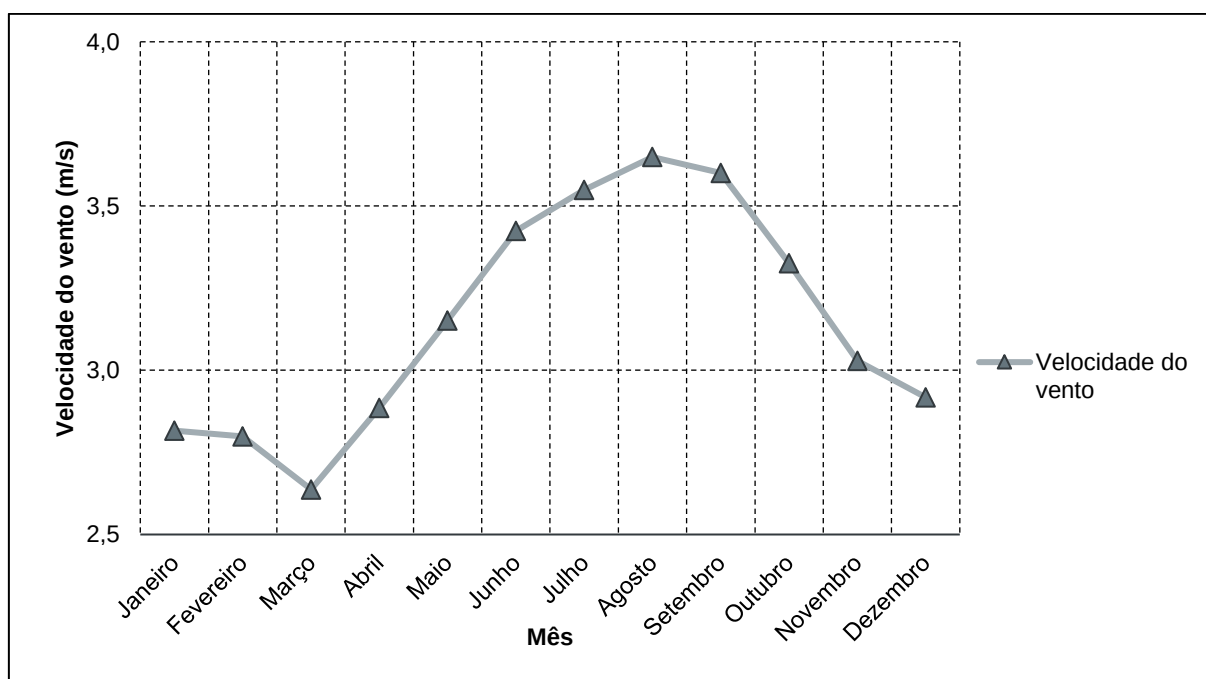
Tabela 10 – Velocidade média mensal do vento de série de 41 anos em Petrolina.

Mês	Intensidade do Vento (m/s)
Janeiro	2,8
Fevereiro	2,8
Março	2,6

Abril	2,9
Maio	3,2
Junho	3,4
Julho	3,5
Agosto	3,6
Setembro	3,6
Outubro	3,3
Novembro	3,0
Dezembro	2,9
Anual	3,2

Fonte: INMET (2021).

Figura 28 – Velocidade média mensal do vento do período de 1981 a 2021 em Petrolina/PE.



Fonte: INMET (2021).

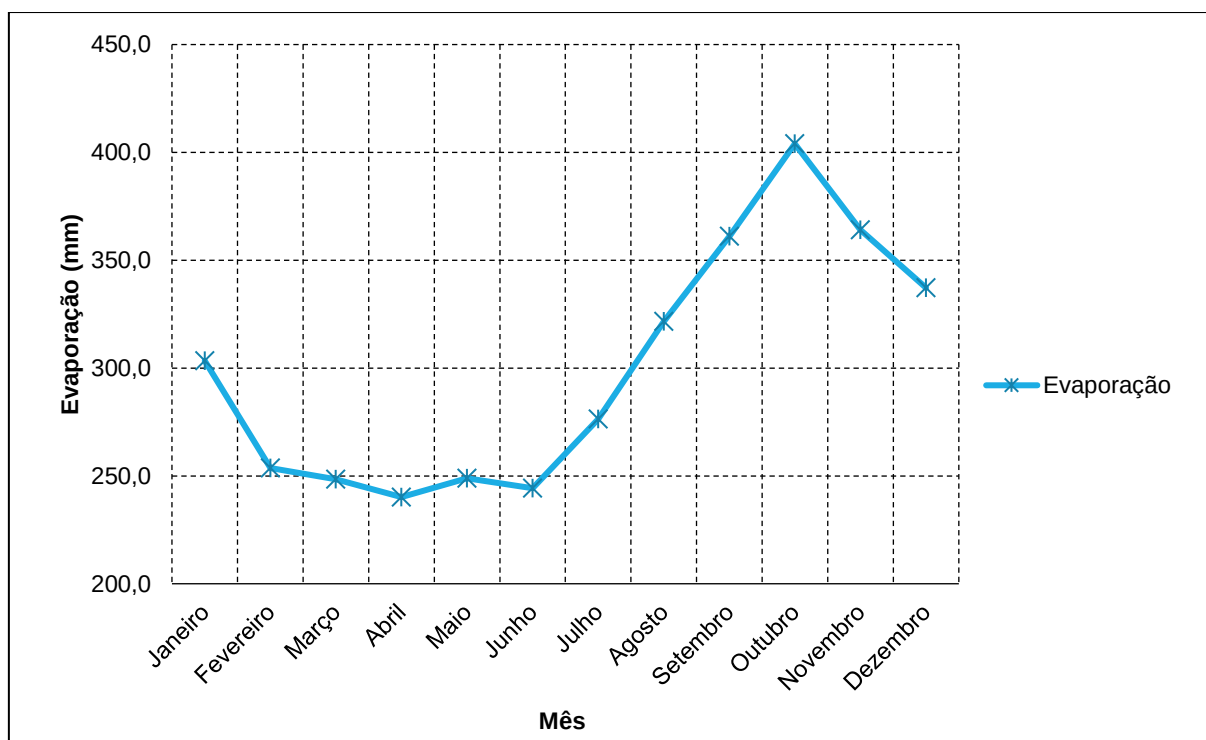
A partir de dados de evaporação medida por um evaporímetro de piché para o período de 1981 a 2019, em Petrolina, as normais apresentam menores valores entre os meses de março a junho, como pode ser visto na Tabela 11 e na Figura 29. Neste período, varia em média de 8 mm/dia a 8,1 mm/dia. Maiores valores acontecem entre os meses de setembro a novembro, acima de 13 mm/dia em outubro (INMET, 2021).

Tabela 11 – Evaporação média mensal de série de 39 anos em Petrolina.

Mês	Evaporação (mm)
Janeiro	303,4
Fevereiro	253,7
Março	248,5
Abril	240,2
Maio	248,9
Junho	244,3
Julho	276,4
Agosto	321,7
Setembro	361,1
Outubro	404,0
Novembro	364,1
Dezembro	337,3
Anual	3603,4

Fonte: INMET (2021).

Figura 29 – Evaporação média mensal do período de 1981 a 2019 em Petrolina/PE.



Fonte: INMET (2021).

Os totais anuais são extremamente altos, com média anual de 3603,4 mm. Como a estação está localizada à margem esquerda do Rio São Francisco, recebe uma camada de ar mais úmida, proveniente do transporte de vapor pelo vento com direção predominante sudeste, aumentando a umidade relativa do ar e, conseqüentemente, reduzindo a evaporação, com relação à cidade vizinha (EMBRAPA, 2010).

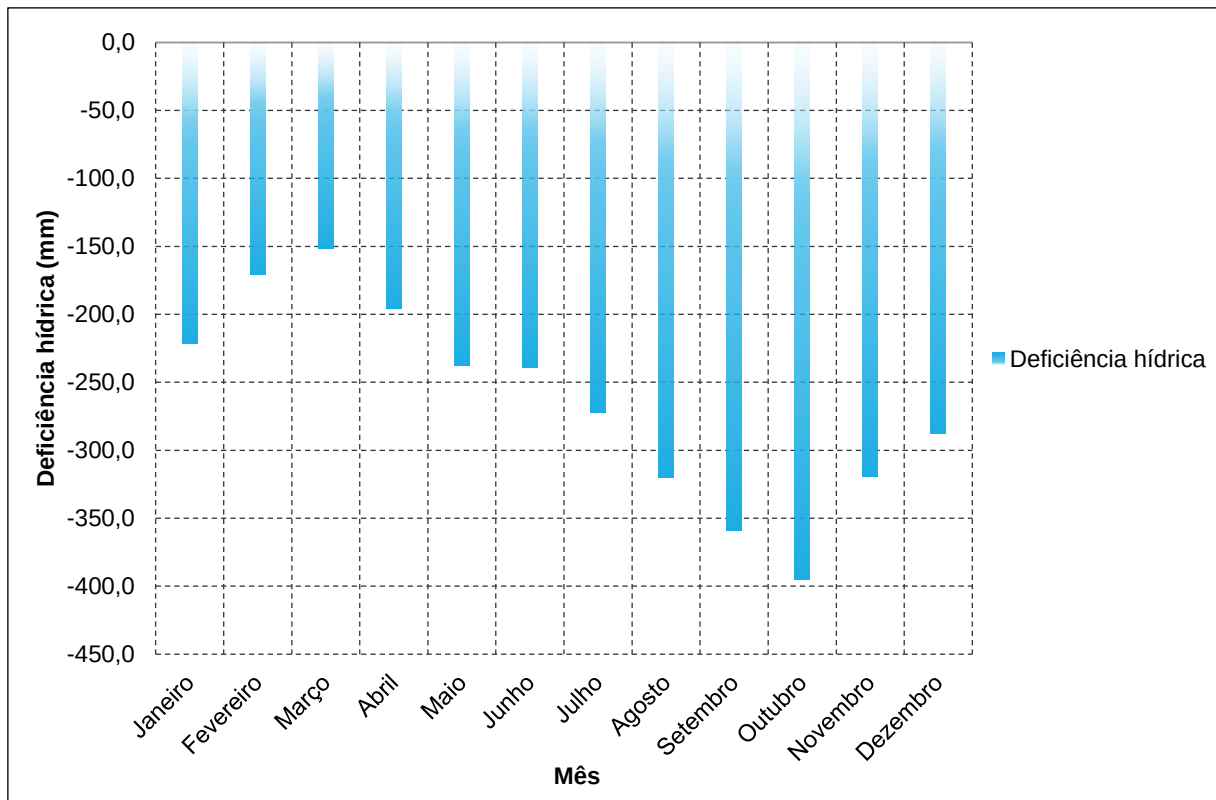
Para se conhecer a necessidade das reais disponibilidades hídricas, faz-se necessário contabilizar a quantidade de água que entra e que sai na superfície terrestre, detectando-se as condições de deficiências hídricas. Pelos valores de evaporação e de precipitação, pode-se realizar o balanço hídrico simplificado. Pode ser visto na Tabela 12 e na Figura 30 os dados de deficiência hídrica de Petrolina, no período de 1981 a 2019. Percebe-se a ocorrência desta deficiência durante todo o ano, com redução em magnitude no mês de março, quando se apresenta em torno de 195,9 mm em Petrolina/PE. O maior valor é de 394,8 mm ocorrendo no mês de outubro (INMET, 2021). Os valores de anuais de deficiência hídrica climática são 3.168,6 mm em Petrolina, PE.

Tabela 12 – Deficiência hídrica média mensal de série de 39 anos em Petrolina.

Mês	Precipitação (mm)	Evaporação (mm)	Deficiência hídrica (mm)
Janeiro	82,2	303,4	221,2
Fevereiro	83,1	253,7	170,6
Março	97,2	248,5	151,3
Abril	44,3	240,2	195,9
Maio	11,0	248,9	237,9
Junho	4,9	244,3	239,4
Julho	4,3	276,4	272,1
Agosto	1,6	321,7	320,1
Setembro	2,5	361,1	358,6
Outubro	9,1	404,0	394,8
Novembro	44,9	364,1	319,2
Dezembro	49,6	337,3	287,6
Anual	434,8	3603,4	3168,6

Fonte: INMET (2021).

Figura 30 – Histogramas de deficiência hídrica do período de 1981 a 2019 em Petrolina/PE.



Fonte: INMET (2021).

3.9 EQUAÇÃO I-D-F

A partir da obtenção dos dados de precipitação, pode-se obter através de seu processamento a intensidade pluviométrica relacionada com o tempo de retorno (TR) adotado no projeto e o tempo de concentração das bacias (T_c), assim definindo o regime de chuvas intensas e as correlações entre Intensidade x Duração x Frequência.

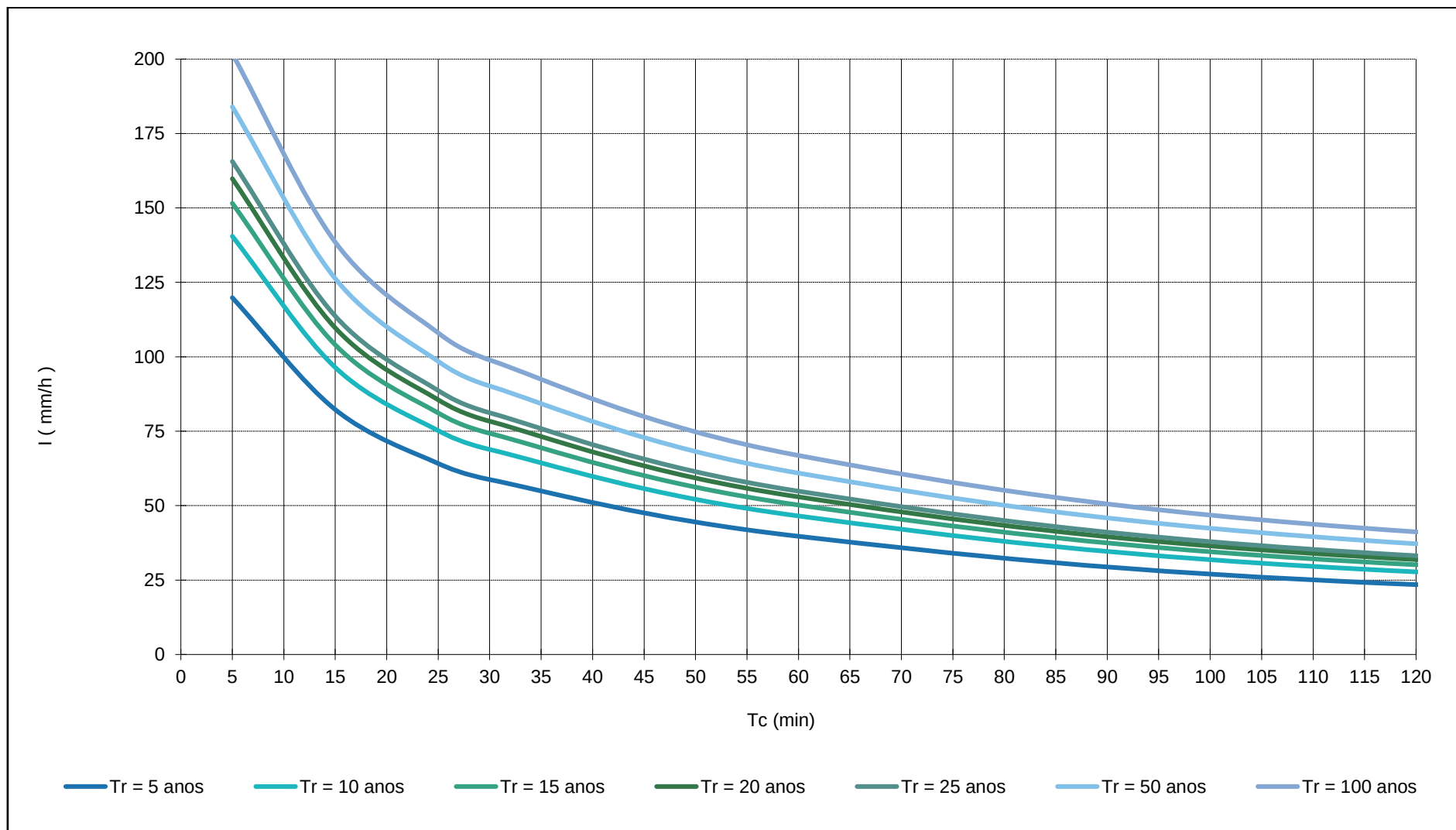
Com os dados coletados, fez-se o estudo estatístico de acordo com o Método de Gumbel, com a utilização da maior altura de chuva ocorrida em cada ano durante todo o período. Para tempos de duração menores que um dia, foram feitas correções pelo Método da Isozonas, que permite deduzir de forma simples as precipitações menores do que 24 horas necessárias para os projetos de drenagem.

O Eng.º J.J.T. Torrico partiu da observação que para determinadas áreas geográficas, ao se desenhar em um papel de probabilidade as precipitações de 24 horas e 1 hora de diferentes estações pluviográficas do Brasil, e prolongando-se as respectivas retas de altura pluviométrica/duração, estas tendem a cortar o eixo das abscissas em um mesmo ponto. As demais etapas, para o desenvolvimento do Método das Isozonas, são:

- Pelo estudo estatístico, calcula-se a chuva de um dia, no tempo de retorno previsto;
- Converte-se esta chuva de um dia, em chuva de 24 horas, multiplicando-se esta, pelo coeficiente 1.095, que é a relação 24 horas/1 dia;
- Determina-se no mapa das isozonas, a isozona correspondente à região do projeto;
- Após ter-se determinado a isozona, fixam-se para a mesma as porcentagens correspondentes a 6 minutos e 1 hora;
- Em seguida, calcula-se para cada tempo de recorrência considerado, as alturas de precipitação para duração de 24 horas, 1 hora e 6 minutos;
- A partir daí processam-se os cálculos para obtenção das intensidades pluviométricas para os diversos tempos de recorrência, para qualquer duração entre 6 minutos e 24 horas, utilizando-se as constantes de desagregação diária propostas por Occhipinti e Santos (1966).

A seguir, conforme a Figura 31, é apresentado o gráfico com as curvas de intensidade, duração e frequência do município de Petrolina. Em seguida, pode ser visto na Tabela 13 os valores de precipitação e intensidade em função do tempo de duração de chuva e do tempo de recorrência.

Figura 31 – Curva Intensidade - Duração - Frequência do município de Petrolina.



Fonte: INMET (2021); adaptado por PDCA (2021).

Tabela 13 – Dados de precipitação e intensidade em função do tempo de duração de chuva e de retorno do município de Petrolina.

Tempo de Recorrência		5 anos		10 anos		15 anos		20 anos		25 anos		50 anos		100 anos	
Tempo de Duração de Chuva		P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I
		(mm)	(mm/h)	(mm)	(mm/h)	(mm)	(mm/h)	(mm)	(mm/h)	(mm)	(mm/h)	(mm)	(mm/h)	(mm)	(mm/h)
1440 min	24,0h	90,2	3,8	106,7	4,4	115,9	4,8	122,5	5,1	127,6	5,3	143,0	6,0	158,4	6,6
720min	12,0h	76,7	6,4	90,7	7,6	98,5	8,2	104,2	8,7	108,4	9,0	121,6	10,1	134,6	11,2
600min	10,0h	74,0	7,4	87,5	8,8	95,1	9,5	100,5	10,0	104,6	10,5	117,3	11,7	129,9	13,0
480min	8,0h	70,4	8,8	83,2	10,4	90,4	11,3	95,6	11,9	99,5	12,4	111,6	13,9	123,6	15,4
240min	4,0h	56,8	14,2	67,2	16,8	73,0	18,3	77,2	19,3	80,4	20,1	90,1	22,5	99,8	24,9
120min	2,0h	46,9	23,5	55,5	27,7	60,3	30,1	63,7	31,9	66,3	33,2	74,4	37,2	82,4	41,2
60min	1,0h	39,7	39,7	46,5	46,5	50,2	50,2	52,9	52,9	54,9	54,9	60,9	60,9	66,8	66,8
30min	0,5h	29,4	58,8	34,4	68,9	37,1	74,3	39,2	78,3	40,6	81,2	45,1	90,2	49,5	98,9
25min	0,42h	26,7	64,2	31,3	75,2	33,8	81,1	35,6	85,6	36,9	88,7	41,0	98,5	45,0	108,0
15min	0,25h	20,6	82,3	24,1	96,4	26,0	104,0	27,4	109,7	28,4	113,7	31,6	126,3	34,6	138,5
5min	0,08h	10,0	119,9	11,7	140,5	12,6	151,6	13,3	159,8	13,8	165,6	15,3	184,0	16,8	201,8

Fonte: INMET (2021); adaptado por PDCA (2021).

A seguir, está apresentada a Equação IDF do município de Petrolina/PE, elaborada a partir do estudo hidrológico apresentado anteriormente.

$$I = \frac{594,81T_R^{0,16}}{(t + 6)^{0,717}}$$

Onde:

I é a intensidade de precipitação, em mm/h;

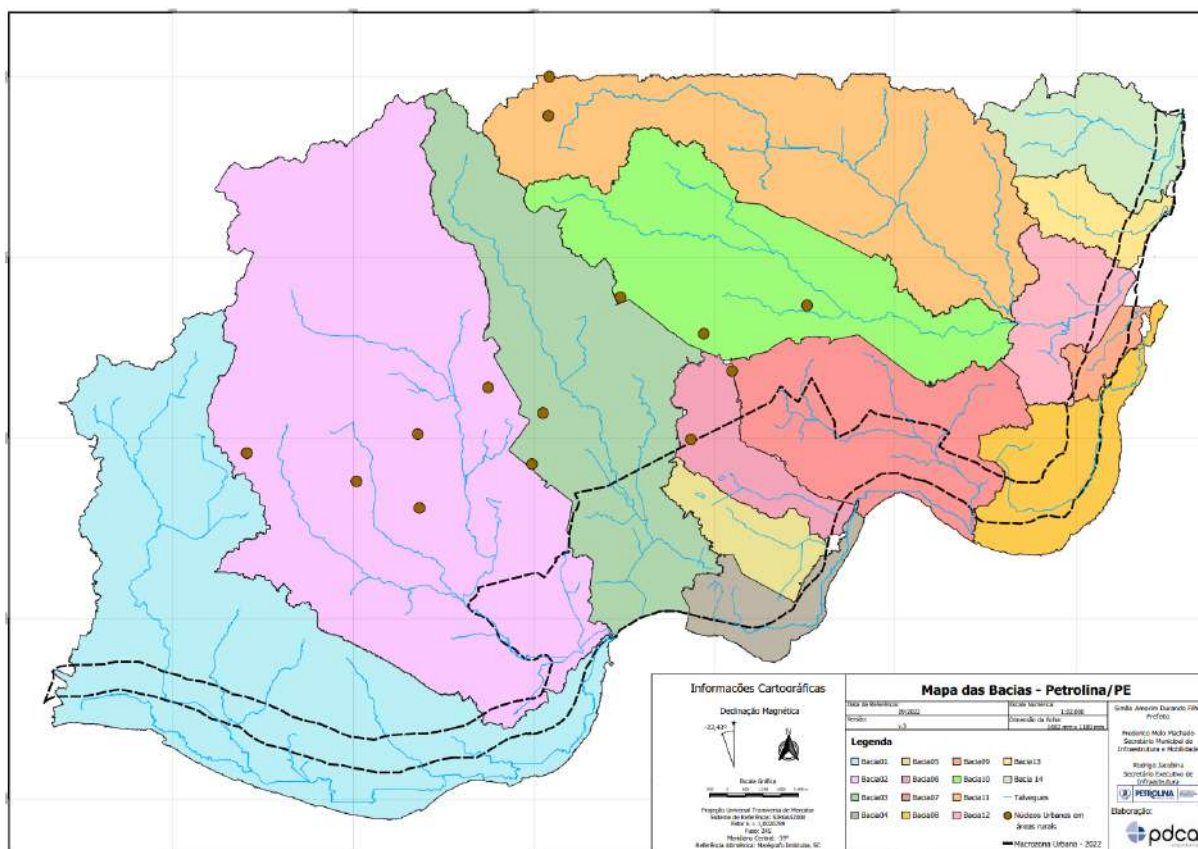
T_R é o tempo de retorno, em anos; e

t é o tempo de duração, em min.

3.10 BACIAS E SUB-BACIAS DA ÁREA URBANA E RURAL URBANIZADA

No processo de elaboração do presente Plano de Macrodrenagem, foram delimitadas as bacias da área urbana da sede do município de Petrolina, considerando dados de urbanização do ano de 2022, definida pelo Plano Diretor Participativo, Lei Complementar nº 034/2022. Com base na rede de drenagem, foram identificadas quatorze bacias hidrográficas, definidas inicialmente em bacia 01, bacia 02, bacia 03, bacia 04, bacia 05, bacia 06, bacia 07, bacia 08, bacia 09, bacia 10, bacia 11, bacia 12, bacia 13 e bacia 14 (Figura 32). Dentre estas, apenas 04 bacias se apresentam em estado de urbanização consolidada (bacias 02 a 06), 02 bacias se situam em estágio de urbanização inicial, ainda que incipiente (bacias 01 e 07), e as demais bacias não apresentam indícios de urbanização (bacias 08 a 14).

Figura 32 – Definição das bacias da área urbana da sede de Petrolina-PE.



Fonte: PDCA (2022).

Sendo assim, considerando apenas as principais bacias relacionadas com a ocupação urbana em Petrolina, seja ocupação já consolidada ou em processo inicial de urbanização, têm-se abaixo a lista de bacias hidrográficas adotadas enquanto áreas para a proposição de medidas no contexto do presente Plano de Macrodrenagem (Tabela 14). A Figura 33 representa a identificação dos bairros de acordo com as bacias delimitadas para auxiliar na

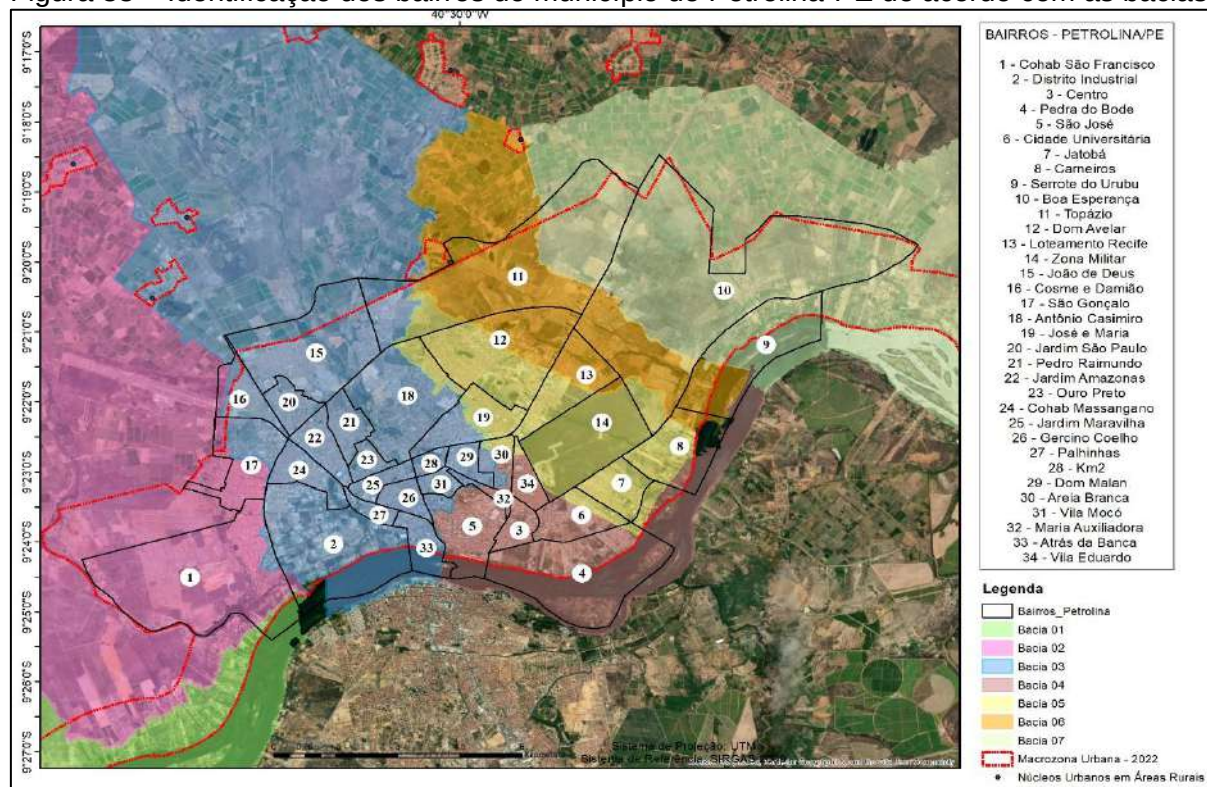
identificação dos setores e assim auxiliar na tomada de decisão, considerando o Plano Diretor Participativo, Lei Complementar nº 034/2022. Por sua vez, a rede de macrodrenagem relacionada às referidas bacias é apresentada na subseção seguinte.

Tabela 14 – Características correspondentes as principais redes de drenagem.

BACIA ID	BACIA NOME	ÁREA (km²)	PERÍMETRO (km)
1	Bacia do Riacho Vitória (Curso Principal);	211,44	174,00
2	Bacia do Riacho Vitória (Afluente);	290,56	151,72
3	Bacia do Riacho das Porteiras;	125,46	115,72
4	Bacia do Alto Cheiroso e Canal do São José;	19,92	44,24
5	Bacia do Riacho do Batalhão;	18,65	37,59
6	Bacia do Riacho Pau Ferro;	24,30	40,84
7	Bacia XXXXXX.	73,29	73,70

Fonte: PDCA (2022).

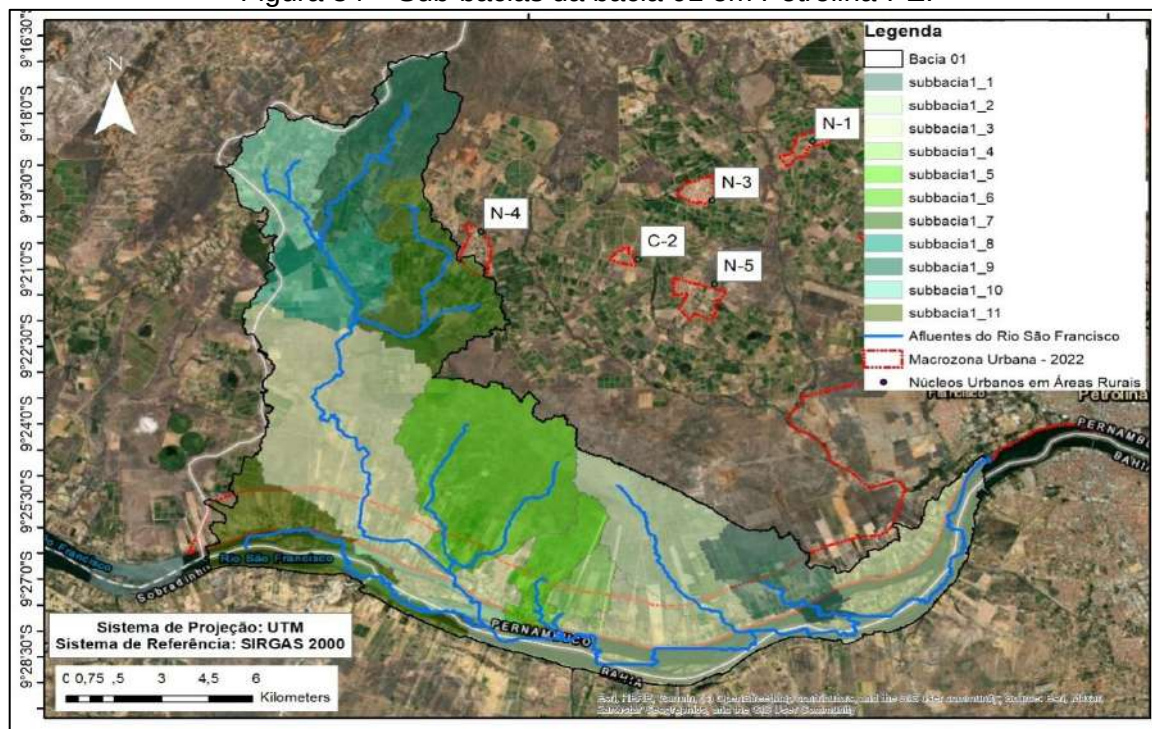
Figura 33 – Identificação dos bairros do município de Petrolina-PE de acordo com as bacias.



Fonte: PDCA (2022).

A bacia 01 foi subdividida em 11 sub-bacias, nomeadas em sub-bacia 1.1, sub-bacia 1.2, sub-bacia 1.3, sub-bacia 1.4, sub-bacia 1.5, sub-bacia 1.6, sub-bacia 1.7, sub-bacia 1.8, sub-bacia 1.9, sub-bacia 1.10 e sub-bacia 1.11. O trecho do Rio São Francisco e os afluentes que compõe a bacia 01 totalizam 137,7 km de rede de drenagem nessa bacia (Figura 34).

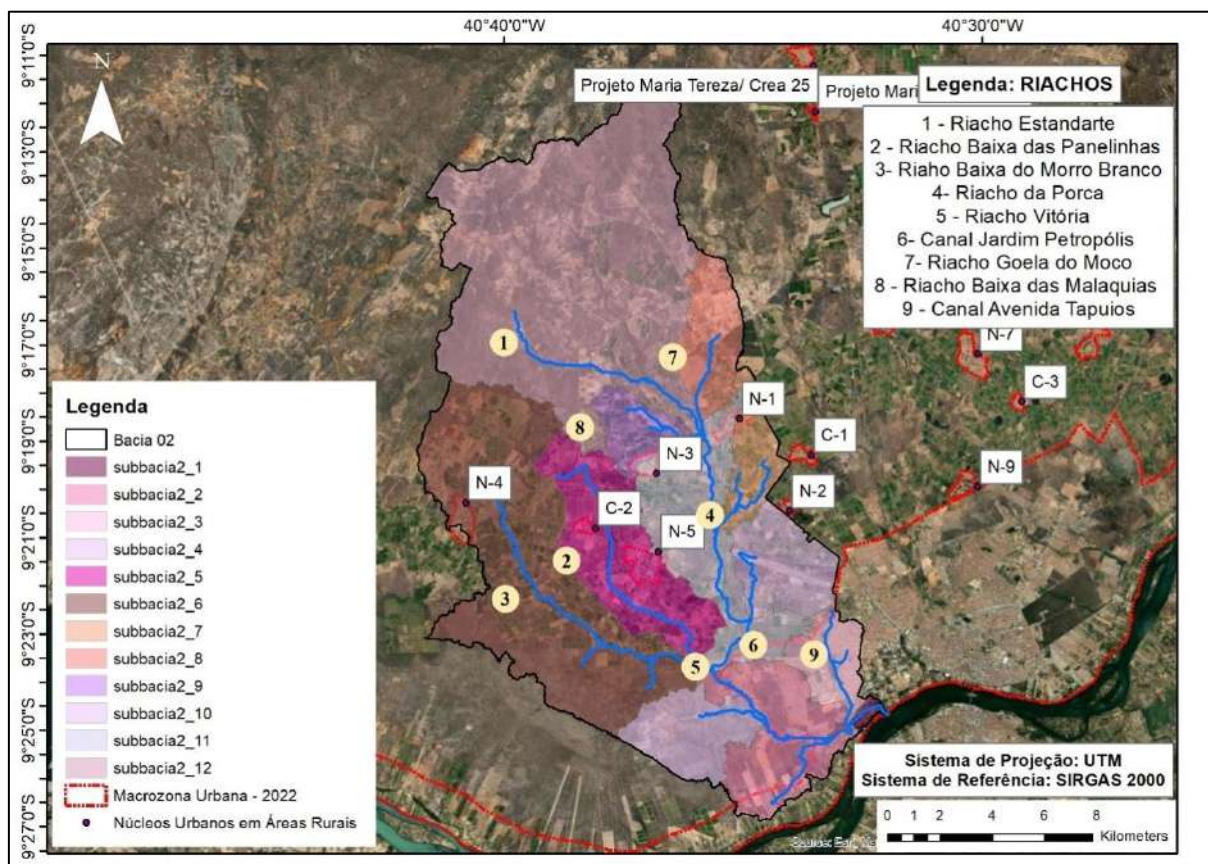
Figura 34 – Sub-bacias da bacia 01 em Petrolina-PE.



Fonte: PDCA (2022).

A bacia 02 foi subdividida em 12 sub-bacias, nomeadas em sub-bacia 2.1, sub-bacia 2.2, sub-bacia 2.3, sub-bacia 2.4, sub-bacia 2.5, sub-bacia 2.6, sub-bacia 2.7, sub-bacia 2.8, sub-bacia 2.9, sub-bacia 2.10, sub-bacia 2.11 e sub-bacia 2.12 (Figura 35). Essa bacia, denominada bacia 02, tem como drenagem principal o Riacho Vitória, compreende os bairros COHAB São Francisco, São Gonçalo, Jardim Petrópolis, área ribeirinha do riacho da Vitória e Avenida Tapuio, assim como o Aeroporto Senador Nilo Coelho. Fazem parte da bacia 02, os núcleos urbanos em áreas rurais denominados N-4, C-2, N-3, N-5, N-1.

Figura 35 – Sub-bacias da bacia 02 em Petrolina-PE.

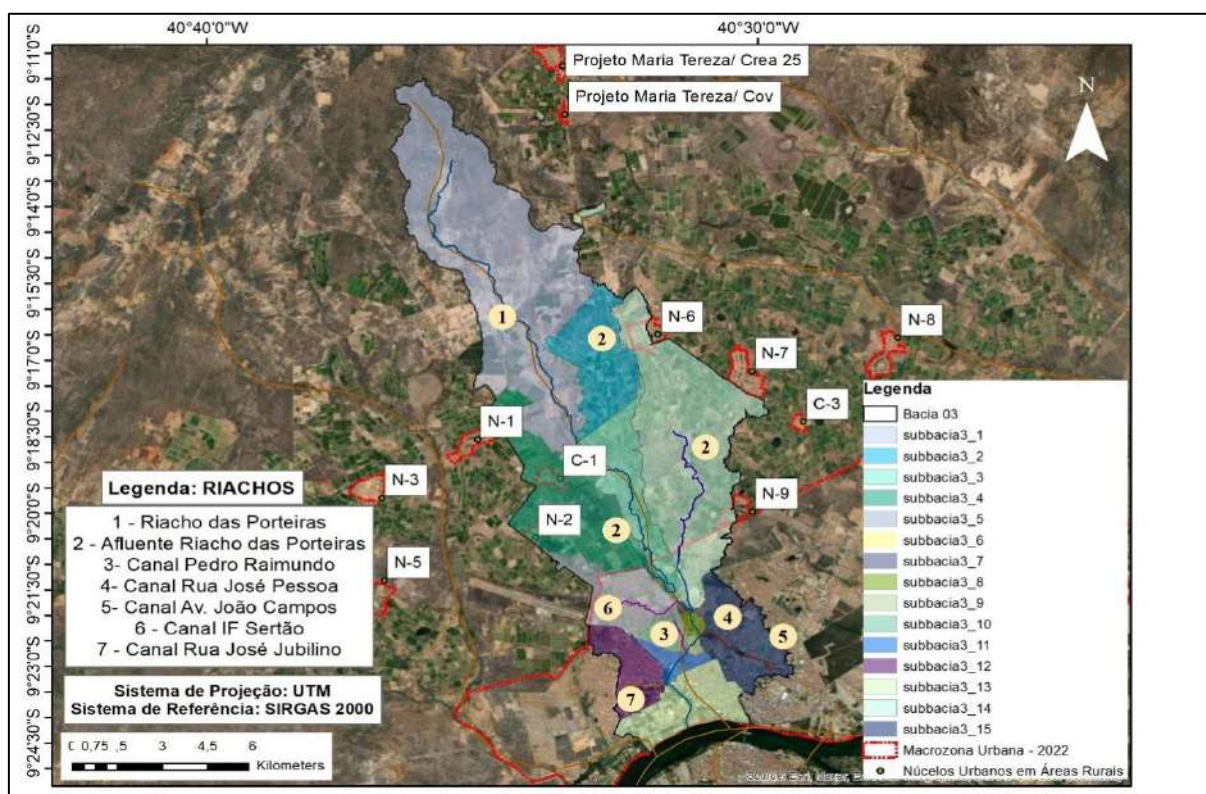


Fonte: PDCA (2022).

A bacia 03 foi subdividida em 15 sub-bacias, em busca de um maior detalhamento na área urbana na sede, com densidade demográfica mais elevada, nomeadas em sub-bacia 3.1, sub-bacia 3.2, sub-bacia 3.3, sub-bacia 3.4, sub-bacia 3.5, sub-bacia 3.6, sub-bacia 3.7, sub-bacia 3.8, sub-bacia 3.9, sub-bacia 3.10, sub-bacia 3.11, sub-bacia 3.12, sub-bacia 3.13, sub-bacia 3.14 e sub-bacia 3.15, conforme a Figura 36.

Essa bacia, denominada bacia 03, tem como drenagem principal o Riacho das Porteiras, compreende bairros importantes do município como os bairros de Jardim São Paulo, Jardim Maravilha, Gercino Coelho, Dom Malan, João de Deus, Cosme e Damião, Antônio Casimiro, Palhinhas, COHAB Massangano, Vila Mocó, Areia Branca, Distrito Industrial, Atrás da Banca, KM 2, Pedro Raimundo, Jardim Amazonas, São Gonçalo, José e Maria e Ouro Preto. Fazem parte da bacia 03, os núcleos urbanos em áreas rurais denominados N-2, C-1, N-3, N-6, N-9.

Figura 36 – Sub-bacias da bacia 03 em Petrolina-PE.

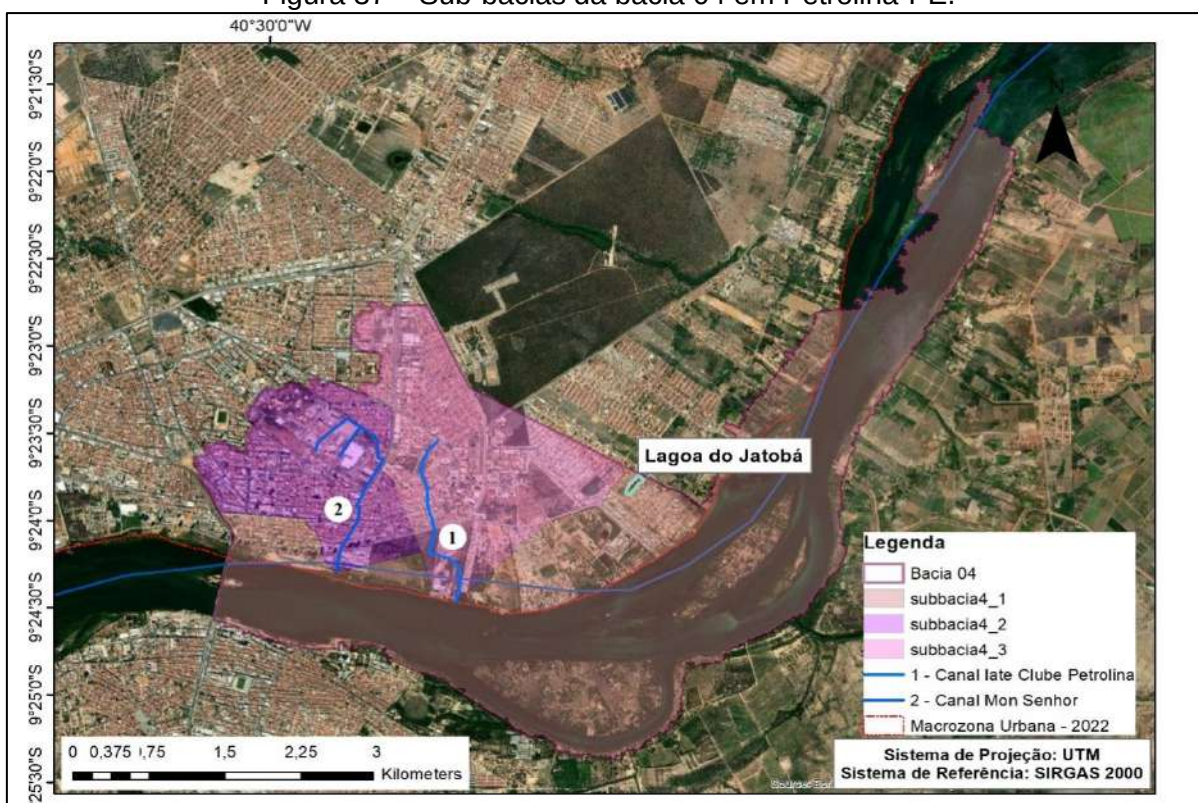


Fonte: PDCA (2022).

A bacia 04 foi dividida em três sub-bacias, que compreendem os canais Monsenhor e Canal Iate Clube Petrolina, e o afluente do rio São Francisco, compreende os bairros Centro, Maria Auxiliadora, Vila Eduardo, São José, Alto Cheiroso, Vila dos Ingas II, Cidade Universitária e Pedra do Bode (

Figura 37).

Figura 37 – Sub-bacias da bacia 04 em Petrolina-PE.

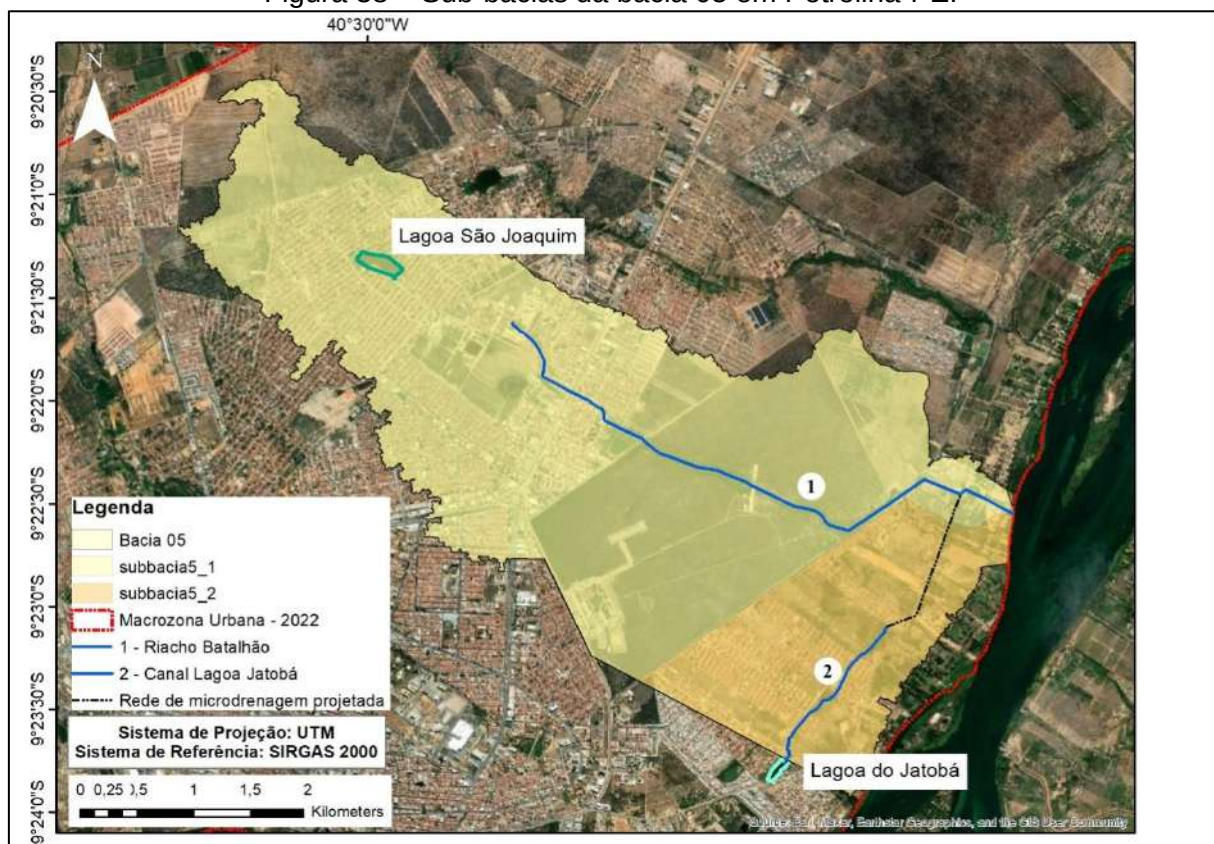


Fonte: PDCA (2022).

A bacia 05 foi subdividida em duas sub-bacias e tem como drenagem principal o Riacho do 72º Batalhão de Infantaria Motorizado (Zona Militar), compreende parte de alguns bairros como Dom Avelar, Zona Militar, Loteamento Recife, Henrique Leite, Carneiro, Jatobá, Terra do Sul e José Maria (Figura 38).

A rede de microdrenagem que interliga os trechos de drenagem do Riacho Batalhão e o Canal Lagoa do Jatobá para o seu destino final foi estimada pela delimitação a partir do PE3D e, portanto, será confirmada pela equipe de topografia na elaboração de produtos posteriores do Plano de Macrodrenagem.

Figura 38 – Sub-bacias da bacia 05 em Petrolina-PE.

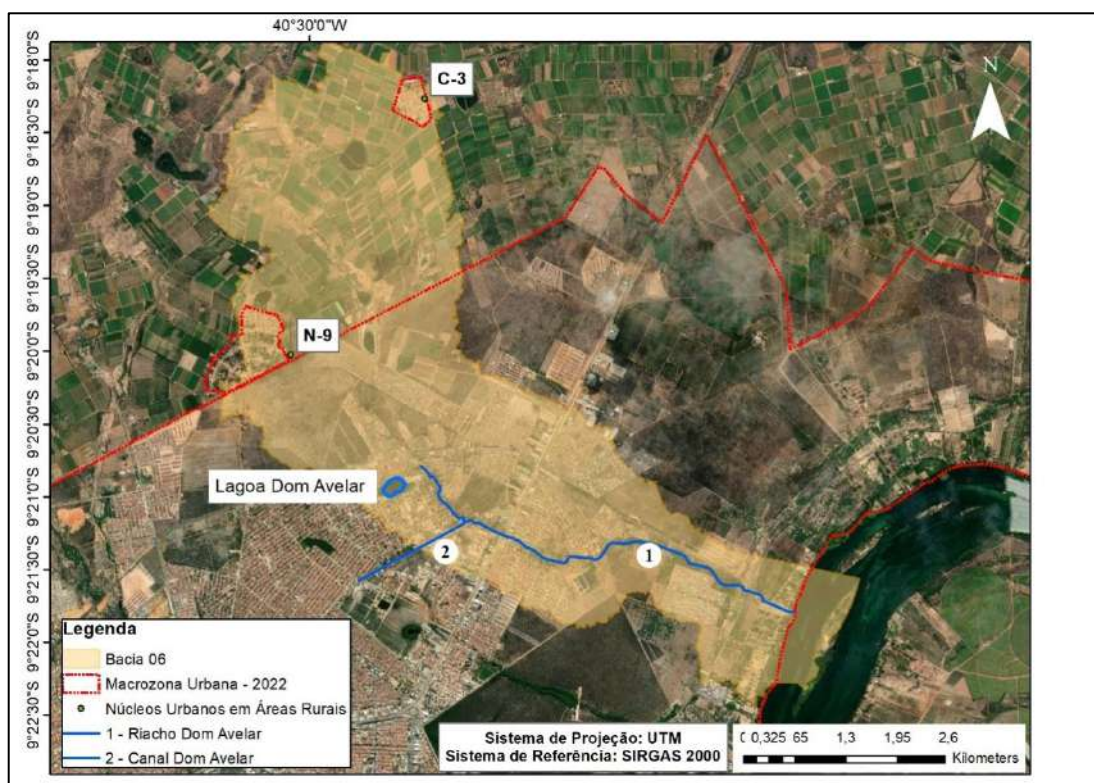


Fonte: PDCA (2022).

As bacias 06, 08, 09, 12, 13 e 14 serão apresentadas a seguir de maneira integrada, sem maiores subdivisões em virtude da menor área das bacias, rede de drenagem menos densa, dispensando a necessidade de sub divisões, sem afetar a qualidade do seu diagnóstico.

A bacia 06 foi apresentada de maneira integrada, e tem como drenagem principal Riacho natural do Dom Avelar e Boa Esperança, compreendendo os bairros Dom Avelar, Topázio, Loteamento Recife e Vila Nova, Vila Marcela (Figura 39). Fazem parte da bacia 06, os núcleos urbanos em áreas rurais denominados N-9, C-3, N-3.

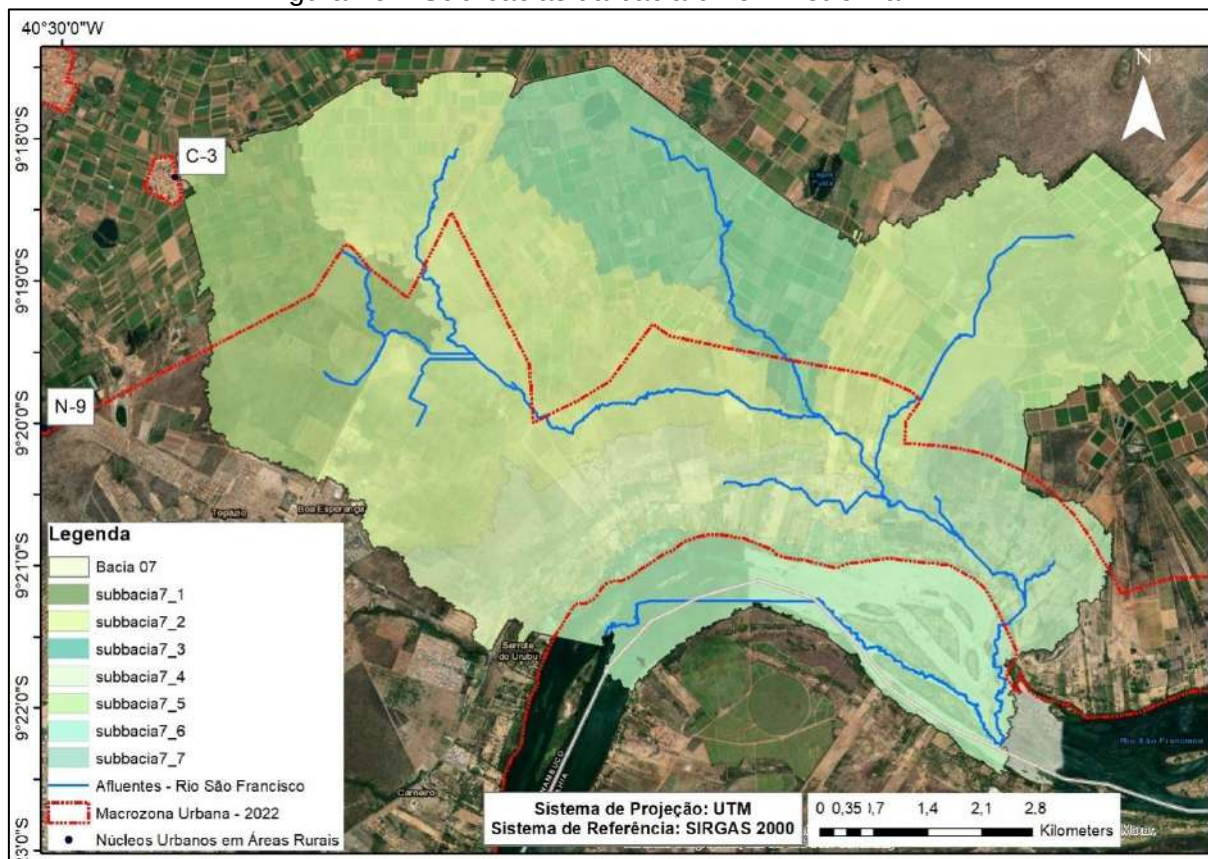
Figura 39 – Bacia 06 em Petrolina-PE.



Fonte: PDCA (2022).

A bacia 07 foi subdividida em 7 sub-bacias, denominadas sub-bacia 7.1, sub-bacia 7.2, sub-bacia 7.3, sub-bacia 7.4, sub-bacia 7.5, sub-bacia 7.6 e sub-bacia 7.7, apresentadas na Figura 40, que compreende os bairros Boa Esperança e Serrote do Urubu. Os afluentes do Rio São Francisco, que compõem a bacia 07, totalizam 43,21 km de rede de drenagem nessa bacia.

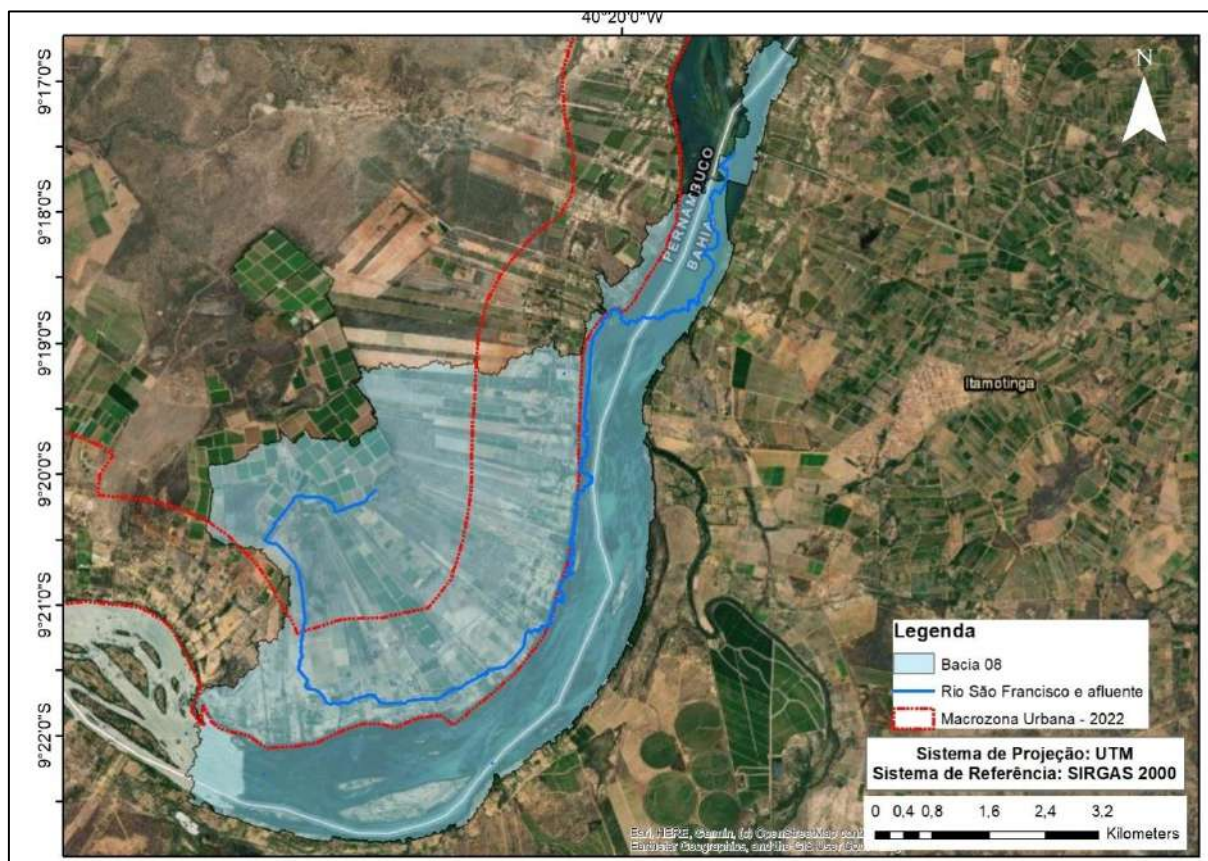
Figura 40 – Sub-bacias da bacia 07 em Petrolina-PE.



Fonte: PDCA (2022).

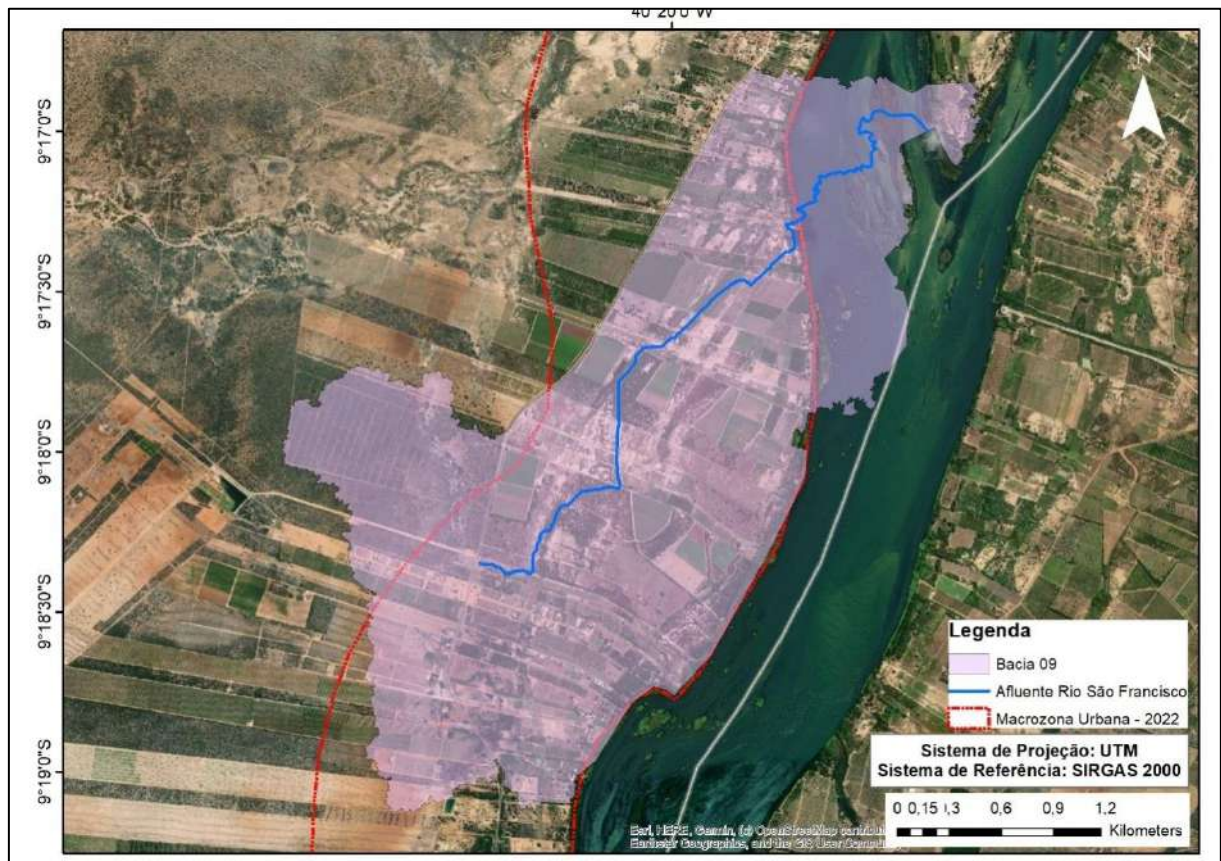
As bacias 08, 09, 10, 11, 12, 13 e 14 tem grande parte de sua ocupação áreas de plantações/agricultura, com ocupação de área rural, mas com possível expansão urbana futura. O trecho do rio São Francisco e afluente, que compõe a bacia 08, totaliza 21,76 km de rede de drenagem nessa bacia (Figura 41). Por sua vez, o afluente do Rio São Francisco, que compõe a bacia 09, totaliza 5,41 km de rede de drenagem nessa bacia (Figura 42).

Figura 41 – Bacia 08 em Petrolina-PE.



Fonte: PDCA (2022).

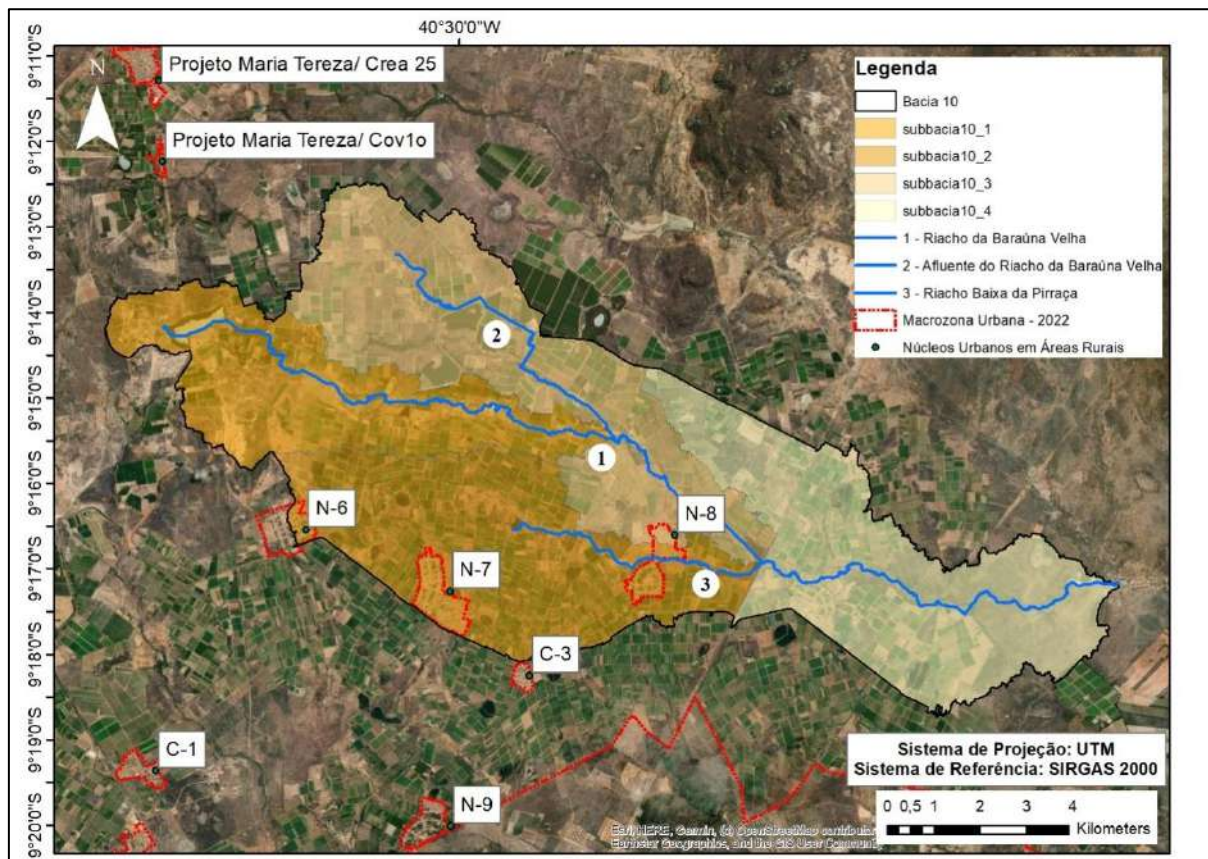
Figura 42 – Bacia 09 em Petrolina-PE.



Fonte: PDCA (2022).

A bacia 10 foi subdividida em 4 sub-bacias, nomeadas em sub-bacia 10.1, sub-bacia 10.2, sub-bacia 10.3 e sub-bacia 10.4, conforme a Figura 43. Fazem parte da bacia 10, os núcleos urbanos em áreas rurais denominados N-6, N-7, N-8.

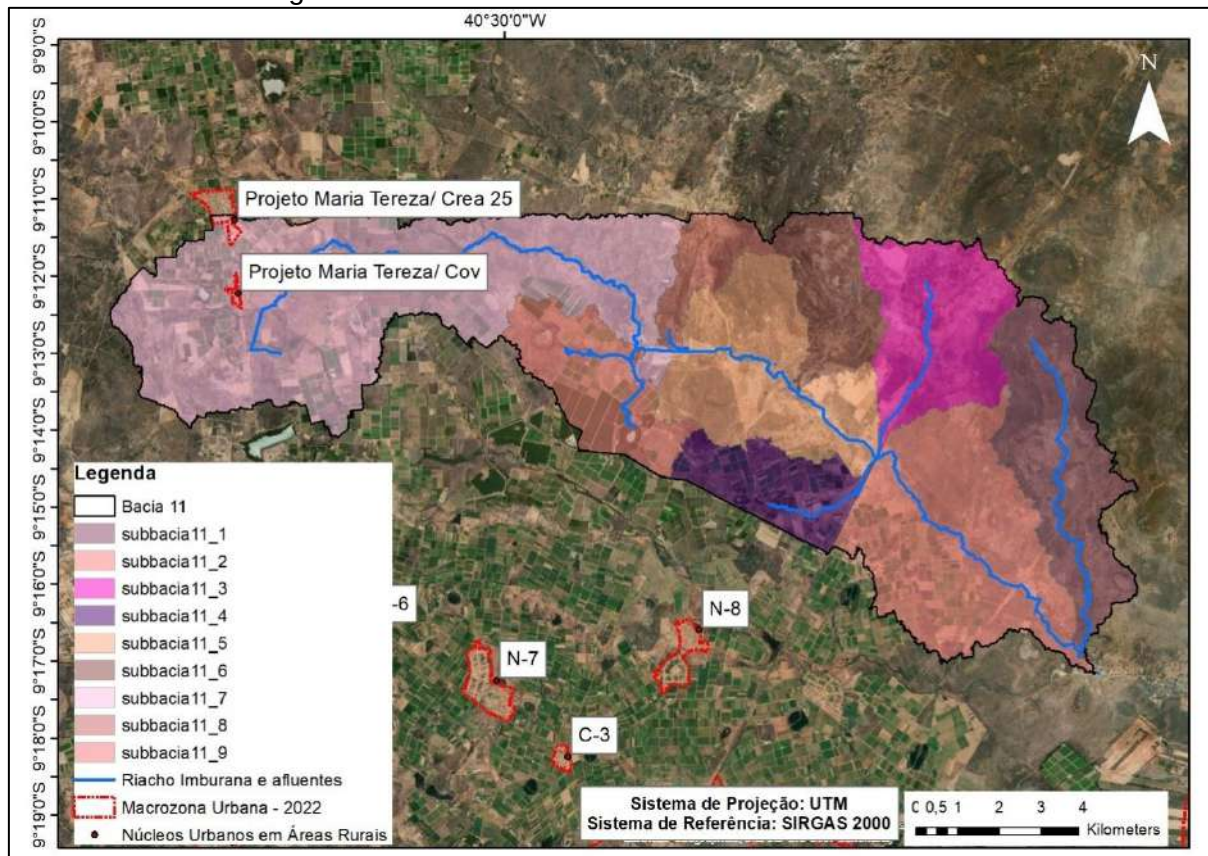
Figura 43 – Sub-bacias da bacia 10 em Petrolina-PE.



Fonte: PDCA (2022).

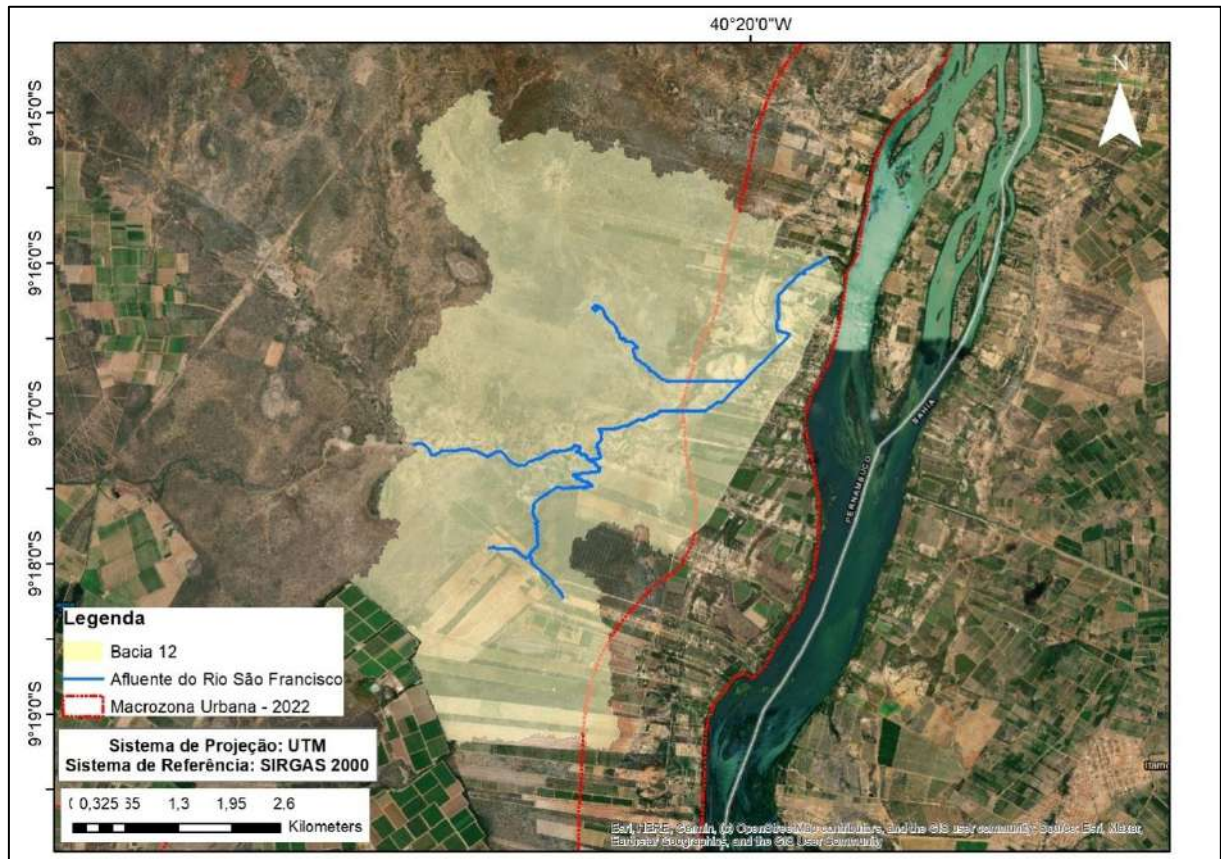
A bacia 11 foi subdividida em 9 sub-bacias, nomeadas em sub-bacia 11.1, sub-bacia 11.2, sub-bacia 11.3, sub-bacia 11.4, sub-bacia 11.5, sub-bacia 11.6, sub-bacia 11.7, sub-bacia 11.8 e sub-bacia 11.9 (Figura 44). Fazem parte da bacia 11, os núcleos urbanos em áreas rurais denominados Projeto Maria Teresa Covão e Projeto Maria Teresa/Crea 25.

Figura 44 – Sub-bacias da bacia 11 em Petrolina-PE.



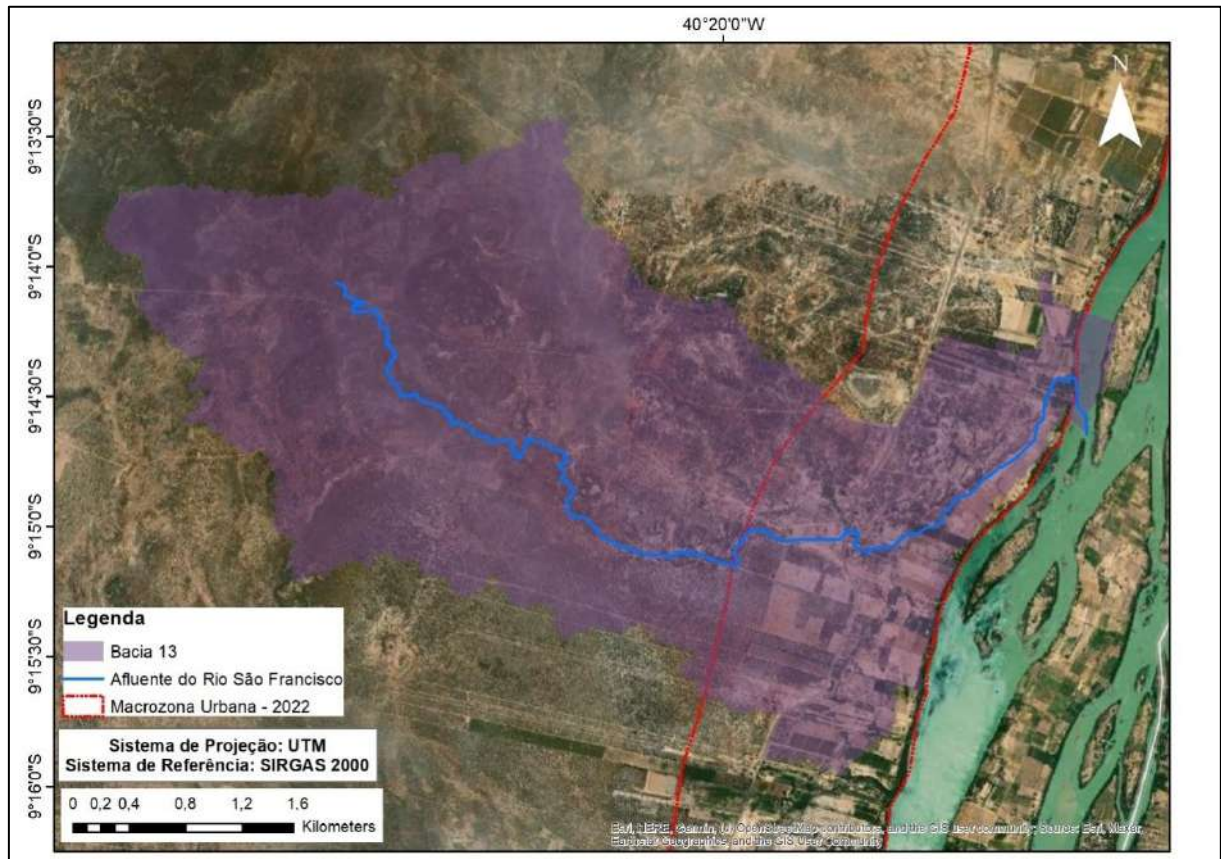
Fonte: PDCA (2022).

Figura 45 – Bacia 12 em Petrolina-PE.



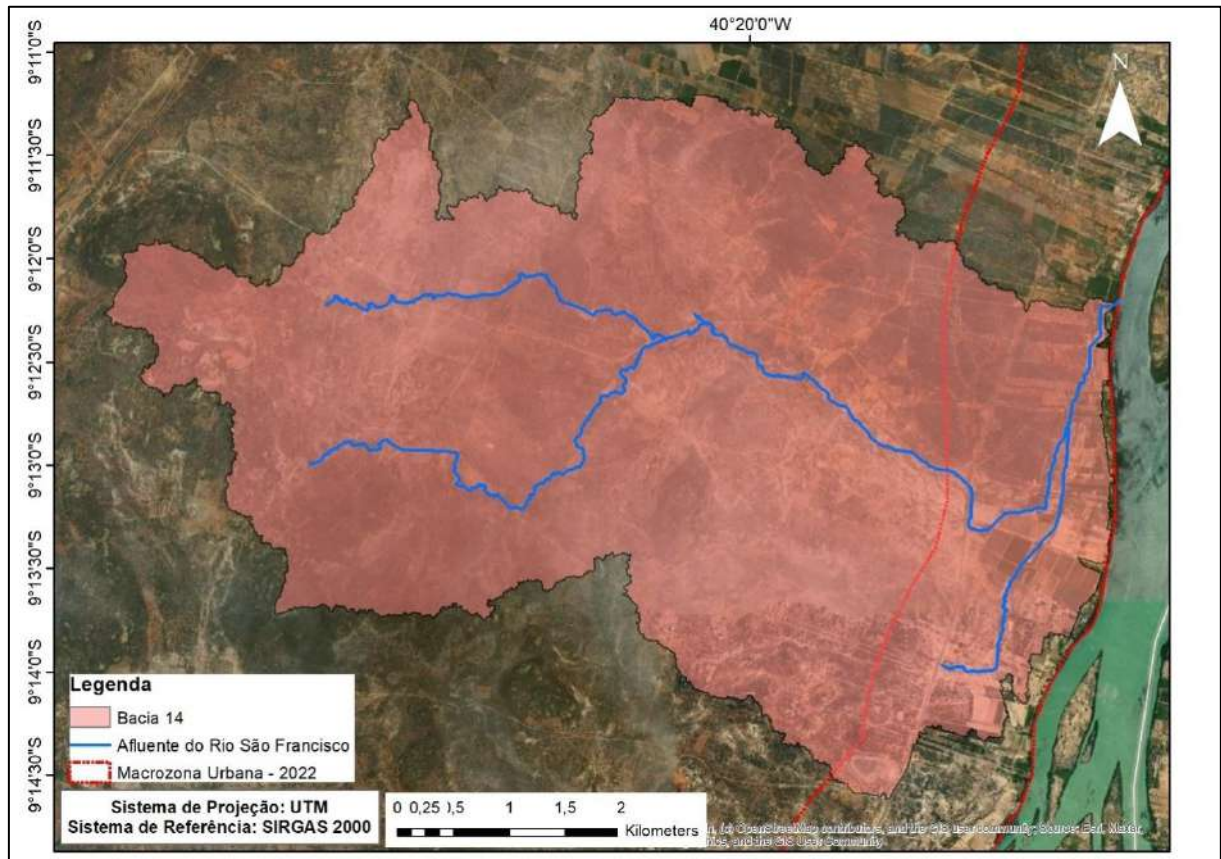
Fonte: PDCA (2022).

Figura 46 – Bacia 13 em Petrolina-PE.



Fonte: PDCA (2022).

Figura 47 – Bacia 14 em Petrolina-PE.

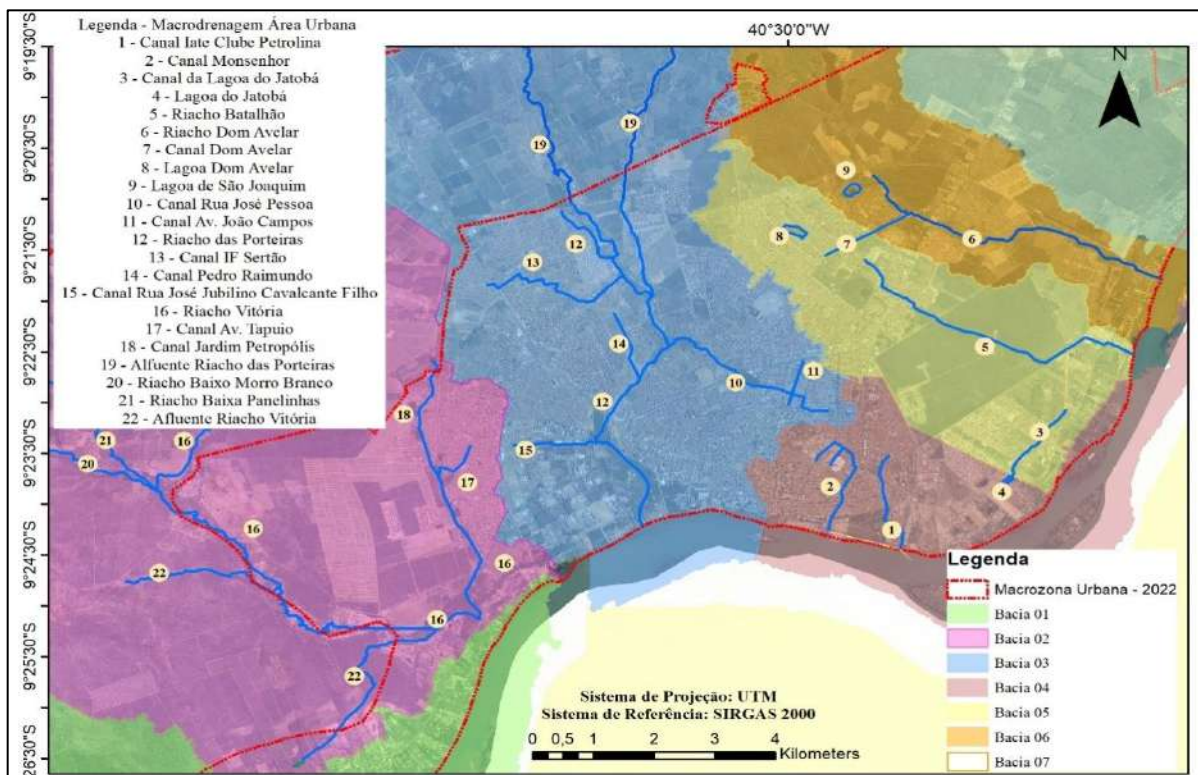


Fonte: PDCA (2022).

3.11 REDE DE MACRODRENAGEM

O levantamento topográfico realizado no contexto de elaboração do Plano abrangeu o cadastro de 4 riachos e 12 canais que fazem parte do sistema de macrodrenagem localizado na área urbana do município de Petrolina-PE, os quais são apresentados na Figura 48 e caracterizados ao longo desta seção do documento.

Figura 48. Rede de drenagem da região urbanizada



Fonte: PDCA (2022), imagem adaptada do Google Earth.

Tabela 15 – Características correspondentes as principais redes de drenagem.

DRENAGEM	EXTENSÃO (km)	LOCALIZAÇÃO
Canal Avenida Tapuio	0,33	Bacia 02
Canal Jardim Petrópolis	2,06	Bacia 02
Riacho Baixa das Malaquias	5,57	Bacia 02
Riacho Baixa das Panelinhas	13,88	Bacia 02
Riacho Baixo do Morro Branco	19,82	Bacia 02
Riacho Estandarte	11,57	Bacia 02
Riacho Goela do Moco	5,74	Bacia 02
Riacho Porca	7,44	Bacia 02
Riacho Vitória	34,98	Bacia 02
Canal Avenida João Campos	0,83	Bacia 03
Canal Pedro Raimundo	1,29	Bacia 03
Canal IF Sertão	2,96	Bacia 03
Canal Rua José Junilino Cavalcante Filho	1,41	Bacia 03
Canal Rua José Pessoa	1,84	Bacia 03
Afluente Riacho das Porteiras	2,31	Bacia 03
Afluente Riacho das Porteiras	4,93	Bacia 03
Afluente Riacho das Porteiras	7,10	Bacia 03
Riacho das Porteiras	35,48	Bacia 03
Canal Iate Clube Petrolina	1,97	Bacia 04
Canal Mon Senhor	2,75	Bacia 04
Riacho Batalhão	5,42	Bacia 05
Canal da Lagoa do Jatobá	1,59	Bacia 05
Riacho Dom Avelar	5,84	Bacia 06
Canal Dom Avelar	1,54	Bacia 06
Riacho Baixa da Pirraça	7,13	Bacia 10
Riacho da Baraúna Velha	30,2	Bacia 10
Afluente do Riacho da Baraúna Velha	9,0	Bacia 10
Afluente Riacho Imburana	11,87	Bacia 11
Afluente Riacho Imburana	5,96	Bacia 11
Afluente Riacho Imburana	4,11	Bacia 11
Afluente Riacho Imburana	6,03	Bacia 11
Afluente Riacho Imburana	0,89	Bacia 11
Afluente Riacho Imburana	6,45	Bacia 11
Riacho Imburana	36,31	Bacia 11
Afluentes Rio São Francisco	15,41	Bacia 12
Afluente Rio São Francisco	9,44	Bacia 13
Afluentes Rio São Francisco	20,78	Bacia 14

Fonte: PDCA (2022).

Canal São José: Inserido na bacia 4 da área urbana de Petrolina, o canal São José tem início na Av. da Integração, passando por baixo de uma série de edifícios, até cruzar a Av. Cardoso de Sá, onde corre paralelamente ao Iate Clube Petrolina, passando ainda por uma lagoa natural, e desaguando no Rio São Francisco (Figura 49). O canal do São José tem uma área de drenagem estimada em 3,90 km², e uma extensão com cerca de 1.708,18 m. Sua calha é toda em leito natural com início na av. da Integração, desenvolvendo-se por dentro de quadras viárias até a jusante no rio São Francisco nas proximidades do Iate Clube de Petrolina.

Figura 49. Canal São José.



Fonte: Google Earth (2022); Informações por PDCA (2022).

Canal do Alto Cheiroso: Inserido na bacia 4 da área urbana de Petrolina, o canal artificial do Alto Cheiroso tem início em dois pontos: no cruzamento da Rua Projetada 7 com a Av. José de Sá Maniçoba, e no cruzamento da rua do Centro de Convenções Senador Nilo Coelho com a Av. do Centenário (Figura 50). O canal segue pelas avenidas até chegar na Av. Sen. Darcí Ribeiro, onde passa pela Rua Floriano Peixoto até chegar na Av. Monsenhor Ângelo Sampaio. Desta avenida, o canal segue até a Tr. Dr. Júlio de Melo, que deságua em um trecho natural de riacho, seguindo ao Rio São Francisco.

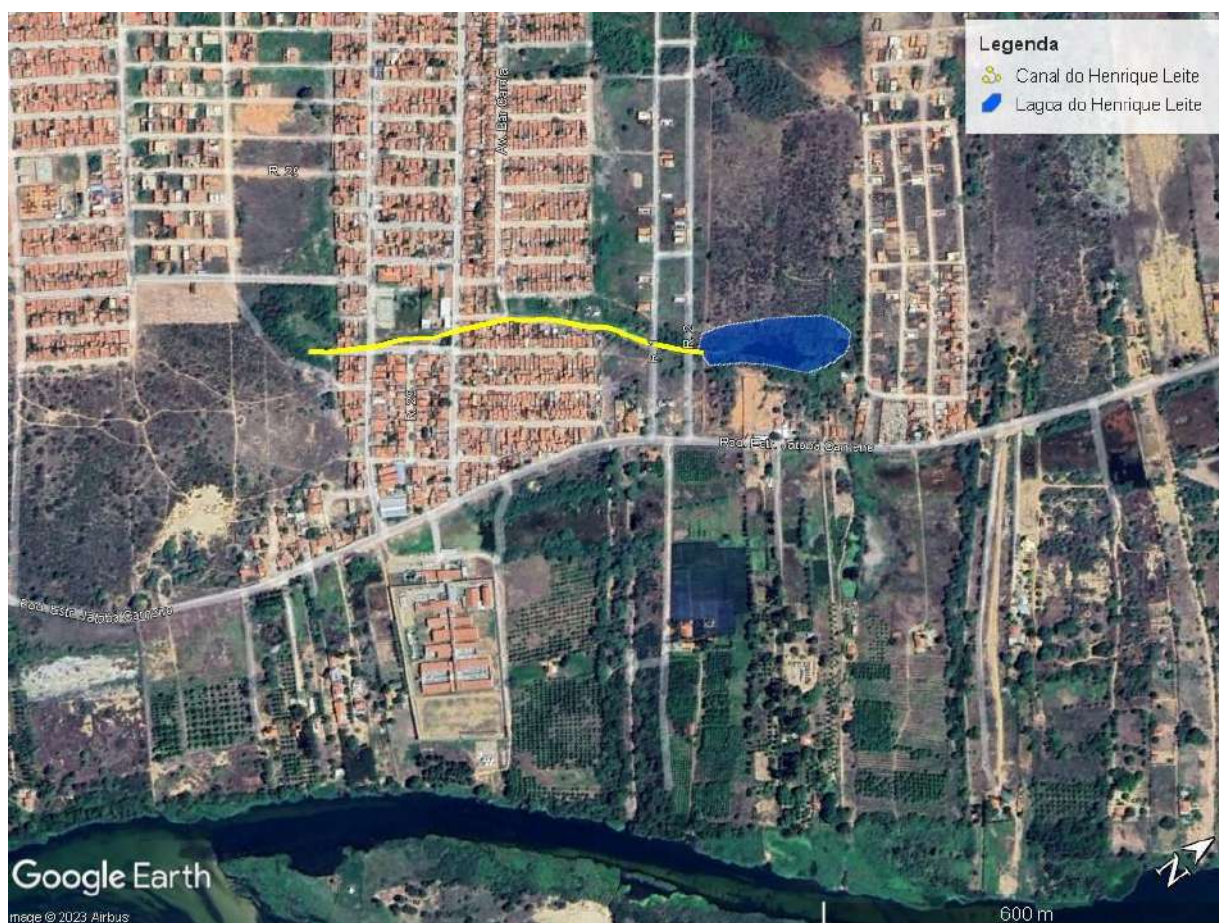
Figura 50. Canal do Alto Cheiroso.



Fonte: Google Earth (2022); Informações por PDCA (2022).

Canal Henrique Leite: O canal do Henrique Leite tem início na Avenida Antônio dos Santos, paralela a Rua Vinte e três, cruza a Av. das Caravelas, seguindo por galeria, cruzando as Ruas 1 e 2, desaguando em uma pequena lagoa no bairro (Figura 51). O canal do Henrique Leite tem uma extensão de aproximadamente 590,00 m inserido numa bacia drenante de cerca de 3,50 km². Desenvolve-se todo em leito natural com início nas proximidades av. Antônio dos Santos, indo até a lagoa do Henrique Leite. Na imagem (Figura 6) se constata que seu traçado se desenvolve dentro de quadras viárias.

Figura 51. Canal Henrique Leite.



Fonte: PDCA (2022), imagem adaptada do Google Earth.

Riacho do Batalhão: Esse riacho tem início na Av. dos Gaviões, com traçado no interior de várias quadras viárias, incluindo o interior do terreno onde se localiza uma unidade das forças armadas, daí a denominação dele, indo desaguar no rio São Francisco. Na Figura 52, verifica-se a localização e traçado do canal, ressaltando que esse riacho se apresenta quase todo em leito natural. No trecho inicial, esse riacho não apresenta uma calha definida no seu trajeto podendo vir a ser contemplado dentro de um programa de implantação de sistemas de micro drenagem que viabilizará o escoamento superficial, quando da ocorrência das chuvas, nos logradouros do entorno. Esse riacho tem uma área hidrográfica de 15,89 km²

aproximadamente e sua extensão total é cerca de 4,27 km. Possui um trecho revestido com cerca de 208,00 m e quase todo localizado na rua Miguel Silvestre de Lima, bairro Loteamento Recife. Divide-se em um setor fechado com laje de concreto (cerca de 40,00 m) e outro aberto.

Figura 52. Riacho do Batalhão.



Fonte: Google Earth (2022); Informações por PDCA (2022)

Riacho Pau Ferro: Inserido na bacia 6 da área urbana de Petrolina, o riacho Pau Ferro localiza-se nos bairros Dom Avelar e Boa Esperança, e deságua no Rio São Francisco (Figura 53). Tem início no bairro Dom Avelar, a alguns metros da Av. da Fertilidade, próximo a lagoa Dom Avelar. O riacho segue até a Av. da Redenção, onde recebe a contribuição do canal da Av. da Redenção. O riacho cruza a BR-122, e passa ao lado do bairro Vila Marcela. Após isso, o riacho segue até o bairro Boa Esperança, passando ao lado do Condomínio Alphaville. Por fim, o riacho cruza a Av. Pedrinhas, e segue até desaguar no Rio São Francisco. O riacho Pau Ferro tem cerca de 7,02 km e todo seu leito se apresenta natural desde o início no perímetro urbano na av. da Fertilidade até a foz no rio São Francisco. Com aproximadamente 5 travessias com bueiros, há trechos com necessidade de definição de calha, inclusive como forma de prevenção de futuras ocupações.

Figura 53. Riacho Pau Ferro.



Fonte: PDCA (2022), imagem adaptada do Google Earth.

Canal da Av. da Redenção: O canal da Av. da Redenção tem início no cruzamento desta avenida com a Rua do Mercúrio, seguindo pela avenida até desaguar no riacho Pau Ferro (Figura 54). Esse canal é o principal afluente do riacho Pau Ferro e se apresenta praticamente em leito natural com 1493,74 m de extensão. Cerca de 96,26 m dele é entubado, ou seja, abaixo do solo, com ocupações irregulares.

Figura 54. Canal da Av. da Redenção.



Fonte: Google Earth (2022); Informações por PDCA (2022)

Lagoa Dom Avelar: A lagoa Dom Avelar está localizada no bairro Dom Avelar, entre a Rua da Harmonia, a Av. da Esperança, Rua da Nobreza, Rua da Experiência e Rua da Bondade (Figura 55). A lagoa tem uma área aproximada de 57.250,64 m², com uma extremidade na Rua da Harmonia e outra na Rua da Bondade. Essa lagoa está inserida na bacia 6 da área urbana de Petrolina.

Figura 55. Lagoa Dom Avelar



Fonte: Google Earth (2022); Informações por PDCA (2022).

Lagoa São Joaquim: A lagoa São Joaquim está localizada no bairro Dom Avelar, entre a Rua do Mercúrio, a Rua do Nitrato, a Rua do Magnésio e a Rua do Mármore (Figura 56). A lagoa tem uma área aproximada de 43.660,55 m², com uma extremidade na Rua do Mercúrio, e outra na Rua do Mármore. Essa lagoa está inserida na bacia 5 da área urbana de Petrolina.

Figura 56. Lagoa São Joaquim



Fonte: Google Earth (2022); Informações por PDCA (2022).

Lagoas do Jatobá: As lagoas do Jatobá estão localizadas entre a Rua Sucupira, a Av. Maria Coelho Cavalcante Rodrigues e a Rod. Estrada Jatobá Carneiro (Figura 57). A lagoa tem uma área aproximada de 14.027,13 m², iniciando uma extremidade próxima à Rod. Estrada Jatobá Carneiro, com uma casa de bomba próxima, e com outra extremidade na Av. Maria Coelho Cavalcante Rodrigues, em uma tubulação de 1000 mm, que interliga a lagoa ao canal natural. A lagoa está inserida na bacia 5 da área urbana de Petrolina.

Figura 57. Lagoas do Jatobá



Fonte: Google Earth (2022).

Canal Dom Malan: O canal Dom Malan tem início no cruzamento da Rua das Rosas com a Rua dos Jasmins, seguindo até a Av. Inácio Bonfim, por onde segue paralelamente a esta avenida, até a Rua Bege (Figura 58). Após essa rua, o canal segue pela Rua José Pessoa e pela Rua Manoel Félix Borges, passando paralelamente a lagoa da Av. 7 de Setembro, desaguando no riacho das Porteiras. Esse canal está inserido na bacia 3 da área urbana de Petrolina. O canal apresenta uma extensão total de 3383,00 m, sendo 1283,00 m revestidos (trechos abertos e fechados) e cerca de 2.100,00 m em leito natural. A parte revestida está entre a Rua dos Jasmins e a Av. João Barroso Galvão. O trecho em leito natural se desenvolve entre a Av. João Barroso Galvão até a foz no riacho das Porteiras. O canal apresenta ao todo 14 travessias sob logradouros, incluindo trechos de calha revestida e de solo natural.

Figura 58. Canal Dom Malan.



Fonte: Google Earth (2022); Informações por PDCA (2022)

Canal da Av. João Campos: O canal da Av. João Campos tem início em dois pontos. O primeiro ponto é no cruzamento desta rua com a Av. da Integração, e o segundo ponto é no cruzamento desta rua com a Av. 7 de Setembro (Figura 59). Ambos os trechos deságuam no canal da Av. 7 de Setembro/Rua José Pessoa. Esse canal está inserido na bacia 3 da área urbana de Petrolina.

Figura 59. Canal da Av. João Campos.



Fonte: Google Earth (2022); Informações por PDCA (2022).

Riacho das Porteiras: O riacho das Porteiras foi dividido em 4 partes para o levantamento topográfico. A primeira parte do riacho tem 7,68 km de extensão, tem início no bairro João de Deus, e termina no Rio São Francisco (Figura 15). A segunda parte do riacho tem extensão de 1,5 km, tem início na Av. 7 de Setembro, e termina no bairro Antônio Cassimiro (Figura 60). A terceira parte do riacho tem extensão de 1,5 km, tem início no bairro João de Deus, e termina próximo a Av. da Fertilidade (Figura 15). A quarta parte tem extensão de 2,11 km, tem início no bairro Pedra Linda, e termina no bairro Antônio Cassimiro (Figura 15). Esse riacho está inserido na sub-bacia 3 da área urbana de Petrolina.

Figura 60. Riacho das Porteiras.



Fonte: Google Earth (2022); Informações por PDCA (2022)

Canal do João de Deus: O canal que fica no bairro homônimo tem uma extensão aproximada de 2,90 km, com vários trechos revestidos. Iniciando na BR-407, com trecho revestido aberto com paredes em alvenaria de pedra, e finalizando na Rua Dezoito, com uma extensão de 579,08 m aproximadamente (Figura 61). A partir da confluência da Rua Quatorze com a Rua Dezoito se inicia um novo trecho do canal em leito natural, com uma extensão de 909,00 m, até a Rua Trinta, quando então começa um novo trecho com seção trapezoidal revestida com placas e fundo de concreto, perfazendo uma extensão de 407,00 m, finalizando esse trecho na Rua Doze. Daí se inicia o trecho final em leito natural até a jusante no riacho das Porteiras (Av. da Fertilidade) com uma extensão de 938,00 m aproximadamente.

Figura 61. Canal do João de Deus.



Fonte: Google Earth (2022); Informações por PDCA (2022).

Canal do Vale do Grande Rio: O canal fica no bairro Pedro Raimundo, com extensão total de 1.224,76 m, cujo início é próximo à Rua Cília Gomes da Silva, sendo revestido fechado com placas de concreto pelo eixo da Rua Vinte e Oito (Figura 62). Em seu primeiro trecho são cerca de 990 m de canal fechado até próximo à Rua Dez, a partir de onde se inicia o trecho revestido aberto com cerca de 205,00 m, além de um pequeno trecho com aproximadamente 30,00 m em leito natural até a jusante no riacho das Porteiras. Esse canal está inserido na bacia 3 da área urbana de Petrolina.

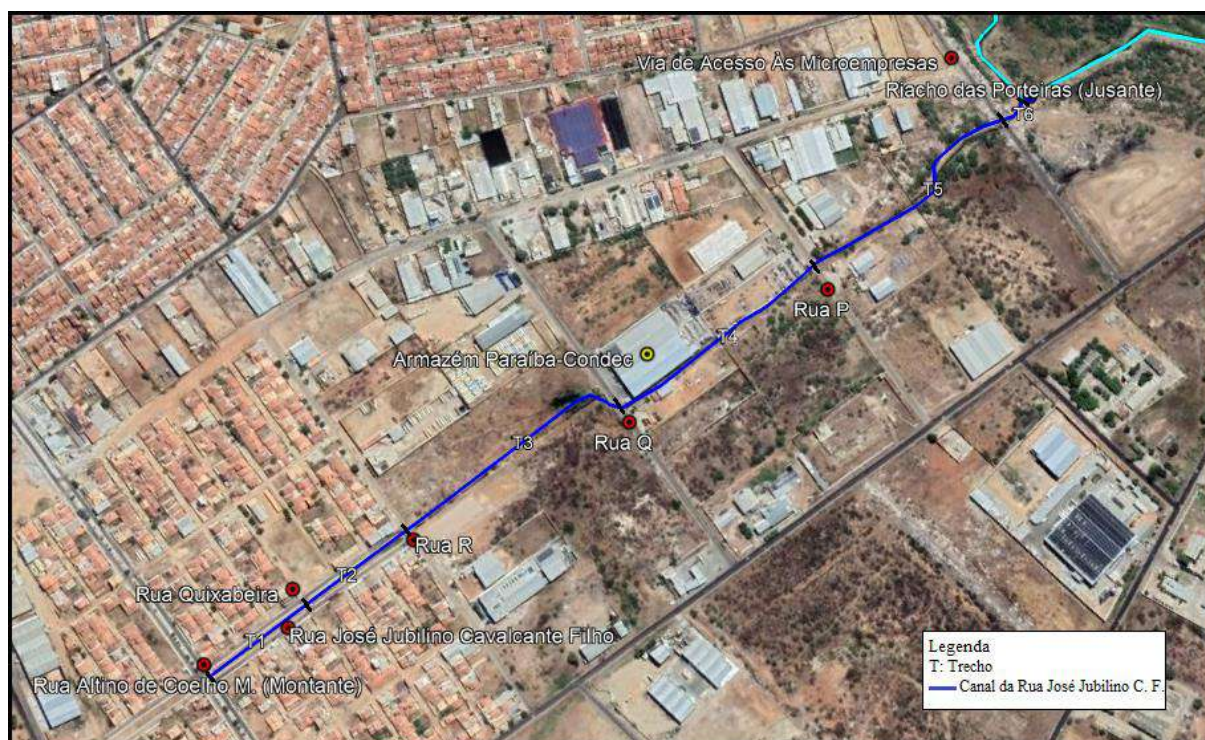
Figura 62. Canal do Grande Rio.



Fonte: Google Earth (2022); Informações por PDCA (2022)

Canal do Massangano: O canal se localiza no bairro Cohab Massangano, com uma extensão de 1378,00 m em leito natural numa área densamente ocupada (Figura 63). Desenvolve-se ao longo da Rua José Jubilino Cavalcante, passando por 5 travessias sob o pavimento, inclusive os bueiros na rua Q, na rua P e na via de acesso às Microempresas. Esse canal está inserido na bacia 3 da área urbana de Petrolina.

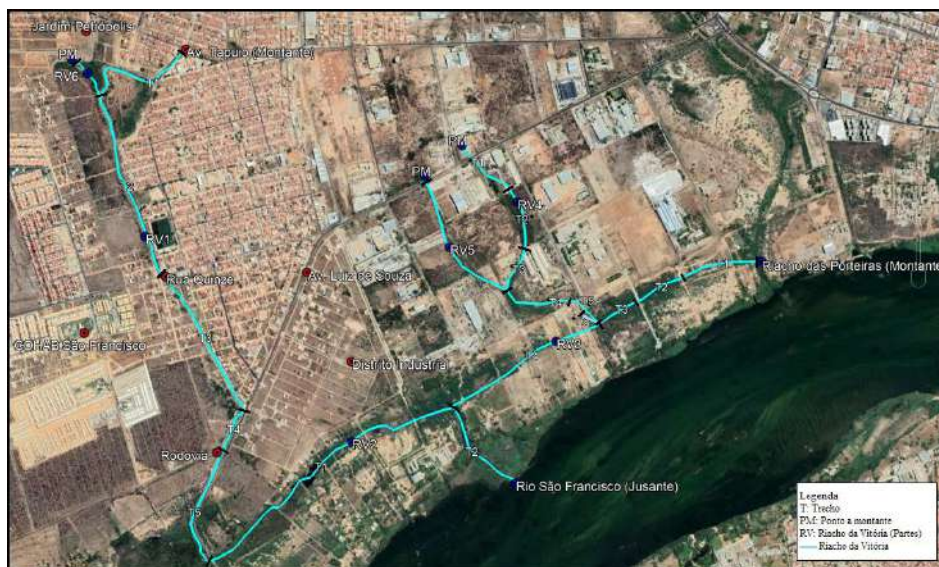
Figura 63. Canal do Massangano.



Fonte: Google Earth (2022); Informações por PDCA (2022)

Riacho Vitória: O riacho da Vitória foi dividido em 6 partes para o levantamento topográfico. A primeira parte do riacho tem 3,24 km de extensão, tem início na Av. Tapuio, e termina na segunda parte do riacho, na COHAB São Francisco (Figura 64). A segunda parte do riacho tem extensão de 2,0 km, tem início na COHAB São Francisco, e termina no Rio São Francisco (Figura 64). A terceira parte do riacho tem extensão de 1,74 km, tem início no riacho das Porteiras, e termina na segunda parte do riacho, no Distrito Industrial. Esse riacho está inserido na bacia 2 da área urbana de Petrolina. A quarta parte tem extensão de 1,40 km, tem início na Av. Luiz de Souza, no Distrito Industrial, e termina na terceira parte do riacho, no Distrito Industrial (Figura 64). A quinta parte do riacho tem extensão de 0,73 km, tem início no Distrito Industrial, e termina na quarta parte do riacho, no Distrito Industrial. A sexta parte do riacho tem extensão de 0,23 km, tem início no canal do bairro Jardim Petrópolis, e termina na primeira parte do riacho.

Figura 64. Riacho da Vitória.



Fonte: Google Earth (2022); Informações por PDCA (2022)

Canal da Av. Tapuio: Esse canal é um afluente indireto do riacho Vitória e a uma extensão de cerca de 1,25 km, tendo o leito revestido fechado iniciando na av. Tapuio com a rua 32 e finaliza na av. Tapuio com a rua Maracujá (Figura 65). O canal da Av. Tapuio tem início no cruzamento da Rua 09 com a Av. Tapuio, e segue por esta avenida em uma galeria fechada, até desaguar no riacho da Vitória, depois do cruzamento com a Rua do Maracujá. Observou-se a presença de uma caixa coletora no início do canal, e bocas de lobo (algumas danificadas) ao longo do canal. Este possui extensão total de cerca de 340 m. Esse canal está inserido na bacia 2 da área urbana de Petrolina.

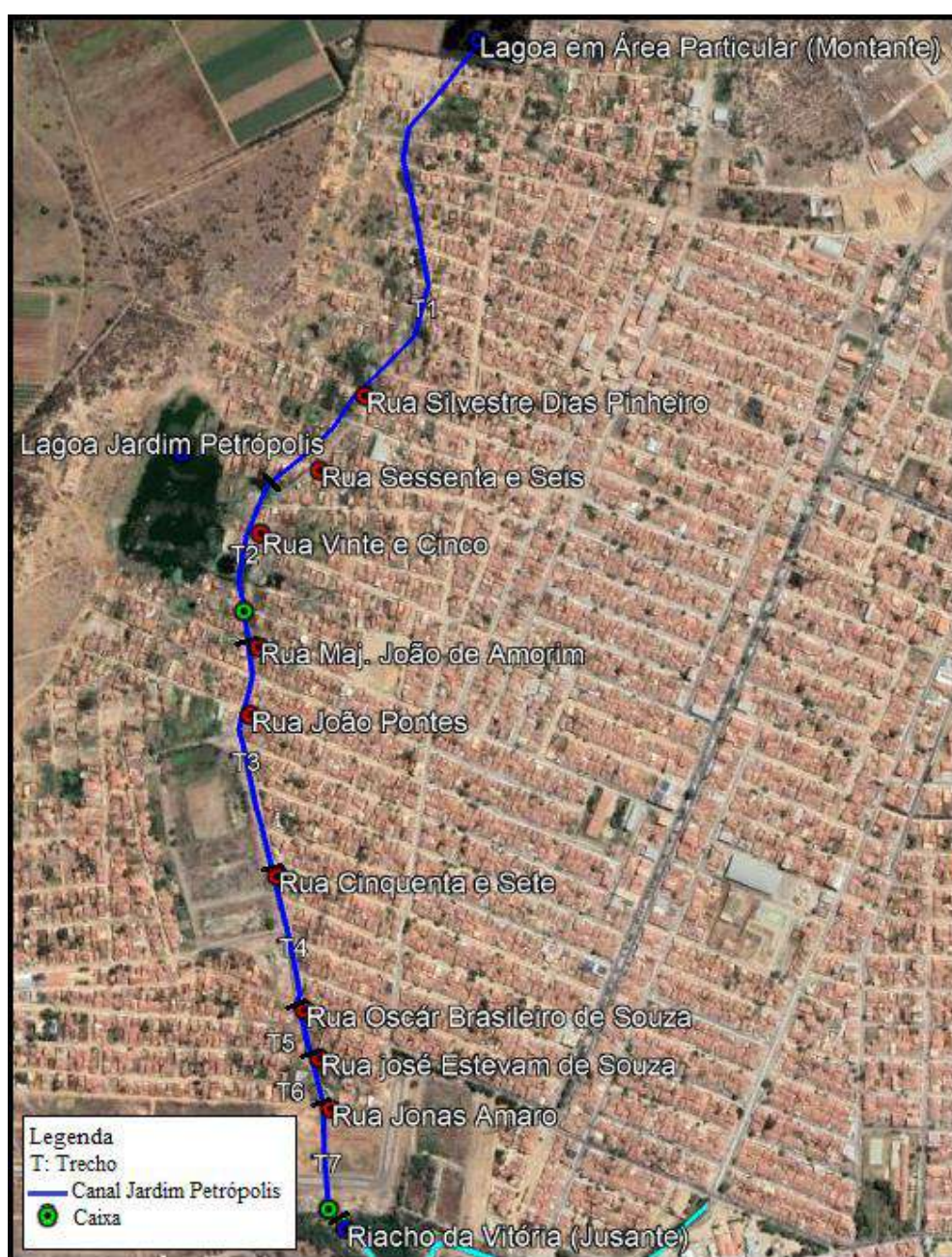
Figura 65. Canal da Av. Tapuio.



Fonte: Google Earth (2022); Informações por PDCA (2022).

Canal do bairro Jardim Petrópolis: O canal localiza-se no bairro de mesmo nome, e segue pelo interior do bairro, passando por uma área com várias ocupações à beira do canal (Figura 66). O canal cruza as Ruas Silvestre Dias Pinheiro e Sessenta e Seis, seguindo paralelamente à Rua Vinte e Cinco, até chegar na lagoa Jardim Petrópolis. Após isso, o canal cruza as Ruas Maj. João de Amorim e João Pontes, segue pela Rua Cinquenta e Sete, cruza a Rua Oscar Brasileiro de Souza, e segue até desaguar no Riacho da Vitória. Esse canal está inserido na bacia 2 da área urbana de Petrolina.

Figura 66. Canal do bairro Jardim Petrópolis.



Fonte: Google Earth (2022); Informações por PDCA (2022).

3.12 REDE DE MICRODRENAGEM

Os sistemas de microdrenagem são constituídos por bacias urbanas, com o objetivo de encaminhar as águas pluviais de áreas urbanizadas para seu descarte final em local adequado. As estruturas de drenagem podem ser superficiais ou profundas, constituídas por dispositivos tais como: sarjetas, poços de visita, bocas-de-lobo, galerias de águas pluviais, entre outros. O sistema de microdrenagem deságua em um corpo hídrico receptor, como riachos ou canais com dimensões maiores, integrantes do sistema de macrodrenagem do município.

O cadastramento expedito das estruturas de drenagem refere-se aos registros de suas condições de funcionamento e manutenção, ou seja, levantamento da localização e dos principais aspectos que envolvem a situação atual do sistema de microdrenagem implantado no município. Para o referido cadastramento, foram realizadas visitas técnicas “IN LOCO” com registros fotográficos, onde serão considerados os pontos a seguir:

- Identificação do sistema de drenagem utilizado (drenagem profunda ou superficial);
- Pontos de desagues de águas pluviais existentes (riachos, canais ou redes existentes);
- Mapeamento da localização de dispositivos (coordenadas).
- Dimensões (largura, comprimento, profundidade e diâmetro ou seção);
- Tipo (materiais) de galerias;
- Estado de conservação.

O panorama geral da cidade de Petrolina/PE, no que se refere ao sistema de drenagem implementado, a executar e em andamento, consta-se que os 1020,06 km das ruas existentes e levantadas na zona urbana, 965,02 km estão inseridas nas características de drenagem superficial, e 55,04 km apresentam sistemas de coleta de água definidos como profunda (Figura 54). O contexto atual e o mapa da caracterização dos sistemas de drenagem nas vias de Petrolina podem ser observados na Figura 55 e os dados gerais na Tabela 16. O referido Mapa 01/01 - Levantamento do sistema de drenagem – Malha Viária do Município de Petrolina/PE (1682mm x 1189mm) segue em anexo, para melhor visualização.

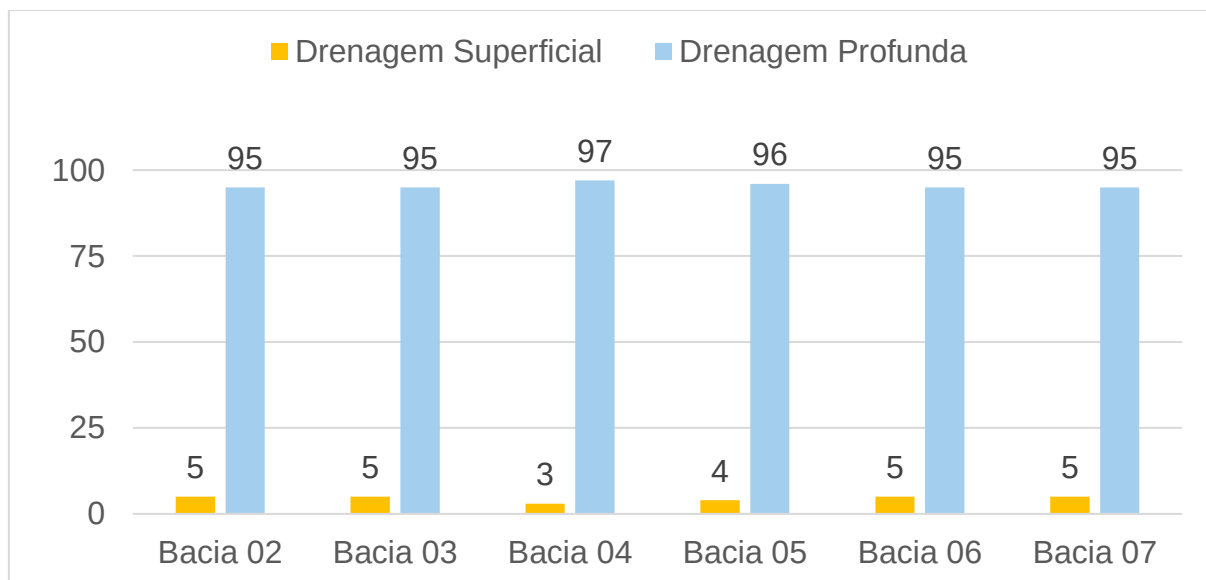
Tabela 16 – Aspectos gerais da drenagem urbana na cidade de Petrolina/PE.

ZONA URBANA DE PETROLINA		
	Extensão (km)	%
Drenagem Superficial	965.02	94.6%
Drenagem Profunda	55.04	5.4%
Total de ruas levantadas	1020.06	100.0%

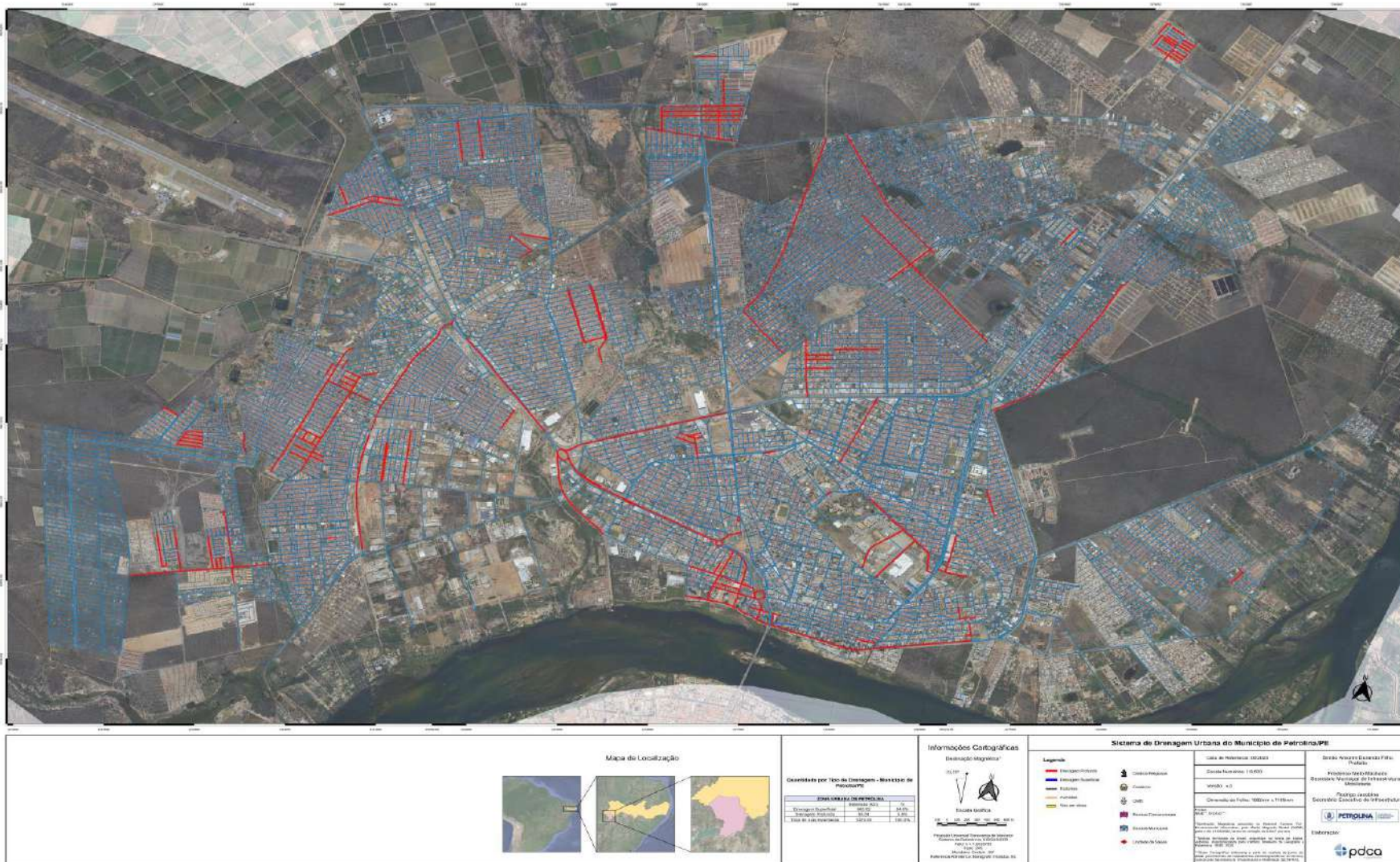
Fonte: PDCA (2023).

A bacia 02 apresenta um total de 171,46 km de ruas, sendo 163,06 km de sistema de drenagem superficial e 8,4 km de drenagem profunda. Apesar da baixa quantidade de ruas, a bacia 02 apresenta a maior porcentagem de vias com drenagem profunda dentre as demais avaliadas. A bacia 03 possui um total de 489,62 km de ruas, composta por 441,99 km de sistema de drenagem superficial e 32,92 km de drenagem profunda. Essa região compreende a maior quantidade de ruas, em relação as demais bacias analisadas. Dessa forma, mais de 93% das vias possuem apenas sistema de drenagem superficial. A bacia 04 apresenta um total de 110,89 km de ruas, sendo 108,06 km de sistema de drenagem superficial e 2,83 km de drenagem profunda. A bacia 05 apresenta um total de 193,8 km de ruas, sendo 186,39 km de sistema de drenagem superficial e 7,41 km de drenagem profunda. A bacia 06 tem como drenagem principal Riacho Pau Ferro, compreendendo os bairros Dom Avelar, Topázio, Vila Marcela e Loteamentos Recife e Vila Nova. Fazem parte da bacia 06, os núcleos urbanos em áreas rurais denominados N-9, C-3, N-3. A bacia 7 foi subdividida em 7 sub-bacias, que compreende os bairros Boa Esperança e Serrote do Urubu. As bacias 06 e 07 apresentam juntas 64,97 km de ruas, sendo 61,22 km de sistema de drenagem superficial e 3,75 km de drenagem profunda.

Figura 67 – Percentual de cobertura do sistema de microdrenagem de Petrolina.



Fonte: PDCA(2023)



3.13 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O Uso e Ocupação do Solo é definido em função das normas relativas a densificação, regime de atividades, dispositivos de controle das edificações e parcelamento do solo, que configuram o regime urbanístico.

A vegetação da bacia hidrográfica do Rio Pontal é basicamente composta por Caatinga hiperxerófila, apresentando flora rica em cactáceas e bromeliáceas no estrato rasteiro. É do tipo “savanícola”, com predominância de plantas espinhosas decíduais, classificada como Savana Estépica Arborizada. No estrato arbóreo, dominam ecótipos endêmicos como Umbuzeiro, Umburana de Cambão, Favela, Pereiro, Jurema, Angico, Aroeira. Ao longo da bacia, há uma variação fitossociológica, em que a densidade, frequência e dominância das espécies são determinadas pelas variações topográficas, tipo de solo e pluviosidade (APAC, 2013).

No alto Pontal, o uso e ocupação do solo é representado, sobretudo, por grandes extensões de áreas antropizadas com fragmentos de vegetação arbustiva arbórea aberta. A vegetação ciliar dos pequenos riachos intermitentes e também dos reservatórios dessa região encontra-se bastante devastada, com suas Áreas de Preservação Permanentes (APP) exploradas pelas atividades agrícolas (feijão e mandioca) e pecuária (ovino-caprinocultura), uma vez que essas áreas dispõem de maior oferta hídrica para subsidiar tais atividades. Destaca-se também a exploração excessiva dos recursos madeireiros e o uso descontrolado do fogo como método de limpeza nas áreas de pastagens (APAC, 2013).

No médio Pontal, há predominância de vegetação arbustiva arbórea aberta. A atuação antrópica também se concentra no entorno dos corpos d'água substituindo as matas ciliares, a exemplo do reservatório de Cruz de Salina, onde a vegetação ripária foi totalmente devastada. Esse antropismo verifica-se, principalmente, nas culturas de mandioca, feijão, mamona, milho e melancia, na fruticultura e na pecuária de ovinos e caprinos (IBGE, 2006).

Semelhante às regiões anteriores, a situação do uso e ocupação do solo do baixo Pontal caracteriza-se, na maior parte, pela vegetação arbustiva arbórea aberta e arbustiva arbórea fechada (APAC, 2013). O antropismo é mais intenso nas regiões ribeirinhas, sendo caracterizado, sobretudo, por fruticultura irrigada e ovino-caprinocultura. O maior reservatório da região, o Vira Beiju, possui resquício de vegetação ciliar, já sofrendo pressão das culturas agrícolas (IBGE, 2006).

Tem havido as ações de perenização de alguns afluentes do Rio Pontal desenvolvidas pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), como também para ações de adução das águas do Rio São Francisco para o Pontal norte e sul (regiões no baixo Pontal) que tem aumentado a oferta hídrica da região,

proporcionando aumento das atividades agrícolas nas Áreas de Preservação Permanente (CODEVASF, 2011).

De modo geral, a vegetação da Bacia do Rio Pontal encontra-se bastante degradada, situação que pode gerar maior estresse hídrico para a região, uma vez que, com o solo exposto há um escoamento superficial rápido e menor infiltração, diminuindo o tempo de concentração da água na bacia, além da aceleração dos processos erosivos. A vegetação ripária do alto curso do Rio Pontal, região das principais nascentes, encontra-se em situação mais crítica; entretanto, também se deve estar atento para a expansão da fruticultura irrigada no baixo curso do riacho e para as ASD apontadas pelo Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação (APAC, 2013).

Com vegetação nativa semelhante à da bacia hidrográfica do Rio Pontal, a vegetação do GI8 é basicamente composta por caatinga hiperxerófila, apresentando uma flora rica em cactáceas e bromeliáceas no estrato rasteiro. É do tipo “savanícola”, com predominância de plantas espinhosas decíduais, classificada como Savana estépica arborizada (APAC, 2013). No estrato arbóreo, dominam ecótipos endêmicos como Umbuzeiro, Umburana de Cambão, Favela, Pereiro, Jurema, Angico, Aroeira. Ao longo da bacia, há uma variação fitossociológica, em que a densidade, frequência e dominância das espécies são determinadas pelas variações topográficas, tipo de solo e pluviosidade (LIMA, 1994; DRUMOND *et. al.*, 2000).

De modo geral, o grupo de bacias de pequenos rios interiores 8 possui vegetação ciliar parcialmente conservada, mas sob intensa pressão antrópica devido, sobretudo, à fruticultura irrigada, devendo-se atentar para as Áreas Susceptíveis à Desertificação (APAC, 2013).

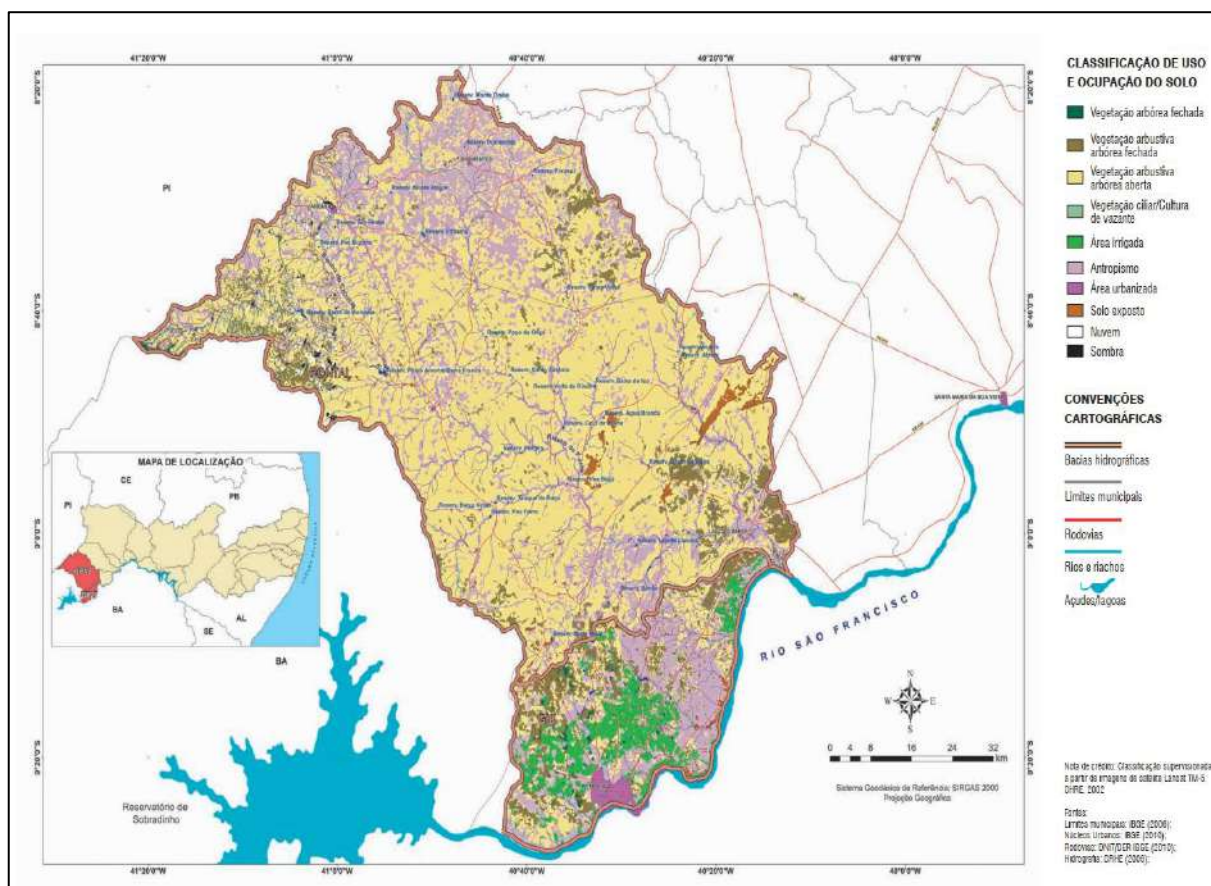
A situação política e econômica do município de Petrolina modificou completamente a ocupação da terra no grupo de bacias de pequenos rios interiores (GI8), devido à implantação de grandes projetos de irrigação. Os perímetros irrigados da Codevasf substituíram a caatinga por áreas de fruticultura irrigadas. No entanto, apesar da intensa exploração humana nesse grupo de bacias, as APPs dos riachos estão parcialmente conservadas (APAC, 2013).

Salienta-se que o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação/PAN-BRASIL, baseado nos estudos de Vasconcelos Sobrinho na Sudene (1982), apontou o município de Petrolina como ASD – Área Susceptível à Desertificação (BRASIL, 2004). O caso de maior destaque é o do distrito da Tapera, localizado a 35 km da sede de Petrolina (APAC, 2013).

A salinização do solo é um dos fatores que contribuem para o processo de desertificação. Nas áreas de agricultura irrigadas é comum o surgimento de salinidade provocada pela água de irrigação, contendo concentrações elevadas de sais, decorrentes de práticas de manejo que não visam à conservação da capacidade produtiva dos solos, da ausência de sistemas de drenagem, e do uso indiscriminado e excessivo de fertilizantes (APAC, 2013). A Figura 69 mostra a classificação de uso e ocupação do solo das bacias

hidrográficas do Rio Pontal e do Grupo de Rios Interiores - GI8, e sua localização no município de Petrolina/PE.

Figura 69 – Classificação de uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas do Rio Pontal e do Grupo de Rios Interiores - GI8.



Fonte: APAC (2013).

Em termos de comparação, Folharini e Souza (2019) analisaram as principais formas de uso e ocupação da terra no município de Petrolina (PE), utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) derivado de imagens LANDSAT-8 (OLI).

Esse índice é amplamente utilizado na bibliografia para estudar o comportamento da vegetação. Os dados e aplicação do Índice de Vegetação Normalizada (NDVI) foram integrados e processados no software ENVI 5.5 e o mapeamento final organizado no Sistema de Informação Geográfica ArcGIS™.

Mediante a análise do comportamento espectral dos locais, tornou-se possível observar que a agricultura assume forte relevância espacial e econômica no submédio vale do rio São Francisco. Explica-se tal preponderância pela proximidade da área com os recursos hídricos, utilizados amplamente no desenvolvimento da vinicultura na região e demais cultivos irrigados, que possibilitam a existência de lavouras permanentes em meio ao ambiente semiárido tropical.

Os dados de Produção Agrícola Municipal em relação à área colhida e quantidade produzida indicam um crescimento fundamental para o desenvolvimento da agricultura do município, conseguindo duas vezes mais produção em uma mesma área. Esse dado indica que foram utilizadas medidas tecnológicas para aumentar a produção por área. (IBGE, 2016). No campo da tecnologia, com o desenvolvimento de maneiras de monitoramento das plantações agrícolas, uma alternativa é a utilização do NDVI para gerar classificações derivadas de imagens LANDSAT 8 (OLI), como o apresentado na

Figura 70.

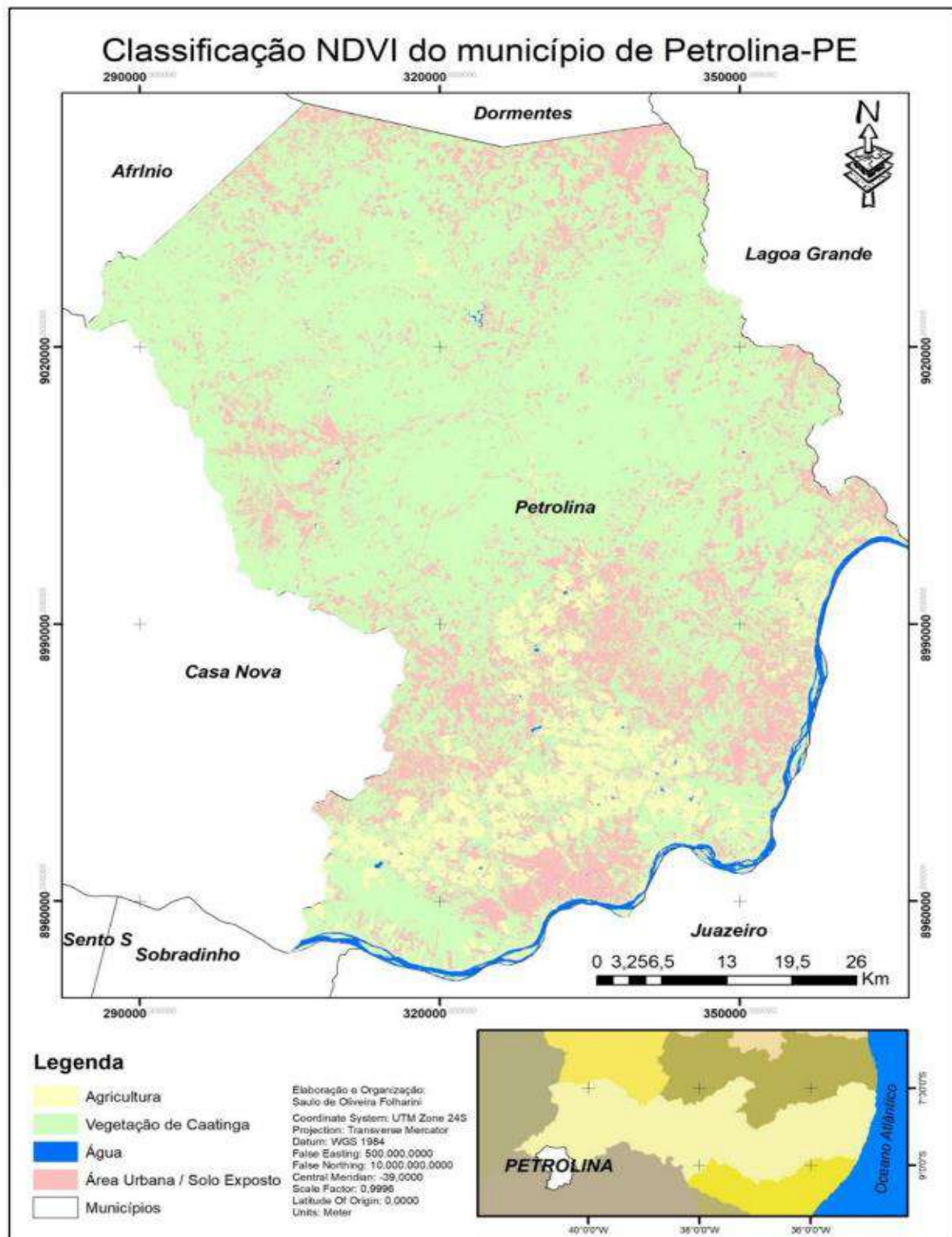
Os resultados obtidos por esse estudo atestam a elevada ocupação da área em estudo pela vegetação de Caatinga, seguidos pelas áreas agrícolas e áreas urbanas próximas ao rio São Francisco.

Com relação à área urbana de Petrolina, Andrade *et. al.* (2021) avaliaram o uso do sensoriamento remoto, a partir de imagens de satélite, para caracterizar os espaços verdes arbóreos de Petrolina. A avaliação foi feita com uso de imagens orbitais, classificadas pela técnica de segmentação e validadas, e, em seguida, foram quantificadas as áreas verdes e calculado o índice de área verde. Nesse cálculo, incluem-se todas as áreas verdes, com plantas nativas ou não, que são consideradas na composição da arborização na cidade de Petrolina para obtenção do lazer, conforto térmico ou arquitetura urbanística.

A imagem foi submetida à técnica de segmentação, com o uso do software ARCGIS 10.2, que consiste em agrupar regiões a partir de pixels individuais, propondo um agrupamento de regiões baseado no conceito de região vizinha mais similar, que acarreta na junção espacial de pares semelhantes, quando são definidos os contornos, fazendo uma base com propriedades dos níveis de cinza, onde as classificações vêm por valores de similaridade espectral e o tamanho da área. Desta forma, por meio das imagens de satélite, é possível a classificação da vegetação, dos usos do solo, tipos de rochas, dentre outros (ANDRADE *et. al.*, 2021).

A partir da segmentação, as áreas foram classificadas conforme os tipos de uso e ocupação das terras observadas em campo: áreas de corpo de água foram associadas aos pontos de rio e lagos; áreas de solo exposto incluíram as áreas onde o solo encontrava-se totalmente descoberto, devido à ausência de cobertura vegetal; as áreas urbanas incluem os locais com casas, prédios ruas e vias pavimentadas; as área de vegetação de caatinga compreenderam todos os locais com áreas de vegetação nativa que estão preservadas por serem propriedades privadas, reservadas para loteamentos futuros e, finalmente, o espaço verde urbano compreendendo os locais associados à jardins, parques, praças e vias arborizadas.

Figura 70 – Uso e ocupação no município de Petrolina/PE em 2017.



Fonte: Folharini e Souza (2019).

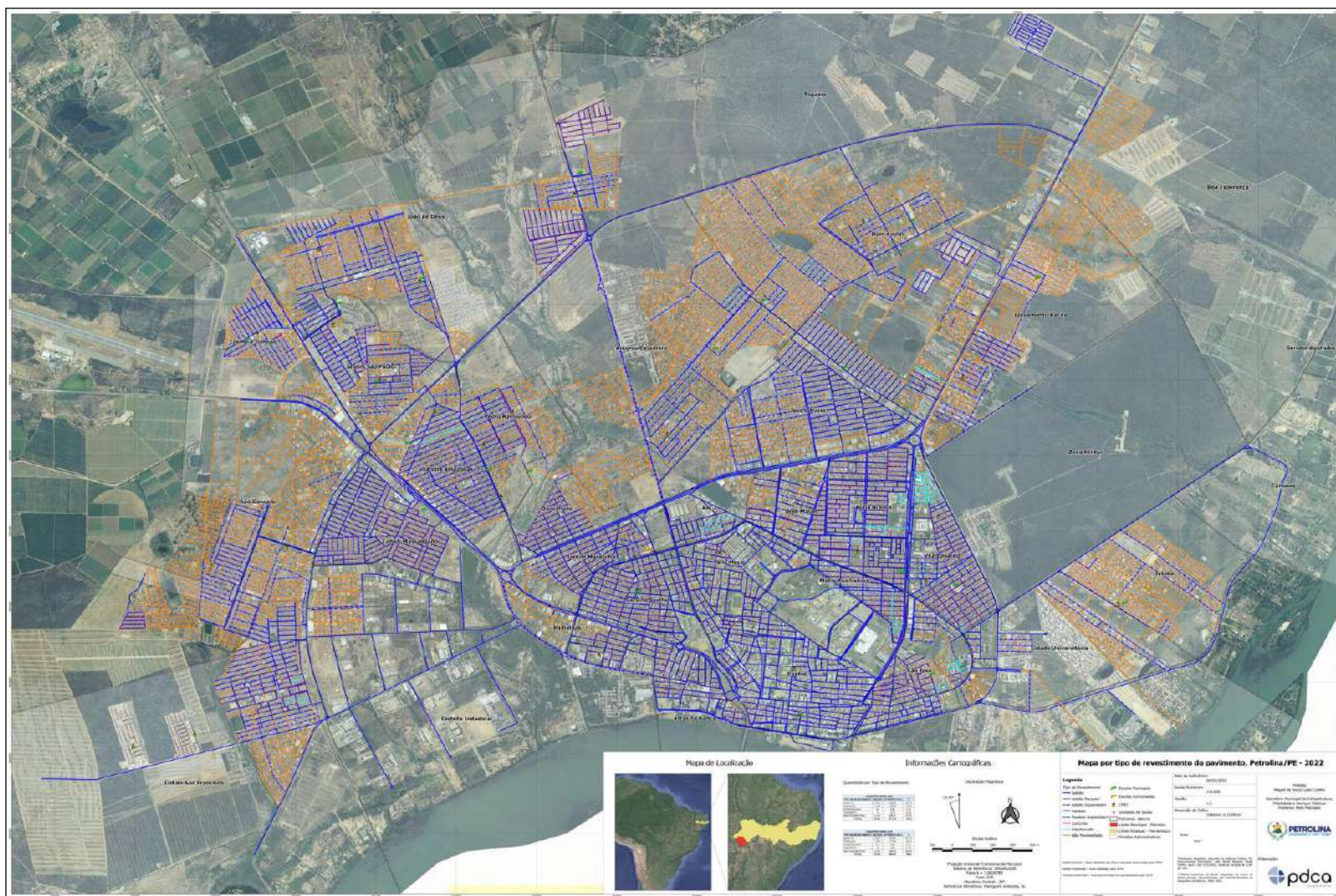
O mapeamento resultante do tratamento e processo de segmentação realizado mostra que a distribuição com maior densidade das classes de área urbana e áreas verdes são concentradas no centro da cidade, nas áreas de caatinga e solo exposto são mais concentrados nos bairros periféricos.

Desta forma, outro aspecto a ser observado é a presença do solo exposto, que corresponde a cerca de 20% da área total delimitada no mapa, por conta da infraestrutura inacabada, pois muitos bairros da cidade estão sendo loteados e outros não possuem pavimentação nas ruas e vias de acesso (ANDRADE *et. al.*, 2021). Consta na Figura 71 o mapa do município de Petrolina/PE com a classificação das ruas por tipo de revestimento de pavimento.

Por ser mais concentrada em locais específicos no centro da cidade, algumas áreas também são consideradas áreas verdes, possuindo espécies nativas incorporadas em avenidas, ruas e até em praças, onde são desenvolvidas práticas esportivas, parques de recreação e ambiente de lazer e convivência durante o cotidiano da população. Desta forma, há certa dificuldade para diferenciar a área verde urbana da área de caatinga já que as mesmas características morfológicas das espécies são compartilhadas nas duas classes.

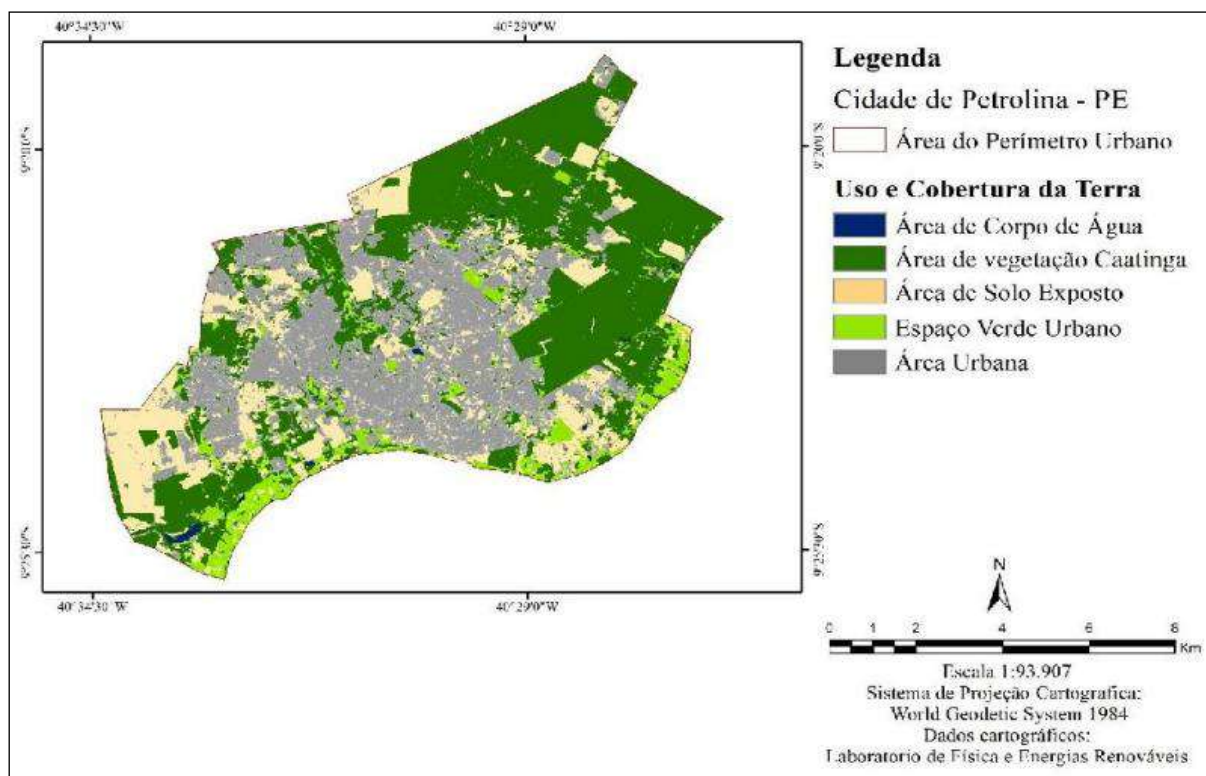
A distribuição das áreas por classes de uso e ocupação da terra demonstra que as áreas verdes têm pouca porcentagem, com cerca de 8%, concentrando-se no centro da cidade mostrando que as áreas periféricas da cidade ainda não tiveram trabalhos iniciados voltados para a arborização. Seguindo a classificação, vêm as áreas de solo exposto, com 20%, as áreas urbanas, com 30% e as áreas de Caatinga, que ocupa 41% (ANDRADE *et. al.*, 2021). A Figura 72 mostra o mapa de uso e ocupação do solo do perímetro urbano de Petrolina/PE, resultado do estudo apresentado.

Figura 71 – Classificação das ruas de Petrolina/PE por tipo de revestimento de pavimento.



Fonte: PDCA (2022).

Figura 72 – Mapa de uso e cobertura das terras do perímetro urbano de Petrolina/PE.



Fonte: Andrade *et. al.* (2021).

3.14 EXPANSÃO URBANA E POPULACIONAL

Inicialmente, a configuração urbana de Petrolina foi implantada à margem do rio São Francisco, onde foi construída a primeira igreja da cidade. A localidade foi elevada à categoria de cidade em 1895, com seu processo de crescimento se acentuando a partir de 1919, com a construção da rede ferroviária, ligando Petrolina com a capital de Pernambuco, com o interior da Bahia e com o Estado de Piauí. Além disso, houve a criação da Diocese e construção da Catedral, em estilo neogótico, entre os anos 1924 e 1929. Assim, o centro monumental da cidade surgiu, sendo edificadas as colégias das Congregações Salesianas, ponto de partida à expansão urbana, com intervenções em nível de planejamento urbano (BARRETO, 2015).

Em 1950, foi construída a ponte Presidente Dutra, fazendo parte da rodovia BR-407, atravessando Petrolina, além de ser a ligação entre o polo Petrolina-PE/Juazeiro-BA no Sertão do São Francisco e outras regiões do Brasil. As primeiras instalações de comércio e serviços ocorreram nas áreas centrais das cidades que ainda hoje desempenham importante papel de centralidade urbana. O centro da cidade de Petrolina ocupa parte da orla fluvial do Rio São Francisco (MUNIZ FILHO, 2020).

Na década de 1960, Petrolina passou a ser alvo de programas estatais voltados para o desenvolvimento rural. A expansão demográfica de Petrolina resultou de ações do governo federal voltadas à transformação das áreas áridas da caatinga em grandes áreas produtivas, com a implantação de perímetros de irrigação. Essa ação fazia parte de um dos objetivos do II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND), no período militar no Brasil, em 1974. A irrigação era a resposta às características climáticas da região, na área denominada como “polígono das secas”. Com os primeiros perímetros irrigados implantados, uma grande quantidade de migrantes foi atraída para a região. (CRUZ, 2013)

A cidade de Petrolina passou por diferentes processos de evolução urbana. Desde 1970, houve grande desenvolvimento urbano no município, com a implantação da barragem e usina hidrelétrica de Sobradinho, a construção de perímetros irrigados pela CODEVASF, e a instalação de instituições estaduais e federais, cooperando para a instalação de empresas privadas, principalmente do setor de agricultura técnico-científica no Sertão do São Francisco (MUNIZ FILHO, 2020).

Um grande investimento, que tornou a cidade um importante ponto de ligação da região com outras regiões do Brasil, foi o Aeroporto Internacional de Petrolina Senador Nilo Coelho, que se firmou como um dos principais do Nordeste. Conforme Barreto (2015), os investimentos implementados pela Infraero no aeroporto ganharam força com a produção de frutas para exportação do Vale do São Francisco, sendo o maior exportador de frutas do Brasil e responsável pela maior taxa de crescimento econômico da região. Na época, isso tornou o

aeroporto de Petrolina no segundo maior de Pernambuco, com a pista de pouso e decolagem sendo a segunda maior do Nordeste.

Segundo Coelho (2007), sem uma política habitacional para as áreas do perímetro irrigado, houve consequências nas áreas periféricas do município, nos loteamentos municipais irregulares e loteamentos particulares clandestinos. Com a rápida chegada de novos habitantes, não houve como suprir a demanda por habitação, serviços e infraestrutura urbana. Assim, o crescimento com falta de urbanização era visível principalmente na periferia, com população de menor renda, resultando em uma cidade segregada, com aumento de áreas ilegais e irregulares.

Em resposta ao déficit quantitativo da habitação de Petrolina, o poder público municipal fez doações massivas de lotes em áreas públicas ou particulares, às vezes sem infraestrutura. A iniciativa privada, de outro modo, atuou nos setores de habitação popular, com a abertura de loteamentos registrados, porém muitos deles irregulares, pelo fato de os loteadores e construtoras argumentarem que os empreendimentos públicos não seguiam as exigências da legislação, logo não seriam questionados sobre tais regulamentações (COELHO, 2007).

A formação espacial da periferia de Petrolina era caracterizada por ocupações diversas, com grandes vazios urbanos entre elas, resultando em uma mancha urbana fragmentada. As áreas loteadas pelo poder público ou pelo setor privado mais afastadas da zona central foram posteriormente anexadas ao perímetro urbano (COELHO, 2007). Com isso, essas áreas não contíguas e mais baratas serviam para promover habitação para população de baixa renda.

O período entre o fim da década de 1970 e início da década de 1980 foi marcado pela elaboração de estudos e planos de consolidação de política de planejamento urbano em Petrolina (CRUZ, 2013). Em 1977, foi elaborado o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) pela Fundação de Desenvolvimento Municipal do Interior de Pernambuco (FIAM) e pela Prefeitura Municipal de Petrolina, com recursos da SUDENE por meio de seu Departamento de Desenvolvimento Local.

Segundo Coelho (2007), o plano previa projetos vindos do Programa Cidade de Porte Médio (PCPM), com foco na sede urbana de Petrolina, objetivando a promoção do desenvolvimento integrado do município. Dentre suas normas e regulamentos, destaca-se o zoneamento da área urbana de Petrolina, proposto pela Lei Municipal nº 03/84 (PETROLINA, 1984), com diretrizes apoiando a divisão do município em duas macrozonas (urbana e rural), além de diferentes adensamentos para as zonas residenciais e áreas especiais.

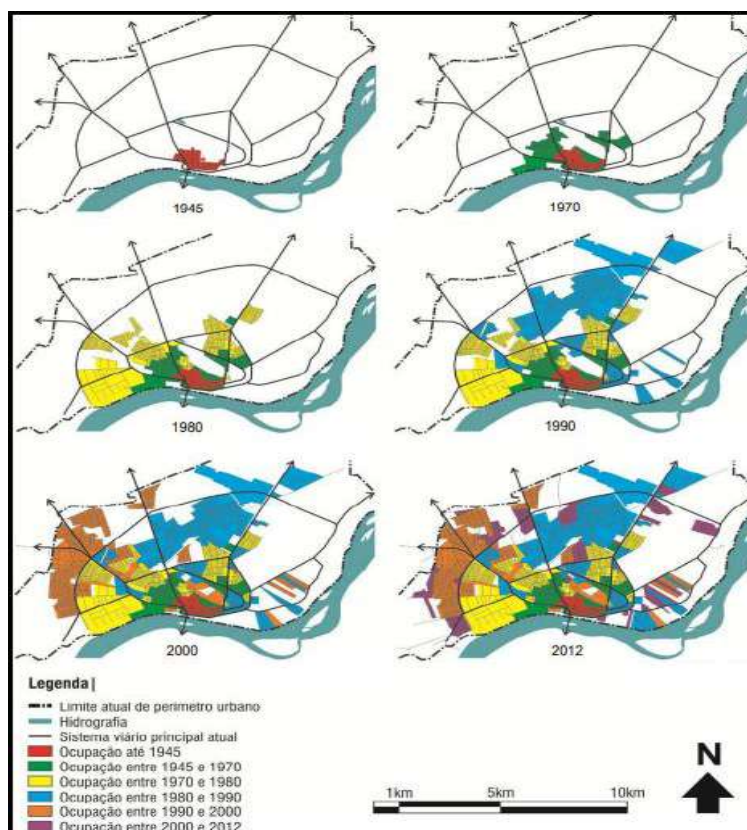
Desde o início da década de 1980, a paisagem urbana das áreas centrais de Petrolina sofreu alterações, refletindo o crescimento econômico vivenciado pela cidade, com o surgimento de universidades, centros de formação técnica, comércio e serviços especializados e shoppings centers em áreas mais afastadas do núcleo central (MUNIZ

FILHO, 2020). No período entre 1980 e 1990, a mancha urbana de Petrolina continuou se expandindo em direção ao norte da cidade, ocupando espaços vazios na malha urbana com loteamentos e habitações populares (CRUZ, 2013). A Figura 73 mostra a evolução da mancha urbana do município.

Em contrapartida ao crescimento econômico da região, os indicadores sociais de Petrolina revelam o quadro de pobreza e desigualdades sociais existentes no município. Isso está relacionado ao crescimento acelerado da região, que atraiu a população de áreas vizinhas em busca de oportunidades (CRUZ, 2013). Os migrantes aumentam a população, o que gera disparidades nos serviços essenciais, devido à parte dessa população trabalhar em áreas rurais, principalmente em períodos de safras, ou em trabalhos urbanos informais.

A ocupação urbana na orla fluvial de Petrolina tem um caráter mais residencial, com a incidência de condomínios de médio e alto padrão, sendo a verticalização um elemento característico da paisagem urbana do local. Além disso, há ocupação por alguns hotéis, restaurantes e quiosques (bares e lanchonetes). A zona central de Petrolina tem seu espaço ocupado por instituições públicas, como a prefeitura e secretarias municipais, estabelecimentos de comércio e saúde, instituições financeiras, escolas e a Catedral da Diocese de Petrolina (MUNIZ FILHO, 2020).

Figura 73 – Evolução da mancha urbana de Petrolina.



Fonte: Cruz (2013); Elaborado por Santos Jr. e Reinaldo, sobre base cartográfica fornecida pela PMP (2013).

Com isso, nota-se que o atual espaço urbano de Petrolina se encontra desigual e segregado. A zona central da cidade abrange o setor Sul e uma área a Leste, concentrando-se os segmentos sociais com maior poder aquisitivo. Os segmentos de menores níveis de renda habitam a periferia no setor ao Norte e em parte do setor Oeste da cidade. Essa estruturação é caracterizada por elementos de diferenciação socioespacial do padrão clássico centro-periferia (CRUZ, 2013).

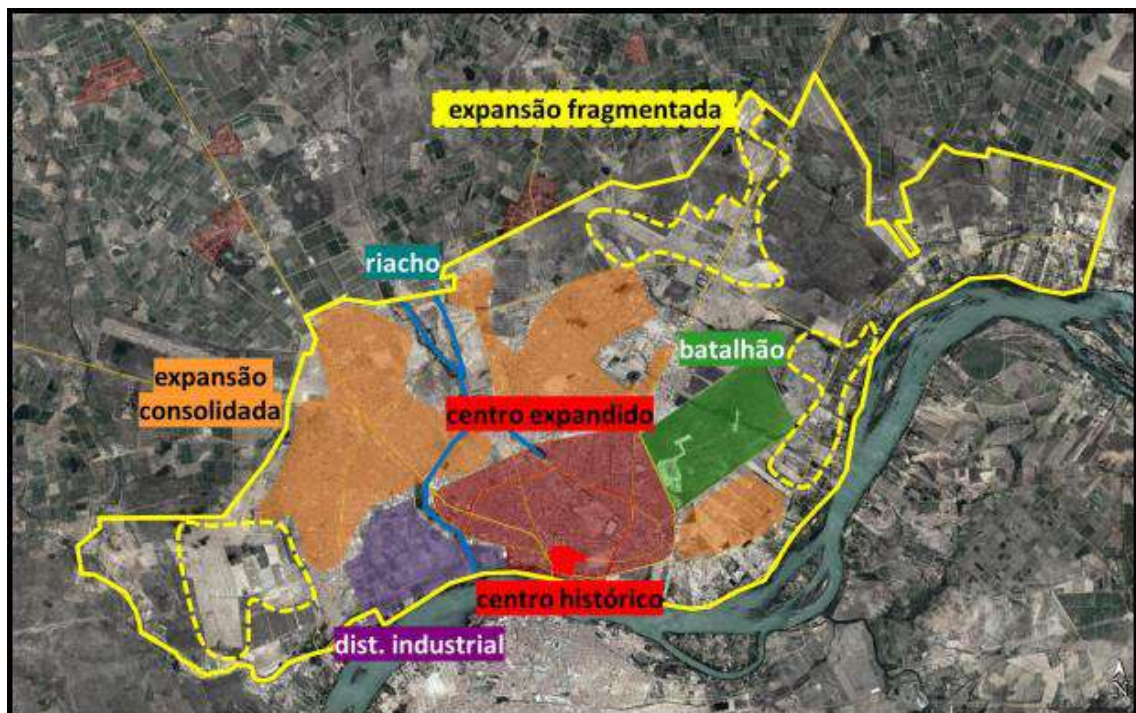
Petrolina possui uma particularidade em sua estrutura urbana, que seria o alto nível de fragmentação de sua mancha urbana. A existência de fragmentos de solo urbano sem utilização não é um fenômeno recente (IPSA, 2005). O PDDU (1983) apontava essas áreas levantadas como setores, que seriam bairros que não existiam oficialmente. Com a quantificação da área total, da área ocupada, e área disponível loteada e não loteada, estabelecia-se a porcentagem de ocupação por setor (CRUZ, 2013). Dessa forma, fez-se a seguinte análise:

“A ocupação urbana de Petrolina desenvolve-se através de um parcelamento irregular do solo, apresentando baixas densidades – em média 97 hab/ha – onde os vazios urbanos atingem a ordem de 84 ha, o que corresponde a 5,5% da área ocupada, concorrendo de forma significativa para elevar os custos da urbanização. Os loteamentos vêm se processando de forma espontânea, ocupando cerca de 987 ha e localizam-se, de modo geral, na periferia urbana. A ociosidade destas áreas (vazios urbanos e loteamentos não ocupados) deixam em aberto uma disponibilidade de 1.062 ha com capacidade de abrigar uma população de aproximadamente 103.000 habitantes, considerando-se que permaneçam as densidades existentes” (PDDU, 1983 *apud* IPSA, 2005).

A estrutura urbana de Petrolina possui grande potencial de transformação ao longo do tempo, considerando a existência de grandes vazios urbanos, sendo não parcelados e/ou não ocupados, e de áreas poucos adensadas. Esses vazios se encontram no entorno do Riacho das Porteiras, ao norte do perímetro urbano, na área do Batalhão do Exército e no Distrito Industrial. (CRUZ, 2013).

Por outro lado, as áreas mais consolidadas, em sua maioria no setor Sul do município, seguem sendo adensadas. A Figura 74 apresenta elementos sínteses dessa análise da escala urbana, apresentando as áreas de expansão consolidada e fragmentada, além de indicar o a área central expandida, e as áreas do Batalhão e do Distrito Industrial (PETROLINA, 2018).

Figura 74 – Síntese da leitura do perímetro urbano e seus principais elementos.



Fonte: Petrolina (2018).

Percebe-se a expansão territorial urbana sem planejamento de Petrolina e sua concentrada produção imobiliária é um reflexo do dinamismo econômico da cidade, quando comparada com as demais cidades da região do Vale do São Francisco. A abertura de novas frentes de expansão de investimentos imobiliários caracteriza o quadro atual de urbanização da cidade, destacando-se a ascendente oferta de empreendimentos residenciais murados, com acesso controlado (condomínios e loteamentos fechados) (CRUZ, 2013).

Atualmente, de acordo com a Lei Complementar nº 034/2022, que institui o novo Plano Diretor Participativo do município de Petrolina aprovado (PETROLINA, 2022), foram estabelecidos os zoneamentos dos núcleos que formam a rede urbana, sendo o Zoneamento Urbano da Sede Municipal e o Zoneamento Urbano dos Núcleos Urbanos. A Figura 75 indica o Macrozoneamento do município de Petrolina, mostrando as áreas da Macrozona Urbana, perímetros irrigados, áreas ribeirinhas e áreas de Sequeiro.

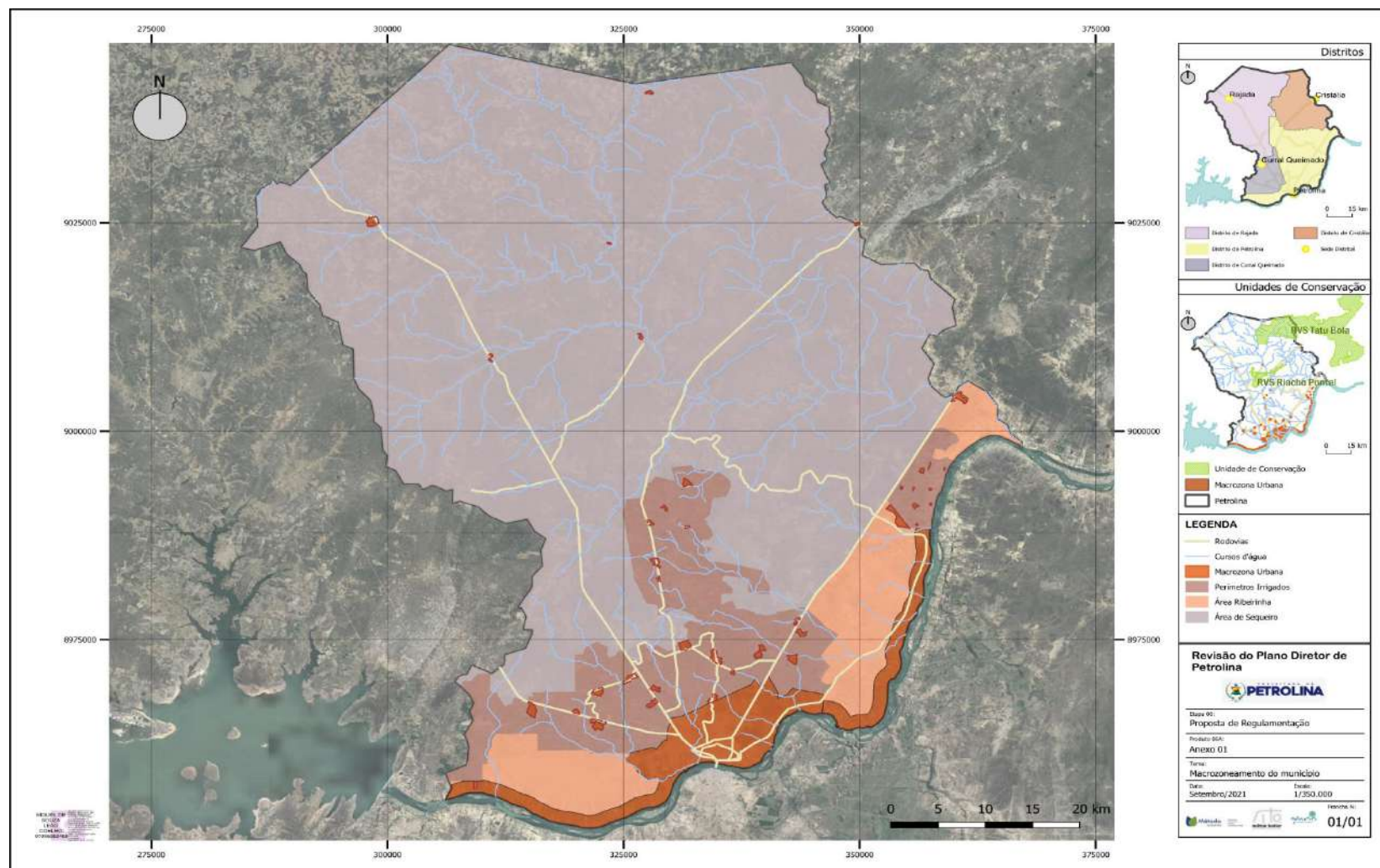
O Zoneamento Urbano da Sede Municipal estrutura-se de acordo com quatro estratégias formuladas para promover a compactação da cidade, conservação do meio ambiente, racionalização da infraestrutura e redução dos deslocamentos (PETROLINA, 2022). Essas estratégias são:

- A reabilitação do Centro, revertendo o processo de degradação urbana gerado pela evasão da população e subutilização dos imóveis;

- A substituição de tipologias, diversificando os usos e elevando a densidade populacional em áreas consolidadas;
- A ocupação de vazios, utilizando áreas de melhor infraestrutura e mais próximas dos centros e estimulando novas centralidades nos entroncamentos do sistema viário principal; e
- O disciplinamento da expansão periférica, no perímetro urbano, favorecendo a compactação urbana.

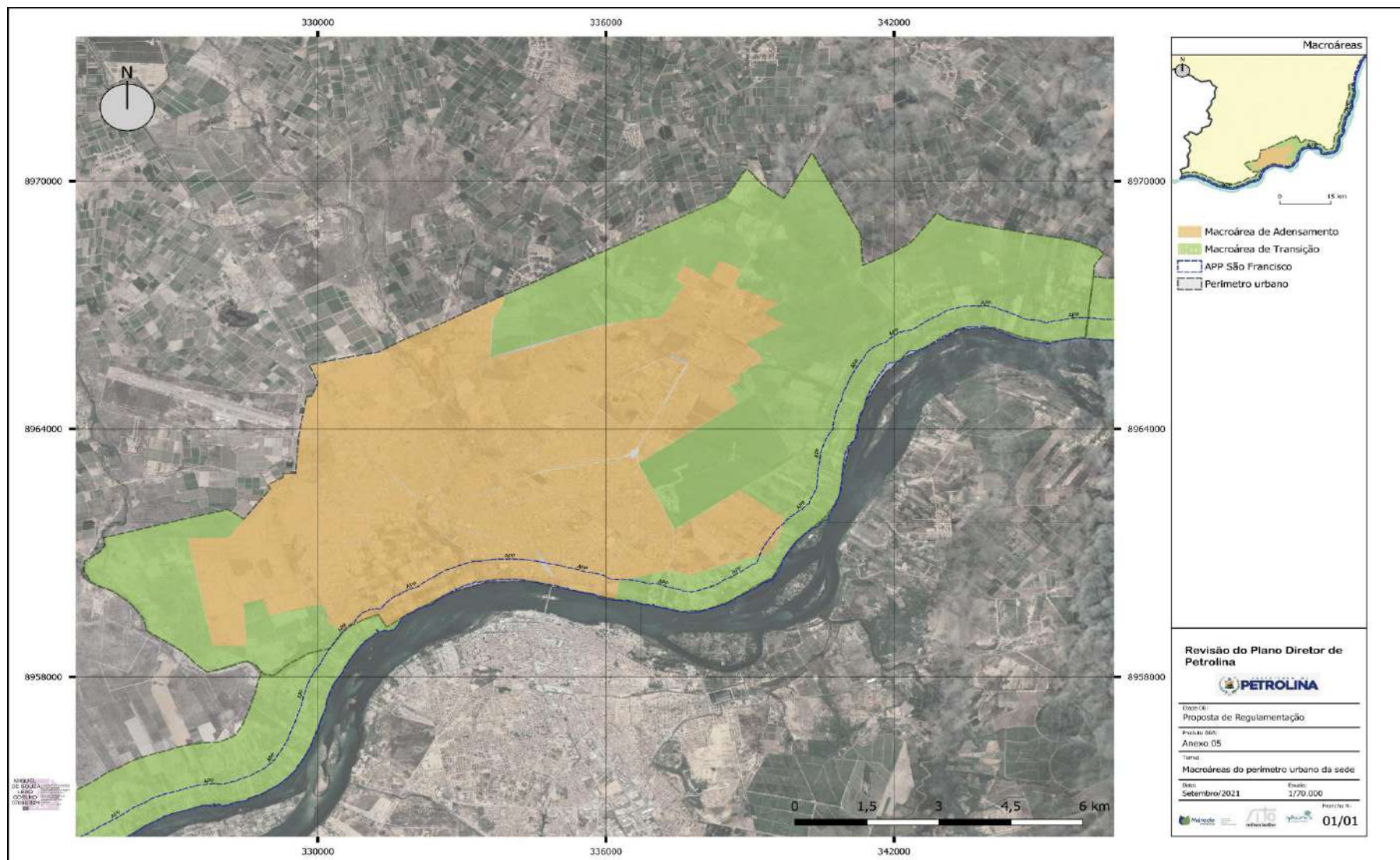
Segundo o novo Plano Diretor de Petrolina (PETROLINA, 2022), a Sede Municipal se divide em duas Macroáreas, a Macroárea de Adensamento e a Macroárea de Transição, como pode ser visto na Figura 76. A Macroárea de Adensamento compreende a porção majoritariamente urbanizada, localizada na região central do perímetro urbano. Tem como objetivos a indução da ocupação de áreas vazias, o compartilhamento da infraestrutura de mobilidade entre os diversos modais, o fortalecimento das centralidades e a implantação do Sistema de Espaços Livres.

Figura 75 – Macrozoneamento de Petrolina.



Fonte: Petrolina (2022).

Figura 76 – Macroáreas do perímetro urbano da sede de Petrolina.



Fonte: Petrolina (2022).

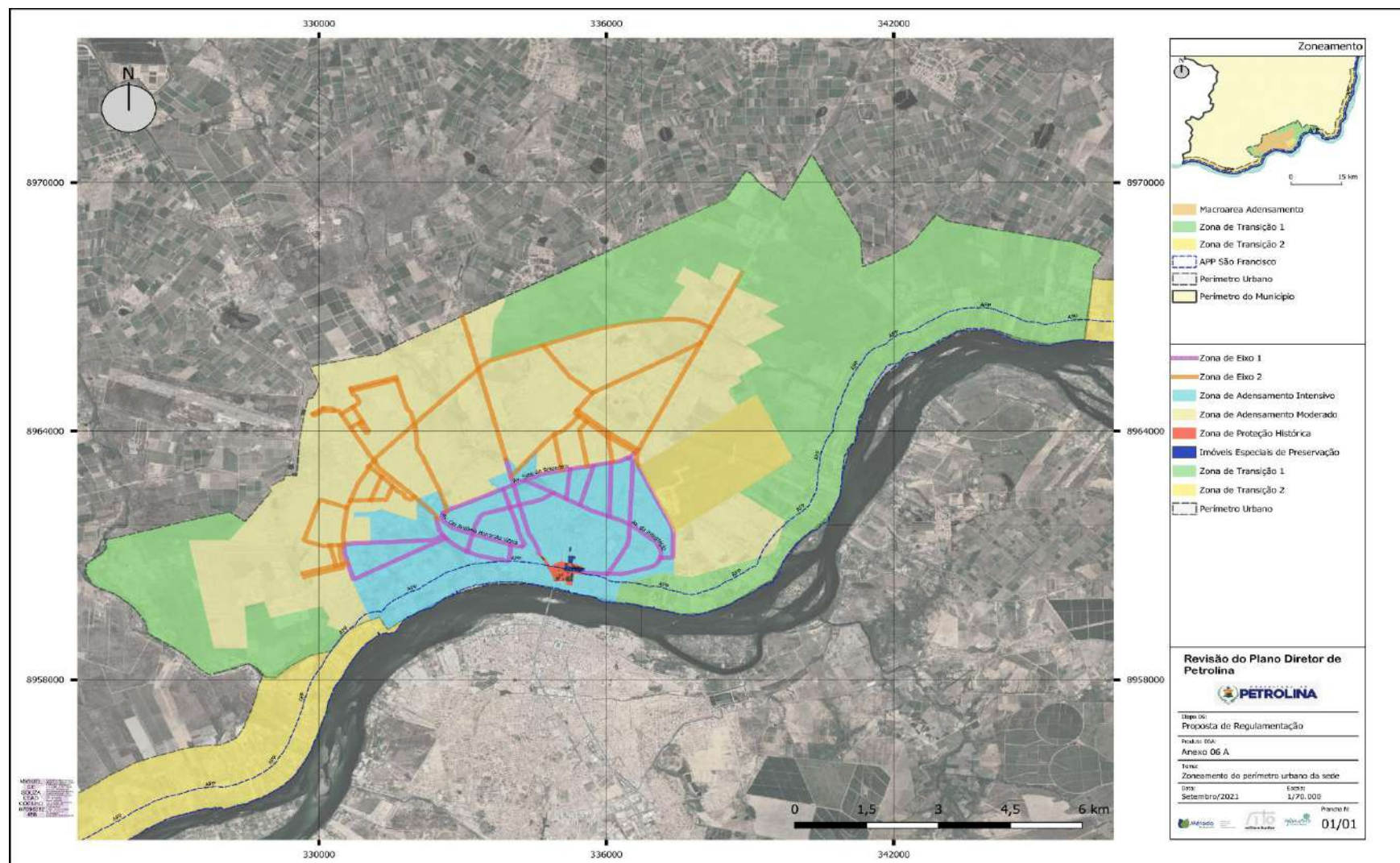
A Macroárea de Adensamento foi subdividida em zonas e setores, conforme mostra a Figura 77.

- Zona de Preservação Histórica (ZPH) – compreende o núcleo de fundação do município, reunindo o principal acervo de edificações e espaços simbólicos da memória e da identidade de Petrolina;
- Imóveis Especiais de Preservação (IEP) – são edificações isoladas ou em conjunto de valor simbólico da memória e da identidade local;
- Zona de Eixo 1 (ZE 1) – compreende os lotes lindeiros aos eixos viários situados na região central da Macroárea de Adensamento;
- Zona de Eixo 2 (ZE 2) – compreende os lotes lindeiros aos eixos viários e demais vias que integram as centralidades locais, situadas na região periférica da Macroárea de Adensamento;
- Zona de Adensamento Intensivo (ZAI) – compreende a região central da Macroárea de Adensamento, dotada de infraestrutura, com usos diversificados;
- Zona de Adensamento Moderado (ZAM) – consiste na região periférica da Macroárea de Adensamento, predominantemente parcelada, dotada de padrões diversificados de infraestrutura, com estoque de glebas e lotes não ocupados.

A Macroárea de Transição compreende a porção predominantemente não urbanizada do perímetro urbano, conforme foi observado na Figura 76 anteriormente. Com os objetivos de disciplinar as expansões de baixa densidade populacional e construtiva, estabelecer padrões de ocupação para ambientes de transição entre o urbano e o rural, implantar centros locais de suporte à expansão urbana, abrigar equipamentos de maior porte e usos de maior incomodidade e de impacto de vizinhança, e implantar o Sistema de Espaços Livres (PETROLINA, 2022), a Macroárea de Transição organiza-se em:

- Zona de Transição 1 – consiste em áreas de expansão nas regiões não urbanizadas do perímetro urbano da sede, na porção central da Macroárea de Transição;
- Zona de Transição 2 – consiste em áreas de expansão nas regiões não urbanizadas do perímetro urbano da sede municipal que se desenvolvem ao longo do Rio São Francisco, nos sentidos de Pedrinhas e de Tapera.

Figura 77 – Zoneamento do perímetro urbano da sede de Petrolina.

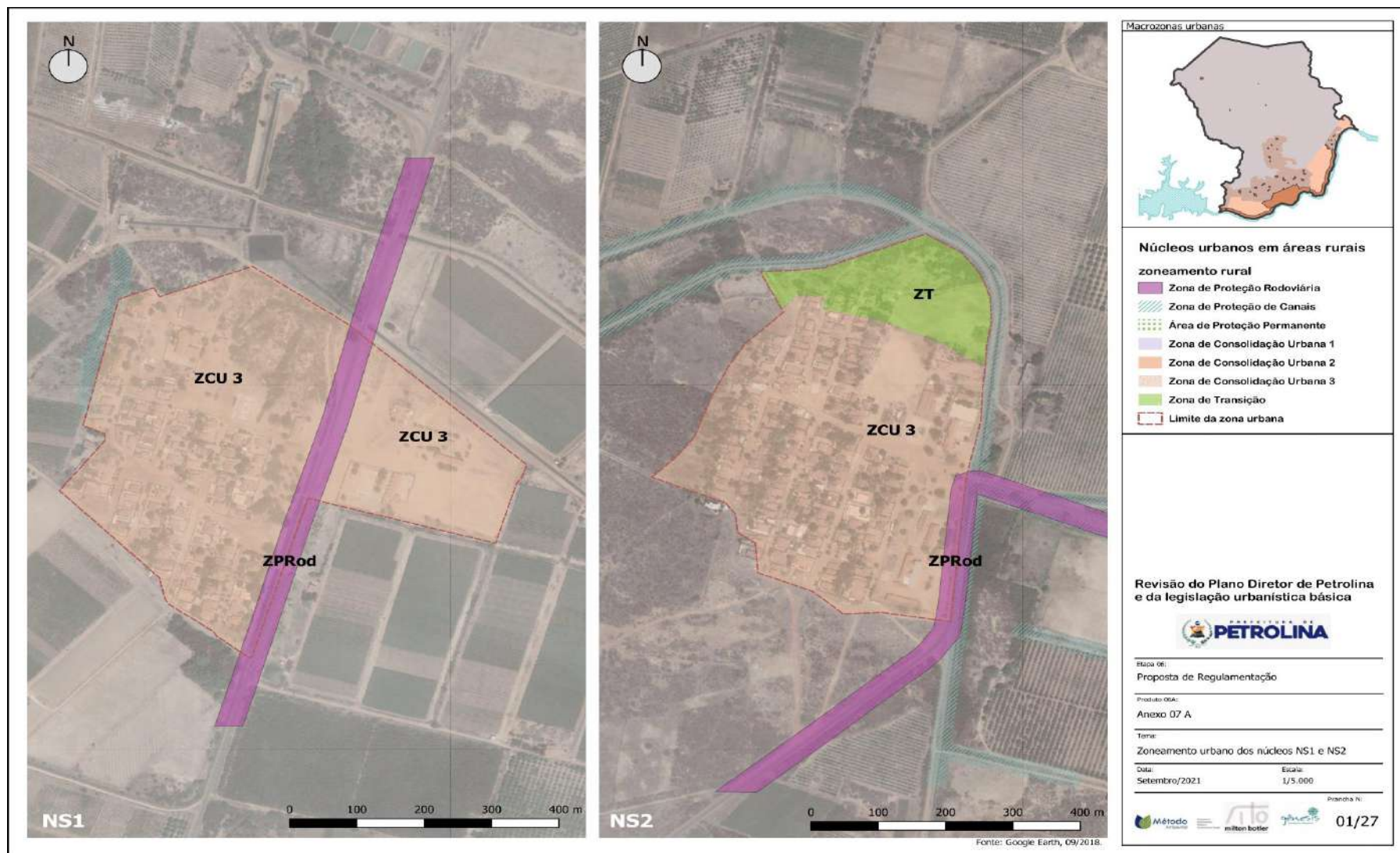


Fonte: Petrolina (2022).

O Zoneamento dos Núcleos Urbanos integra a rede urbana descontínua de Petrolina (PETROLINA, 2022), com exemplos da definição de seus limites podendo ser vistos na Figura 78 e na Figura 79, sendo subdivididos nas zonas listadas a seguir:

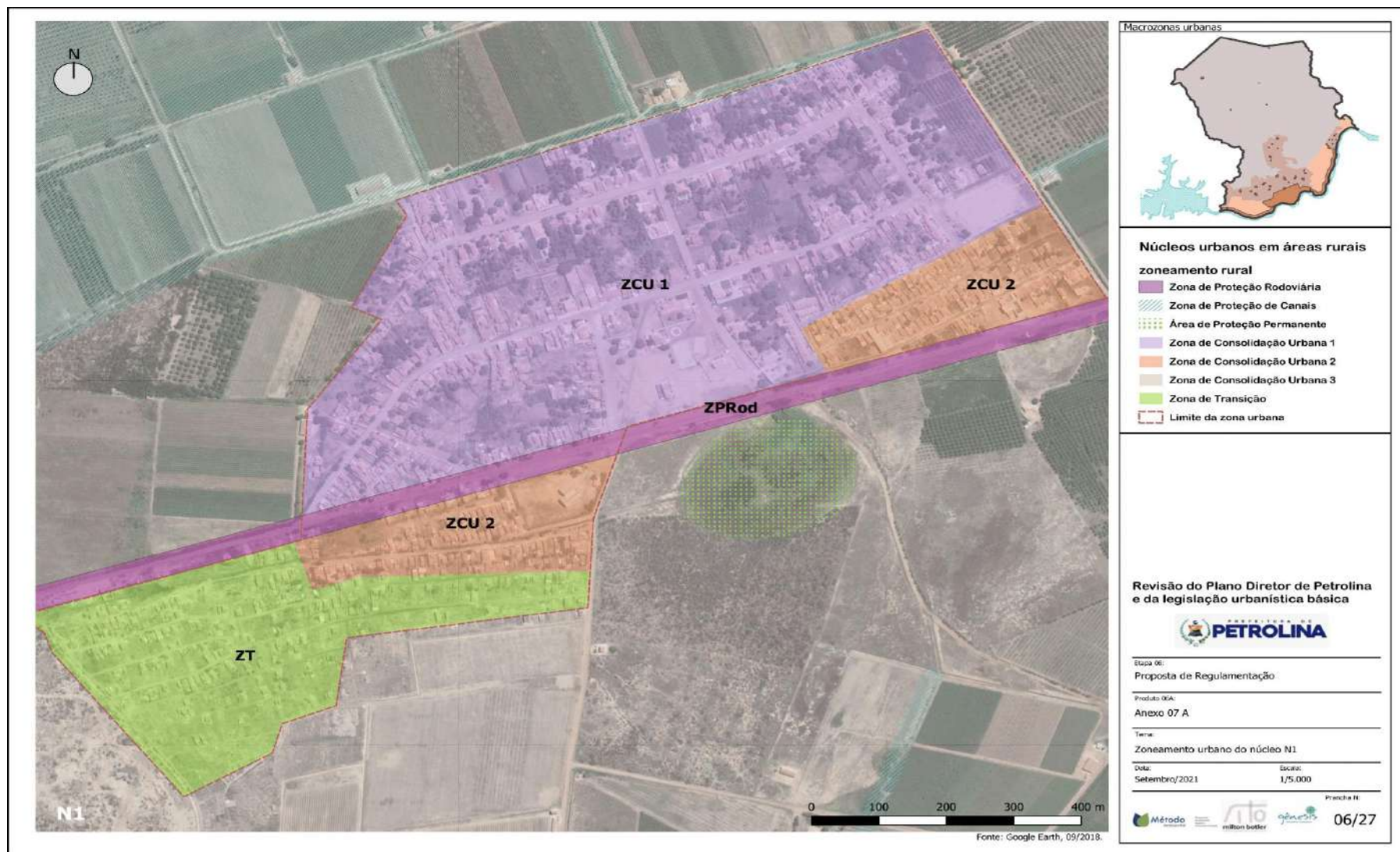
- Zona de Consolidação 1 – consiste nas áreas parceladas e predominantemente ocupadas dos Núcleos Urbanos no perímetro Nilo Coelho, relativo às “Vilas Velhas”;
- Zona de Consolidação 2 – consiste em áreas já parceladas nos núcleos urbanos situadas no perímetro Nilo Coelho e Maria Tereza, relativo às “Vilas Novas”, com infraestrutura e edificações precárias e um estoque significativo de lotes vazios.
- Zona de Consolidação 3 – consiste num padrão de parcelamento comum em Núcleos Urbanos situados no perímetro Bebedouro;
- Zona de Transição – situa-se nas regiões não urbanizadas dos perímetros dos Núcleos Urbanos, destinadas às expansões de baixa densidade populacional e construtiva, caracterizando áreas de transição entre os ambientes urbano e rural.
- Zona Especial de Proteção Rodoviária (ZEPRod) – consiste nas áreas do entorno imediato das rodovias.

Figura 78 – Zoneamento urbano dos núcleos NS1 e NS2 de Petrolina.



Fonte: Petrolina (2022).

Figura 79 – Zoneamento urbano do núcleo N1 de Petrolina.



Fonte: Petrolina (2022).

Segundo o IBGE (2021), as áreas urbanizadas resultam do mapeamento das manchas urbanas dos núcleos urbanos, visando acompanhar o estágio de urbanização do território em questão. Obtém-se o mapeamento das manchas urbanas empregando imagens de satélite, que gera uma camada vetorial delimitando as áreas construídas das cidades, atendendo a uma demanda crescente da sociedade e do Estado, buscando entender o histórico de expansão das cidades e compreender dinâmicas geográficas recentes em curso no território estudado.

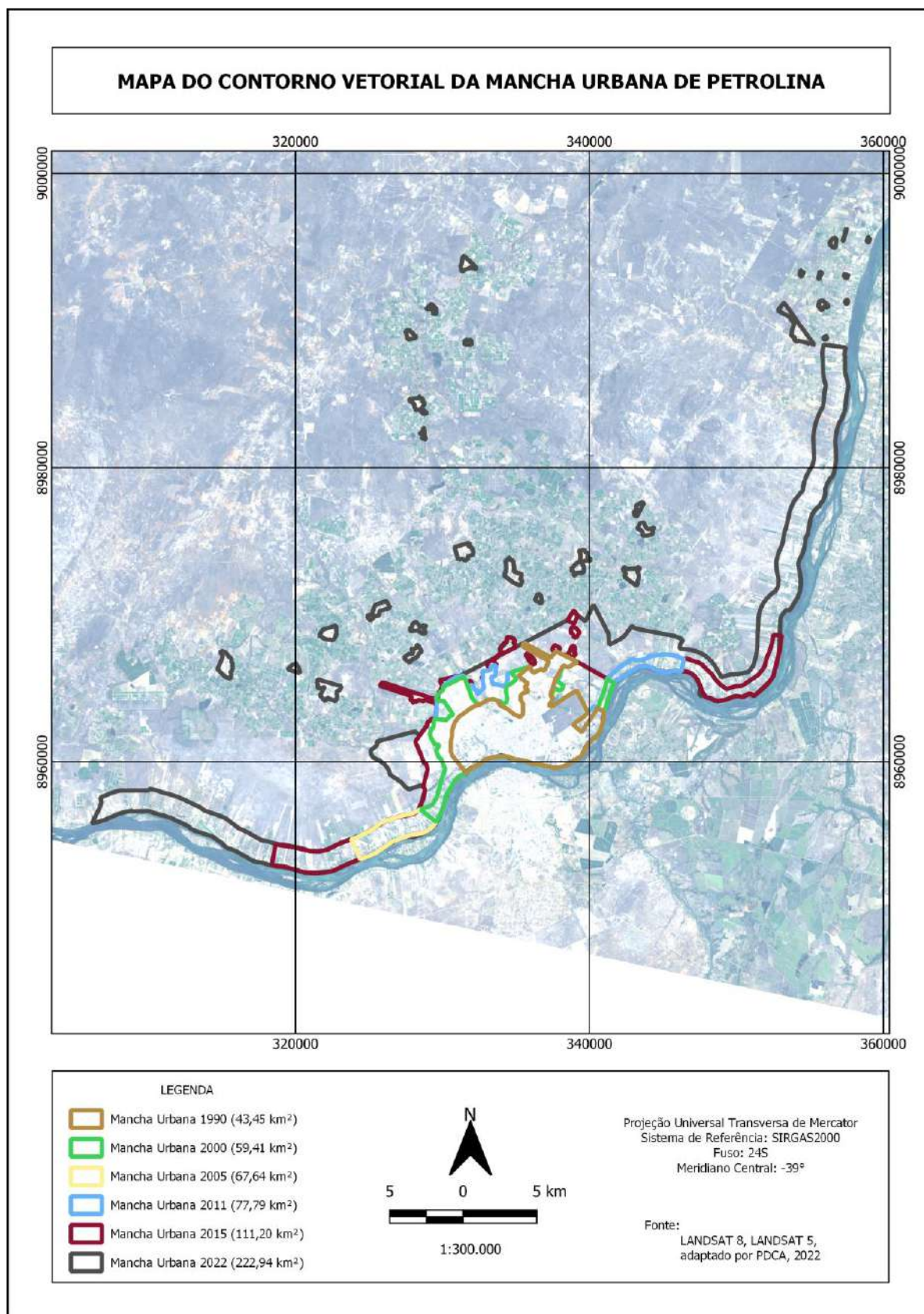
Utilizou-se imagens orbitais dos satélites LANDSAT 5 e 8 para obter as manchas urbanas atuais e projetadas para o horizonte de 20 anos na cidade de Petrolina/PE (INPE, 2021). Para a manipulação das imagens e edição dos mapas, o autor utilizou o software QGIS (QGIS, 2021). Assim, foi delimitado o contorno vetorial das manchas urbanas e calculadas as áreas urbanizadas. Este contorno vetorial do município de Petrolina, nos diferentes anos utilizados, baseou-se em uma diferenciação de cores, de acordo com as bandas utilizadas no software.

A seguir, pode ser visto da **Erro! Fonte de referência não encontrada. a Erro! Fonte de referência não encontrada.** o contorno da mancha urbana de Petrolina para os anos estudados.

A partir dos mapas apresentados anteriormente, percebe-se que o município de Petrolina teve crescimento principalmente nos setores norte e oeste, pelo fato da área urbana se situar na extremidade sul do município. Atualmente, conforme o novo Plano Diretor de Petrolina (PETROLINA, 2022), a expansão da área urbana de 2020 a 2022 foi acelerada pelas Zonas de Consolidação Urbana, áreas ao norte da sede do município, que constituem a base da ocupação dos Núcleos Urbanos, desenvolvidos a partir dos parcelamentos originais desses territórios.

Pode ser visto na Figura 80 o mapa que representa a evolução da mancha urbana de forma agregada, evidenciando o processo de expansão urbana de Petrolina. A partir dos contornos das manchas urbanas para cada período, calculou-se a área de cada uma delas. Os dados aferidos podem ser observados na Tabela 17.

Figura 80 – Mapa da Mancha Urbana de Petrolina de 1990 a 2022.



Fonte: PETROLINA (2022); adaptado por PDCA (2022).

Tabela 17 – Áreas das manchas urbanas de Petrolina.

Ano	Área (km²)	Aumento da área (km²)
1990	43,45	-
2000	59,41	15,96
2005	67,64	8,23
2011	77,79	10,15
2015	111,20	33,41
2020	204,26	93,06
2022	222,94	18,68

Fonte: PDCA (2022).

Observa-se que, no período analisado de 32 anos, a área da mancha urbana aumentou cerca de 413,11%. Além disso, a Tabela 18 mostra a porcentagem de crescimento da mancha urbana de um período para outro, podendo-se observar alguns picos de crescimento urbano ao longo do período analisado. Os picos de crescimento da área urbana (nos períodos entre 1990 e 2000, e entre 2011 e 2020) estão ligados aos fatores anteriormente citados.

Tabela 18 – Aumento das manchas urbanas de Petrolina.

Ano	Área (km²)	Aumento da área (%)
1990	43,45	-
2000	59,41	36,7%
2005	67,64	13,8%
2011	77,79	15,0%
2015	111,20	42,9%
2020	204,26	83,7%
2022	222,94	9,1%

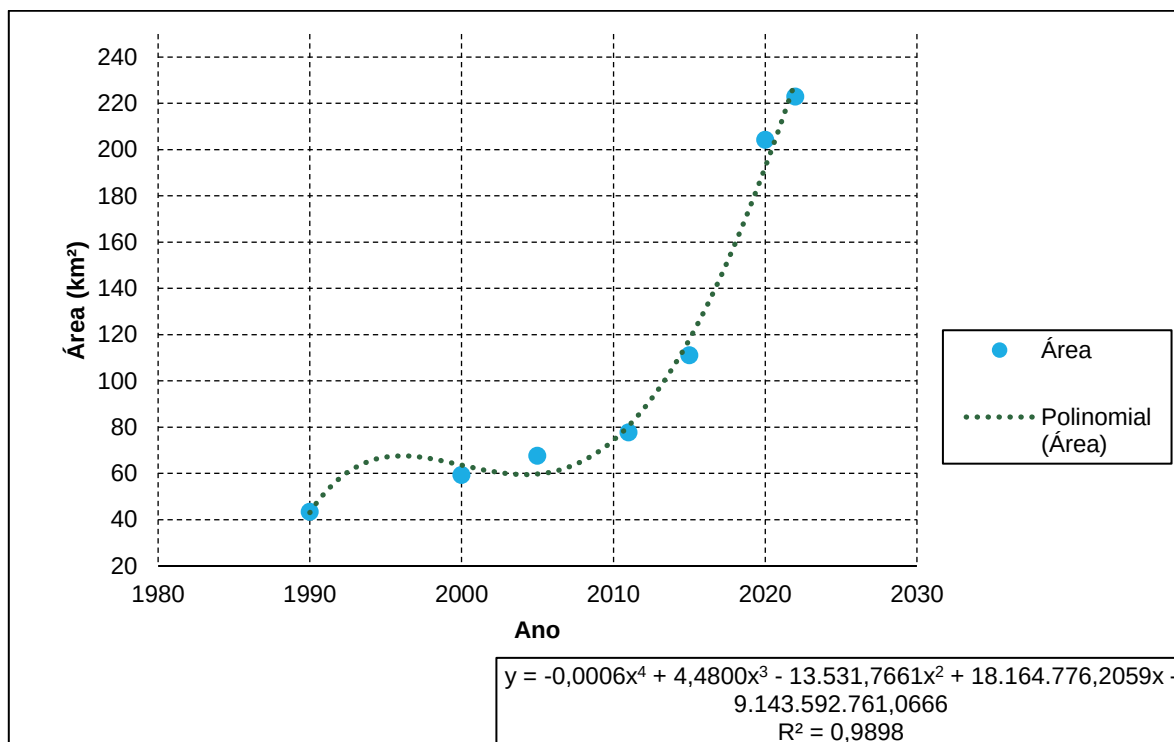
Fonte: PDCA (2022).

Com os valores das áreas das manchas de urbanização apresentados anteriormente, elaborou-se a linha de tendência para a estimativa de crescimento urbano em Petrolina, podendo ser vista na Figura 81. No eixo Y, estão os valores de área da mancha urbana de Petrolina, em km², e os valores dos anos analisados estão no eixo X. A linha pontilhada indica a tendência desses valores.

Com esses dados analisados, obtidos a partir da equação de regressão gerada pela análise de dados do software EXCEL, elaborou-se a Tabela 19, que mostra os valores das áreas das manchas urbanas projetadas para o horizonte de 20 anos. Assim, observam-se as disparidades entre os dados observados e os dados calculados pela linha de tendência.

Verificou-se que a área da mancha urbana de Petrolina tende a ser de 454,72 km² em 2042, um aumento de cerca de 103,96% com relação à área da mancha urbana em 2022.

Figura 81 – Tendência da Mancha Urbana de Petrolina.



Fonte: PDCA (2022).

Tabela 19 – Áreas observadas e calculadas por regressão das manchas urbanas de Petrolina.

Ano	Área observada (km ²)	Área calculada (km ²)
1990	43,45	43,03
2000	59,41	63,62
2005	67,64	59,78
2011	77,79	80,56
2015	111,20	117,82
2020	204,26	192,25
2022	222,94	229,57
2025	-	291,40
2030	-	400,70
2035	-	454,50
2042	-	454,72

Fonte: PDCA (2022).

Os dados da coluna “Área observada” representam os valores obtidos por meio da análise da mancha urbana de cada ano, e os dados da coluna “Área calculada” representam os valores obtidos por meio da fórmula proveniente da regressão polinomial de 4ª ordem realizada, a que mais se adequa à série de dados utilizados. Para obter os valores estimados da área da mancha urbana futura, substituiu-se o valor de x na fórmula pelo ano futuro analisado (2025, 2030, 2035 e 2042), seguindo, assim, a tendência dos valores dos anos anteriores.

Aliado a projeção da mancha urbana do município de Petrolina, foi realizada a estimativa da população projetada da cidade, para horizonte de 20 anos. Essa estimativa possui grande importância para o cálculo de indicadores sociodemográficos, fornecendo subsídios para implementar políticas públicas e avaliar posteriormente seus respectivos programas, além de estratégias de planejamento e gestão do setor provado.

Para a estimativa da população de Petrolina no ano de 2041, utilizou-se o Método Geométrico. Este método resulta em um cenário de crescimento mais otimista para o município, considerando a expansão econômico-social de Petrolina. Considerou-se a população inicial como sendo a população de Petrolina do censo de 2010, com 293.962 habitantes, e a final como sendo a população estimada de Petrolina em 2021, com 359.372 habitantes, aplicou-se o método geométrico, utilizando a Equação 1:

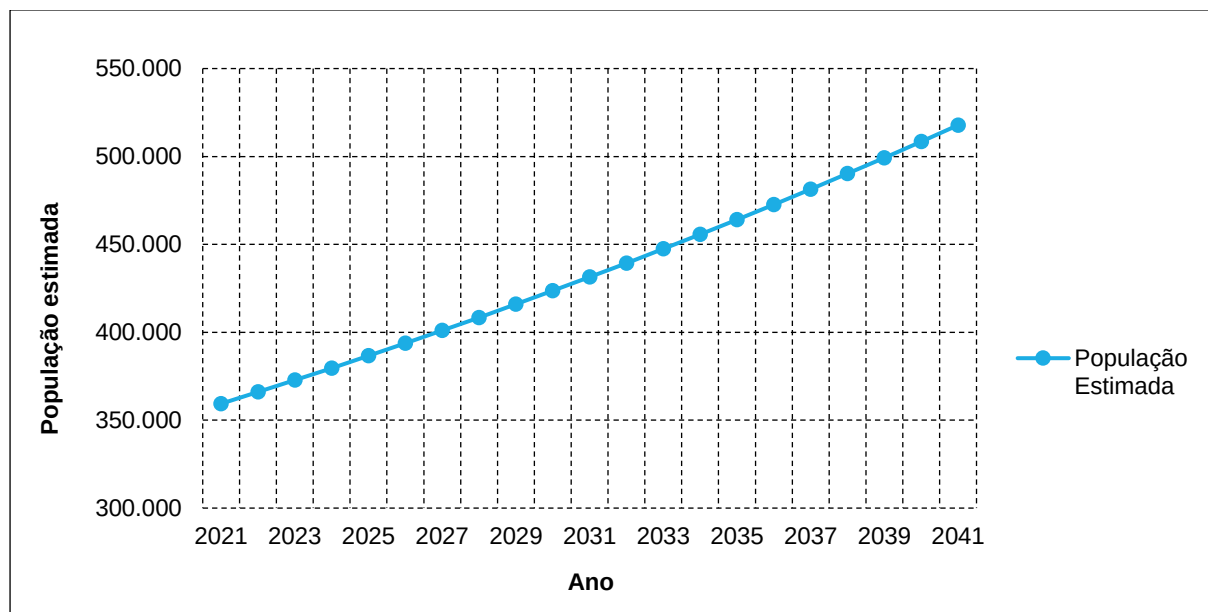
$$r = \left[\left(\sqrt[n]{\frac{P_t}{P_0}} \right) - 1 \right] \times 100 \Leftrightarrow r = \left[\left(\sqrt[11]{\frac{359.372}{293.962}} \right) - 1 \right] \times 100 \Leftrightarrow r = 1,843 \quad (1)$$

A taxa geométrica de crescimento anual da população aferida foi de 1,843. A partir dessa taxa, calcula-se a população projetada para o horizonte de 20 anos, a partir da Equação 2, com uma estimativa de 517.829 habitantes em Petrolina no ano de 2041.

$$P_n = P_0(1 + r)^t = P_n = 359.372(1 + 0,01843)^{20} = P_n = 517.829 \text{ hab} \quad (2)$$

A Figura 82 abaixo mostra o gráfico com o crescimento geométrico da população estimada do ano de 2021 até o ano de 2041. A Tabela 20 mostra o número de habitantes estimado anualmente para a cidade.

Figura 82 – Estimativa de crescimento geométrico da população de Petrolina.



Fonte: PDCA (2021).

Tabela 20 – População anual estimada de Petrolina.

População Estimada	Ano
359.372	2021
365.996	2022
372.742	2023
379.613	2024
386.610	2025
393.736	2026
400.993	2027
408.384	2028
415.912	2029
423.578	2030
431.385	2031
439.336	2032
447.434	2033
455.682	2034
464.081	2035
472.635	2036
481.346	2037
490.219	2038
499.254	2039
508.457	2040
517.829	2041

Fonte: PDCA (2021).

3.15 PERDA DA BIODIVERSIDADE E COBERTURA VEGETAL

A partir da disponibilidade de imagens de satélites em diferentes resoluções espacial, temporal, radiométrica e espectral, é possível monitorar grandes áreas dos diversos biomas existentes no mundo. Um estudo realizado por Silva *et. al.* (2019), disponibilizado pela AMMA (Agência Municipal do Meio Ambiente) de Petrolina, objetivou monitorar e analisar a evolução espacial e temporal na ocupação e uso da terra no Município de Petrolina/PE, utilizando-se dados de superfície e imagens do Landsat-8, para os anos de 2013 a 2015.

As imagens do satélite Landsat-8 de sensor OLI (Operational Land Images) transformadas a partir dos seus níveis de cinza em refletâncias, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e albedo da superfície são utilizadas para identificar e avaliar mudanças na estrutura, fisionomia e dinâmica da cobertura vegetal através de diferentes datas (SILVA *et. al.*, 2016).

O NDVI indica o grau de atividade fotossintética da vegetação sadia e a quantidade de vegetação verde, definindo o grau de degradação em escala regional. O MSDI corresponde ao desvio padrão calculado por meio de um filtro de 3×3 aplicado na banda 4 do Landsat-8, usado, principalmente, para distinguir a média e alta degradação. Os conjuntos de regras pré-estabelecidas de indicadores para cada classe de degradação ambiental Município de Petrolina estão listados na Figura 83, conforme Xu *et. al.* (2009).

Figura 83 – Regra para avaliação da degradação, utilizando imagens Landsat-8.

Classes de degradação	Índices		
	NDVI	MSDI	Albedo
Inexistente	< 0,25	—	< 0
	< 0,50	—	—
	< 0	—	—
Baixo	< 0,25	—	> 0
Médio	0,32 < e < 0,40	> 3	0,175 < e < 0,19
	0,32 < e < 0,40	< 3	0,175 < e < 0,19
Alto	0,25 < e < 0,32	> 3	0,175 < e < 0,19
	0,25 < e < 0,32	< 3	0,175 < e < 0,19
Severo	< 0,25	—	> 0,22

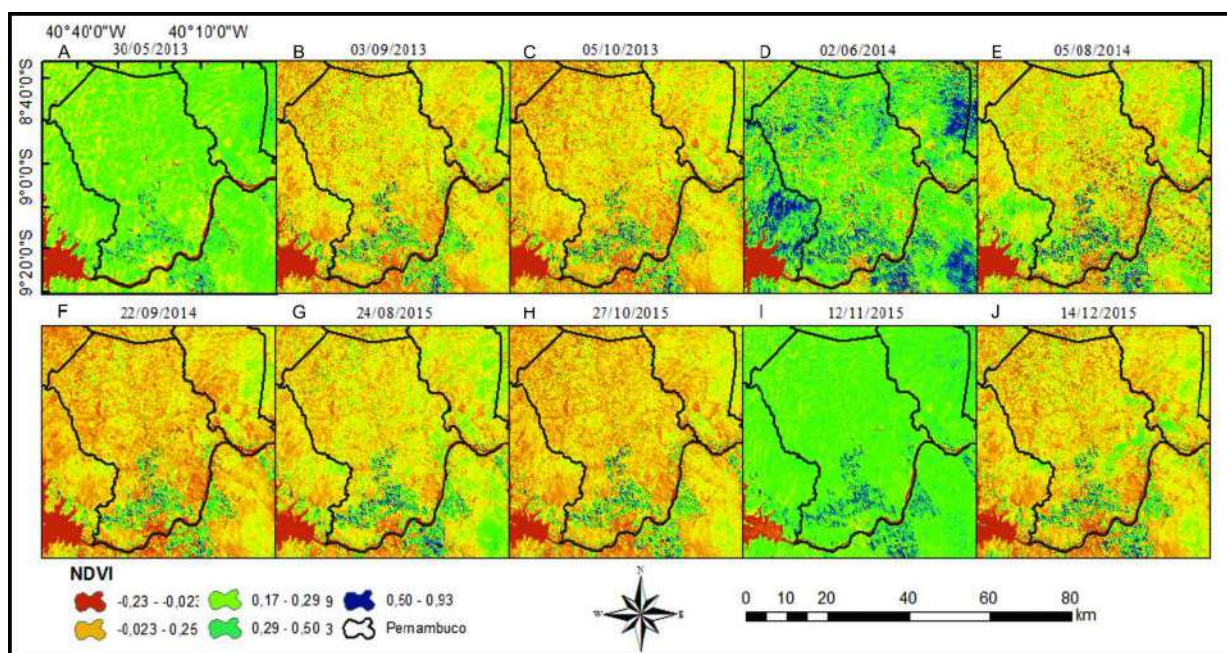
Fonte: Adaptado de Xu *et. al.* (2009).

A intensidade da mudança do uso e ocupação do solo (I) foi calculada a partir dos valores de refletância das bandas 4 e 5 do Landsat-8 no tempo 1 (mês analisado) e tempo 2 (mês posterior ao mês analisado).

A Figura 84 apresenta a evolução temporal e espacial do índice de vegetação NDVI. Observa-se que os mapas temáticos do NDVI da Figura 84A e da Figura 84D, em média, apresentaram os maiores valores de cobertura vegetal, devido a precipitações acumuladas que contribuíram para maior atividade fotossintética da área (SILVA *et. al.*, 2019). **A umidade do solo acumulada antes da passagem do satélite contribuiu para a manutenção dos extratos herbáceos e presença marcante de dossel foliar da vegetação (ARRAES, ANDRADE e SILVA, 2012).** Por outro lado, as baixas precipitações acumuladas três meses antes dos períodos da Figura 84B, C, F, G, H, I e J também induzem as espécies da Caatinga a liberarem suas folhas por serem decíduas.

A Figura 84B (03/09/2013), 24D (02/06/2014) e 24I (12/11/2015) mostram acentuada variabilidade espacial e temporal da cobertura vegetal com valores do NDVI para área irrigada de 0,62, 0,78, 0,57; Caatinga de 0,42, 0,93, 0,44; área de solo exposto de 0,07, 0,098, 0,075; área urbana de 0,014, 0,016 e 0,013, respectivamente.

Figura 84 – Evolução temporal e espacial do NDVI no Município de Petrolina/PE.

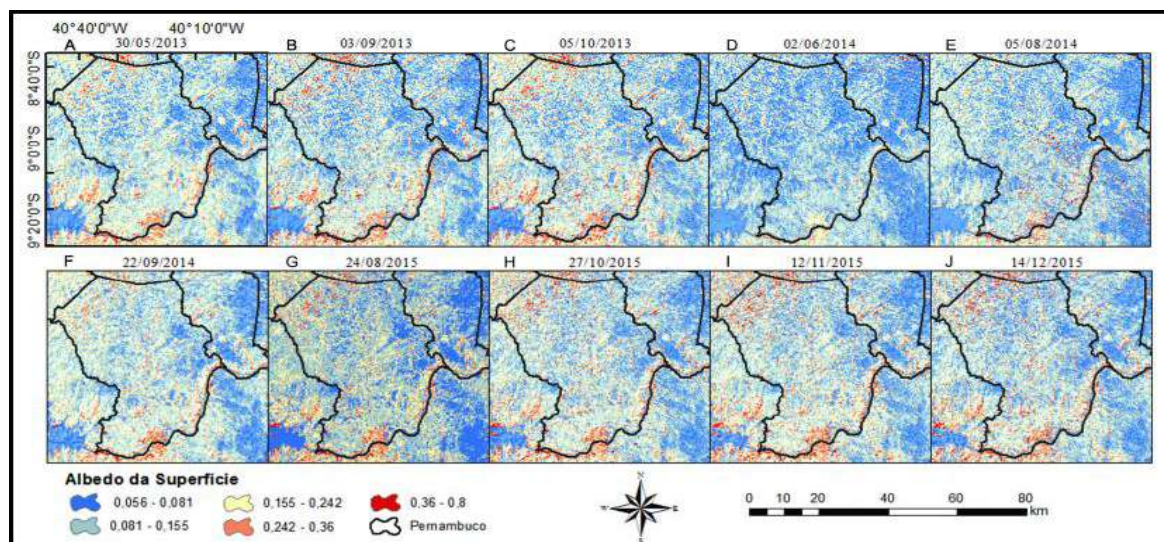


Fonte: Silva *et. al.* (2019).

A Figura 85 também apresenta a variabilidade espacial e temporal do albedo da superfície (α) diante do uso e ocupação do solo de Petrolina/PE. Nas datas das Figura 85B, 25D e 25I, as áreas de pomares irrigados de banana, manga, goiaba e uva apresentam valores próximos de 13%, 9,5% e 18%, respectivamente (SILVA *et. al.*, 2019). **Esta variação pode ser explicada pelo próprio desenvolvimento da cultura, pela mudança no ângulo de**

incidência da luz sobre a superfície da copa da vegetação (LEITÃO, SANTOS E OLIVEIRA, 2002).

Figura 85 – Evolução temporal e espacial do albedo da superfície em Petrolina/PE.



Fonte: Silva et. al. (2019).

Em áreas com vegetação nativa (Caatinga), os valores médios do α nos anos de 2013 a 2015 são de 27%, 16% e 26%, respectivamente. Com tudo, há uma pequena variação nos anos de 2013 e 2015, apontando para uma baixa ou nenhuma mudança no uso da terra, ou seja, não houve retirada da vegetação destas áreas (Figura 85) (SILVA et. al., 2019).

Em áreas de solo exposto, a variação do α no período de 2013 a 2015 foi de 54%, 53% e 64%, respectivamente. A variação do α na zona urbana foi de 55%, 11% e 22%, respectivamente, sendo considerada uma variação com uma amplitude alta entre os anos estudados (SILVA et. al., 2019).

Verifica-se, ainda, que a barragem de Sobradinho bem como o leito do rio São Francisco apresenta tonalidade azul, com valor de α de 5% (SILVA et. al., 2019). As áreas urbanas, em geral, apresentam albedo superior a 25%, o que também é observado em áreas de solo com grande exposição. As parcelas de áreas irrigadas no perímetro irrigado São Gonçalo mostraram albedo de 16 a 18%; no entanto, em pomares recém-plantados (baixo índice de vegetação), a maior exposição ao solo causou aumento no albedo (SILVA et. al., 2019).

As áreas urbanas, em geral, apresentam albedo superior a 25%, o que também é observado em áreas de solo com grande exposição. As parcelas de áreas irrigadas no perímetro irrigado São Gonçalo mostraram albedo de 16 a 18%; no entanto, em pomares

recém-plantados (baixo índice de vegetação), a maior exposição ao solo causou aumento no albedo (SILVA *et. al.*, 2019).

A Figura 86 mostra a tabela com as classes de degradação com as suas áreas, acurácias e índices Kappa (Kp). Os resultados da classificação por AD baseados nas regras preestabelecidas são satisfatórios com acurácia (Ar) média de 98,49%, com melhores precisões de 99,96% encontradas nas datas de período seco. Para o índice Kp, é constatado valor médio de 0,97, o maior valor é de 0,99. O Kp médio é considerado como excelente para todas as imagens analisadas (SILVA *et. al.*, 2019).

Figura 86 – Área em hectares (%) das classes da degradação no Município de Petrolina e adjacência nos períodos de 2013, 2014 e 2015. Ar = Acurácia e Kp = Índice Kappa.

Data	Inexistente	Baixo	Médio	Alto	Severo	Ar	Kp
30/05/13	156,1(11,1)	862,7(61,5)	11,6(0,8)	193,0(13,8)	178,0(12,7)	99,76	0,99
03/09/13	123,9(8,8)	800,9(56,8)	15,9(1,1)	220,1(15,6)	249,3(17,7)	99,16	0,98
05/10/13	145,6(8,1)	873,9(48,4)	405(22,4)	347,7(19,2)	33,9(1,9)	99,96	0,99
02/06/14	872,4(62,5)	367,2(26,3)	37,4(2,7)	37,2(2,7)	82,3(5,9)	99,96	0,99
05/08/14	301,9(21,5)	818,0(58,3)	8,6(0,6)	158,8(11,3)	115,3(8,2)	99,96	0,99
22/09/14	158,4(11,3)	876,7(62,4)	9,7(0,7)	227,7(16,2)	132,9(9,5)	99,41	0,99
24/08/15	183,2(13)	885,9(62,9)	10,5(0,7)	185,9(13,2)	143,2(10,2)	92,99	0,88
27/10/15	110,9 (7,9)	804,5(57,5)	21,8(1,6)	203,8(14,6)	257,1(18,4)	97,67	0,96
12/11/15	121,8(7,7)	877,0(55,8)	28,9(1,8)	189,3(12)	355,9(22,6)	97,07	0,95
14/12/15	157,05(11,2)	819,95(58,3)	23,72(1,7)	167,88(11,9)	238,03(16,9)	98,92	0,98

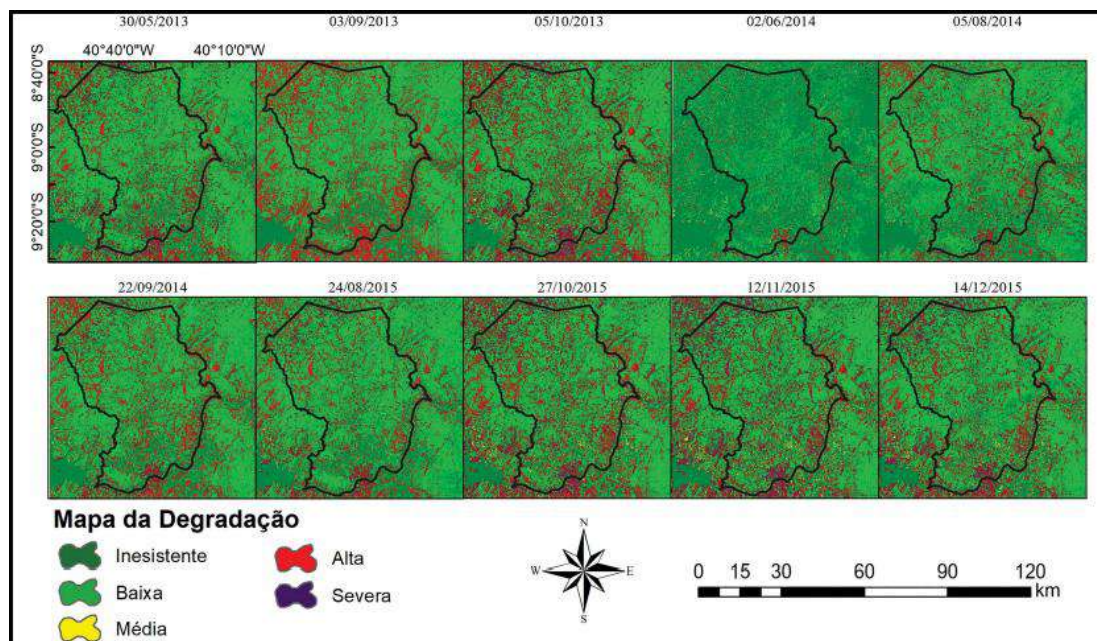
Fonte: Silva *et. al.* (2019).

Os valores de acurácia (Ar) das imagens classificadas variaram entre 97,07% e 99,96%, mostrando que o classificador AD foi bastante eficiente (Figura 86). A comparação dos meses de setembro de 2013 e 2014 (Figura 85) mostra que a área de degradação severa regrediu aproximadamente 116 ha (8,2%). Essa regressão está associada ao regime de chuvas antecedentes as datas dos imageamentos (SILVA *et. al.*, 2019). Vale ressaltar que 2010-2015, exceto 2014, foram anos muito secos com diferentes condições meteorológicas, contribuindo para aumentar o risco de degradação, provocado pelas modificações das distribuições espacial e temporal de temperatura, precipitação, ventos e insolação ocorrem intensamente durante os períodos de secas severas (VOROVENCII, 2015).

Os resultados da avaliação da degradação nos anos de 2013 a 2015 são apresentados na Figura 87. Constata-se que a degradação apresenta uma tendência de inversão. Esse fato é observado na análise dos mapas de degradação dos meses de agosto, outubro, novembro e dezembro do ano de 2015 (Figura 87G, H, I e J), na qual, de outubro a novembro houve aumento da degradação, principalmente para a classe severa. Contudo, quando se analisa os meses de outubro e novembro com o mês de dezembro de 2015,

observa-se a reversão da degradação, com diminuição, principalmente, das classes alta e severa e aumento das classes degradação inexistente e baixa.

Figura 87 – Evolução temporal e espacial da degradação do Município de Petrolina-PE.



Fonte: Silva *et. al.* (2019).

A quantidade de chuva aumentou em 2014, associada ao fenômeno La Niña (ALVES *et. al.*, 2016). A intensidade da precipitação pode causar erosão da superficial ou profunda e a água da chuva carrega misturas tóxicas de limistone, bauxita, argila, limo, piratas e fosfogídio de formas rudimentares do solo. Estas ações resultam na perda de cobertura vegetal e em terra estéril com aumento da refletância e elevação do albedo (VOROVENCII, 2015).

O mapa temático de 02/06/2014 (Figura 87D) apresenta na maior parte do município baixa degradação. Esta classe, que abrange os valores baixos de níveis de risco à degradação do solo, tem os setores representativos, ocupando 62,47% de área. Dessas observações, infere-se que na data de imageamento, a área estudada oferece menor risco ao processo de degradação. Este fato deve-se a precipitação bem como a resiliência que são fatores que influenciam na formação e manutenção da Caatinga (SILVA *et. al.*, 2019).

Nota-se que a degradação está mais concentrada nas margens do rio São Francisco e áreas adjacentes, bem como próximo as áreas antropizadas, principalmente, no perímetro irrigado de Petrolina e Juazeiro, devido à supressão da Caatinga e abandono das áreas irrigadas. Pôde-se constatar, ainda, na área de estudo que os mapas temáticos de degradação estão em conformidade com os mapas do NDVI (Figura 84), na qual, não existe

cobertura vegetal nas áreas que se encontram a classe severa, contribuindo para uma maior susceptibilidade à erosão (SILVA *et. al.*, 2019).

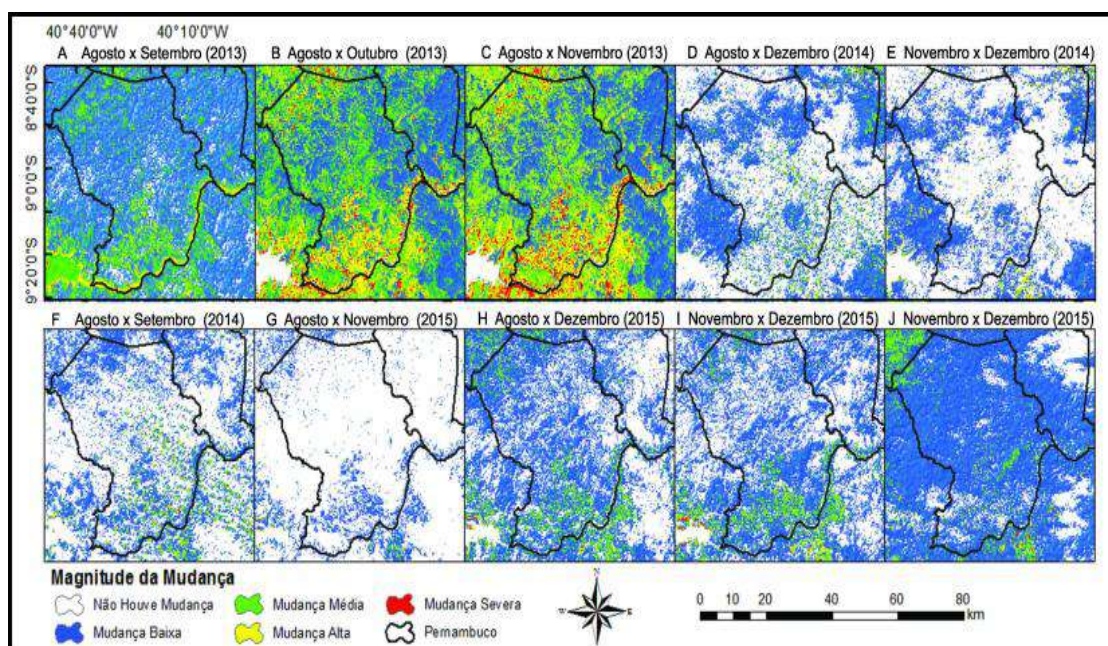
Os resultados da avaliação da magnitude da mudança na ocupação e uso do solo dos anos de 2013 a 2015 são apresentados na Figura 88. Observa-se que o imageamento das cenas do ano de 2013 (Figura 88A, B e C), em comparação aos demais anos, apresenta maiores áreas classificadas como mudança severa (tonalidade vermelha), indicativo de que no ano de 2013 há grandes mudanças, principalmente nas áreas de Caatinga, impulsionada pelos baixos índices pluviométricos e pela ação antrópica, como abandono de áreas irrigadas por conta da salinização do solo muito comum nestas áreas (SILVA *et. al.*, 2019).

Comparando os resultados na Figura 88D, E e F, é possível notar que há uma grande similaridade entre estas imagens obtidas no ano de 2014. Este comportamento é explicado, em parte, pelo fato de que o ano de 2014 foi classificado como chuvoso quando comparado a 2013 e 2015, anos extremamente secos, uma vez que a Caatinga apresenta um grande poder de resiliência. Sua resposta à precipitação ocorre de forma rápida, sendo suficiente para ocorrer à regeneração da Caatinga no Município de Petrolina (SILVA *et. al.*, 2019).

As mudanças ocorridas entre 2013 e 2015 observadas nas imagens de detecção, geradas a partir das imagens NDVI são apresentadas na Figura 89. A imagem de detecção permite ressaltar as áreas com redução da cobertura da Caatinga em decorrência da mudança no uso da terra nos anos analisados. Os corpos hídricos são classificados em sua grande maioria como mudança severa (SILVA *et. al.*, 2019).

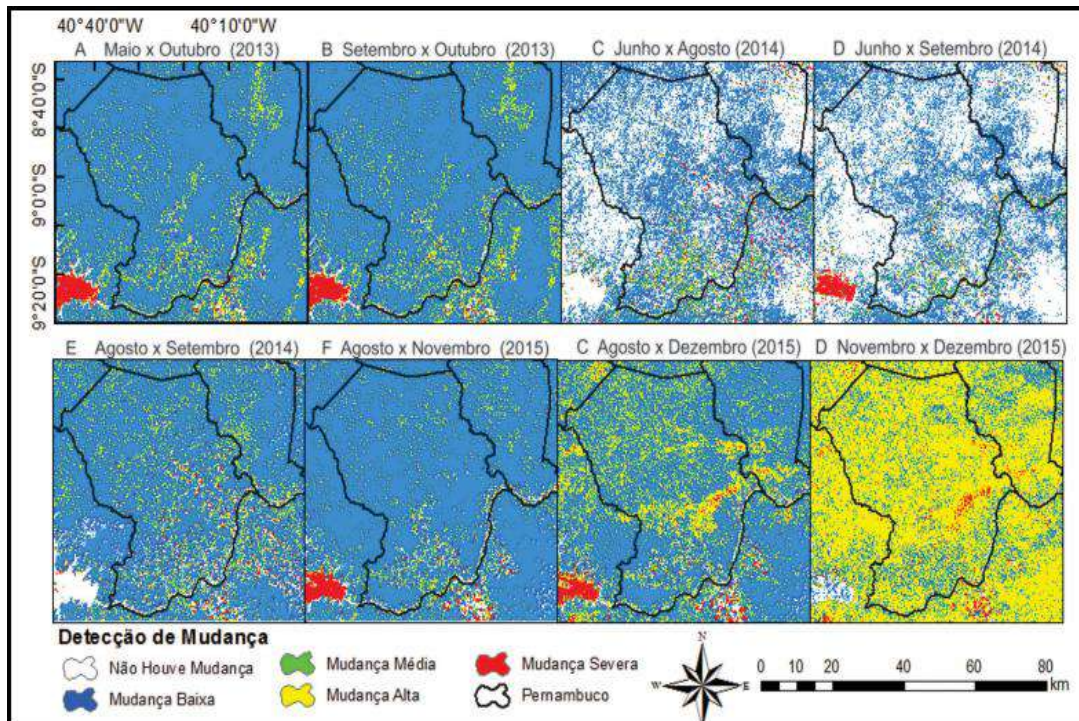
Nas imagens classificadas do ano de 2014 (Figura 89C, D e E), é possível visualizar que quando comparado os meses de junho, agosto e setembro houve pouca mudança, sendo que a classe “não houve mudança” (tonalidade branca) destaca-se entre as demais classes. A cobertura vegetal no mês de junho de 2014, em comparação com o mês de setembro de 2014, não apresenta diferença entre esses meses o suficiente para modificar completamente toda a paisagem (SILVA *et. al.*, 2019).

Figura 88 – Evolução temporal e espacial da magnitude da mudança do Município de Petrolina/PE.



Fonte: Silva et. al. (2019).

Figura 89 – Mapa temático da detecção de mudança do Município de Petrolina-PE.



Fonte: Silva et. al. (2019).

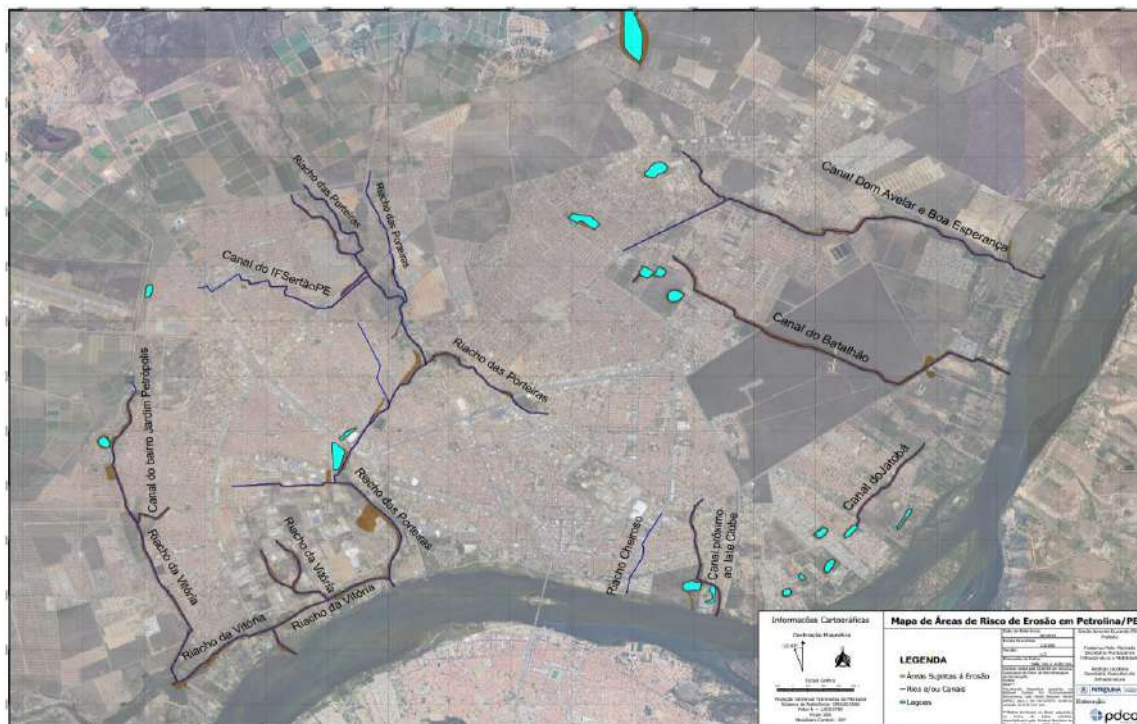
Por fim, esse estudo de Silva *et. al.* (2019), possibilitou a identificação das diferentes coberturas com um índice Kappa acima de 90% no período estudado. **O monitoramento espaço-temporal apresentou alterações do uso e ocupação do solo identificadas com o aumento do albedo e diminuição do índice de vegetação NDVI.**

3.16 ÁREAS SUJEITAS A EROSÃO

Erosão, ou movimento de massa do solo, são movimentos de descida de solos e rochas pela ação da gravidade, que pode ser intensificado pela ação da água, também popularmente conhecidos como deslizamentos, escorregamentos, entre outras definições (CEMADEN, 2022). A erosão relaciona-se a riscos naturais, podendo causar perdas de vidas ou prejuízos materiais quando ocorrem em determinado local, seja por fenômenos naturais, ou pela ação antrópica.

Segundo Carvalhais *et. al.* (2019), fatores como a topografia local, a interferência antrópica, remoção de vegetação, precipitação intensa associada a baixa infiltração no solo, ocupações em locais irregulares e o escoamento superficial da água no solo intensificam a ocorrência do processo erosivo do solo. A Figura 90 mostra o mapa com as áreas de risco de erosão em Petrolina/PE.

Figura 90 – Mapa das áreas de risco de erosão em Petrolina/PE.



Fonte: PDCA (2022).

3.17 RESÍDUOS SÓLIDOS

Neste tópico, será abordado o despejo inadequado de resíduos e efluentes, entre eles, os resíduos sólidos urbanos, de serviços de limpeza urbana, de grandes geradores comerciais e prestadores de serviços, de construção civil, de saneamento, resíduos sólidos industriais e resíduos agrossilvopastoris. Estes resíduos e efluentes causam impactos ambientais significativos, interferindo diretamente na qualidade da água, do ar e do solo; prejudicam a fauna e flora da cidade, interferem no equilíbrio ecossistêmico, degradam o ambiente e deterioram a sustentabilidade do município de Petrolina.

3.17.1 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são compostos pelos Resíduos Sólidos Domiciliares (RDO) e os Resíduos de Limpeza Urbana (RPU), e tem seu manejo sob a responsabilidade do Poder Público. Segundo a Lei Federal nº 12.305/2010, no seu art. 3º, os resíduos sólidos são materiais, substâncias, objetos ou bens descartados resultantes de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis, em face da melhor tecnologia disponível (PLANALTO, 2010).

Os RSU podem ser classificados, conforme o art. 13º da Lei Federal nº 12.305/2010, quanto à sua origem, como resíduos domiciliares, originários de atividades domésticas em residências urbanas; resíduos de limpeza urbana, originários da varrição, da limpeza de logradouros e vias públicas e de outros serviços de limpeza urbana; e resíduos sólidos urbanos, englobam as definições anteriores (PLANALTO, 2010).

Segundo o SNIS-RS/2015, a taxa de cobertura do serviço de coleta de resíduos domiciliares em relação a população urbana (IN016) apresenta indicador médio da ordem de 96,9% para a Região Nordeste. No entanto, a gestão municipal indica que há uma cobertura integral da coleta resíduos domiciliares na zona urbana. O estudo elaborado pela ABRELPE, publicado em 2015, indica uma taxa de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) coletados no Estado de Pernambuco de 0,829 Kg/hab.

No entanto, com base nos dados de Petrolina no período de 2011 a 2016, a média da taxa de coleta per capita é de 0,849 Kg/hab.dia para os Resíduos Sólidos Urbanos, como pode ser visto na Tabela 21. Os dados de 2017 são referentes ao primeiro semestre do ano, e as populações são baseadas em projeções a partir do Censo 2010 do IBGE.

Tabela 21 – Evolução da coleta de Resíduos Sólidos Urbanos.

Tipologia do resíduo	Quantidade anual coletada (toneladas)						
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Domiciliar (RDO)	54.897	55.915	59.043	64.714	63.615	62.633	36.549
Podação (RPU)	1.196	1.130	763	980	690	682	391
Raspagem (RPU)	11.332	10.851	6.188	6.049	7.510	4.958	3.214
Entulho (RPU)	22.601	22.130	22.268	14.430	26.257	13.498	46.755
Total	67.425	67.896	65.994	71.743	71.815	68.273	86.909
Pop. Urbana (hab)	220.069	220.923	221.777	222.623	223.486	224.340	225.194
Taxa per capita (kg/hab.dia)	0,839	0,842	0,815	0,883	0,880	0,834	0,489

Fonte: CTR Petrolina, adaptado por PMGIRS (2020).

Os resíduos sólidos urbanos de Petrolina tinham sua disposição final no Lixão do Raso da Catarina, como era conhecido até dezembro de 2006, uma área de cerca de 20 hectares, localizada no perímetro urbano do município, no bairro José e Maria. A área era utilizada inicialmente para extração de areia, porém, desde o início dos anos 1990, foi utilizada para disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos de Petrolina (PMGIRS, 2020). Os resíduos eram dispostos de maneira desordenada, sem controle de acesso de pessoas no local, e sem nenhuma técnica de disposição envolvida, expondo a população que habita em seu entorno a poluição e insalubridade, como pode ser visto na Figura 91.

Figura 91 – Situação da disposição final no Lixão Raso da Catarina em 2006.



Fonte: PMGIRS (2020).

Em 30 de novembro de 2006, foi assinado um contrato entre a Prefeitura de Petrolina e a CTR Petrolina, dando início à primeira concessão do Estado com foco na destinação final de resíduos sólidos durante um período mínimo de 20 anos. A partir de dezembro de 2006, a Empresa CTR Petrolina iniciou um trabalho de recuperação ambiental no local do antigo lixão,

transformando o local em uma Área de Remediação Ambiental (ARA) através da implementação de ações sanitárias específicas (PMGIRS, 2020).

Como remediação ambiental, se desenvolveram atividades, como mostra a Figura 92, como: compostagem de material orgânico, unidade de beneficiamento de entulho, tratamento de lâmpadas fluorescentes, ações de educação ambiental, viveiro e plantio de mudas para recomposição vegetal da área, dentre outras atividades (PMGIRS, 2020).

Figura 92 – Atividades desenvolvidas na área como remediação ambiental.



Fonte: PMGIRS (2020).

Esta área manteve-se operando em condições de Aterro Controlado, até que a nova Central de Tratamento de Resíduos estivesse licenciada e pronta para entrar em operação (PMGIRS, 2020). A Figura 93 mostra a localização da área que será recuperada. A expectativa é que futuramente esta área se torne um parque ambiental urbano, reintegrando-a como uso recreativo e lazer da comunidade do entorno.

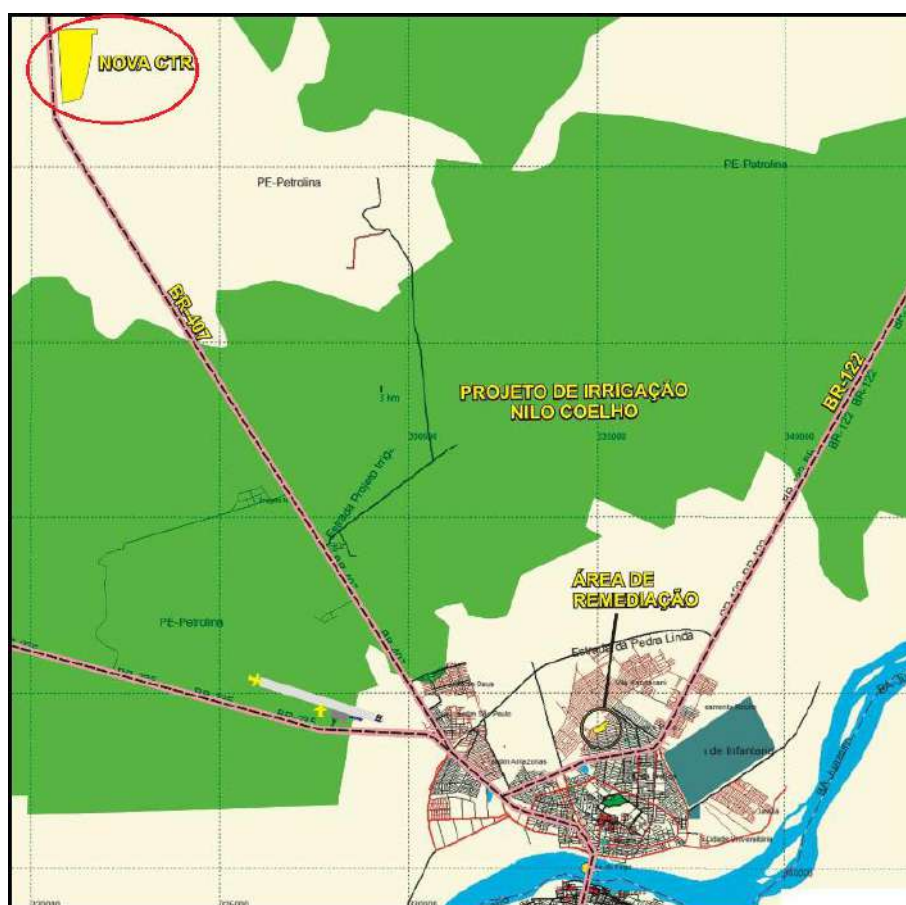
A área selecionada para implantação da nova CTR localiza-se sobre o Km 20 da BR-407 sentido Afrânio, na margem direita da referida Rodovia, em área rural do município, no distrito de Curral Queimado, após o projeto de irrigação Nilo Coelho (Figura 94). A área adquirida pela CTR Petrolina totaliza 74,47 hectares e está a uma distância aproximadamente de 22 km do centro urbano de Petrolina (EMPESA, 2011).

Figura 93 – Localização da área de recuperação ambiental.



Fonte: Google Earth (2017), adaptado por PMGIRS (2020).

Figura 94 – Localização da área da nova CTR.



Fonte: EMPESA (2011).

Além das ações de recuperação ambiental da área, a área vem sendo utilizada como estação de transbordo para concentração e encaminhamento dos resíduos coletados na cidade e direcionamento para a nova área em operação para a destinação final com total de 74,47 hectares, licenciada e fiscalizada pelos órgãos de fiscalização e controle estadual para a disposição de resíduos Classe I e Classe II-A de forma segregada (PMGIRS, 2020).

O projeto de engenharia da nova área atendeu os requisitos da norma técnica NBR 13.896/1997, considerando o aspecto técnico e operacional, que recomenda uma vida útil para os aterros de no mínimo 10 anos. Assim, pela área apresentar declividade e configuração geométrica favorável, as estimativas volumétricas do projeto indicam que o aterro poderá ser operado no local por cerca de 30 anos. A proposta do projeto está de acordo com o planejamento municipal, sem entrar em atrito com outros usos do solo do município, como a expansão urbana e os projetos de agricultura irrigada (PMGIRS, 2020).

Com relação ao aspecto socioambiental, observa-se como pontos positivos o cerceamento dos impactos ambientais adversos diretos sobre a comunidade do entorno da área degradada, melhorando a qualidade de vida da comunidade e mitigando os impactos causados pelo despejo inadequado de resíduos, além da valorização das propriedades e imóveis dos entornos, tendendo ao crescimento com a devolução da área recuperada para uso público por meio de um parque recreativo (PMGIRS, 2020). O ponto negativo observado é referente ao tipo de empreendimento a ser implantado, considerando que a disposição de resíduos sólidos em aterro sanitário é uma solução que acarreta em impactos ambientais adversos.

Evidencia-se ao longo dos dez anos estudados uma evolução positiva na destinação final dos resíduos sólidos de Petrolina, revertendo um quadro adverso evidenciado em 2006, passando para uma situação ambientalmente adequada e dentro dos padrões técnicos e operacionais satisfatórios em dias atuais (PMGIRS, 2020).

3.17.2 Resíduos de Grandes Geradores

Segundo o Art. 3º da Lei Federal nº 12.305/2010, os grandes geradores (comerciais e prestadores de serviço) compartilham a responsabilidade pelo ciclo de vida de seus produtos, visando minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental (PLANALTO, 2010).

Conforme a Lei nº 13.047/2006, há obrigatoriedade na implantação da coleta seletiva de lixo nos condomínios residenciais e comerciais, nos estabelecimentos comerciais e industriais e órgãos públicos federais, estaduais e municipais no âmbito do Estado de Pernambuco, além de outras providências. Segundo o Art. 4º, para a implantação das

disposições da presente Lei, cada um dos condomínios, empresas e órgãos públicos farão campanhas internas de incentivo à coleta seletiva de lixo, adotando recipientes próprios para a coleta e depósito do lixo orgânico, recicláveis e não recicláveis (ALEPE LEGIS, 2006).

No caso do município de Petrolina, não foram identificados dados sistematizados disponíveis da geração de resíduos por grandes geradores, visto que boa parte dos resíduos é coletada pelos serviços regulares de coleta pública domiciliar ou por empresas privadas contratadas, sem que haja um controle diferenciado de pesagem. A fim de se adequar à legislação, torna-se necessário realizar o tratamento e destinação correta dos resíduos, seguindo a hierarquia lógica de gestão da cadeia produtiva. Os tratamentos mais comuns nesta tipologia de resíduos sólidos são a reciclagem e a compostagem (PMGIRS, 2020).

Os resíduos produzidos por estabelecimentos comerciais que não se enquadram nas soluções anteriores devem ser encaminhados a um destino final adequado como incineração ou aterros. O local da disposição final deve ser compatível com as características do resíduo e ter a sua localização aprovada por órgãos responsáveis pelo meio ambiente (PMGIRS, 2020).

Considerando a complexidade das etapas do tratamento e destinação adequada dos resíduos, os estabelecimentos comerciais, que são grandes geradores, contratam empresas especializadas em gestão e tratamento de resíduos (PMGIRS, 2020). Com relação à contratação de empresas terceirizadas, é necessário que estas sejam licenciadas para oferecer a destinação final de resíduos. No entanto, salienta-se que a contratação de terceiros não exime a responsabilidade de seu gerador, em caso de acidentes ou danos ambientais.

A aplicação das medidas tomadas com base no conceito “gerador-pagador” impõe medidas que aliviam os custos do poder público, que até então vem arcando com o gerenciamento dos resíduos sem contrapartida dos geradores. Além deste aspecto, o serviço público de limpeza urbana contará com novas receitas com o estabelecimento de taxas públicas de coleta e destinação, diante da possibilidade de prestação dos serviços de coleta de resíduos sólidos orgânicos e indiferenciados e da disposição final de rejeitos em aterro sanitário oriundos dos grandes geradores (PMGIRS, 2020).

Recomenda-se que a gestão municipal realize inicialmente um cadastro preliminar dos grandes geradores e obtenha linhas de atuação com a cadeia produtiva, para que haja uma maior interlocução na gestão destes resíduos, principalmente o envolvimento e inserção das cooperativas de catadores de materiais recicláveis neste processo (PMGIRS, 2020).

3.17.3 Resíduos de Construção Civil (RCC)

Segundo o Art. 13º da Lei Federal nº 12.305/2010, os Resíduos da Construção Civil (RCC) são os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, inclusive os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis (PLANALTO, 2010).

A resolução CONAMA nº 307/2002 classifica e estabelece os possíveis destinos finais dos RCC e resíduo de demolição, além de atribuir responsabilidades para o poder público municipal e também para os geradores de resíduos no que se refere à sua destinação. Essa resolução exige do poder público a elaboração de leis, decretos, e outros instrumentos legais como parte da construção da política pública que discipline a destinação dos RCC (LEGISWEB, 2002a).

Em relação ao destino final dos RCC, a Resolução CONAMA nº 307/2002 determina no Art. 10º a destinação conforme a Classe, proibindo a disposição em aterros de RSU, em áreas de “bota fora”, em encostas, corpos d’água, lotes vagos e em áreas protegidas por Lei (LEGISWEB, 2002a). Outra medida importante desta resolução refere-se à necessidade de os municípios elaborarem seus Planos Municipais de Gestão de Resíduos da Construção Civil (PMGRCC).

Segundo dados da CTR Petrolina, cerca de 21 mil toneladas por ano de RCC são destinados para a área de remediação do Raso da Catarina desde 2009, porém essa quantidade de resíduo duplicou considerando apenas o primeiro semestre de 2017 em comparação à média anual, chegando a aproximadamente 42 mil toneladas deste resíduo. Com base no histórico de 2010 a 2016, temos uma taxa média de 0,185 kg/hab.dia de RCC públicos coletados em Petrolina (PMGIRS, 2020).

Conforme análise de Pinto (1999), os problemas ambientais causados pela disposição inadequada dos RCC's são de baixa periculosidade. Entretanto, o grande volume gerado é responsável pelo maior impacto, além do descarte aleatório e ilegal. Assim, os efeitos negativos são evidentes em áreas urbanizadas, com o surgimento de aterros clandestinos, assoreamento de rios, obstrução de sistemas de drenagem, acarretando em enchentes, entre outros problemas, causando prejuízos socioeconômicos para cidades de médio e grande porte.

Além disso, a deposição inadequada dos RCC's compromete a paisagem do local, o tráfego de pedestres e de veículos, e servem de pretexto para o depósito irregular de outros resíduos não-inertes, propiciando o aparecimento e a multiplicação de vetores de doenças, arriscando a saúde da população vizinha. Os RCC's ainda podem apresentar materiais indesejáveis em sua composição, como cimento amianto e resíduos químicos, que podem

impactar negativamente o meio ambiente se depositados de forma inadequada, causando prejuízos para a sociedade por necessitar de remediações futuras nas áreas degradadas (PMGIRS, 2020). A Figura 95 mostra áreas em Petrolina onde há disposição irregular de RCC's.

Figura 95 – Áreas de disposição irregular de RCC's em Petrolina.



Fonte: PMGIRS (2020).

A CTR Petrolina tem em suas instalações uma Usina de Beneficiamento de Entulho (UBE) desde 2008, como pode ser visto na Figura 96, apresentando um maquinário capaz de transformar o resíduo em agregados de quatro tamanhos diferentes. Com o processo concluído, os materiais resultantes são integrados para a fabricação de blocos intertravados, usados em praças e calçadas do município. A Empresa também dispõe de uma área ambientalmente licenciada para a disposição final dos RCC's na nova área de destinação final dos resíduos do município (PMGIRS, 2020).

Figura 96 – Unidade de Beneficiamento de Entulho da CTR Petrolina.



Fonte: PMGIRS (2020).

A cidade de Petrolina dispõe de um sistema de tratamento e disposição final de RCC, porém observam-se ainda descartes irregulares em diversos locais do município, indicando a necessidade de melhoria nas ações de fiscalização, e a viabilidade de locais onde os pequenos geradores de resíduo possam descartá-los em pontos determinados previamente pela administração pública do município. No entanto, o município ainda não possui um Plano Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PMGRCC), em atendimento à resolução CONAMA nº 307/2002 (PMGIRS, 2020).

Porém, o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS, 2020) define indicadores de desempenho operacional (Figura 97) e definição de responsabilidades dos geradores de resíduos sólidos referentes aos resíduos de construção civil, onde esses resíduos públicos devem ser geridos pelo órgão municipal competente (autarquia municipal na forma de consórcio público), sendo responsável por acondicionar, coletar, transportar, tratar e destinar tais resíduos.

Figura 97 – Indicadores de Desempenho Relacionados aos Resíduos da Construção Civil.

RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCC)	
INDICADOR	OBSERVAÇÕES
Massa de resíduos da construção civil (RCC) coletada per capita (apenas por coletores públicos) em relação à população urbana.	-
Identificação do peso dos resíduos (ton/mês) Indicação do peso anual dos resíduos coletados.	Processo de pesagem ou estimativa do peso dos RCC a ser implantada no município.
Percentual de resíduos beneficiados por meio do processo de reciclagem.	-
Percentual de resíduos encaminhados à unidade de disposição final (classe IIB).	-

Fonte: PMGIRS (2020).

Com relação aos grandes geradores, sugere-se que a gestão municipal realize um levantamento cadastral das empresas e respectivas obras de construção civil e que mantenha o acompanhamento do ciclo de vida destes resíduos, atendendo as recomendações técnicas e referências legais. É fundamental a recomendação de buscas por parcerias com as entidades de classe envolvidas na cadeia produtiva para aperfeiçoamento dos processos e melhoria continuada da gestão (PMGIRS, 2020).

3.17.4 Resíduos Sólidos Industriais (RSI)

Segundo a NBR 10.004/04, os resíduos sólidos industriais (RSI) podem ser classificados em resíduos Classe I (perigosos) ou Classe II-não perigosos não inertes (Classe II-A) ou inertes (Classe II-B) (ABNT, 2004). Segundo o Art. 13º da Lei Federal nº 12.305/2010, resíduos industriais são resíduos gerados nos processos produtivos e instalações industriais (PLANALTO, 2010).

De acordo com a resolução CONAMA nº 313/2002 (LEGISWEB, 2002b), Resíduos Sólidos Industriais são todos os resíduos que resultem de atividades industriais e que se encontrem em nos estados sólido, semissólido, gasoso – quando contido - e líquido, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistema de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição.

Ainda conforme a Resolução, os órgãos estaduais de meio ambiente deveriam, no prazo máximo de dois anos, contados a partir da data de publicação da Resolução, apresentar ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) os dados do Inventário. Com isso, o IBAMA deveria ter elaborado até 2005 os Programas Estaduais de Gerenciamento de Resíduos Industriais e, até 2006, o Plano Nacional para Gerenciamento de Resíduos Industriais. Em Pernambuco o último inventário publicado foi em 2002-2003, elaborado pela Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, da Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente (SECTMA) (PMGIRS, 2020).

Considerando a inexistência de Inventário Distrital de Resíduos Industriais referente aos Resíduos Sólidos Industriais, e a falta de dados sistematizados nas instituições representativas do setor municipal, não há como estimar a projeção de geração de RSI para o município de Petrolina, não atender a Resolução CONAMA nº 313/2002. Como dado local, destaca-se a disponibilidade na nova área da CTR Petrolina de uma célula específica para a disposição de resíduos Classe I (perigosos), com recebimento de 1.456 toneladas desta tipologia em 2016 (PMGIRS, 2020).

Um dos grandes desafios para o município de Petrolina em relação ao cumprimento das diretrizes previstas na a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) será estimular a mudança de cultura das indústrias com condutas voltadas para responsabilidade ambiental (PMGIRS, 2020).

3.17.5 Resíduos de Saneamento

Os resíduos de serviços públicos de saneamento são gerados em atividades relacionadas ao tratamento da água, provindos de uma Estação de Tratamento de Água (ETA), ao tratamento do esgoto sanitário, provindos de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), e a manutenção dos sistemas de drenagem de águas pluviais, sendo este último retratado no subitem referente à limpeza urbana (PMGIRS, 2020).

Os resíduos de saneamento básico são decorrentes de atividades sujeitas ao Licenciamento Ambiental, conforme o que determina a Resolução CONAMA nº 237/97 (LEGISWEB, 1997). Assim, são obrigatórios os procedimentos de licenciamento ambiental junto ao órgão ambiental competente, ficando a cargo da Agência Municipal do Meio Ambiente (AMMA), no âmbito municipal. Com isso, a Lei nº 1.035/2003 estabelece sanções administrativas e assegura proteção aos Rios São Francisco, lagoas, açudes e barragens contra despejos de resíduos poluentes (PMGIRS, 2020).

Com relação ao sistema de abastecimento de água de Petrolina, segundo dados do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB, 2019), são três os sistemas produtores do distrito Sede, de responsabilidade da COMPESA, formados pela ETA Centro, ETA 3 e a ETA Vitória, com capacidade de produção somadas de 1.100 L/s. A água bruta é oriunda de duas captações superficiais no Rio São Francisco.

A ETA Centro é do tipo convencional em concreto armado. A captação de água bruta é feita na margem do Rio São Francisco, por um canal de adução do rio com gradeamentos, seguido por uma etapa de bombeamento. Essa captação alimenta tanto a ETA Centro quanto a ETA 3. Essa estação trabalha com pré-cloração e possui uma capacidade de tratamento de 600 L/s, com água tratada atendendo os requisitos da Portaria nº 518 do Ministério da Saúde. O lodo gerado no processo de tratamento é conduzido para um tanque de equalização e adensador. Sua destinação final é o aterro sanitário do município (PMSB, 2019).

A ETA 3 tem sua unidade localizada na região industrial da cidade, possuindo uma capacidade de tratamento de 100 L/s. A captação de água bruta é a mesma da ETA Centro. O lodo gerado no processo de tratamento é conduzido para leitos de secagem, e sua destinação final é o aterro sanitário do município (PMSB, 2019).

A ETA Vitória é a estação mais nova, localizada próxima da ETA 3, perto da região industrial da cidade, possuindo uma capacidade de tratamento de 400 L/s. A captação de água bruta é feita na margem do Rio São Francisco, no mesmo terreno, por um canal de adução do rio com gradeamentos, seguido por uma etapa de bombeamento. O lodo gerado no processo de tratamento é conduzido para um tanque de equalização e adensador e

posteriormente para Bolsas Geotêxtil de desidratação de lodo (*bags*). Sua destinação final é o aterro sanitário do município (PMSB, 2019).

Os distritos e povoados por serem isolados e distantes do núcleo urbano, possuem sistemas independentes de abastecimento ou são abastecidos emergencialmente por carros-pipa (PMGIRS, 2020).

Na Sede de Petrolina, existe implantado o sistema de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto, ou seja, tubulações implantadas para transportar apenas o esgoto sanitário, sendo dividida em mais de 12 bacias de esgotamento. Esse sistema possui implantado cerca de 40 elevatórias de esgoto e 9 estações de tratamento em funcionamento, sendo que algumas unidades foram desativadas pela baixa capacidade de tratamento e localização próxima a residências, como pode ser visto na Tabela 22. As estações desativadas são: ETE Manoel do Arroz, ETE Massangano, ETE Corrente e ETE Porto Fluvial (PMSB, 2019).

Tabela 22 – Estações de Tratamento de Esgoto existentes na sede de Petrolina.

ETE	Capacidade (L/s)	Tipo de tratamento	Corpo receptor
Antônio Cassimiro	30	UASB, Filtro biológico e decantador. Leitos de secagem	Riacho Mulungú
Centro	350	UASB, Filtro biológico e decantador. Leitos de secagem e centrífuga	Rio São Francisco
COHAB VI	8	UASB, Lagoa facultativa e lagoas de maturação. Leitos de secagem (cobertos)	Rio Tapuio
Dom Avelar	30	Lagoa aerada, lagoa facultativa e lagoa de maturação	Riacho Pau Preto
João de Deus	35,2	Lagoa facultativa e lagoas de maturação	Riacho Porteiras
Marcela	2,5	Lagoa facultativa e lagoas de maturação	Riacho Pau Preto
Ouro Preto	12,1	Lagoa facultativa e lagoas de maturação	Riacho Mulungú
Jd. Petrópolis	-	-	-
Recife	24,3	Lagoa facultativa e lagoas de maturação	Riacho Pau Preto

Fonte: PMSB (2019).

Através de reportagens de jornais e na internet e visitas técnicas realizadas pela equipe técnica, sabe-se que nem todo o esgoto coletado é encaminhado para as estações de tratamento. Esses são passivos ambientais e devem ser monitorados pela Prefeitura até sua completa recuperação ambiental (PMSB, 2019).

Algumas moradias próximas aos córregos e sem rede coletora possuem fossa séptica, fossa negra ou lançam o esgoto a céu aberto. Algumas dessas regiões, com maior número de pessoas, estão localizadas no lado leste e oeste do distrito Sede. Os demais distritos e localidades possuem, na maioria dos casos, sistemas individuais de tratamento pelas fossas ou lançam diretamente dos córregos e rios. Algumas dessas regiões possuem rede coletora implantada e tratamento (PMSB, 2019).

O licenciamento de áreas para a disposição dos lodos é um grande problema enfrentados pela administração pública. **O reaproveitamento agrícola demonstra ser a melhor opção de reuso do lodo, pois reduz a exploração de recursos naturais para fabricação de fertilizantes e proporciona os melhores resultados econômicos (PMGIRS, 2020).**

Portanto, ainda não existe solução única para o destino final dos lodos de ETA's e ETE's. O que se deve buscar são soluções múltiplas que suportem em conjunto e com longevidade a destinação final e os usos benéficos de lodos. **Ainda que os aterros se configurem numa alternativa de disposição final ambientalmente segura, não é razoável acreditar que eles sejam a solução única e definitiva para o problema (PMGIRS, 2020).**

As ETA's geram quantidades significativas de efluentes nas operações da lavagem de filtros, que quando não tratadas apresentam potencial de geração de impactos ambientais aos corpos hídricos receptores e também devem receber os procedimentos de controle adequados. Além disso, não foi possível identificar os processos de tratamento dos lodos gerados nas ETA's e ETE's do município de Petrolina, bem como a destinação dos mesmos, esta é uma atribuição da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) por meio de sua gerência local (PMGIRS, 2020).

3.17.6 Resíduos Agrossilvopastoris

Segundo a resolução CONAMA nº 458 de 16/07/2013 (LEGISWEB, 2013), as atividades agrossilvopastoris são as ações realizadas em conjunto ou não relativas à agricultura, à aquicultura, à pecuária, à silvicultura e **demais formas de exploração e manejo da fauna e da flora, destinadas ao uso econômico, à preservação e à conservação dos recursos naturais renováveis.**

O setor agrossilvopastoril traz como problema a geração de resíduos orgânicos, principalmente de criações de animais. **O aproveitamento destes resíduos na agricultura é previsto na Política Nacional Agrícola, instituída há vinte anos pela Lei Federal nº 8.171/1991 (PLANALTO, 1991). Conforme esta lei, o poder público deve coordenar programas de estímulo e incentivo à preservação das nascentes dos cursos d'água e do meio ambiente,**

bem como o aproveitamento de dejetos animais para conversão em fertilizantes (PMGIRS, 2020).

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2012), os resíduos agrossilvopastoris deveriam ser completamente inventariados até 2015, porém isso não aconteceu. O Plano não esclarece a quem cabe esta responsabilidade, porém está associada a elaboração do Censo Agropecuário, cuja responsabilidade é do Poder público. Diante disto, a maior deficiência é a inexistência de informações sistematizadas sobre a geração e disposição final destes resíduos em nível local, visto que representam uma parcela significativa entre todos os tipos de resíduos gerados em Petrolina (PMGIRS, 2020).

É também inexistente dados sobre a geração de resíduos perigosos na atividade, como por exemplo, a sobra de agrotóxicos impróprios para uso. Com exceção dos resíduos de embalagens vazias de agrotóxicos, não há controle da quantidade gerada das embalagens de fertilizantes, sementes tratadas com agrotóxicos e produtos veterinários, nem mesmo se sabe qual é a destinação final desses resíduos (PMGIRS, 2020).

3.18 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Este item do relatório apresenta as vazões simuladas nos exutórios para cada tempo de retorno estabelecido. Foi observado que a magnitude das vazões condiz com princípio da área das bacias, embora algumas das bacias tenham seu escoamento reduzido de forma significativa em função da existência de dispositivos que contribuem para o amortecimento das vazões.

Tabela 23 – Vazões de pico simuladas nas bacias hidrográficas.

Bacia	Vazão Máx. (m³/s)		
	TR 10	TR 25	TR 50
Bacia 01	83,94	116,35	147,45
Bacia 02	138,28	202,45	261,89
Bacia 03	51,32	68,75	84,71
Bacia 04	9,17	11,98	14,80
Bacia 05	18,55	26,56	34,19
Bacia 06	12,09	16,84	21,88
Bacia 07	29,61	40,77	51,72

Figura 98 – Vazões simuladas TR 50 anos

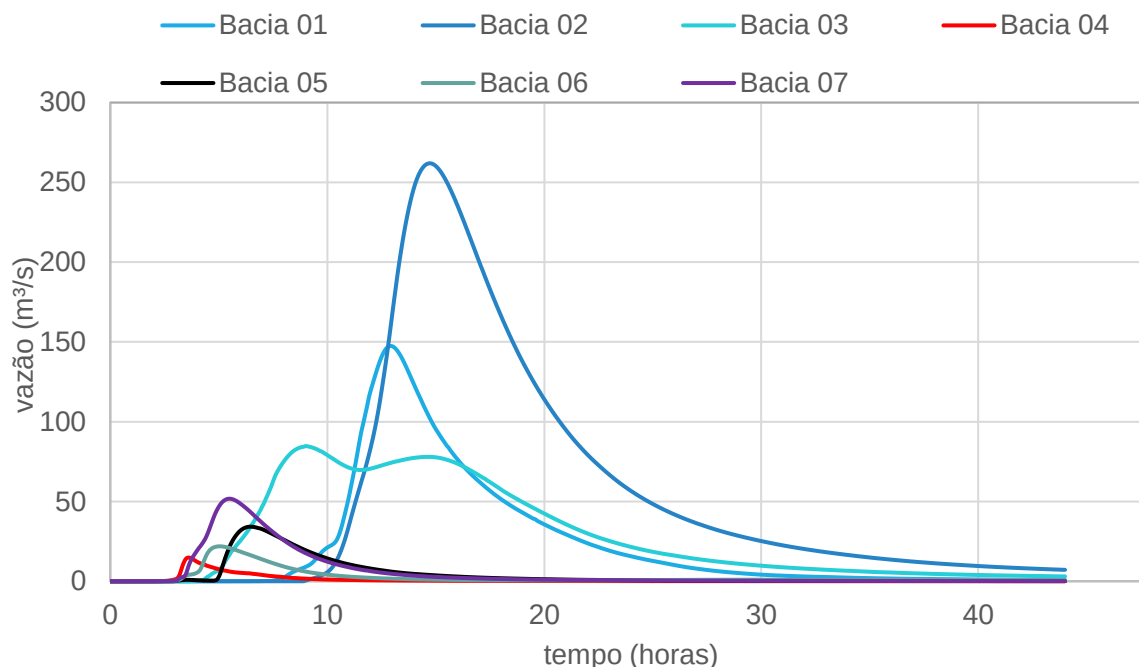


Figura 99 – Vazões simuladas na Bacia 01

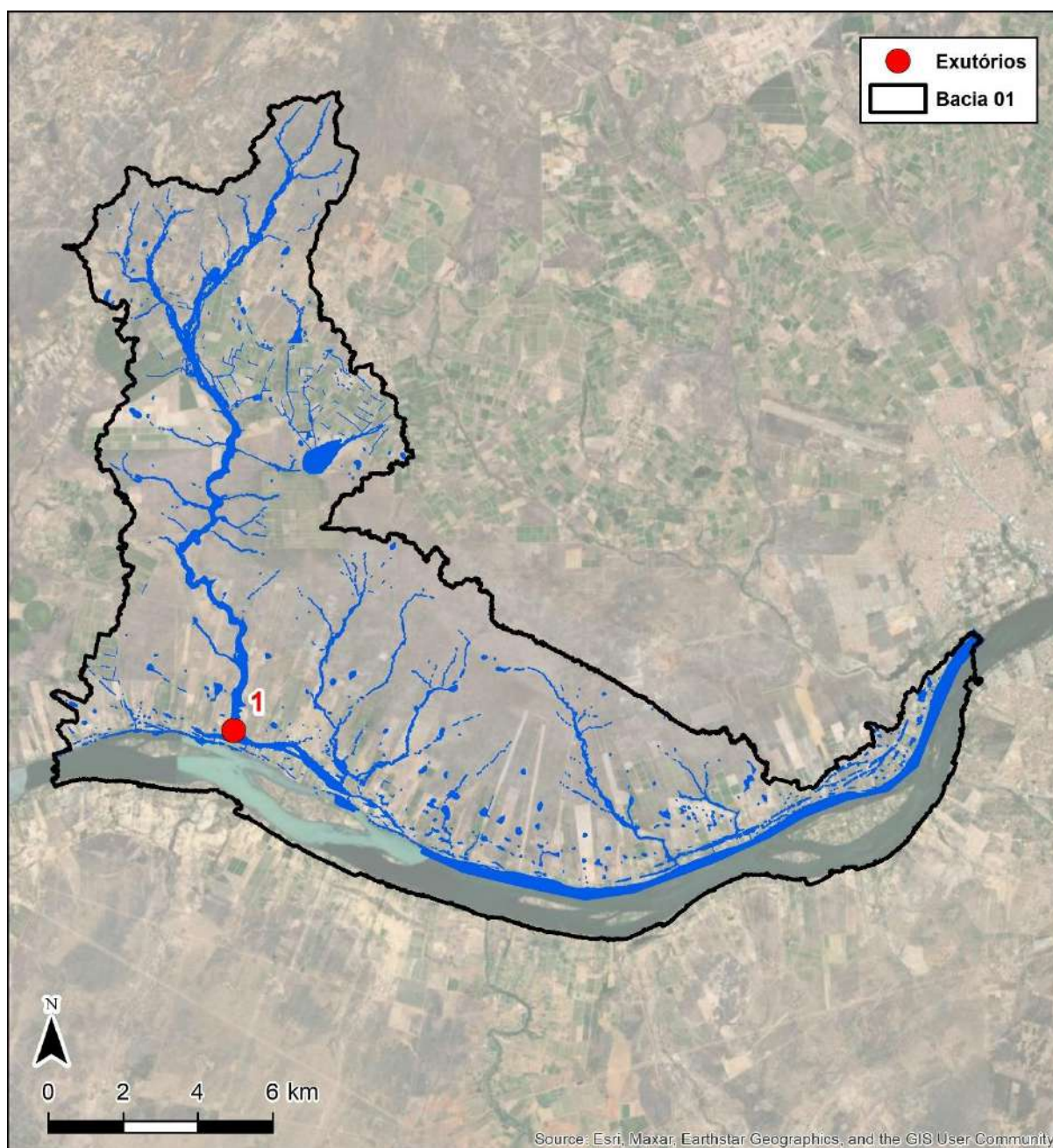
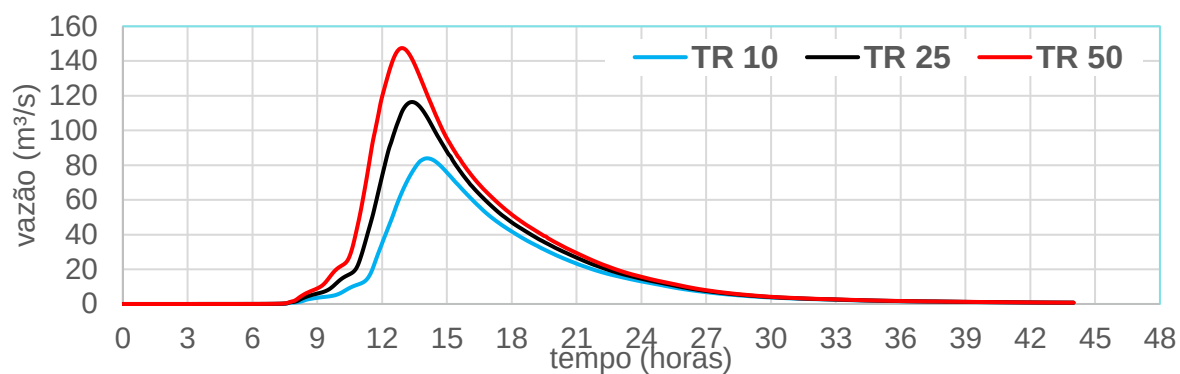


Figura 100 – Vazões simuladas na Bacia 02

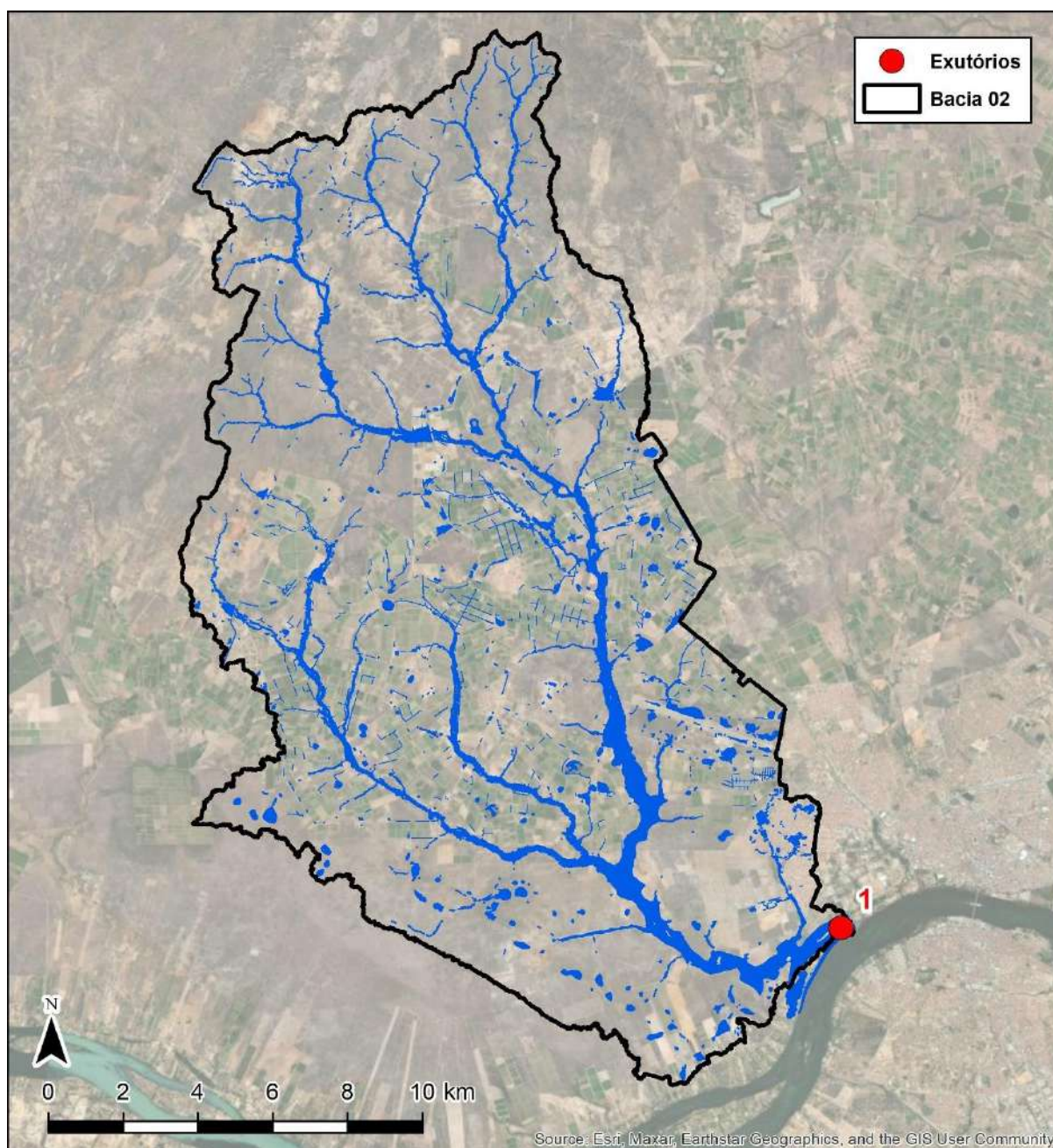
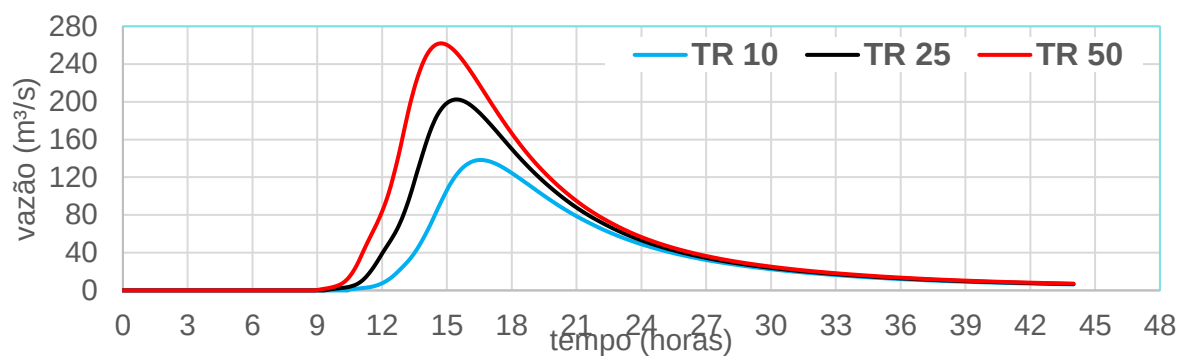


Figura 101 – Vazões simuladas na Bacia 03

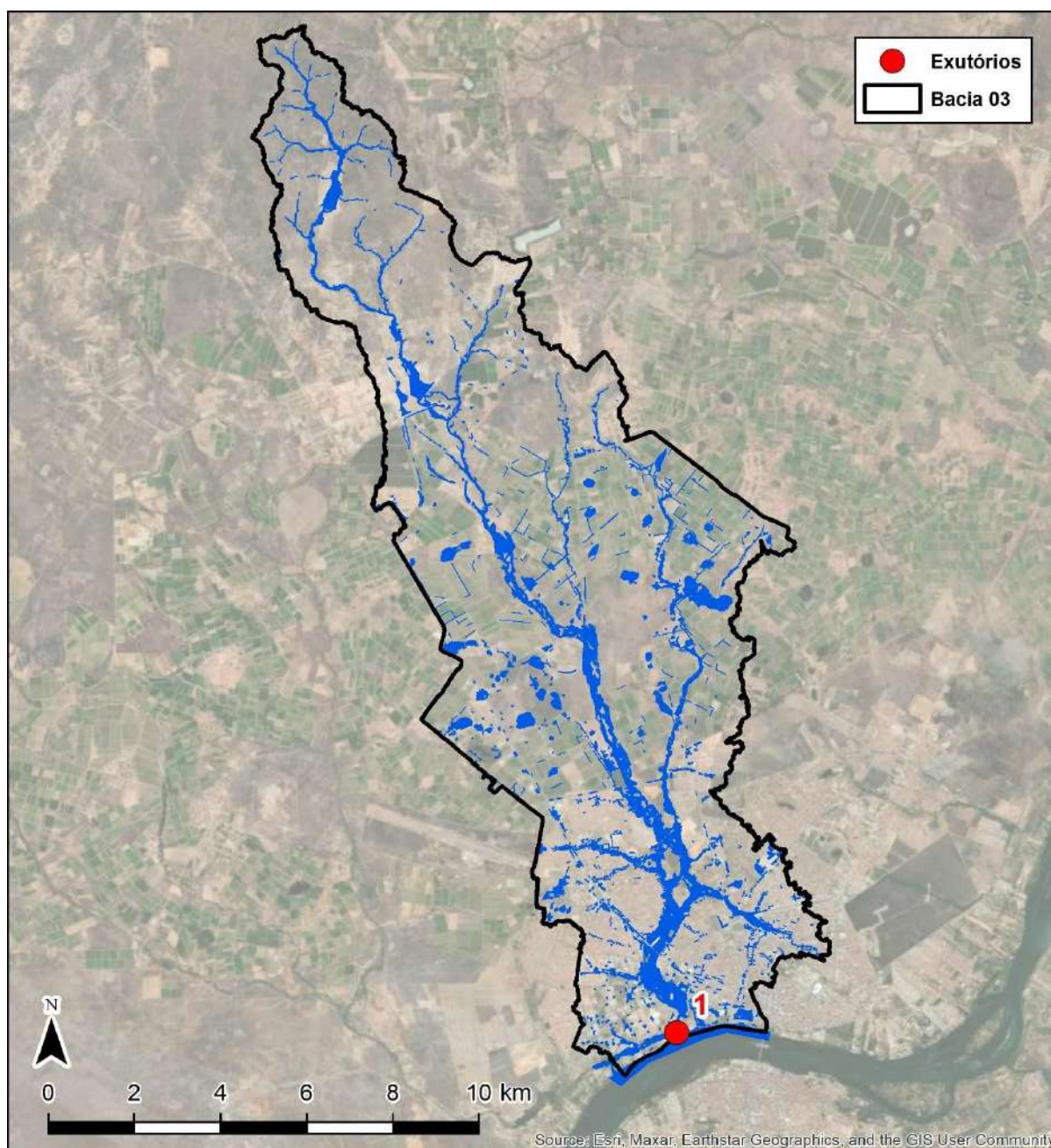
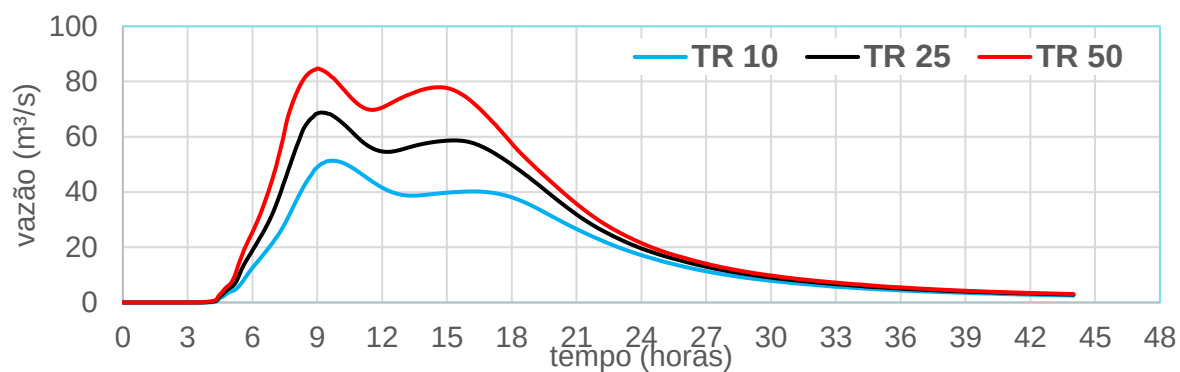


Figura 102 – Vazões simuladas na Bacia 04

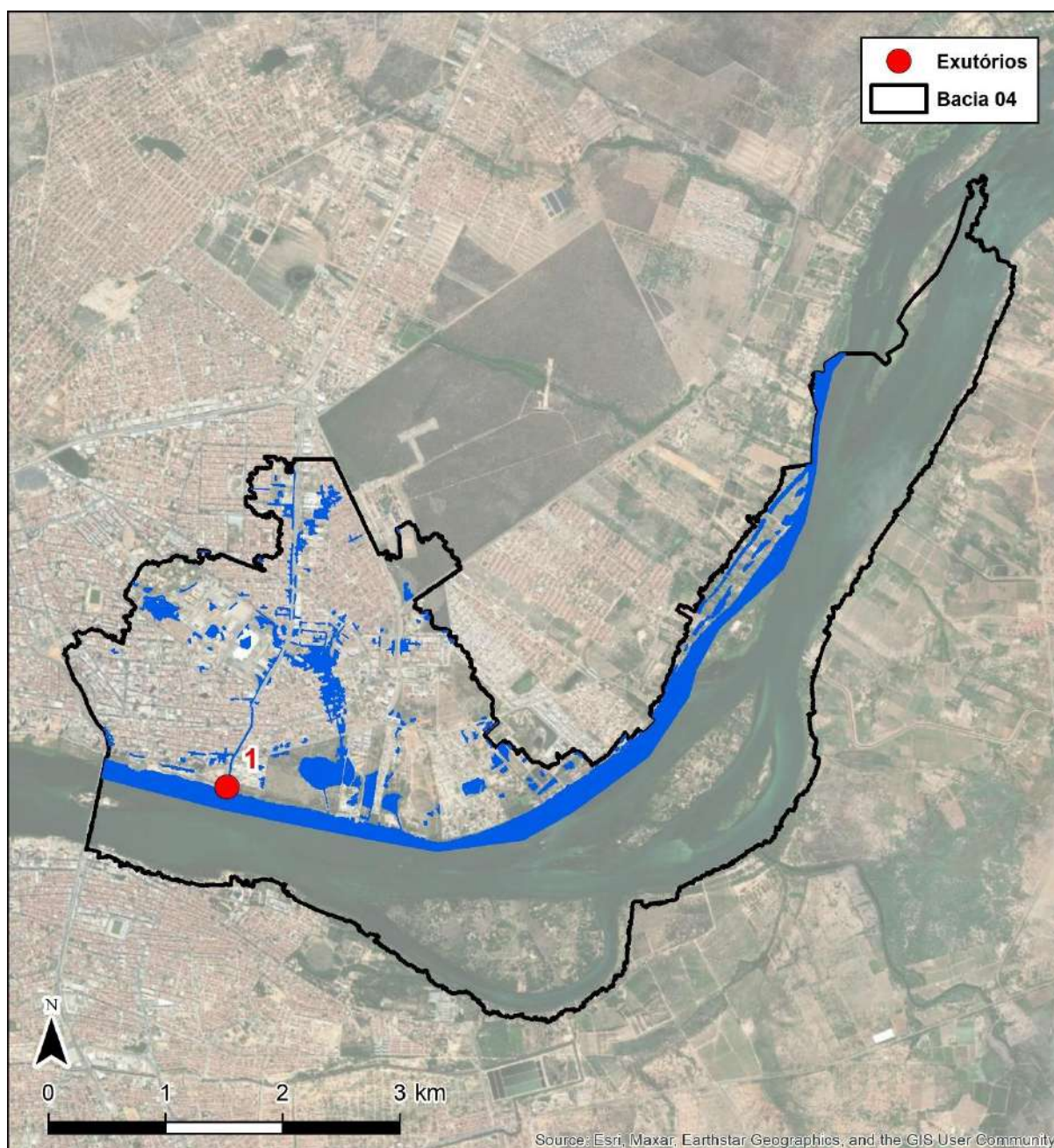
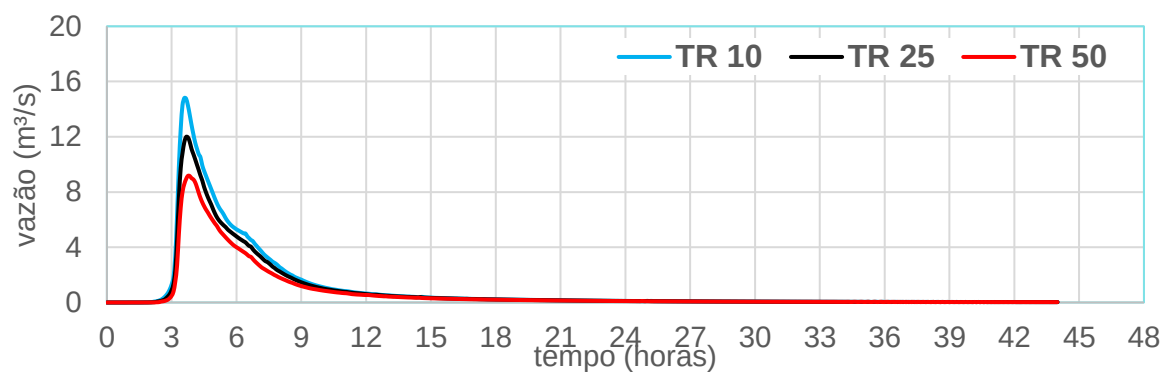


Figura 103 – Exutórios – Bacia 05

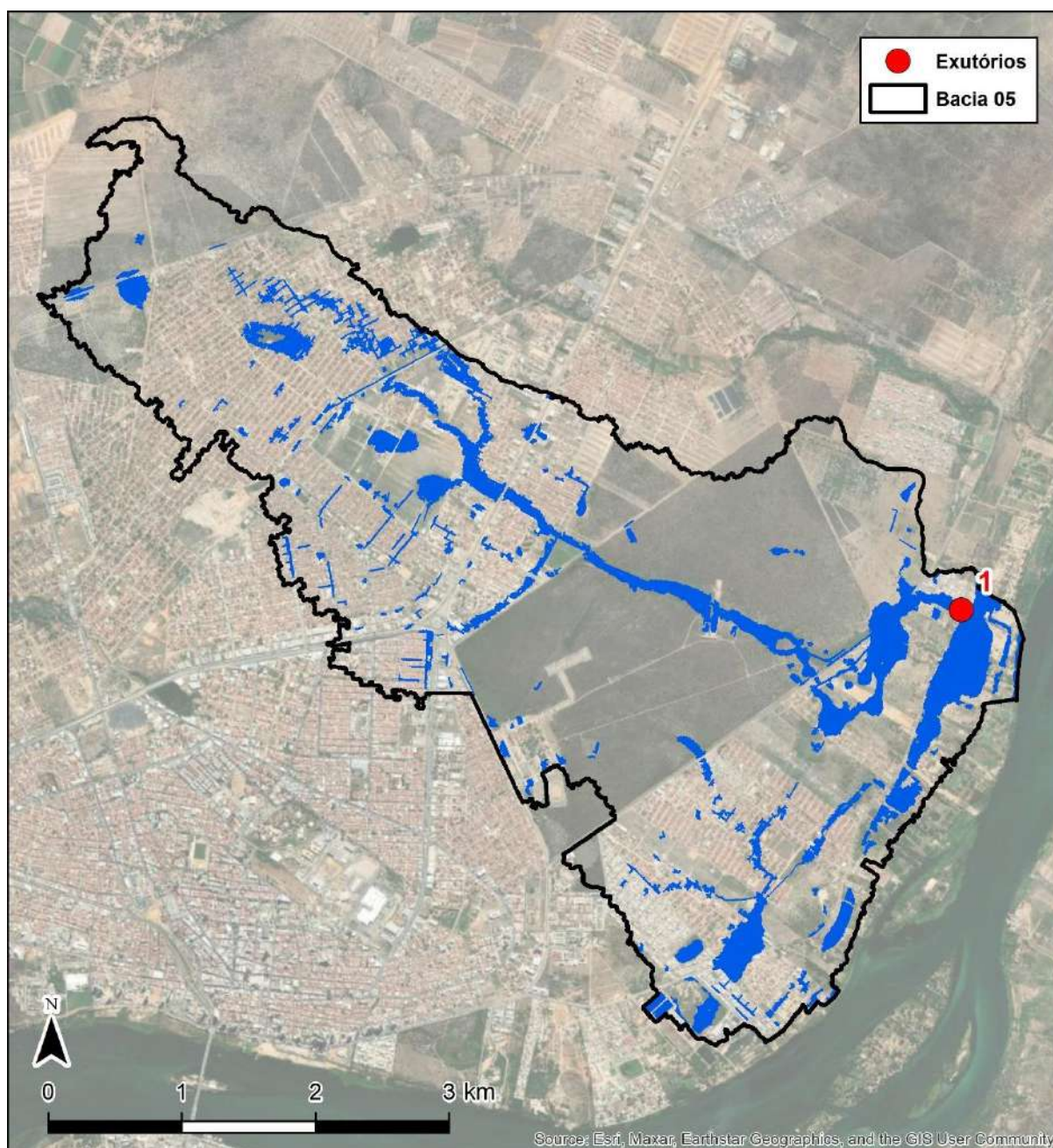
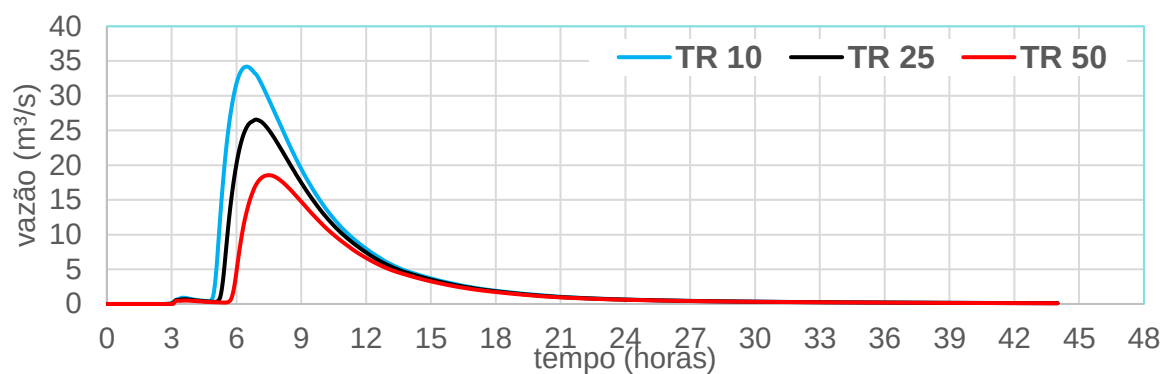


Figura 104 – Exutórios – Bacia 06

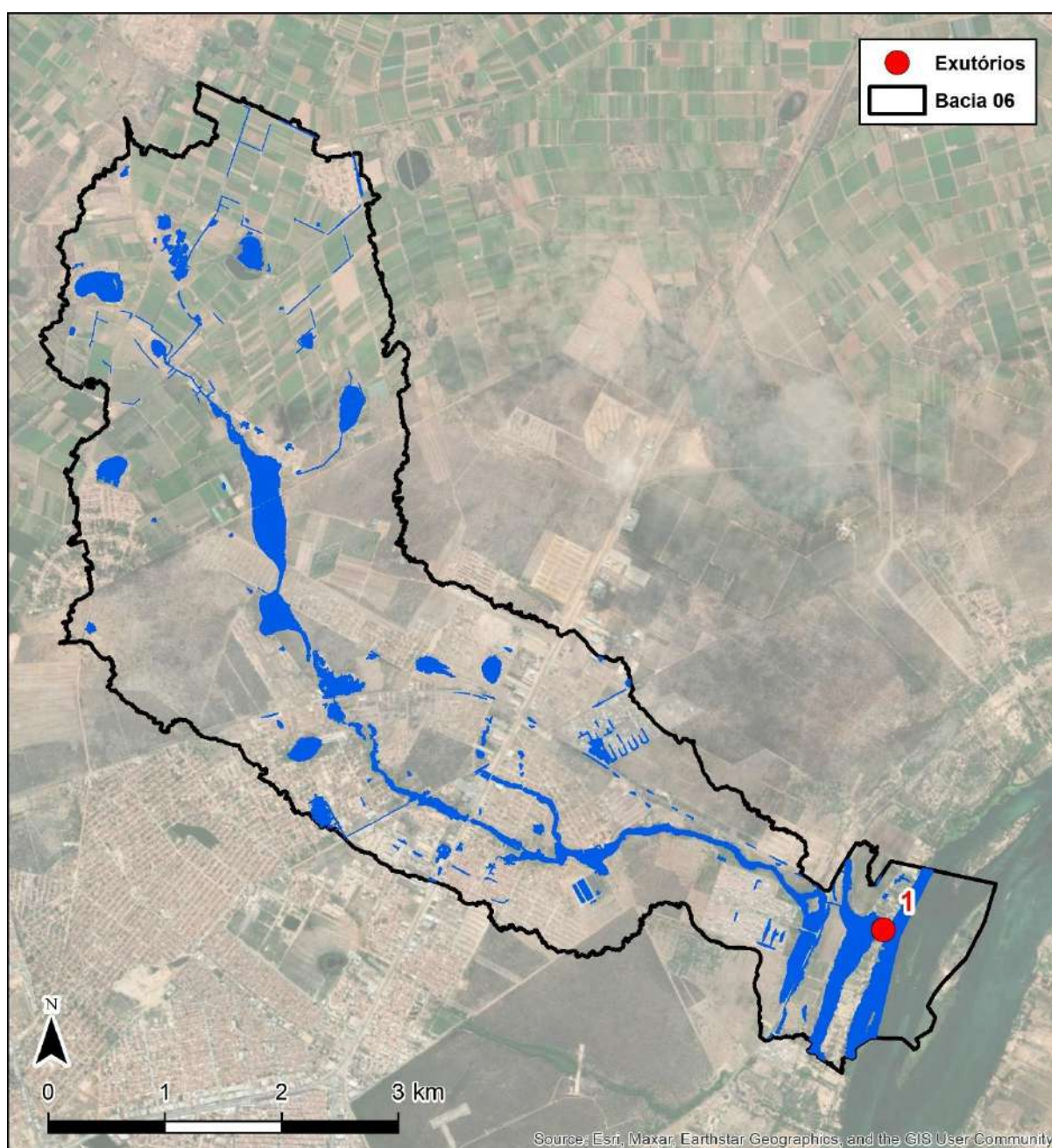
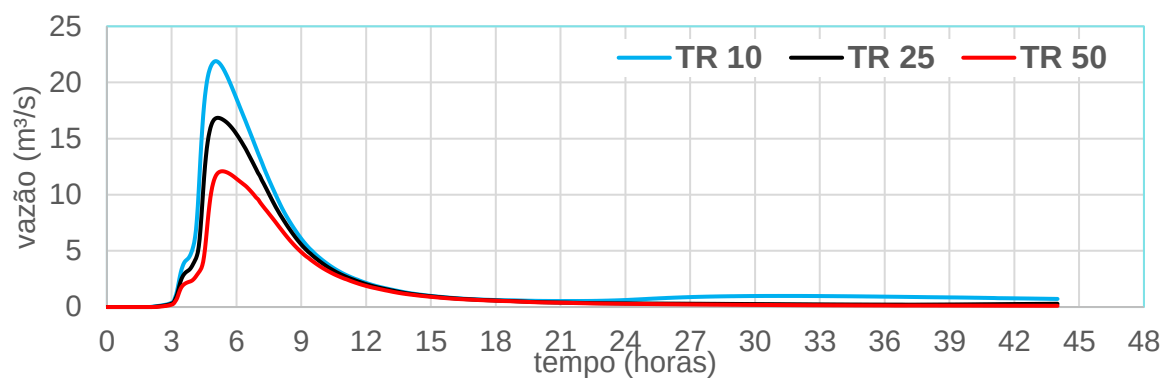
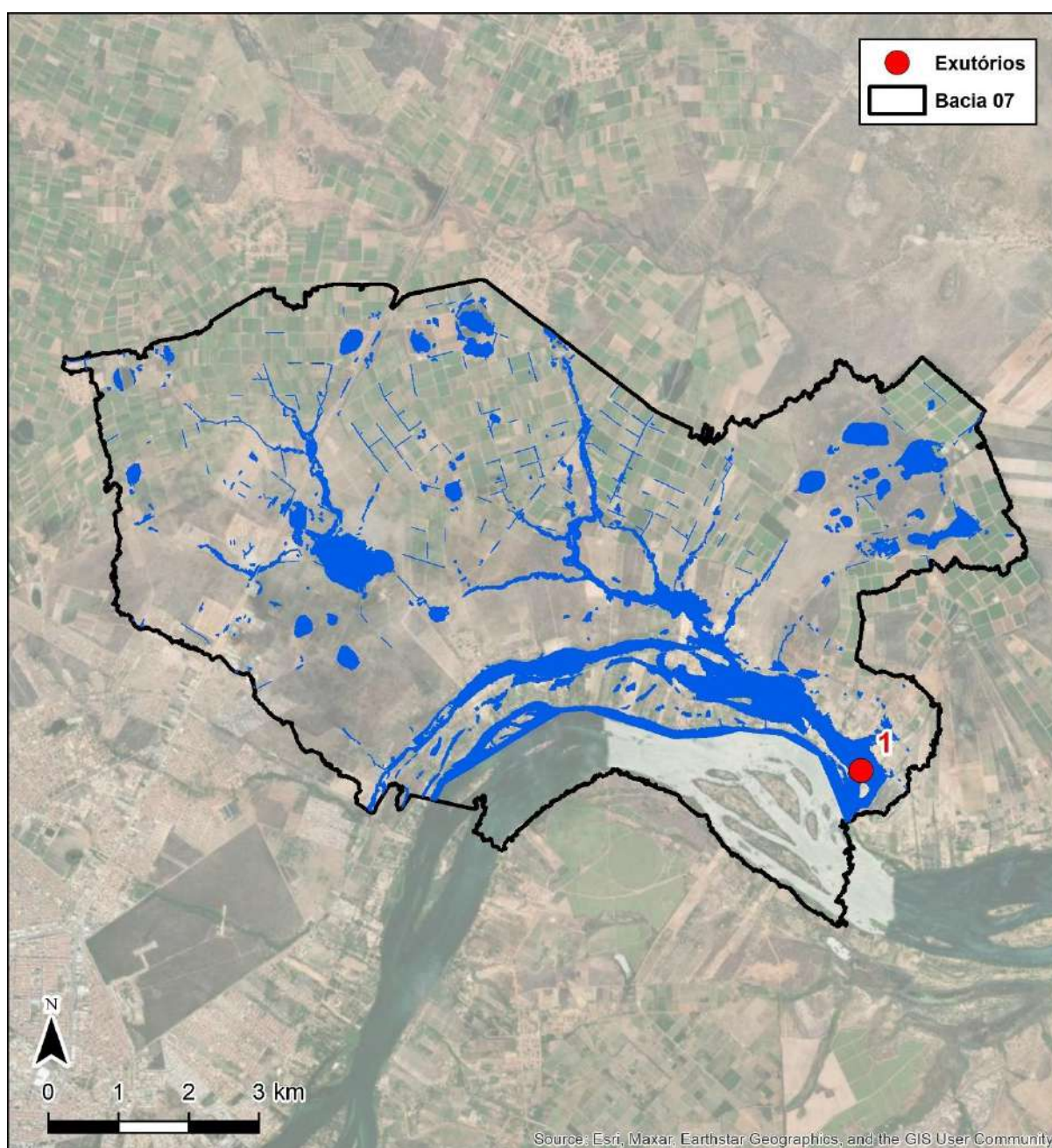
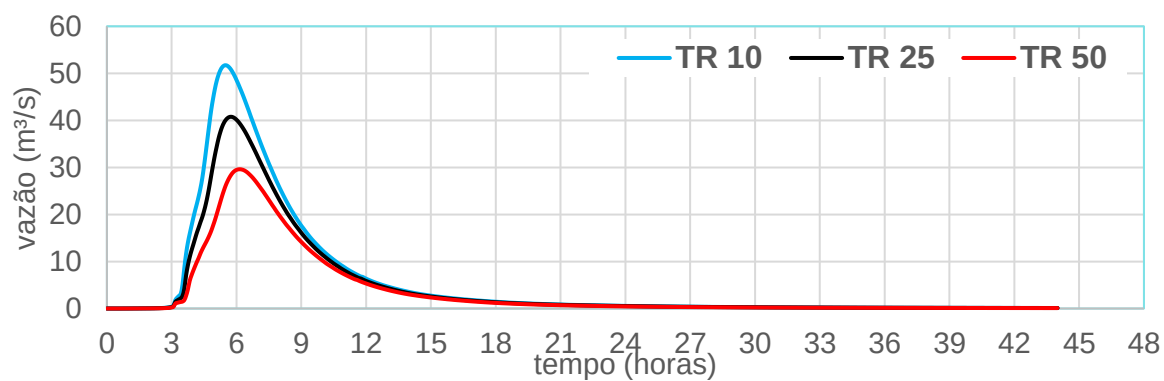


Figura 105 – Exutórios – Bacia 07



3.19 PROBLEMÁTICA DA MACRODRENAGEM EM PETROLINA

3.19.1 Problemas existentes

Um fenômeno causador de transtornos no município de Petrolina é a ocorrência de chuvas torrenciais. De acordo com as precipitações máximas diárias ocorridas em Petrolina ao longo da série histórica analisada, o município sofre com chuvas de grande intensidade e baixa duração, formadas pelo contraste das temperaturas com a superfície da Terra. Geralmente ocorrem no final do verão e são tempestades de grande intensidade, causando sérios prejuízos à cidade. Em grandes centros urbanos, principalmente em áreas periféricas de habitação, onde as infraestruturas urbanas de escoamento de água são mais precárias, é importante ficar alerta quanto a ocorrência de enchentes e inundações causadas por esse fenômeno. O sistema de drenagem atual de Petrolina, projetado para lidar com chuvas com outras características e duração e intensidade diferentes, não consegue dar conta do escoamento produzido por chuvas torrenciais, podendo resultar em enchentes urbanas.

O estudo das chuvas torrenciais e a identificação de áreas com risco potencial de prejuízos à população são imprescindíveis. Porém, historicamente, a infraestrutura de drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas não tem sido priorizados em centros urbanos do país, como é o caso de Petrolina. Como exemplo de ocorrência desse fenômeno em Petrolina, do dia 24/12/2021, véspera de Natal, para o dia 25/12/2021, dia de Natal, ocorreram precipitações intensas, provocando alagamentos e transtornos no município (Figura 106). Neste exemplo, de acordo com a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), a cidade foi a segunda do estado com o maior registro de chuva em dezembro, com 103 mm, ocasionando em média histórica para o mês de dezembro.

Figura 106. Impactos das chuvas no ano de 2004.



Fonte: Acervo SEINFRA Petrolina

As áreas afetadas durante a ocorrência de chuvas torrenciais não se localizam apenas nas proximidades dos cursos d'água. Com a expansão territorial, os problemas de alagamentos e inundações foram se intensificando e se distribuindo ao longo das linhas naturais de escoamento dos deflúvios superficiais em função da planialtimetria da cidade e do grau de impermeabilização.

Tudo isso é intensificado pela falta de manutenção das galerias de águas pluviais e da impermeabilização das ruas com concreto asfáltico. Além disso, há a contribuição da população com despejo inadequado de resíduos nos corpos hídricos. Além das mudanças climáticas aparentemente em curso, e que tem afetado o regime e a intensidade das precipitações, há um conjunto igualmente importante de elementos que ajudam a explicar esse fenômeno.

Entre os fatores, podem-se ressaltar os problemas ligados ao descontrole do processo de urbanização e as decorrentes mudanças nas condições de uso e ocupação do solo, sobretudo em áreas ambientalmente sensíveis; as ocupações em áreas de espraiamento natural das águas (as chamadas várzeas), muitas delas irregulares; alteração no traçado de cursos d'água; a canalização de cursos d'água; estrangulamento de seções de corpos hídricos; deficiência de estruturas de drenagem; o acúmulo de lixo e entulho em áreas urbanas e cursos d'água; a remoção da cobertura vegetal das margens dos rios e córregos (Figura 107). Esses exemplos têm grande importância na redução da infiltração das águas de chuva e, portanto, no aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial dessas águas, alterando o regime hidráulico e de drenagem natural (o chamado “hidrograma de cheias”).

Figura 107. Problemas de macrodrenagem identificados.

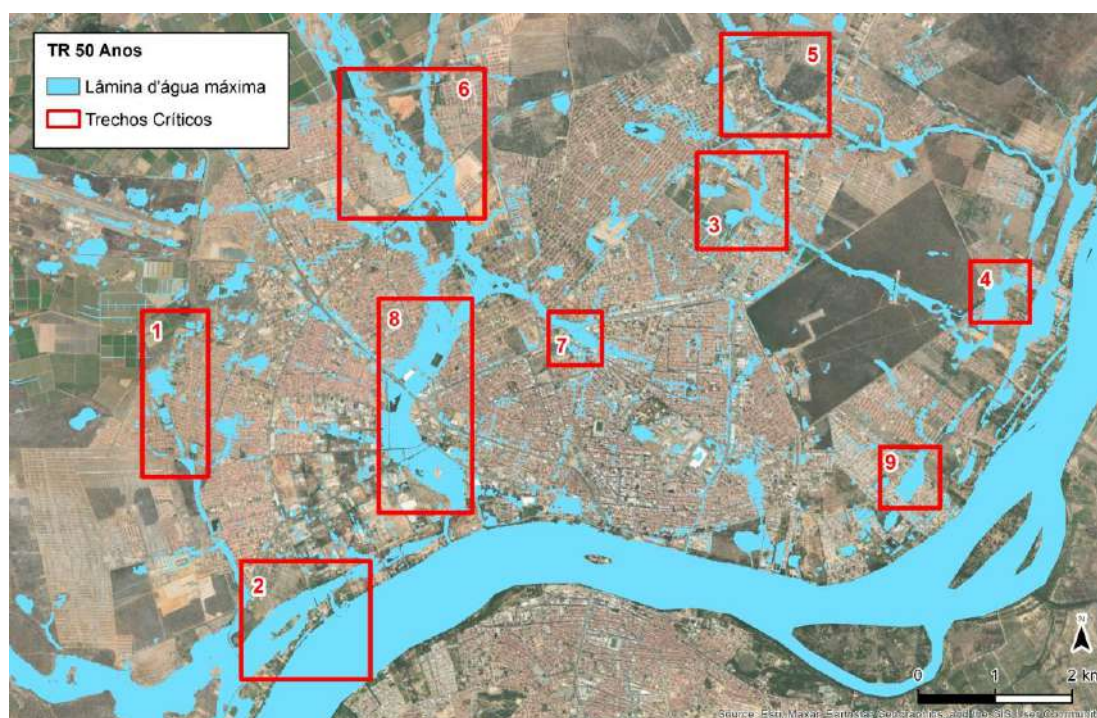


Fonte: PDCA (2022)

3.19.2 Principais trechos críticos

Os resultados das simulações realizadas indicam a presença de áreas de risco na área urbana da sede municipal de Petrolina/PE, consistindo em áreas suscetíveis à ocorrência de inundações e que já são ocupadas por residências, estabelecimentos comerciais e de serviços ou indústrias. Estes resultados foram obtidos para todos os cenários simulados, de modo que a cidade está sujeita à ocorrência de desastres hidrológicos mesmo para chuvas de projeto com tempo de retorno de 10 anos. A partir dos resultados das simulações, foram identificadas 09 áreas críticas, onde há acúmulo de água em área com dimensões representativas, com altura da lâmina d'água é superior à 0,50m, e em sua maioria já ocupadas por residências, estabelecimentos comerciais e de serviços ou indústrias, apresentando assim probabilidade de ocorrência de danos em caso de eventos extremos (Figura 108). Foi observado que a Bacia 03 concentra o maior número de áreas críticas (04 ou 50% do total), e que os demais trechos críticos se distribuem entre as bacias 02, 05 e 06. Em relação à bacia 04, não foram identificados pontos críticos na perspectiva de macrodrenagem, sobretudo por se tratar de sistemas mistos (galerias subterrâneas e trechos de canal aberto) e com vazões baixas. No entanto, recomenda-se a realização de estudos detalhados na perspectiva de microdrenagem para os pontos de estrangulamento de seção no Canal da Av. Monsenhor e no Canal Próximo ao IATE Clube.

Figura 108. Principais trechos críticos identificados.



Fonte: PDCA (2022)

Trecho crítico 1

O trecho crítico 1 localiza-se no Bairro Jardim Petrópolis, sendo considerado como um trecho de atenção tendo em vista que a região é ocupada por edificações em todo o trecho de escoamento natural da sub-bacia, e não possui sistema de microdrenagem. A simulação hidráulica deste trecho indicou que para vazões com recorrência de 25 anos deverá ocorrer alagamentos em edificações que margeiam o perímetro irrigado, principalmente nas proximidades de uma lagoa de formação natural localizada próximo às ruas Sezalina de Freitas Sá, Major João de Amorim e ruas projetadas nº 18 e 36. No trecho mais afetado foram verificadas, principalmente, edificações residenciais e comércio local. Nas áreas afetadas em menor intensidade observa-se a possibilidade de transbordamento do canal nas proximidades da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da Companhia Pernambucana de Saneamento (Compesa). Ainda que a área apresente vazões relativamente baixas, entre $3.6\text{m}^3/\text{s}$ e $6.3\text{m}^3/\text{s}$, é possível observar o escoamento atingir todas as edificações localizadas no trecho de escoamento natural, formando regiões de acúmulo de água em todos os cenários simulados, para os tempos de retorno de 10 anos, 25 anos e 50 anos. Entre as causas mais prováveis para esta ocorrência pode-se citar a ocupação de áreas que constituem a calha expandida dos cursos d'água; ocupação e assoreamento de áreas onde se forma uma lagoa natural; desmatamento de mata ciliar às margens dos cursos d'água; estruturas de microdrenagem inoperantes ou inexistentes no trecho crítico.

Figura 109 – Trecho crítico 01



Fonte: PDCA (2023).

Trecho crítico 2

O trecho crítico 2 está situado na área da orla oeste da cidade de Petrolina, às margens do Riacho da Vitória e do Rio São Francisco, abrangendo regiões ocupadas por edificações residenciais, e também, por indústrias. Ainda que seja atualmente uma área de baixa densidade residencial, o Plano Diretor Municipal considera a região como um possível vetor de expansão residencial, de modo que estes resultados apontam para a necessidade de haver uma análise cuidadosa do zoneamento de áreas de riscos na região, sobretudo em função de cheias no Rio São Francisco. Entre as causas mais prováveis para esta ocorrência pode-se citar: ocupação de áreas que constituem a calha expandida dos cursos d'água, bem como áreas sujeitas às enchentes do rio São Francisco durante o vertimento da barragem de Sobradinho; ocupação de áreas de preservação permanente; estreitamento da calha dos cursos d'água para construção de pontes e outras passagens de veículos.

Figura 110. Trecho crítico 02



Fonte: PDCA (2023).

Trecho crítico 3

O trecho crítico 3 diz respeito ao Canal do Batalhão, no Bairro Dom Avelar, onde foi observado nas simulações a existência de áreas ocupadas por edificações de forma adensada, com acúmulo de água e lâmina d'água acima de 1,0m, se configurando assim como uma área de risco na cidade. Neste aspecto foi observado que o estrangulamento de seção do canal, em seu trecho de passagem na BR-428, contribui para o acúmulo de água na região mencionada. Embora este efeito contribua de forma positiva para o amortecimento das vazões à jusante deste trecho mencionado, a região localizada à montante é afetada de forma negativa. Entre as causas mais prováveis para esta ocorrência pode-se citar: urbanização intensa da bacia hidrográfica do riacho Pau Ferro 2, com parcelamento urbano caracterizado por áreas verdes reduzidas ou ausentes; descaracterização, urbanização ou obstrução das linhas de drenagem natural; desmatamento de mata ciliar às margens dos cursos d'água; baixa capacidade de descarga no exutório do ponto crítico provocada por estrutura subdimensionada, obstruída ou inoperante; estruturas de microdrenagem inoperantes ou inexistentes; assoreamento da lagoa existente próximo à rua do Nitrato.

Figura 111. Trecho crítico 03.



Fonte: PDCA (2023).

Trecho crítico 4

O trecho crítico 4 localiza-se no trecho à jusante do Riacho Pau Ferro (também chamado de Canal do Batalhão), especificamente no ponto de confluência entre os bairros de Boa Esperança, Carneiro e Zona Militar (Batalhão). O trecho mais afetado ainda não é densamente habitado. Ainda assim verifica-se grandes áreas alagadas e a existência de edificações nestas áreas, a exemplo da chácara Millenium, Clube de Tiro, Reserva das Palmeiras, a Avenida das Pedrinhas e áreas próximas a rodovia Jatobá Carneiro. Neste trecho, observa-se que o leito natural de escoamento do riacho foi alterado no ponto de confluência com a Av. Pedrinhas, em que o riacho passa a ter seu escoamento a partir de galerias, ocorrendo assim, além da alteração do seu curso natural, o estrangulamento de seção, ocasionando acúmulo de água neste trecho. Entre as causas mais prováveis para esta ocorrência pode-se citar: inexistência, obstrução ou subdimensionamento do sistema de drenagem da Avenida das Pedrinhas junto a área militar; urbanização ou obstrução do curso d'água natural do riacho Pau Ferro 2 até seu exutório; assoreamento e formação de bancos de areia no rio São Francisco junto ao exutório do riacho Pau Ferro 2; contribuição de vazões advindas da bacia 6 em eventos de maior intensidade.

Figura 112 - Trecho crítico 04.



Fonte: PDCA (2023).

Trecho crítico 5

O trecho crítico 5 consiste na área de montante do Canal Dom Avelar, especificamente na área do Bairro Dom Avelar. Foi observado que o leito natural do canal em seu trecho à montante atualmente é ocupado por edificações, de modo que o canal não apresenta calha definida. Neste aspecto, é importante observar que as vazões no canal Dom Avelar não podem ser desconsideradas na perspectiva de macrodrenagem, com valores entre $28\text{m}^3/\text{s}$ e $46\text{m}^3/\text{s}$, sendo necessário analisar com atenção os trechos do canal que atualmente são ocupados, sobretudo no sentido de definir por zoneamento o seu leito enquanto área não edificável. Além disso, observou-se que no trecho em que o canal cruza a BR-428, há um estrangulamento de seção em sua passagem, de forma que a área à montante se configura como uma região de armazenamento do volume excedente, assim como o estrangulamento de seção atua como um dispositivo de amortecimento de cheias para as regiões à jusante do canal neste trecho. Sendo assim, é necessário destacar a importância dessa região à montante enquanto área de armazenamento do volume excedente, uma vez que já existem edificações na região. Entre as causas mais prováveis para esta ocorrência pode-se citar: ocupação de áreas que constituem a calha expandida dos cursos d'água; desmatamento de mata ciliar às margens dos cursos d'água; baixa capacidade de descarga no exutório do ponto crítico provocada por estrutura subdimensionada, obstruída ou inoperante; estruturas de microdrenagem inoperantes ou inexistentes; assoreamento de lagoas naturais; lagoas artificiais construídas para armazenamento de água utilizada para irrigação; aporte de água às lagoas artificiais e manutenção da umidade do solo nas áreas irrigadas.

Figura 113. Trecho crítico 05.

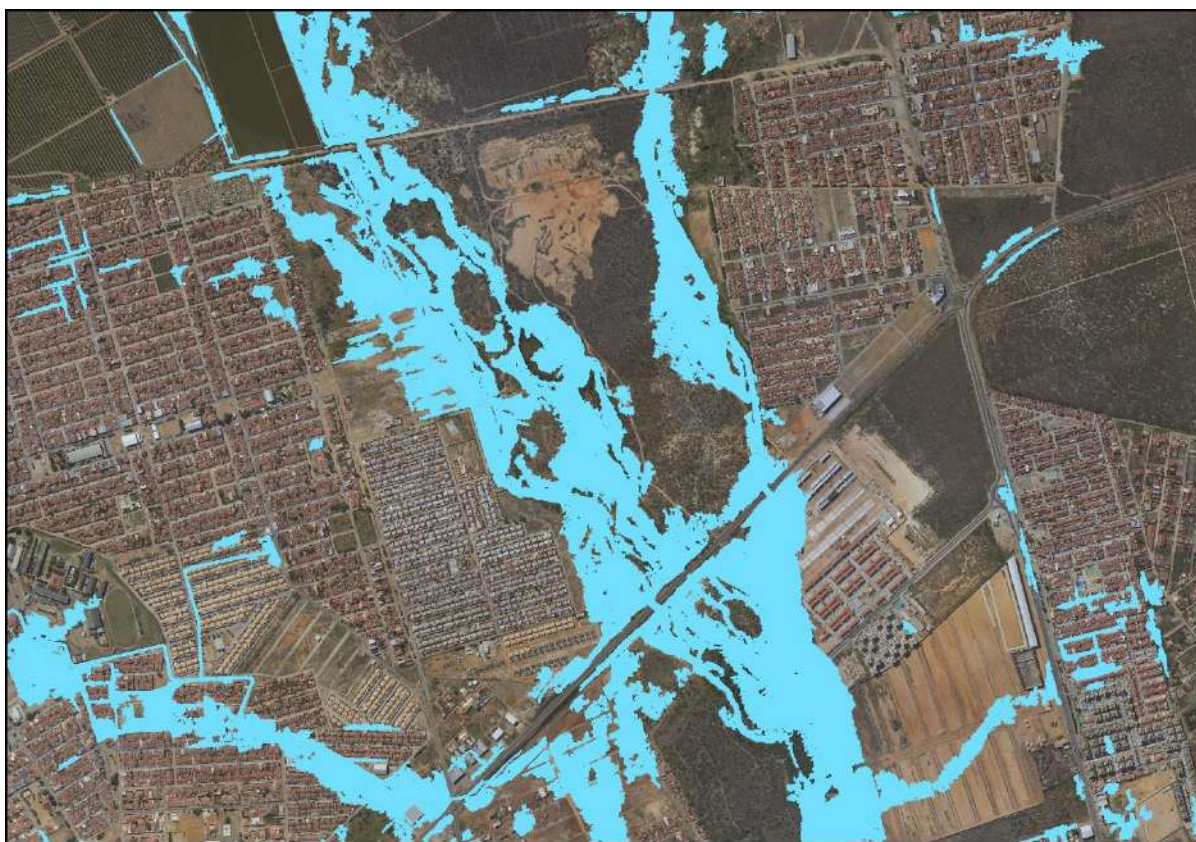


Fonte: PDCA (2023).

Trecho crítico 6

O trecho crítico 6 diz respeito ao Riacho das Porteiras, especificamente em seu trecho de montante, abrangendo os Bairros de João de Deus e Antônio Cassimiro. A região foi considerada como trecho crítico por se tratar de uma área da cidade que apresentou acúmulo de água nas simulações e em que o trecho natural do escoamento ainda não está totalmente ocupado por edificações, mas que, no entanto, percebe-se a implantação recente de loteamentos na região. Neste sentido, alerta-se para a necessidade de analisar o a utilização dessas áreas como locais de armazenamento do volume excedente do riacho. Entre as causas mais prováveis para esta ocorrência pode-se citar: urbanização intensa da bacia hidrográfica do riacho das Porteiras, com parcelamento urbano caracterizado por áreas verdes reduzidas ou ausentes; descaracterização, urbanização ou obstrução das linhas de drenagem natural; desmatamento de mata ciliar às margens dos cursos d'água; baixa capacidade de descarga na ponte sobre a BR-407 provocada por estrutura subdimensionada ou obstruída.

Figura 114. Trecho crítico 06.



Fonte: PDCA (2023).

Trecho crítico 7

O trecho crítico 7 corresponde ao escoamento proveniente do canal da Av. 07 de setembro/Rua José Pessoa / Av. João Campos, especificamente no trecho em que o canal cruza a BR-428. Verifica-se intercorrências entre as Avenidas Sete de Setembro, Anízio Moura Leal e João Barros Galvão. A simulação hidráulica deste trecho indicou que para vazões com recorrência de 25 anos deverá ocorrer o transbordamento da lagoa localizada próximo ao canal da rua José Pessoa. O trecho mais afetado refere-se às margens da lagoa onde se localizam galpões industriais, comerciais e instalações de serviços públicos. Na ocorrência de chuvas intensas foi verificada a possibilidade de alagamentos na Avenida Anízio Moura Leal. Foi observado neste trecho que a lagoa de estabilização existente também funciona como uma área de armazenamento do volume de água excedente, e assim, sendo também um dispositivo de amortecimento de cheia. No entanto, atualmente a lagoa de estabilização foi desativada e poderá vir a ser ocupada com outro uso, ou até mesmo sendo aterrada, o que poderá prejudicar o escoamento do canal em cenários extremos. No entanto, caso a lagoa encontre-se em seu volume máximo, haverá a possibilidade de efeitos de remanso e inoperância do sistema de microdrenagem ao longo da rua Manoel Félix Borges. Entre as causas mais prováveis para esta ocorrência pode-se citar: urbanização intensa da bacia hidrográfica do canal da José Pessoa, com parcelamento urbano caracterizado por áreas verdes reduzidas ou ausentes; descaracterização, urbanização ou obstrução das linhas de drenagem natural; desmatamento de mata ciliar às margens dos cursos d'água; baixa capacidade de descarga no exutório do ponto crítico provocada por estrutura subdimensionada, obstruída ou inoperante; assoreamento da lagoa existente próximo ao canal da José Pessoa.

Figura 115. Trecho crítico 07.



Fonte: PDCA (2023).

Trecho crítico 8

O trecho crítico 8 compreende o Riacho das Porteiras, especificamente nos bairros de Ouro Preto, Pedro Raimundo, Jardim Amazonas, COHAB-Massangano e Distrito Industrial. Além de vazões elevadas, entre $100\text{m}^3/\text{s}$ e $164\text{m}^3/\text{s}$, é possível observar uma área considerável com lâmina d'água superior à 1m e que abrange regiões ocupadas por edificações, sobretudo nos bairros de Pedro Raimundo, Jardim Amazonas e Ouro preto, nas proximidades do trecho em que o Riacho das Porteiras cruza a BR-407. Neste aspecto, sinaliza-se a necessidade de realizar estudos para verificar os efeitos causados pelo estrangulamento de seção do riacho, em seu ponto de passagem pela BR-407. Por sua vez, à jusante da BR-407, observa-se também áreas com acúmulo de água e lâmina d'água superior à 1,0m, embora sejam áreas não ocupadas, que cumprem a função de armazenar o volume de água excedente do Riacho. No entanto, é necessário apontar para uma melhor utilização dessas áreas enquanto possível locais para a implantação de estruturas de armazenamento, e incluindo também a sua normatização em lei de zoneamento. Por fim, é necessário salientar que o Riacho das Porteiras sofre impacto direto dos níveis do Rio São Francisco, o qual causa efeito de remanso e dificulta o escoamento do riacho. Entre as causas mais prováveis para esta ocorrência pode-se citar: urbanização intensa da bacia hidrográfica do riacho das Porteiras, com parcelamento urbano caracterizado por áreas verdes reduzidas ou ausentes; descaracterização, urbanização ou obstrução das linhas de drenagem natural; desmatamento de mata ciliar às margens dos cursos d'água; baixa capacidade de descarga na ponte sobre a BR-407 provocada por estrutura subdimensionada ou obstruída.

Figura 116. Trecho crítico 08.



Fonte: PDCA (2023).

Trecho crítico 9

O trecho crítico 9 corresponde à Lagoa do Jatobá. Nas simulações, observou-se o extravasamento da lagoa em todos os cenários simulados, de modo que devem ser pensadas soluções para ampliar a capacidade de armazenamento da lagoa, ou a implementação de estruturas complementares, de modo a amortecer as cheias no local. No trecho mais afetado foram verificadas edificações e conjuntos residenciais, e estabelecimentos comerciais, como de bares, padarias e dos residenciais Petrolina, Jatobá e Sumerville. Nas áreas afetadas em menor intensidade encontra-se o Condomínio Sol Nascente.

Figura 117. Trecho crítico 09.



Fonte: PDCA (2023).

3.19.3 Outros pontos críticos

Em linhas gerais, observa-se que as áreas descritas nesse capítulo foram consideradas em sua maioria de risco baixo. No entanto, destaca-se que isso se deve as características planas da área urbana, o que faz com que não haja riscos de deslizamentos, o que potencializaria o risco de óbitos. Por outro lado, os eventos adversos que a população dessas áreas está exposta podem causar danos materiais. Entre os problemas encontrados, destaca-se a ocupação irregular de margens de cursos d'água e de lagoas, o que expõe os moradores aos eventos hidrometeorológicos (COMPDEC, 2019).

O presente capítulo é de caráter informativo em si, e não esgota a análise das áreas de risco aqui consideradas, sendo necessária a revisão constante destas áreas e de outras não indicadas, que podem ter seu grau de risco modificado a depender das ações tomadas pela municipalidade.

Rua Quinze: A Rua Quinze está inserida na Bacia 02, bairro COHAB São Francisco, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,25 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via é pavimentada, com meio-fio e linha d'água danificados e obstruídos em alguns pontos; Há coleta de águas pluviais, com dispositivos implantados com problemas de obstrução, e possível ligação com sistema de esgotamento sanitário; Via é um talvegue artificial, recebendo contribuição de vias transversais; O Riacho da Vitória cruza a via, sendo possível causa das inundações no local em períodos chuvosos.

Ruas Coco Verde, José Rodrigues e João Meireles: As Ruas Coco Verde, José Rodrigues e João Meireles estão inseridas na Bacia 02, bairro COHAB São Francisco, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificadas como ruas sujeitas a alagamentos. Os trechos críticos das vias possuem extensão de cerca de 0,13 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: As vias são pavimentadas, com meio-fio e linha d'água danificados e obstruídos em alguns pontos, sem sistema de drenagem profunda; Há ponto baixo nas interseções das vias com a Rua do Morango, com linha d'água da via obstruída por sedimentos e vegetação, além de não haver coleta de águas pluviais neste ponto; Há outro ponto baixo no outro extremo das vias em questão, em área de solo exposto, próximo ao Riacho da Vitória.

Rua do Sapotí (Rio Claro): A Rua do Sapotí está inserida na Bacia 02, bairro São Gonçalo, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O

trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,10 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via pavimentada não possui sistema de drenagem profunda implantado, com incidência de vegetação, sedimentos e resíduos sólidos na linha d'água; O pavimento encontra-se danificado em pontos; Via é um talvegue artificial, recebendo contribuição das vias transversais; Há ponto baixo na via em trecho não pavimentado, sem coleta de águas pluviais.

Ruas 03 (Rua José Corrêa Moxotó) e 04 (Rua Paulina Alves Cardoso): As Ruas 03 (Rua José Corrêa Moxotó) e 04 (Rua Paulina Alves Cardoso) estão inseridas na Bacia 02, bairro São Gonçalo, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificadas como ruas sujeitas a alagamento. Os trechos críticos das vias possuem extensão de cerca de 0,10 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: As vias não pavimentadas não possuem sistema de drenagem implantado, além de haver incidência de vegetação e sedimentos nas soleiras irregulares das construções; Há ocorrência de recalques, criando pontos baixos na via; Não há coleta de águas pluviais nos pontos baixos das vias, que ocorrem nas suas interseções com a Rua do Sapotí e com a Av. 03.

Rua do Araçá: A Rua do Araçá está inserida na Bacia 02, bairro COHAB São Francisco, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,10 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via não pavimentada não possui sistema de drenagem implantado, além de haver incidência de vegetação e sedimentos nas soleiras irregulares das construções; Há ocorrência de recalques, criando pontos baixos com acúmulo de água na via; Em um de seus extremos, a via tem seu greide direcionado à Av. Tapuio, talvegue artificial; No outro extremo, há interseção com a Av. 03, um ponto alto desta avenida, podendo contribuir para a Rua do Araçá, agravando os problemas de alagamento.

Av. Prof. Simão Amorim Durando: A Av. Prof. Simão Amorim Durando está inserida na Bacia 02, bairro São Gonçalo, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,40 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via é pavimentada com sistema de drenagem implantado, com incidência de sedimentos e vegetação na linha d'água, além de obstrução por rampas das residências; Dispositivos de drenagem implantados com problemas de obstrução; Via é um talvegue artificial, recebendo contribuição das vias transversais; Não há coleta de águas pluviais na área onde ocorrem os alagamentos, no meio da via.

Av. Alto Grande: A Av. Alto Grande está inserida na Bacia 02, bairro São Gonçalo, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,17 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via é pavimentada com sistema de drenagem implantado, com incidência de sedimentos, vegetação e resíduos sólidos na linha d'água; Dispositivos de drenagem implantados com problemas de obstrução; Via é um talvegue artificial, recebendo contribuição das vias transversais; Não há coleta de águas pluviais na área onde ocorrem os alagamentos, no trecho anterior a um dos pontos baixos da via.

Rua Fernando Reis: A Rua Fernando Reis está inserida na Bacia 03, bairro Atrás da Banca, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de cerca de 0,1 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: Sistema de drenagem da via é insuficiente para a demanda da microbacia local, acarretando no alagamento em ponto baixo da via; Obstrução da linha d'água em alguns pontos; Dispositivos de drenagem com incidência de resíduos.

Av. Clementino Coelho: A Av. Clementino Coelho está inserida na Bacia 03, bairro Atrás da Banca, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de cerca de 0,1 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: Ponto baixo sem coleta de águas pluviais no cruzamento da via com a Rua dos Industriários; Linha d'água subdimensionada e com obstrução por sedimentos em alguns pontos; Caixa coletora com grelha na Rua dos Industriários encontra-se danificada; Dispositivos de drenagem com incidência de resíduos.

Av. Clementino Coelho (trecho 2): O trecho 2 da Av. Clementino Coelho está inserido na Bacia 03, bairro Atrás da Banca, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como área sujeita a alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de cerca de 0,5 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: Ponto baixo sem coleta de águas pluviais na rotatória que interliga a via com a Av. da Integração; Linha d'água com obstrução por sedimentos em alguns pontos; Aberturas nas guias na avenida encontram-se parcialmente obstruídas por sedimentos; Avenida recebe contribuição da Av. da Integração, por onde passa trecho do Canal da Av. Honorato Viana, com sistema de drenagem superficial não atendendo a demanda de vazão da microbacia do local.

Viaduto dos Barranqueiros: A rotatória do Viaduto dos Barranqueiros está inserida na Bacia 03, bairro Atrás da Banca, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de cerca de 0,12 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: Ponto baixo com coleta de águas pluviais por boca-de-lobo a frente de Habib's; Sistema de drenagem insuficiente para atender a demanda da microbacia; Dispositivos de drenagem com incidência de resíduos.

Ponte Presidente Dutra: O trecho visitado da Av. Cardoso de Sá, que passa abaixo da Ponte Presidente Dutra, está inserido na Bacia 03, bairro Atrás da Banca, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificado como área sujeita a alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de cerca de 0,10 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: Ponto baixo com coleta de águas pluviais por bocas-de-lobo e caixas coletoras com grelha, insuficiente para atender a demanda da microbacia local; Dispositivos de drenagem com incidência de resíduos.

Rua Manoel Félix Borges – Rua José Pessoa: As Ruas Manoel Félix Borges e José Pessoa estão inseridas na Bacia 03, bairro Dom Malan, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificadas como ruas sujeitas a alagamento. O trecho crítico da via está ao longo de sua extensão, por onde passa o Canal da Rua José Pessoa. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via é um talvegue, com canal não atendendo a demanda da microbacia local; Linha d'água da via obstruída por vegetação, sedimentos e resíduos sólidos; Canal da Rua José Pessoa com sinais de desgastes, e poluído por despejo de esgoto, resíduos sólidos, sedimentos e vegetação.

Rua João B. Galvão: A Rua João B. Galvão está inserida na Bacia 03, bairro Dom Malan, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,11 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via não pavimentada não possui sistema de drenagem implantado, além de haver incidência de vegetação e despejo de resíduos sólidos no local; Há ocorrência de recalques, criando pontos baixos ao longo da via; O ponto mais baixo da via localiza-se no cruzamento desta com a rua por onde segue o Canal da Rua João Pessoa, contribuindo para o problema de alagamento do canal.

Rua Tabelião João Gomes: A Rua Tabelião João Gomes está inserida na Bacia 03, bairro José e Maria, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. Os trechos críticos da via possuem extensão de cerca de 0,60 km e 0,40 km,

respectivamente. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via não pavimentada não possui sistema de drenagem implantado, além de haver incidência de vegetação e despejo de resíduos sólidos no local; Há ocorrência de recalques, devido ao alto tráfego de veículos pesados, criando pontos baixos ao longo da via; Os pontos mais baixos da via localizam-se na Rua São Miguel, em direção à Av. 7 de Setembro, e na Rua Tabelião João Gomes, em direção a uma via que converge também para a Av. 7 de Setembro.

Rua Rio Doce: A Rua Rio Doce está inserida na Bacia 03, bairro José e Maria, zona urbana do município de Pétrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,15 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via não pavimentada não possui sistema de drenagem implantado, além de haver incidência de vegetação e despejo de resíduos sólidos no local; Há ocorrência de recalques, criando pontos baixos ao longo da via; Os pontos mais baixos da via localizam-se em suas extremidades, em direção à Av. 7 de Setembro.

Rua Srg. José N. de Amorim (Av. Zé Macaúba): A Rua Srg. José N. de Amorim está inserida na Bacia 03, bairro José e Maria, zona urbana do município de Pétrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,30 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via pavimentada não possui sistema de drenagem profunda implantado, além de haver incidência de sedimentos e despejo de esgoto na linha d'água implantada no local; O pavimento encontra-se danificado em pontos, criando locais suscetíveis a acúmulo de água na via; Via é um talvegue artificial, recebendo contribuição das vias transversais; Pode contribuir para as ruas transversais não pavimentadas, por não haver concordância entre seus greides.

Rua Nossa Senhora Aparecida: A Rua Nossa Senhora Aparecida está inserida na Bacia 03, bairro Antônio Cassimiro, zona urbana do município de Pétrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,25 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via pavimentada não possui sistema de drenagem implantado, com incidência de sedimentos e despejo de esgoto no caminho do escoamento da água; O pavimento encontra-se danificado em pontos; Via é um talvegue artificial, recebendo contribuição das vias transversais; A água escoar da via para o Riacho das Porteiras por meio de vala escavada inadequadamente.

Av. Mar da Tasmânia: A Av. Mar da Tasmânia está inserida na Bacia 03, bairro Antônio Cassimiro, zona urbana do município de Pétrolina, sendo classificada como rua sujeita a

alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,13 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via é pavimentada e com sistema de drenagem implantado, com incidência de sedimentos e vegetação na linha d'água; Dispositivos de drenagem implantados com problemas de obstrução; Via é um talvegue artificial, recebendo contribuição das vias transversais; O sistema de drenagem implantado não deve atender à demanda de vazão da área.

Av. Oceânica: A Av. Oceânica está inserida na Bacia 03, bairro Antônio Cassimiro, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,10 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via não é pavimentada, sem meio-fio e linha d'água implantados, com incidência de sedimentos, resíduos sólidos e vegetação no bordo da via; Não há coleta de águas pluviais na via; Há pontos de recalque na via; Via é um talvegue artificial, recebendo contribuição das vias transversais, e não deve atender à demanda de vazão da microbacia local; Vala escavada inadequadamente para escoamento de águas pluviais, mas encontra-se poluída.

Cond. Vila Verde: O Cond. Vila Verde está inserido na Bacia 03, bairro Antônio Cassimiro, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificado como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,45 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: As vias transversais ao muro do condomínio não são pavimentadas, sem meio-fio e linha d'água implantados, com incidência de sedimentos, resíduos sólidos e vegetação no local; Não há coleta de águas pluviais nos pontos baixos; Há pontos de recalque nas vias transversais; A via do condomínio paralela ao muro, que se encontra danificado, é um talvegue artificial, recebendo contribuição das vias transversais, e não deve atender à demanda de vazão da microbacia local; Valas escavadas inadequadamente para escoamento de águas pluviais, mas encontram-se poluídas.

Marginal da Av. Honorato Viana: A Marginal da Av. Honorato Viana está inserida na Bacia 03, bairro Palhinhas, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,20 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via não pavimentada não possui sistema de drenagem implantado, além de haver incidência de vegetação e despejo de resíduos sólidos no passeio; Há ocorrência de recalques, criando pontos baixos ao longo da via; Há canal na via, que se configura como um talvegue, recebendo a contribuição de vazão

da microbacia local, não atendendo a demanda; Canal se encontra poluído e obstruído, e não possui destinação final adequada.

Rua Presidente João Goulart: A Rua Presidente João Goulart está inserida na Bacia 03, bairro Palhinhas, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,15 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via não é pavimentada, sem meio-fio e linha d'água implantados, com incidência de sedimentos, resíduos sólidos e vegetação no bordo da via; Não há coleta de águas pluviais na via; Há pontos de recalque na via, criando pontos de acúmulo de água; A via recebe contribuição das vias transversais, e passa por ela um canal vindo da Av. Honorato Viana, que, além de poluído, não deve atender à demanda de vazão da microbacia local;

Via local da av. 7 de setembro: A Via Local da Av. 7 de Setembro está inserida na Bacia 03, bairro Jardim Amazonas, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,15 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via não é pavimentada, sem meio-fio e linha d'água implantados, com incidência de sedimentos, resíduos sólidos e vegetação no bordo da via; Há pontos de recalque na via, criando pontos de acúmulo de água; A via recebe contribuição da Av. 7 de Setembro, e tem seu greide convergindo para o Riacho das Porteiras. Por não atender à demanda de vazão da sub-bacia, devem ocorrer inundações na área, que inclui a Via Local da Av. 7 de Setembro.

Av. dos Tropeiros: A Av. dos Tropeiros está inserida na Bacia 03, bairro Ouro Preto, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,15 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via é pavimentada, sem sistema de drenagem implantado, com incidência de sedimentos na linha d'água; Via é um talvegue artificial, recebendo contribuição das vias transversais; A via recebe contribuição das vias transversais, e tem o escoamento das águas pluviais da via para o Riacho das Porteiras, que é o talvegue da sub-bacia. Por não atender à demanda de vazão, devem ocorrer inundações na área, incluindo a Av. dos Tropeiros.

Rua 40 (Rua João Rodrigues de Macedo): A Rua 40 está inserida na Bacia 03, bairro Jardim Amazonas, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,10 km. As principais causas

identificadas dos alagamentos foram: A via pavimentada não possui sistema de drenagem profunda implantado, além de haver incidência de sedimentos e resíduos na linha d'água implantada no local; O pavimento encontra-se danificado em pontos, criando locais suscetíveis a acúmulo de água na via; Via funciona como um talvegue artificial, podendo receber parte da contribuição das vias transversais; Sem sistema de coleta de águas pluviais na via, devem ocorrer alagamentos na via.

Rua 28 (Vale do Grande Rio): A Rua 28 (Vale do Grande Rio) está inserida na Bacia 03, bairro Pedro Raimundo, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificadas como ruas sujeitas a alagamento. O trecho crítico da via está ao longo de sua extensão, por onde passa o Canal do Pedro Raimundo. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via é um talvegue, com canal não atendendo a demanda da microbacia local; Sistema de drenagem na via, composto pela linha d'água e bocas-de-lobo, encontra-se obstruído por vegetação, sedimentos e resíduos sólidos; Canal do Pedro Raimundo está com sinais de desgastes, e poluído por despejo de esgoto, resíduos sólidos, sedimentos e vegetação.

Ruas 09 e 10: As Ruas 09 e 10 estão inseridas na Bacia 03, bairro Pedro Raimundo, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificadas como ruas sujeitas a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,20 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A Rua 09, via não pavimentada, não tem sistema de drenagem, e há despejo de resíduos sólidos e de construção no local, além de incidência de vegetação; A Rua 10, via pavimentada em paralelepípedo, não tem sistema de drenagem profunda, com sedimentos e vegetação na linha d'água; A área próxima as vias é plana, com pontos recalçados e despejo de resíduos e vegetação, inundando seus pontos baixos em dias chuvosos, devido à cheia no riacho; As ruas próximas a esta área convergem em direção ao canal, com um ponto baixo na interseção da Rua 10 com a Rua 08.

Área Pedro Raimundo: A Área do Pedro Raimundo está inserida na Bacia 03, bairro Pedro Raimundo, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificadas como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,15 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A área não é pavimentada, sem sistema de drenagem, e com ocupações irregulares; A área é plana, com pontos recalçados, incidência de vegetação e despejo de resíduos sólidos e de construção; Trecho do Riacho das Porteiras próximo à esta área, inundando-a em dias chuvosos.

Rua Dezoito: A Rua Dezoito está inserida na Bacia 03, bairro João de Deus, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,15 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via, com trechos pavimentados e não pavimentados, não possui sistema de drenagem profunda implantado nos pontos baixos; Há incidência de sedimentos e vegetação na linha d'água implantada nos trechos pavimentados da via; O pavimento da via encontra-se danificado em pontos, criando locais suscetíveis a acúmulo de água; Via deve receber contribuição de via transversal, em área que estava sendo executada terraplenagem; Trecho que estava sendo executada terraplenagem tem greide direcionado à Av. Teresinha Campos, podendo encaminhar o escoamento das águas pluviais para esta avenida.

Av. Terezinha Campos: A Av. Terezinha Campos está inserida na Bacia 03, bairro João de Deus, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,40 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via é pavimentada, com incidência de sedimentos e vegetação na linha d'água; A via não possui sistema de drenagem profunda implantado; O pavimento da via encontra-se danificado em pontos, criando locais suscetíveis a acúmulo de água; A via é um talvegue artificial, recebendo contribuição das vias transversais; Há pontos baixos em interseções com vias transversais.

Av. Nossa Senhora do Rosário: A Av. Nossa Senhora do Rosário está inserida na Bacia 03, bairro Antônio Cassimiro, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,10 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via não é pavimentada, sem sistema de drenagem superficial implantado; Há pontos recalçados na via, criando locais suscetíveis a acúmulo de água; A via é um talvegue artificial, com greide direcionado ao Riacho das Porteiras, que intercepta a via, inundando-a em dias chuvosos; Há aterros em área próxima a esse ponto do riacho.

Rua Trinta e Sete: A Rua Trinta e Sete está inserida na Bacia 03, bairro João de Deus, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,15 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via não é pavimentada, sem sistema de drenagem superficial implantado; Há pontos recalçados na via, criando locais suscetíveis a acúmulo de água; A via é um talvegue artificial, com greide direcionado ao Riacho das Porteiras, que intercepta a via, inundando-a em dias chuvosos; Há aterros em área próxima a esse ponto do riacho.

Loteamento Nossa Senhora de Fátima – Rua Trinta e Cinco: O Loteamento Nossa Senhora de Fátima, bem como a Rua Trinta e Cinco, está inserido na Bacia 03, bairro Pedro Raimundo, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificado como área sujeita a alagamento. O trecho crítico da área possui extensão de cerca de 0,45 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: Loteamento não pavimentado na maior parte de sua área, com pontos recalçados suscetíveis a acúmulo de água; Rua Trinta e Cinco é pavimentada em paralelepípedo em trecho, com linha d'água obstruída por sedimentos e vegetação; Restante da via não é pavimentado, com pontos recalçados; A via cruza a Rua 28 em seu ponto mais baixo, que é um talvegue artificial, recebendo a contribuição da área do loteamento, e encaminhando as águas pluviais em direção ao Canal do Pedro Raimundo, sobrecarregando-o; O Loteamento está localizado em área entre Canais e Riachos, que devem inundar a área em dias chuvosos.

Rua Cinco: A Rua Cinco está inserida na Bacia 03, bairro João de Deus, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,10 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via é pavimentada, com incidência de sedimentos e vegetação na linha d'água; A via não possui sistema de drenagem profunda implantado; Há ponto baixo no meio da via, local suscetível a acúmulo de água; A via recebe contribuição da via transversal a ela, e encaminha as águas pluviais em direção as avenidas transversais.

Av. 01: A Av. 01 está inserida na Bacia 03, bairro Jardim São Paulo, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. Os trechos críticos são os pontos baixos ao longo da via. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A via não pavimentada não possui sistema de drenagem implantado, além de haver incidência de vegetação e despejo de resíduos sólidos no local; Há ocorrência de recalques, criando pontos baixos ao longo da via; Os pontos mais baixos da via localizam-se em suas interseções com as vias transversais; Via é talvegue artificial, recebendo contribuição das vias transversais; Vala escavada para auxílio do escoamento da água, mas poluída e sem destinação final adequada.

IPSEP: A área do IPSEP está inserida na Bacia 03, bairro Cosme e Damião, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como área sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,10 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: A área não pavimentada não possui sistema de drenagem implantado,

além de haver incidência de vegetação e despejo de resíduos sólidos no local; Há ocorrência de recalques, criando pontos baixos ao longo da via; A área está em nível mais baixo que as vias ao seu redor; Área deve receber contribuição de tais vias.

Av. Santa Moxotó: A Av. Santa Moxotó está inserida na Bacia 03, bairro Cosme e Damião, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via possui extensão de cerca de 0,15 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: O trecho da via não pavimentada não possui coleta de águas pluviais em seus pontos baixos, além de haver incidência de vegetação e despejo de resíduos sólidos no local; Há ocorrência de recalques, criando pontos baixos ao longo da via; Via funciona como talvegue artificial, recebendo contribuição de ruas transversais.

Av. João Cleverson Coelho Monteiro: A Av. João Cleverson Coelho Monteiro está inserida na Bacia 04, bairro Jatobá, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de cerca de 0,3 km. A principal causa identificada dos alagamentos foi: Há existência de pontos baixos ao longo da via visitada, que é um talvegue artificial, recebendo contribuição das ruas transversais, com os pontos críticos indicados no mapa. Ausência de infraestrutura de drenagem e pavimentação na via.

Rod. Estrada Jatobá Carneiro: A Rod. Estr. Jatobá Carneiro está inserida na Bacia 04, bairro Jatobá, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de cerca de 0,37 km. As principais causas identificadas das inundações foram: Talvegue artificial, com ponto baixo na via, localizado ao lado da Lagoa do Jatobá; Inundações decorrentes da Lagoa do Jatobá, que se encontra com despejo de resíduos e aterros; Sistema de recalque do local insuficiente.

Rua Chico Mendes: A Rua Chico Mendes está inserida na Bacia 04, bairro Vila Eduardo, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de cerca de 0,2 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: Talvegue artificial, devido ao cruzamento com o canal, que causa inundações quando está com nível alto; Obstrução da linha d'água.

Rua Pedrinhas: A Rua Pedrinhas está inserida na Bacia 04, bairro Areia Branca, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de cerca de 0,1 km. As principais causas identificadas dos alagamentos

foram: Sistema de drenagem profunda implantado na via transversal é insuficiente para a demanda da microbacia local; Meio-fio danificado e obstrução da linha d'água.

Rua Anita Mafalte: A Rua Anita Mafalte está inserida na Bacia 04, bairro Areia Branca, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de cerca de 0,30 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: Sistema de drenagem profunda implantado na via transversal direciona as águas para caixa com grelha, sem destinação final identificado; Meio-fio danificado e obstrução da linha d'água; A área alagável no trecho em intertravado apresenta pontos danificados no pavimento, além de problemas na linha d'água, e não há coleta de águas pluviais neste ponto, onde devem ocorrer os alagamentos.

Av. Monsenhor Ângelo Sampaio: A Av. Monsenhor Ângelo Sampaio está inserida na Bacia 04, bairro Centro, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como área sujeita a alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de cerca de 0,12 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: Sistema de drenagem da avenida é insuficiente para a demanda da bacia local, acarretando em alagamento em ponto baixo da via; Obstrução da linha d'água em alguns pontos.

Av. Fernando Góes: A Av. Fernando Góes está inserida na Bacia 04, bairro Centro, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como área sujeita a alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de cerca de 0,15 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: Ausência de sistema de coleta de águas pluviais na avenida; Acúmulo de água em ponto baixo da avenida; Obstrução da linha d'água em alguns pontos.

Rua Araripina: A Rua Araripina está inserida na Bacia 04, bairro Centro, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de cerca de 0,1 km. As principais causas identificadas dos alagamentos foram: Sistema de drenagem da via é insuficiente para a demanda da microbacia local, acarretando no alagamento em ponto baixo da via; Obstrução da linha d'água em alguns pontos; Dispositivos de drenagem com incidência de resíduos.

Av. dos Minérios: A Av. dos Minérios está inserida na Bacia 05, bairro Dom Avelar, zona urbana do município de Petrolina, sendo classificada como rua sujeita a alagamento. Identificou-se 3 pontos de alagamento na via, como será apresentado mais a frente, com extensão de cerca de 0,37 km. A principal causa identificada dos alagamentos foi: A existência

de pontos baixos ao longo da via visitada, que é um talvegue artificial, recebendo contribuição das ruas transversais.

Rua do Mármore e Rua Francisco José Coelho: A Rua do Mármore pertence à Bacia 05, bairro Dom Avelar, zona urbana do município de Petrolina, e é uma rua sujeita a alagamento. Em visita, observou-se que a Rua José Francisco Coelho também está em situação vulnerável. O trecho crítico tem cerca de 0,1 km. Os principais problemas identificados na via foram: A falta de sistema de microdrenagem nas vias visitadas; Despejo inadequado de resíduos e esgoto na área.

Rua da Grandeza: A Rua da Grandeza foi classificada como área sujeita à alagamentos e pertence à Bacia 05, bairro Dom Avelar, na área urbana de Petrolina/PE. O trecho crítico da área tem cerca de 0,25 km. O principal problema identificado na via foi: A falta de sistema de drenagem para a coleta das águas que se acumulam na área visitada; Ponto baixo na interseção com a Rua Boró, ao lado da praça/área verde, indicada como área alagável a seguir.

Canal da Av. da Redenção: O canal da Av. da Redenção está localizado na bacia 05, bairro Dom Avelar. A via paralela, denominada Av. da Redenção, é considerada como área sujeita a inundação. Os principais problemas identificados no canal foram: O subdimensionamento das manilhas utilizadas nas passagens de água; A falta de limpeza e manutenção em pontos do canal.

Rua da Caridade e Rua da Monazita: A Rua da Caridade e a Rua da Monazita estão inseridas na Bacia 05, bairro Dom Avelar, e são classificadas como sujeitas a alagamento. O ponto crítico encontra-se na Rua da Monazita, com extensão de cerca de 0,1 km. Os principais problemas identificados na via foram: Um ponto baixo na Rua da Monazita, com ausência de sistema de drenagem para coleta das águas pluviais; A Rua Monazita recebe contribuição da Rua da Grandeza.

Av. do Beija-Flor: O problema de alagamento na Av. do Beija-Flor está localizado na Bacia 05, área urbana de Petrolina-PE, bairro Dom Avelar, classificada como área sujeita à alagamento. O trecho crítico tem extensão de cerca de 0,1 km. O principal problema identificado foi: A falta de sistema de drenagem superficial no trecho sem pavimentação da via, não havendo a coleta da água acumulada no ponto crítico visitado.

Rua das Garças: O problema da Av. das Garças está localizado na Bacia 05, área urbana de Petrolina-PE, bairro Dom Avelar, e foi classificado como rua sujeita à alagamento. O trecho crítico do local tem cerca de 0,07 km. Os principais problemas encontrados na via foram: Um ponto baixo no local, onde há acúmulo de água; Ausência de sistema de drenagem no local; Vala escavada sem dimensionamento adequado e com problemas de incidência de resíduos.

Rua dos Pombos (Rua Raul Lins): O problema da Rua dos Pombos está localizado na Bacia 05, área urbana de Petrolina-PE, bairro Dom Avelar, e foi classificado como rua sujeita a alagamento. O trecho crítico do local tem cerca de 0,15 km. Os principais problemas identificados na via fora: A ausência de sistema de drenagem, considerando ainda que a via não é pavimentada; Utilização inadequada de valas sem dimensionamento como medida paliativa ao problema, com curso d'água de cerca de 40 cm; Alta incidência de resíduos sólidos e de construção civil.

Vila Débora – Rua 29 e 30 – Loteamento Recife: O problema da Vila Débora – Rua 29 e 30 – Loteamento Recife está localizado na Bacia 05, área urbana de Petrolina-PE, entre Vila Débora e Loteamento Recife, e foi classificado como área sujeita à alagamento. Os principais problemas identificados foram: Trecho do riacho sem calha definida, antes do cruzamento com a BR-428; Manilhas executadas em cotas inadequadas para o escoamento; Manilhas danificadas; Despejo de sedimentos, esgoto doméstico e incidência de vegetação; Falta de sistema de drenagem adequada na Rua 29, talvegue artificial.

Rua Ilha Solteira: O problema da Rua Ilha Solteira está localizado na Bacia 05, área urbana de Petrolina/PE, no bairro José e Maria, e foi classificada como área sujeita à alagamento. O trecho crítico tem extensão de cerca de 0,02 km. Os principais problemas identificados na via foram: Incidência de sedimentos, vegetação, e rampas das residências obstruindo o escoamento na linha d'água; Existência de ponto baixo sem coleta de águas pluviais.

Av. Nordeste: O problema da Av. Nordeste, no bairro José e Maria, está localizado na Bacia 05, área urbana de Petrolina-PE, e foi classificado como área sujeita à alagamento. O trecho crítico tem cerca de 0,02 km. O principal problema identificado na via foi: A existência de ponto baixo sem coleta de águas pluviais no cruzamento com a Rua Ilha Solteira; Acúmulo de resíduos na linha d'água e nas bocas-de-lobo.

Rua do Acarajé: O problema da Rua do Acarajé, no bairro Areia Branca está localizado na Bacia 05, área urbana de Petrolina-PE, e foi classificado como rua sujeita à alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de 0,18 km. Os principais problemas identificados foram:

Via sem sistema de drenagem para captação de águas pluviais; Meio-fio danificado e sem linha d'água adequada; Presença de sedimentos e vegetação no meio-fio.

Av. Pedrinhas: O problema da Av. Pedrinhas, no bairro Carneiro, próximo ao 72º Batalhão de Infantaria Motorizado está localizado na Bacia 05, área urbana de Petrolina-PE, e foi classificado como área sujeita à alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de cerca de 0,40 km. Os principais problemas identificados foram: Existência de ponto baixo na via, com sistema de drenagem profunda implantada para a travessia da via; Tubulação de drenagem subdimensionada ou obstruída; Incidência de vegetação, sedimentos, resíduos sólidos e aterros na área.

Ruas 23 e 24 – Henrique Leite: O problema das Ruas 23 e 24, no bairro Henrique Leite está localizado na Bacia 05, área urbana de Petrolina-PE, e foi classificado como área sujeita à alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de 0,17km. Os principais problemas encontrados foram: Sistema de drenagem profunda danificado, com bocas-de-lobo obstruídas com vegetação e resíduos sólidos; Despejo inadequado de esgoto sanitário nos dispositivos de drenagem; As bocas-de-lobo devem estar com retorno da água poluída proveniente do canal do Jatobá; Meio-fio sem linha d'água definida, sendo o único trecho com linha d'água próximo às entradas das bocas-de-lobo; Despejo de efluentes sanitários e resíduos sólidos no canal próximo ao local, sendo este o talvegue da área.

Ruas 15, 16 e 31 - Loteamento Geovana Carvalho: O problema das Ruas 15, 16 e 31, no Loteamento Geovana Carvalho, está localizado na Bacia 05, área urbana de Petrolina-PE, e foi classificado como rua sujeita à alagamento. Os trechos críticos das vias somam uma extensão de cerca de 0,33 km. Os principais problemas identificados na área foram: Existência de pontos baixos nos cruzamentos entre as Ruas 15 e 16 e a Av. José Jarede de Carvalho, sem captação de águas pluviais, por não haver sistema de drenagem superficial e profunda; Pontos de recalque nas vias não pavimentadas; Despejo inadequado de resíduos sólidos, de construção e de vegetação; Vala escavada como medida paliativa no local, porém encontra-se com despejo de efluentes sanitários.

Rua da Galinha da Angola e Rua do Anum: O problema de alagamento está localizado na Bacia 06, área urbana de Petrolina-PE, bairro Dom Avelar, e foi classificado como área sujeita a alagamento. O trecho crítico da via tem extensão de cerca de 0,10 km. O principal problema encontrado na via foi: A existência de um ponto baixo no local, que conta com a coleta de águas pluviais por um sistema de microdrenagem subdimensionado.

Rua 14 – Vila Marcela: O problema de alagamento está localizado na Bacia 06, área urbana de Petrolina-PE, bairro Dom Avelar, e foi classificado como área sujeita a alagamento. O trecho crítico possui cerca de 0,12 km. O principal problema identificado foi: O ponto baixo no cruzamento da Rua Wilson Cavalcanti com o Riacho Pau Ferro, onde via e a Rua 15, são talvegues artificiais, contribuindo para a vazão do riacho que não tem calha suficiente para atender a demanda.

Rua da Harmonia: A Rua da Harmonia está inserida na Bacia 06, bairro Dom Avelar, e é classificada como área sujeita a alagamento. O trecho crítico do local tem cerca de 0,13 km. O principal problema da via foi: O acúmulo de água em ponto baixo, com sistema de microdrenagem subdimensionado.

Rua das Sensações: A Rua das Sensações está inserida na Bacia 06, bairro Dom Avelar, e é classificada como sujeita a alagamento. O trecho crítico tem cerca de 0,1 km. O principal problema identificado na via foi: O ponto baixo no local, aliado a falta de sistema de microdrenagem na área.

4 RESULTADOS OBTIDOS - PROGNÓSTICO

4.1 DIRETRIZES DE INTERVENÇÃO DO PLANO

As medidas de controle em bacias hidrográficas envolvem medidas estruturais e não estruturais, que dificilmente estão desassociadas. As medidas estruturais envolvem obras de alto custo e resolvem somente problemas específicos e localizados, sem criar um programa para toda a bacia ou região urbana de interesse. Isto não significa que este tipo de medida não seja viável. As medidas não estruturais são ações de baixo custo, em geral não envolvem obras de engenharia, com boa eficácia e longo tempo de duração. Podem ser implementadas de forma relativamente rápida pelo setor público ou pela sociedade civil organizada.

Nos estudos do Plano de Macrodrenagem de Petrolina, são propostas medidas e ações estruturais e não estruturais, sendo elas a seguir caracterizadas:

- **ações estruturais:** aplicação de medidas de controle nos estudos de simulação da macrodrenagem, com o objetivo de reter as cheias em sua origem por meio de reservatórios de retenção, bem como intervenções que impliquem no aumento do controle e da capacidade de escoamento da calha dos corpos hídricos, de acordo com critérios e diretrizes de projetos a serem desenvolvidos;
- **ações não estruturais:** proposição de medidas que não envolvem a realização de obras por parte do poder público, como educação hidro ambiental, monitoramento hidrológico e sistema de alerta. Propõe-se, também, a consolidação das Áreas de Preservação Permanente – APPs e/ou Áreas *Non Aedificandi* dos riachos situados na macrozona urbana de Petrolina, além da recomendação de áreas a serem desocupadas. Outra medida importante, relativa à complementação da legislação vigente, refere-se à questão da retenção/acumulação na fonte, onde, para o licenciamento e aprovação de empreendimentos que impactem a macrodrenagem do município, estes devem dispor de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem no próprio lote do empreendimento.

4.1.1 Princípios e diretrizes gerais de intervenção

Considerando a conceituação das medidas de controle estrutural e não estrutural, identificando aquelas que são adequadas e aplicáveis à macrodrenagem na Macrozona Urbana de Petrolina, o Plano de Macrodrenagem de Petrolina propõe Princípios e Diretrizes Gerais de Intervenção.

Como **Princípios**, contemplando a gestão e o manejo das águas pluviais em Petrolina, são propostos:

- Planejamento da bacia hidrográfica realizado como um todo, para controle de volumes escoados;
- Proteção e preservação dos corpos hídricos do município, de forma a garantir a manutenção sustentável dos recursos hídricos;
- Soluções de engenharia fundamentadas na valorização da paisagem, na restauração do ambiente natural e/ou na requalificação do ambiente construído;
- Soluções que permitam o uso das margens dos corpos hídricos pela população, evitando invasões e construções na área de inundação;
- Soluções economicamente viáveis que apresentem relação custo/benefício adequada à realidade financeira do município;
- Participação da população no processo de planejamento.

A partir desses Princípios, são propostas as **Diretrizes Gerais** a seguir:

- As medidas de controle e prevenção devem ser adotadas primeiro a montante e depois a jusante;
- As medidas de controle e prevenção não podem resultar em transferências de impactos à jusante;
- Os picos de vazão, nas condições naturais do terreno, não podem ser aumentados pela implementação de novos empreendimentos;
- O controle dos impactos sobre o sistema de drenagem provocados por novos empreendimentos, através do controle do escoamento superficial no lote;
- As soluções do sistema de drenagem, assim como as de esgotamento sanitário, devem estar compatibilizadas, para que não haja convergências entre os sistemas.;
- As medidas propostas devem prever a facilidade e economia da manutenção futura;
- A execução de serviços de limpeza e manutenção no sistema de macrodrenagem deve ser realizada de forma periódica, sendo executada de jusante a montante;
- A prioridade de utilização de medidas não estruturais, por terem custo mais baixo, combinando-as com medidas estruturais, quando necessário;
- Integrar a infraestrutura de microdrenagem com o sistema de macrodrenagem do município.

4.1.2 Diretrizes básicas de intervenção

O panorama geral da macrozona urbana de Petrolina, no que se refere ao sistema de drenagem implementado, a executar e em andamento, é de pouca representatividade na provisão de redes de galerias de águas pluviais. Constata-se que apenas 7% das vias possuem estruturas de dispositivos de coleta das águas pluviais, tais como boca de lobo e caixas coletoras, que direcionam o fluxo das águas para um sistema de macrodrenagem.

A partir do Diagnóstico consolidado no P4 – Relatório Parcial III, as Diretrizes Básicas de ações estruturais e não estruturais propostas para o Plano de Macrodrenagem de Petrolina foram definidas considerando as características de cada bacia hidrográfica, identificando-se trechos com características em comum.

As ações estruturais e não estruturais serão aplicáveis à Macrozona Urbana e Núcleos Urbanos na Macrozona Rural de Petrolina, que corresponde “às porções urbanizadas do território, destinadas à implantação de usos e atividades de natureza urbana e compreende a rede urbana de perímetro descontínuo, formada pelos núcleos urbanos já existentes e pelos núcleos urbanos da Macrozona Rural” (Lei Complementar N° 034/2022 – Plano Diretor Participativo do Município de Petrolina).

As diretrizes foram propostas levando-se em conta os trechos identificados, por bacia hidrográfica, em relação ao estágio da ocupação urbana, na Macrozona Urbana de Petrolina e núcleo urbano em área rural com as características a seguir:

- Trecho com urbanização consolidada – área de maior densidade populacional e construtiva, onde as margens dos corpos hídricos estão ocupadas ou pouco preservadas;
- Trecho com urbanização em consolidação – área de ocupação menos densa, onde as margens dos corpos hídricos ainda estão preservadas, com menor densidade populacional e construtiva;
- Trecho a urbanizar – área em início de processo de urbanização.

As bacias 1 e 7 se classificam exclusivamente como bacias a urbanizar. As demais bacias apresentam características distintas, onde em cada bacia se identificam trechos com urbanização consolidada, com urbanização em consolidação e a urbanizar. Para os trechos com a classificação adotada, são definidas as seguintes diretrizes básicas para Petrolina, relacionadas como E (estruturais), NE (não estruturais) e AC (ação combinada):

Trecho com urbanização consolidada

NE	Delimitar Área <i>Non Aedificandi</i> ao longo do riacho ou canal
NE	Desapropriar e/ou remover edificações em Área <i>Non Aedificandi</i>
AC	Revitalizar os corpos hídricos
E	Recuperar a estrutura do canal, se necessário
NE	Permitir a destinação de efluentes sanitários nos corpos hídricos após o tratamento
NE	Impedir o despejo de resíduos sólidos nos corpos hídricos
NE	Realizar ações de limpeza, desobstrução e manutenção do canal
NE	Implantar áreas com equipamentos de lazer ao longo da Área <i>Non Aedificandi</i> .

Trecho com urbanização em consolidação

NE	Delimitar APP e/ou Área <i>Non Aedificandi</i> ao longo do riacho ou canal
NE	Desapropriar e/ou remover edificações em APP e/ou Área <i>Non Aedificandi</i>
AC	Revitalizar os corpos hídricos
E	Recuperar a estrutura do canal, se necessário
NE	Recuperar vegetação ciliar do riacho e/ou realizar tratamento paisagístico das margens do canal
NE	Permitir a destinação de efluentes sanitários nos corpos hídricos somente após seu tratamento
NE	Impedir o despejo de resíduos sólidos nos corpos hídricos
NE	Realizar ações de limpeza, desobstrução e manutenção do canal
NE	Implantar áreas com equipamentos de lazer ao longo da APP/ Área <i>Non Aedificandi</i> .
NE	Prever futura ampliação e conexão do sistema viário por Via Parque ao longo da APP/ Área <i>Non Aedificandi</i>

Trecho a urbanizar

NE	Delimitar APP ao longo do riacho
NE	Desapropriar e/ou remover edificações em APP
AC	Revitalizar os corpos hídricos
NE	Recuperar vegetação ciliar do riacho
NE	Permitir a destinação de efluentes sanitários nos corpos hídricos após o tratamento
NE	Impedir o despejo de resíduos sólidos nos corpos hídricos
NE	Prever futura ampliação e conexão do sistema viário por Via Parque ao longo da APP

Observa-se que as diretrizes básicas consistem em: ação combinada de revitalização dos corpos hídricos; ação estrutural de recuperação estrutural de canais; e ações não estruturais de aplicação de legislação (APPs, áreas *Non Aedificandi*, destinação adequada de resíduos e efluentes) e de planejamento (previsão de ampliação do sistema viário).

4.2 RECOMENDAÇÕES DE AÇÕES IMEDIATAS E/OU EMERGENCIAIS

Este capítulo consiste na recomendação de ações imediatas a serem implementadas de forma imediata/sistemática no sistema de drenagem do município de Petrolina/PE. Trata-se de indicações de ordem operacional e de manutenção nos sistemas de drenagem, onde será recomendada a limpeza e manutenção do sistema de macrodrenagem do município.

Recomendam-se as correções e/ou adaptações em obras e projetos em curso no município, onde são propostas modificações em projeto de drenagem no bairro Jatobá, em conjunto com o projeto emergencial de drenagem da Av. João Cleverson Coelho Monteiro, servindo como complemento para a drenagem da área em questão. Indicou-se também a realização de estudos e projetos de drenagem na área da rotatória sob o Viaduto dos Barranqueiros, no centro de Petrolina.

Além disso, foram realizadas as proposições iniciais de soluções para o sistema de macrodrenagem do município. Com a determinação das áreas verdes e de solo permeável do município, além das áreas em APP do Rio São Francisco e das áreas às margens dos riachos urbanos, serão recomendadas as áreas a serem protegidas, desocupadas ou reservadas. Assim, utilizando-se essas informações, poderão ser determinadas as cotas para implantação de novos loteamentos na cidade, além da proposição de medidas de utilização e manutenção de várzeas dos riachos urbanos.

4.2.1 Indicações de ordem operacional e de manutenção nos sistemas de drenagem

O sistema de drenagem precisa de manutenção adequada para manter a eficiência ao longo do tempo. A manutenção pode ser feita antecipadamente do tipo preditiva ou preventiva e nos casos em que já ocorreu alguma falha a manutenção será do tipo corretiva. A manutenção preventiva busca evitar problemas ou falhas, além de garantir que o sistema continue funcionando adequadamente. Sendo feita de forma planejada, a manutenção preventiva possibilita uma boa estimativa de custos e uma boa utilização da equipe de funcionários disponível. A manutenção preditiva também é feita antecipadamente, mas se baseia em acompanhamento e monitoramento do sistema para avaliar as condições de funcionamento. As ações preditivas são realizadas através de medições diretas e indiretas, somadas às interpretações de dados e informações.

Com relação ao sistema de drenagem de águas pluviais de Petrolina, a partir do levantamento dos pontos críticos de alagamento e inundação, foi possível identificar e avaliar os problemas de drenagem no município. Para os pontos onde há sistema de microdrenagem, observou-se, de modo geral, que há uma série de dispositivos danificados ou obstruídos, que necessitam de manutenção, para o correto funcionamento do sistema como um todo.

Para Macrodrenagem, faz-se necessária a limpeza programada durante o ano dos canais e riachos, focando nos equipamentos de drenagem (bueiros, galerias) principalmente nas travessias de rodovias e vias locais. Nos meses que antecedem ao período úmido de Petrolina, sugere-se que aumentem a intensidade nessas limpezas e correções nos principais canais e riachos da cidade. A manutenção pode ser efetuada de forma mecanizada onde há condições de acesso para equipamentos como retroescavadeiras, devendo-se seguir as calhas determinadas para vazões de 25 anos nos estudos de concepções baseado nas modelagens. Em trechos possivelmente ocupados, esse procedimento deverá, quando da impossibilidade de retirada das ocupações, ser realizado de forma manual.

Como na grande maioria dos logradouros da cidade os escoamentos pluviais dão-se superficialmente pelas sarjetas, verifica-se que no período chuvoso elas não têm a capacidade de escoamento dos deflúvios, levando a alagamentos, como tem sido constatado pelos órgãos locais. Logo, há a necessidade de um programa de implantação de redes de microdrenagem vinculadas a implantação de técnicas compensatórias que reduziram o aporte para o sistema de macrodrenagem.

No Programa de Manutenção, capítulo componente do Relatório Técnico Parcial VI – P7, são indicados os locais, as frequências e o modo como fazer as ações. Além disso, é apresentado também o orçamento com custos estimados para esta manutenção.

Por fim, a Tabela 24 a seguir indica pontos que necessitam de procedimentos de manutenção imediatos no sistema de macrodrenagem de Petrolina, apresentando a bacia a qual pertence cada corpo hídrico e os problemas identificados no local.

Tabela 24. Indicação de manutenção na macrodrenagem.

Corpo hídrico	Bacia urbana	Diagnóstico	Diretriz de manutenção
Riacho Vitória	Bacia 02	Descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento;	Limpeza e desobstrução da calha do riacho;
		Estreitamento da calha do riacho com pontes e passagens de veículos (dispositivos de travessia).	Limpeza e desobstrução dos dispositivos de travessia.
Canal da Av. Tapuio	Bacia 02	Sistema de drenagem integrado com via paralela ao canal (composto por linha d'água e bocas-de-lobo) com estruturas danificadas e/ou obstruídas.	Manutenção do canal, com restauração dos dispositivos danificados.
Canal do Jardim Petrópolis	Bacia 02	Incidência de vegetação, descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento;	Limpeza e desobstrução da calha do canal;
		Estreitamento da calha do canal com passagens de veículos (dispositivos de travessia).	Limpeza e desobstrução dos dispositivos de travessia;
Lagoa do Jardim Petrópolis	Bacia 02	Descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento; Capacidade volumétrica reduzida pela presença de entulhos e assoreamento.	Limpeza e remoção de entulhos da lagoa.
Riacho das Porteiras	Bacia 03	Incidência de vegetação, descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento.	Limpeza e desobstrução da calha do riacho;
		Estreitamento da calha do riacho com pontes e passagens de veículos (dispositivos de travessia).	Limpeza e desobstrução dos dispositivos de travessia.
Canal do João de Deus	Bacia 03	Descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento;	Limpeza e desobstrução da calha do canal;
		Presença de fissuras nas paredes e fundo do canal;	Limpeza e desobstrução dos dispositivos de travessia;

		Estreitamento da calha do canal com pontes e passagens de veículos (dispositivos de travessia).	Manutenção do canal, com restauração de sua estrutura.
Canal do Massangano	Bacia 03	Incidência de vegetação, descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento; Estreitamento da calha do canal com pontes e passagens de veículos (dispositivos de travessia).	Limpeza e desobstrução da calha do canal; Limpeza e desobstrução dos dispositivos de travessia.
Canal do Dom Malan	Bacia 03	Incidência de vegetação (em trecho natural), descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento; Presença de fissuras nas paredes e fundo do canal, além de tampas de concreto danificadas em trecho fechado; Estreitamento da calha do canal com passagens de veículos (dispositivos de travessia).	Limpeza e desobstrução da calha do canal; Limpeza e desobstrução dos dispositivos de travessia; Manutenção do canal, com restauração de sua estrutura.
Lagoa da Av. Sete de Setembro	Bacia 03	Lagoa de estabilização desativada; Incidência de vegetação.	Limpeza e remoção do excesso de vegetação.
Canal do Vale do Grande Rio	Bacia 03	Descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento; Sistema de drenagem integrado com via paralela ao canal (composto por linha d'água e bocas-de-lobo) com estruturas danificadas e/ou obstruídas, em trecho de canal fechado.	Limpeza e desobstrução da calha do canal, em trecho aberto; Manutenção do canal, com restauração dos dispositivos danificados, em trecho fechado.
Canal do Distrito Industrial	Bacia 03	Estreitamento da calha do canal com passagens de veículos (dispositivos de travessia).	Limpeza e desobstrução dos dispositivos de travessia.
Canal do São José	Bacia 04	Incidência de vegetação, descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento;	Limpeza e desobstrução da calha do canal;

		Estreitamento da calha do canal com pontes e passagens de veículos (dispositivos de travessia), além de trechos em galerias.	Limpeza e desobstrução dos dispositivos de travessia e galerias.
Canal do Alto Cheiroso	Bacia 04	Incidência de vegetação (em trecho natural), descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento; Presença de fissuras nas paredes e fundo do canal, em trecho revestido;	Limpeza e desobstrução da calha do canal; Manutenção do canal, com restauração de sua estrutura.
Lagoas do Jatobá 1 e 2	Bacia 04	Descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento; Capacidade volumétrica reduzida pela presença de entulhos, assoreamento e vegetação.	Limpeza e remoção de entulhos e excesso de vegetação.
Lagoa São Joaquim	Bacia 05	Descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento; Capacidade volumétrica reduzida pela presença de entulhos, aterros e vegetação.	Limpeza e remoção de entulhos e excesso de vegetação.
Lagoas Padre Cícero 1 e 2	Bacia 05	Descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento; Capacidade volumétrica reduzida pela presença de entulhos, assoreamento e vegetação.	Limpeza e remoção de entulhos e excesso de vegetação.
Riacho do Batalhão	Bacia 05	Incidência de vegetação, descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento, a montante e a jusante da zona militar; Estreitamento da calha do riacho com pontes e passagens de veículos (dispositivos de travessia).	Limpeza e desobstrução da calha do riacho, a montante e a jusante da zona militar; Limpeza e desobstrução dos dispositivos de travessia.

Lagoas das Pedrinhas 1, 2 e 3	Bacia 05	Incidência de vegetação.	Remoção do excesso de vegetação.
Canal do Henrique Leite	Bacia 05	Incidência de vegetação, descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento; Estreitamento da calha do canal com passagens de veículos (dispositivos de travessia).	Limpeza e desobstrução da calha do canal; Limpeza e desobstrução dos dispositivos de travessia.
Lagoa Henrique Leite	Bacia 05	Capacidade volumétrica reduzida pela presença de entulhos, assoreamento e vegetação.	Limpeza e remoção de entulhos e excesso de vegetação.
Canal da Av. da Redenção	Bacias 05 e 06	Descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento; Estreitamento da calha do canal com passagens de veículos (dispositivos de travessia).	Limpeza e desobstrução da calha do canal; Limpeza e desobstrução dos dispositivos de travessia.
Lagoas Topázio 1 e 2	Bacia 06	Lagoas no limite da macrozona urbana.	Sem necessidade de manutenção imediata.
Riacho Pau Ferro	Bacia 06	Incidência de vegetação, descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento; Estreitamento da calha do riacho com passagens de veículos (dispositivos de travessia).	Limpeza e desobstrução da calha do riacho; Limpeza e desobstrução dos dispositivos de travessia.
Lagoa Dom Avelar	Bacia 06	Descarte irregular de resíduos sólidos e despejo de efluentes sem tratamento; Capacidade volumétrica reduzida pela presença de entulhos, aterros e vegetação.	Limpeza e remoção de entulhos e excesso de vegetação.

Fonte: PDCA (2023).

4.2.2 Recomendações de áreas de ocupação restrita

A implantação de loteamentos e a urbanização indisciplinada são responsáveis pelo aumento das taxas de impermeabilização do solo, um dos fatores que acarreta a ocorrência das inundações no município pelo seu sistema de macrodrenagem. Assim, faz-se necessária a recomendação de áreas do perímetro urbano de Petrolina a serem protegidas, preservadas, desocupadas e reservadas para armazenamento de águas pluviais.

Para a recomendação de áreas a serem desocupadas e protegidas próximas ao sistema de macrodrenagem do município, baseou-se na Lei Nº 12.727, de 17 de outubro de 2012, que altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, entre outros. Esta lei altera as considerações sobre Áreas de Preservação Permanente (APP), em zonas rurais ou urbanas, onde considera as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente com largura mínima de 30 metros, para os cursos d'água de menos de 10 metros de largura (PLANALTO, 2012). Além disso, utilizou-se também como base as manchas de inundação obtidas pelos Estudos Hidrodinâmicos realizados no sistema de macrodrenagem de Petrolina e a Lei Complementar 034/2022 – Plano Diretor Participativo do Município de Petrolina.

Dessa forma, considerando a legislação vigente e a modelagem do escoamento superficial são estabelecidas as faixas de APP, Áreas *Non Aedificandi* e Áreas Sujeitas à Inundações dos cursos d'água da macrozona urbana de Petrolina, conforme delimitação das áreas de ocupação restrita e das áreas para desapropriação/desocupação apresentadas nos Anexos 3, 4, 5, 6, 7 e 8.

4.2.3 Cotas para implantação de novos empreendimentos

O município de Petrolina possui características singulares por seu posicionamento geográfico e atividades econômicas. Localizada às margens do Rio São Francisco, a cidade recebe influência desse corpo hídrico nos dispositivos de escoamento superficial, cursos d'água e lagoas existentes no município. O rio é responsável por inundações periódicas em Petrolina, com seu regime hidrológico sendo acompanhado e estudado há muito tempo por instituições especializadas, devido à sua considerável série temporal de dados de vazão.

Em períodos de maior vazão, podem ocorrer aumentos consideráveis nos níveis do Rio São Francisco, afetando os riachos e canais que sejam afluentes diretos. Nessas situações, o rio, por ser mais caudaloso, funciona como um barramento ao fluxo dos corpos hídricos contribuintes, os quais sofrem efeito similar a um represamento, ocorrendo elevações exageradas nas superfícies livres à montante. Tal efeito é conhecido como remanso hidráulico e pode acarretar inúmeras complicações a serem resolvidas com medidas estruturais e não estruturais de controle de enchentes.

Além disso, a zona urbana recebe influências de cursos d'água originados em áreas da macrozona rural do município. Tais condições podem ser alteradas com o tempo, considerando que ocorre gradualmente o assoreamento de lagoas e riachos.

Por fim, importante destacar também que o estabelecimento de cotas não implica em ações de aterro e terraplenagem, mas na definição de ambientes de uso eventual ou temporário que possam ser desocupados e inundados, como jardins, estacionamentos, entre outros. Estes devem ser definidos nos projetos arquitetônicos apresentados para licenciamento, respaldados pelas cotas de alagamento.

4.3 RECOMENDAÇÕES DE AÇÕES PRIORITÁRIAS – TRECHOS CRÍTICOS

Para a concepção de ações específicas partiu-se do diagnóstico realizado no Produto 04 e das diretrizes gerais estabelecidas para o Plano de Macrodrenagem no Produto 05. A partir do diagnóstico, os pontos críticos identificados foram analisados de forma detalhada, buscando identificar principais causas dos problemas existentes e diferentes alternativas de propostas para a mitigação dos riscos já incidentes. Uma vez elencadas as possíveis alternativas de ações para os pontos críticos, foi realizada a simulação de cenários futuros, por meio de modelagem hidrodinâmica (HEC-RAS), com o intuito de verificar o desempenho de cada uma das alternativas, e a sua respectiva viabilidade de implementação considerando aspectos técnicos, financeiros, sociais e ambientais.

Além das intervenções, os cenários modelados levaram em consideração a expansão da área urbana ocupada, uma vez que este processo irá acarretar a redução de áreas permeáveis nas bacias, e por sua vez, alterando o comportamento do escoamento em relação ao cenário atual modelado na etapa de diagnóstico. Assim, além das áreas atualmente ocupadas, adotou-se na modelagem a projeção de crescimento urbano proposto no Plano Diretor do Município, abrangendo a ocupação urbana na Zona de Transição 01 (ainda não ocupada) e a taxa de impermeabilização de 90%. Buscou-se assim a concepção e definição de ações compatíveis com horizontes futuros e possibilitando a proposição de ações preventivas, sobretudo no que diz respeito a delimitação de Áreas de Proteção Permanente e de Áreas “*Non Aedificandi*” necessárias para a prevenção de eventuais riscos hidrológicos futuros em regiões da cidade que ainda não são ocupadas.

Dessa forma, buscou-se explorar diferentes cenários para a mitigação dos problemas identificados no diagnóstico, de forma compatível com o planejamento municipal, favorecendo a definição de propostas com maior viabilidade de implementação, seja do ponto vista técnico, financeiro, social ou ambiental. Com base nos resultados da modelagem, foram definidas as ações específicas a propostas para o Plano de Macrodrenagem de Petrolina, apresentadas nas subseções seguir.

3.1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS MEDIDAS PROPOSTAS

Nesta seção são apresentadas as medidas propostas para a implementação no âmbito do Plano de Macrodrenagem de Petrolina, definidas após a simulação de cenários futuros e seleção do cenário alternativo que mostrou mais adequado em relação à sua viabilidade, benefícios e compatibilidade com as diretrizes do Plano. Como já mencionado anteriormente na seção de procedimentos metodológicos, foram simuladas diferentes alternativas de soluções para os problemas de drenagem identificados no diagnóstico, de modo que neste momento são apresentadas as alternativas com o melhor desempenho em relação ao seu potencial de contribuições na mitigação de riscos e o seu custo de execução.

Abaixo são caracterizadas as principais tipologias de medidas propostas, visando auxiliar no seu entendimento de um modo geral (conceitual), enquanto as próximas subseções deste capítulo apresentam de forma específica todas as ações propostas para cada uma das bacias. É importante salientar que em relação às medidas estruturais, o dimensionamento de estruturas foi realizado enquanto concepções básicas, sobretudo pela natureza e conceito de um plano, de modo que para a sua execução é necessário que sejam realizados projetos específicos (projeto básico, projeto executivo, etc).

i) Revitalização e Implementação de lagoas de amortecimento

A revitalização e implementação de lagoas de amortecimento foi proposta levando em consideração que em Petrolina já existem muitas destas, sendo algumas naturais e outras artificiais, e que já funcionam como dispositivos de drenagem (Figura 118). A sua adoção entre as propostas sugeridas no Plano leva em consideração o fato de que o amortecimento de vazões a partir de lagoas contribui para a redução do escoamento direcionado para a rede microdrenagem, riachos e canais.

Figura 118. Lagoa já existente na área urbana de Petrolina (Lagoa Dom Avelar).



Fonte: PDCA (2025).

Além dos custos abrangendo a requalificação de riachos e canais para vazões elevadas, sem amortecimento, o alargamento da seção de riachos e canais muitas vezes implica na

necessidade de remoção de edificações já existentes no entorno, de modo que estas obras ocasionam transtornos sociais e econômicos para a população e estabelecimentos que precisam ser realocados. Sendo assim, buscou-se sempre que possível utilizar as lagoas já existentes na cidade, visando contribuir para o dimensionamento de riachos, canais e sistemas de microdrenagem.

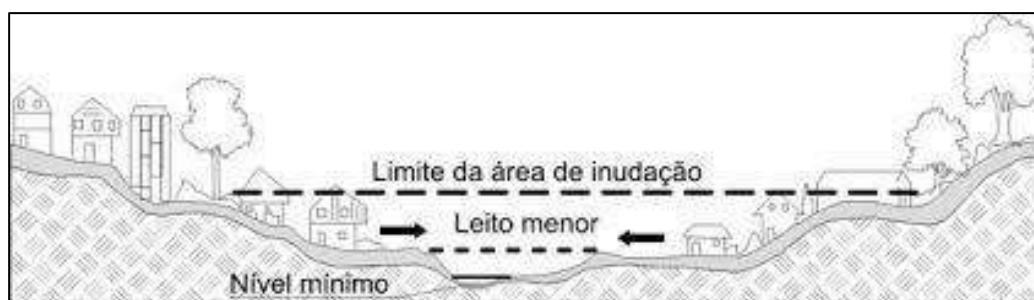
No entanto, as lagoas existentes na cidade funcionam atualmente de forma natural, sem que a sua capacidade e estrutura sejam adequadas para que exerçam efetivamente o seu potencial enquanto lagoa de amortecimento. Nas simulações realizadas, verificou-se que em sua maioria, ocorrem transbordamentos para chuvas com tempo de recorrência de 25 anos, acarretando danos para edificações existentes ao redor.

Nesse contexto, a “revitalização e implementação de lagoas de amortecimento” é considerada no Plano como sendo a requalificação de lagoas existentes ou implementação de novas lagoas, no que diz respeito ao redimensionamento adequado em relação à sua área de contribuição e o volume total de armazenamento, e a sua integração efetiva ao sistema de drenagem do município. Além do seu dimensionamento, considera-se no contexto desta ação, a integração das lagoas com riachos ou canais de modo que o escoamento amortecido possa ser drenado após a ocorrência de chuvas, garantido sempre o seu volume de espera e que assim possam funcionar como dispositivos de amortecimento mesmo para eventos chuvosos ocorridos em dias consecutivos.

ii) Revitalização de calha de riachos

Todos os riachos existentes na área urbana consolidada de Petrolina apresentam pontos de transbordamentos e a ocorrência de danos causados pelas inundações. Para Tucci (2008), um corpo hídrico possui dois leitos (calhas), sendo um leito menor que corresponde ao seu escoamento normal em períodos sem chuva, e um leito maior que corresponde à área de inundação em eventos de chuvas intensas (Figura 119).

Figura 119. Leitos (calhas) de um rio.



Fonte: Tucci (2007)

Partindo deste princípio, e no que diz respeito apenas a requalificação de riachos e canais, problemas relacionados às inundações podem ser mitigados a partir do controle da ocupação

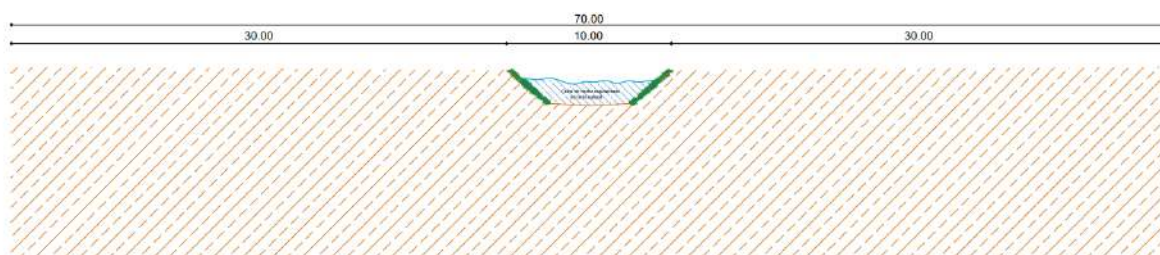
urbana, de modo a impossibilitar a existência de imóveis localizados sobre a área inundável (leito/calha maior), ou ampliando a capacidade de vazão do leito menor de modo que o mesmo comporte toda a vazão mesmo em períodos chuvosos. Enquanto a primeira alternativa respeita o regime natural do riacho sem a necessidade de intervenções físicas em seu leito natural, na maioria dos casos em cidades brasileiras esta opção provoca as remoções de imóveis localizados na área inundável, causando transtornos sociais e econômicos para a população e estabelecimentos removidos, acarretando muitas vezes na desconfiguração do tecido urbano em áreas já consolidadas. Por sua vez, a segunda opção busca ampliar a capacidade de escoamento do leito menor e a redução da área inundável, reduzindo a possibilidade de remoção de imóveis, porém origina intervenções físicas no leito natural do corpo hídrico que podem desconfigurar aspectos relacionados ao seu regime natural.

No caso de Petrolina, considerando que os riachos localizados na área urbana encontram-se em bairros já consolidados, buscou-se evitar a remoção de imóveis em áreas consolidadas, e assim, optou-se pela requalificação do leito menor dos riachos, ampliando a sua capacidade de vazão, de modo que a área inundável não ultrapasse os limites da sua calha requalificada.

Dessa forma, na simulação de cenários futuros, buscou-se adequar as dimensões do leito menor dos riachos de modo que a sua capacidade de escoamento correspondesse às vazões calculadas para chuvas de projeto com tempo de retorno de 25 anos (Figura 5). Considerou-se também características relacionadas à adoção de seção do tipo trapezoidal e revestimento natural (coeficiente de Manning de 0.035), uma vez que seções retangulares e com revestimento em concreto causam impactos consideráveis nas características de corpos hídricos naturais (

Figura 120). Por fim, buscou-se respeitar as cotas de fundo existentes atualmente nos riachos, porém, verificou-se a necessidade de que sejam realizadas alterações das cotas de fundo em trechos que atualmente apresentam declividade muito baixa e não favorecem o escoamento.

Figura 120. Exemplo de seção tipo para a requalificação de calha de riachos.



Fonte: PDCA (2025).

Além destes elementos, a revitalização de calha de riachos compreende também o redimensionamento das passagens existentes sobre as vias, uma vez que foram identificados

diversos pontos de estrangulamento (Figura 121). Nestes pontos, as galerias e pontilhões foram implantados de forma subdimensionada para vazões elevadas (tempo de recorrência de 25 anos), dificultando o escoamento no riacho e gerando trechos de inundação a partir do acúmulo de água nestes pontos. Neste sentido, a requalificação dos riachos deve considerar que as galerias e pontilhões sobre o corpo hídrico tenham plena capacidade de escoamento em relação às vazões do riacho.

Figura 121. Passagens configuradas como pontos de estrangulamento.



Fonte: PDCA (2025).

Por fim, embora a requalificação dos riachos promova o aumento da capacidade de escoamento e a mitigação dos riscos relacionados às inundações, tais intervenções precisam seguir diretrizes que busquem ao máximo manter o riacho de forma naturalizada, evitando a artificialização de um corpo hídrico natural. Intervenções físicas em riachos naturais realizadas de forma indiscriminada podem acarretar prejuízos ambientais, além de tornarem elementos que depreciam a paisagem urbana, reduzindo a qualidade de vida da população no que diz respeito ao acesso para áreas naturais. Sendo assim, sobre este aspecto, recomenda-se que a requalificação de riachos considere a naturalização dos corpos hídricos. Nos exemplos apresentados na Figura 122 é possível observar que foram realizadas intervenções na geometria das seções dos riachos para o alargamento de seções e aumento da sua capacidade de vazão, mas que ainda assim, o corpo hídrico se apresenta de forma natural. Estes aspectos são de extrema importância para garantir as condições ambientais necessárias para o riacho, além de contribuir de forma paisagística.

Figura 122. Exemplos de riachos com calha alargada de forma naturalizada.



Fonte: Programa Cidades Sustentáveis (2022).

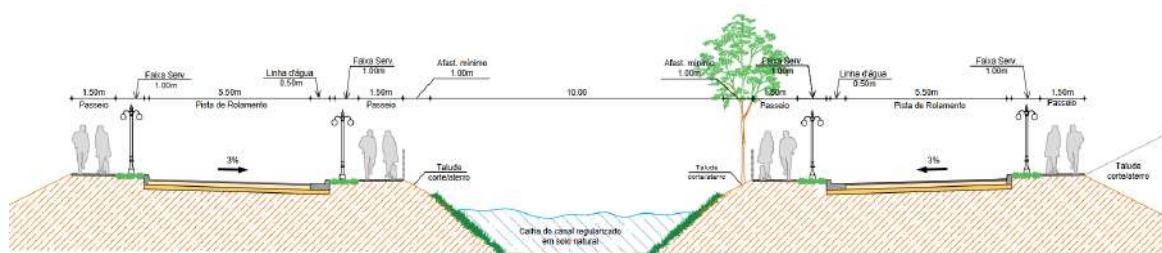
Fonte: Urban Change (2008).

iii) Revitalização e implementação de calha de canais

Assim como para os riachos naturais, foram estabelecidas ações relacionadas à revitalização de calha de canais, os quais podem ser entendidos como a rede de macrodrenagem secundária, seja o seu o traçado correspondente à talvegues naturais ou artificiais. Muitos canais existentes na área urbana consolidada de Petrolina apresentam pontos de transbordamentos e a ocorrência de danos casos por inundações nestes locais.

Seguindo as mesmas diretrizes estabelecidas para os riachos naturais, a revitalização de canais envolve o redimensionamento das suas seções transversais, o ajuste de declividade, e desobstrução de passagens sobre vias que se configuram como pontos de estrangulamento, conforme detalhado anteriormente para a requalificação de riachos. No entanto, os canais foram dimensionados com seções retangulares e com revestimento que permita uma maior velocidade de escoamento (rugosidade/coeficiente de Manning em torno de 0.015) (Figura 123). Sobre este último aspecto, foi observado que os canais existentes na cidade em sua maioria possuem restrições físicas (ocupações e vias urbanas em suas margens imediatas) que impedem o seu alargamento em algumas situações, de modo que a adoção de seção retangular, elevação da declividade, e revestimento com menor rugosidade pode contribuir para o aumento da capacidade de escoamento do canal, sem que seja necessário adotar larguras de seções maiores.

Figura 123. Exemplo de seção tipo para a requalificação de calha de canais.



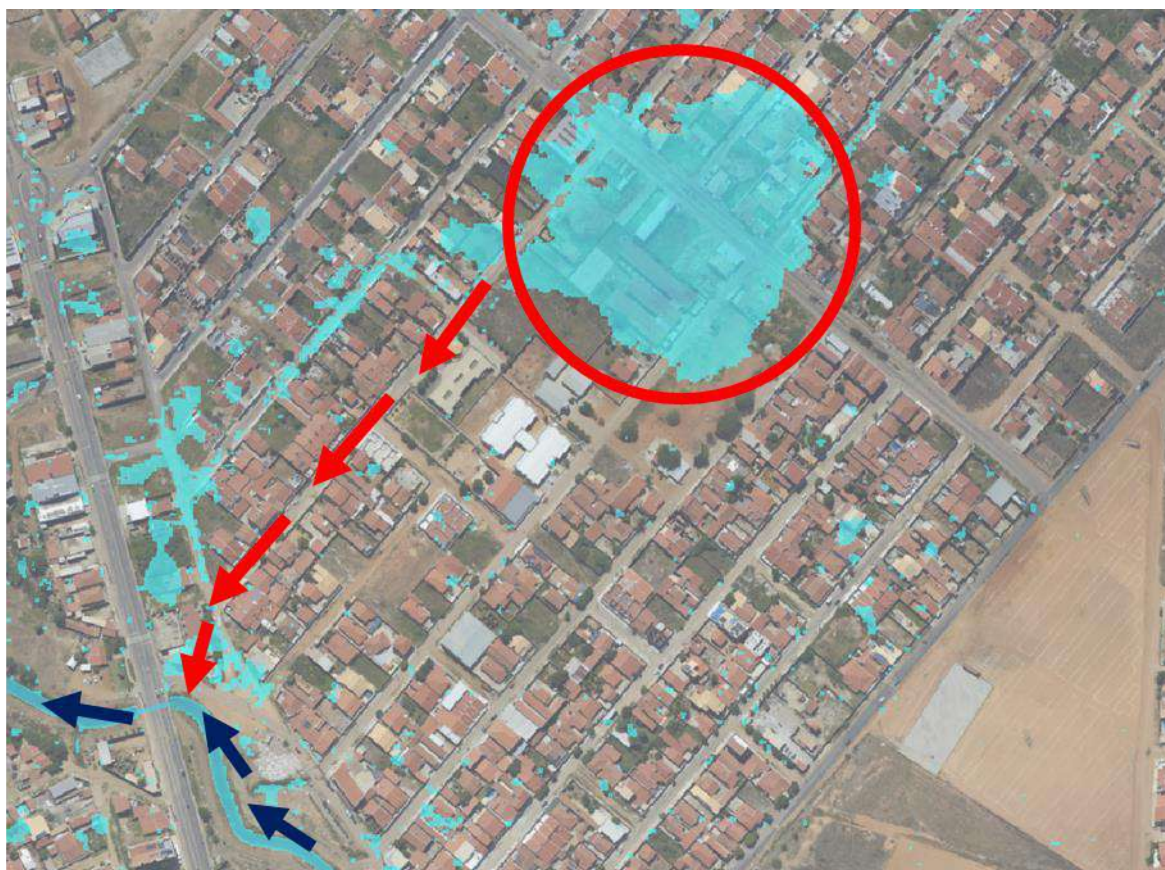
Fonte: PDCA (2025).

iv) Implementação e redimensionamento de microdrenagem

Foi observado que existem áreas da cidade que se configuram enquanto pontos baixos da microbacia mas que não estão conectadas hidraulicamente com o talvegue natural ou galerias existentes, acarretando assim em problemas relacionados à alagamentos nestes pontos. Em outros casos, observou-se a existência de rede microdrenagem, mas, no entanto, sendo necessário realizar o seu redimensionamento para o tempo de retorno de 25 anos, como ocorre atualmente na Av. Mar da Tasmânia (Figura 124). Neste contexto, as ações relacionadas à tais situações correspondem a implantação de sistema de microdrenagem por galerias subterrâneas, de forma a efetivar a conexão hidráulica com a rede de macrodrenagem e garantir o escoamento nestas áreas.

Também foram identificadas situações em que os alagamentos são ocasionados devido a ocupação irregular, sem a elaboração de projeto de loteamento, e consequentemente sem o planejamento da sua drenagem. Em alguns casos, a implementação de sistema de microdrenagem pode realizado apenas a partir de escoamento superficial, a partir de ajustes no greide das vias, pavimentação, implantação de sarjetas e terraplanagem nos lotes.

Figura 124. Alagamento na Av. Mar da Tasmânia por insuficiência de microdrenagem.



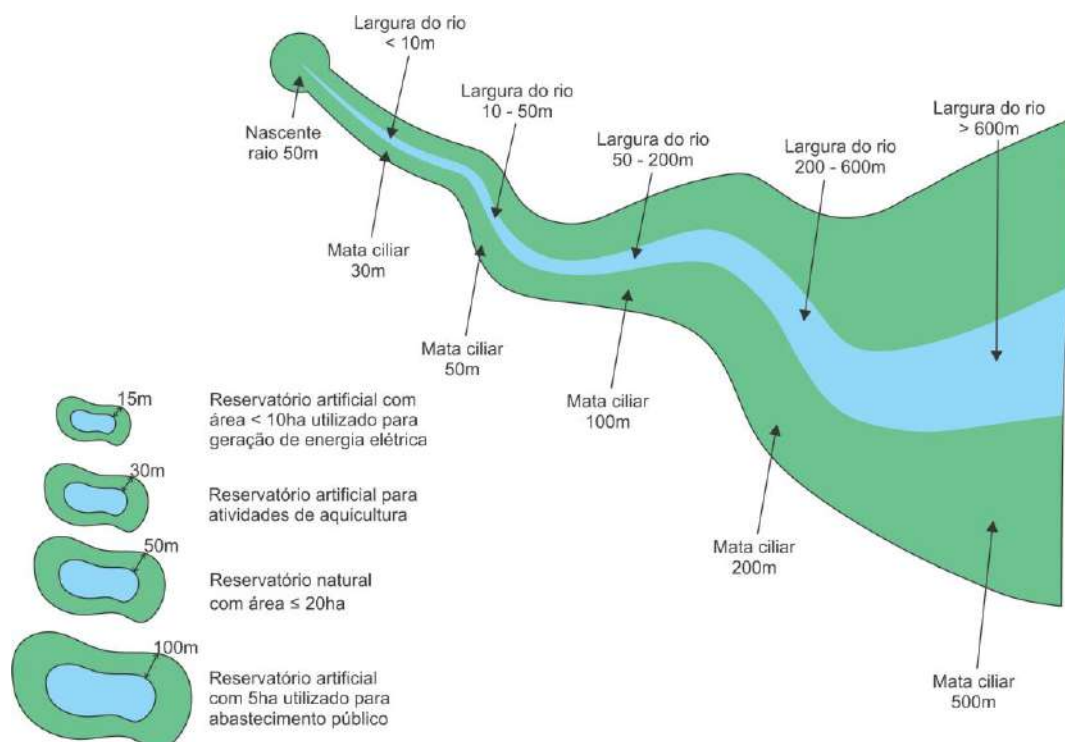
Fonte: PDCA (2025).

v) Delimitação de Áreas de Proteção Permanente

Na etapa de diagnóstico foi observado que diversos problemas de drenagem existentes no município se devem ao fato de que todos os riachos localizados na área urbana tiveram suas margens ocupadas por edificações e/ou tiveram seus cursos obstruídos e/ou modificados por loteamentos. Além de prejudicar a preservação destes corpos hídricos naturais, a ocupação de margens de rios e riachos acarreta a exposição destes imóveis a inundações e promovem o estreitamento da sua calha, que por sua vez, amplia ainda mais a probabilidade de danos ocasionados por eventos de maior intensidade.

Neste aspecto, a Lei Federal Nº 12.651 de 25 de maio de 2012 (Código Florestal), estabelece que rios e riachos devem possuir Áreas de Proteção Permanente (APP) delimitadas ao longo das suas margens, as quais não podem ser ocupadas por edificações e devem manter a vegetação lindeira (mata ciliar) preservada. De acordo com a referida lei, a largura da faixa de APP deve ser estabelecida em função da largura do corpo hídrico, em que de forma diretamente proporcional, conforme ilustrado na Figura 125. Sendo assim, enquanto medida não estrutural, recomenda-se a delimitação de APP's para todos os rios, riachos e lagoas naturais existentes no município de Petrolina, visando o cumprimento da referida e reconhecendo a sua importância para a preservação dos corpos hídricos naturais existentes no município, além de contribuir para o sistema de macrodrenagem municipal.

Figura 125. Parâmetros para a definição de APP's em rios, riachos e lagoas.



Para os rios e riachos existentes no município, todos estes possuem calha com largura de até 10 metros, com exceção do Rio São Francisco, de modo que as suas respectivas APP's foram delimitadas na faixa de 30 metros a partir de cada uma de suas margens. Por sua vez, as lagoas existentes, por se tratar de lagoas localizadas em áreas urbanas, estas se enquadram na delimitação de APP's com faixa de 30 metros em relação às suas margens.

Além da delimitação das suas respectivas poligonais, recomenda-se como medidas propostas a implantação efetiva destas APP's, considerando que nas últimas décadas tem sido reconhecida a importância promover a sua integração e uso no contexto urbano. Neste aspecto, as APP's localizadas em áreas urbanizadas do município devem ser constituir enquanto parques urbanos, arborizados de acordo com os parâmetros recomendados para a restauração florestal, e dotados de equipamentos de lazer (Figura 126). Dessa forma, além de garantir todos os benefícios das APP's no que diz respeito à preservação ambiental e função de macrodrenagem de rios e riachos, a sua implementação efetiva irá contribuir para a redução de ocupações irregulares e ampliar a oferta de equipamentos públicos de lazer ao ar livre. Por sua vez, para ainda áreas ruralizadas, as APP's devem ser apenas delimitadas terem a sua recomposição florestal, sem que seja necessário se configurar enquanto equipamento de lazer urbano.

Figura 126. Exemplos de parques urbanos implantados em APP's.



vi) Delimitação de Áreas “Non Aedificandi”

Enquanto as APP's são voltadas especificamente para rios, riachos e lagoas naturais, recomenda-se aqui a delimitação de áreas “Non Aedificandi” na faixa de 10 metros a partir de cada uma das margens de canais e lagoas construídas, e de talvegues naturais primários (ordem 1). Com isso busca-se restringir a ocupação destas áreas e garantir a preservação das suas margens, mesmo para canais e lagoas construídas ou para talvegues naturais de menor porte, para os quais não se aplica o Código Florestal. Além disso, recomenda-se a delimitação de áreas “Non Aedificandi” em rios, riachos e lagoas naturais localizadas em áreas urbanas consolidadas, onde não é possível fazer a remoção de edificações na faixa de 30 metros a partir de cada uma das suas margens.

vii) Delimitação de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações

Considerando a Lei Federal 10.257 de 10 de julho de 2001 (Estatuto da Cidade), e a Lei Federal 12.608 de 10 de abril de 2012 (Política Nacional de Proteção e Defesa Civil), é responsabilidade dos municípios realizar o mapeamento de áreas suscetíveis à ocorrência de desastres, onde se incluem as inundações, para que sejam estabelecidas restrições de ocupações nestas áreas. Por sua vez, a Lei Municipal 034 de 25 de fevereiro de 2022 (Plano Diretor Participativo do município de Petrolina/PE) estabelece que *“é proibido o parcelamento de solo para fins urbanos em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas e cujo projeto de drenagem seja aprovado pelo Município”*. Dessa forma, no Plano de Macrodrenagem são indicadas todas as áreas suscetíveis à ocorrência de inundações e sendo estabelecidas o seu caráter de ocupação restrita, de modo que o município possa realizar o controle da ocupação nestas áreas (Figura 127).

Figura 127. Delimitação de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações.



Fonte: PDCA (2025).

3.2 MEDIDAS PROPOSTAS - BACIA 01

Por ser uma bacia que ainda não possui ocupação urbana, as ações propostas para a bacia 01 se configuram basicamente como medidas não estruturais, de caráter preventivo, relativas ao zoneamento de áreas de ocupação restrita.

Na etapa de diagnóstico, foi observado que existência de muitos problemas relacionados às inundações e alagamentos no município de Petrolina se deve à ocupação urbana em áreas inundáveis, as quais poderiam ser evitadas caso a ocupação destas áreas tivesse respeitado a calha inundável dos rios, riachos e linhas de drenagem natural.

Neste aspecto, buscando estabelecer a ocupação urbana adequada da bacia 01 em um momento futuro, são recomendadas a delimitação de áreas de proteção permanente nas margens de riachos, dos principais talvegues e de lagoas naturais existentes na bacia, e a delimitação de áreas “*Non Aedificandi*” em talvegues naturais de menor porte.

Além disso, também foram definidas as áreas sujeitas à ocorrência de inundações na Bacia, de modo que possam ser aplicadas nestas áreas a recomendação estabelecida no Plano Diretor Participativo de Petrolina (Lei Municipal 034 de 25 de fevereiro de 2022), em que “é proibido o parcelamento de solo para fins urbanos em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas e cujo projeto de drenagem seja aprovado pelo Município”

Dessa forma, buscou-se estabelecer no Plano um conjunto de ações para a Bacia 01 que se configuram como medidas preventivas uma vez que ainda não há ocupação urbana. A delimitação das áreas de ocupação restrita propostas para a Bacia 01 pode ser visualizada no mapa apresentado no Anexo 1.

3.3 MEDIDAS PROPOSTAS - BACIA 02

Na Bacia 02 foram identificados três pontos críticos, que correspondem à ocorrência de alagamentos nos bairros Jardim Petrópolis (Figura 128 – Ponto 1) e Alto da Boa Vista (Figura 128 – Ponto 2), e no trecho de jusante do Riacho Vitória onde foram identificadas áreas suscetíveis à ocorrência de inundações pelo transbordamento da calha do riacho em eventos intensos e que atualmente já afetam edificações existentes (Figura 128 – Ponto 3).

Figura 128. Pontos críticos na Bacia 02



Fonte: PDCA (2025).

Em relação aos alagamentos existentes no bairro Jardim Petrópolis (Figura 128 – Ponto 1), verifica-se que a área não possui rede de microdrenagem, assim como a ocupação urbana foi realizada de forma irregular sobre o talvegue natural. Dessa forma, tal configuração dificulta o escoamento superficial, além de que as condições do terreno favorecem o acúmulo de água em pontos baixos existentes, os quais acarretam alagamentos durante eventos intensos. Para este problema, adotou-se a revitalização de uma lagoa de amortecimento integrada, por sistema de bombeamento, com o canal existente que se inicia na rua Cinquenta e Sete e tem o seu deságue no Afluente do Riacho Vitória, incluindo também a implantação de trechos atualmente inexistentes (Figura 129 e Anexo 2). Para a definição de lagoa de retenção enquanto solução adotada, buscou-se explorar alternativas na modelagem de cenários futuros, como a implantação de rede de microdrenagem (drenagem profunda) em todo o bairro e/ou a desocupação de todos os imóveis localizados em áreas sujeitas à alagamentos atualmente. No entanto, optou-se pela utilização de lagoa considerando que atualmente a sua área de implantação já existe e que já cumpre função amortecimento, sendo necessário apenas o seu redimensionamento para garantir o amortecimento de toda a sua área de contribuição. Além disso, considerando que se trata de uma área de ocupação irregular em que não houve a realização de projetos para o seu loteamento, também será necessário realizar a requalificação urbana do bairro, sobretudo no que diz respeito a microdrenagem (seja ela superficial ou profunda).

No que diz respeito aos alagamentos existentes no bairro de Alto da Boa Vista (Figura 128 – Ponto 3), verificou-se a necessidade de readequar o sistema de microdrenagem (drenagem profunda), de modo a garantir o escoamento pelo Canal da Av. Tapuio (Figura 129 e Anexo 2). No entanto, verificou-se também a necessidade de realização de estudos detalhados para verificar a necessidade de redimensionamento do Canal da Av. Tapuio, uma vez que este atualmente já atingiu a sua capacidade máxima de escoamento (Figura 129 e Anexo 2).

Em relação à área inundável localizada no trecho de jusante final do Riacho Vitória, optou-se apenas pela definição da área suscetível à ocorrência de inundações, com ocupação restrita, e a realização de levantamento de edificações atualmente existentes e que se configuram como áreas de riscos. Neste aspecto, na modelagem de cenários futuros buscou-se também alternativas como medidas estruturais que reduzissem a área inundável e mitigassem o risco existente (alargamento de calha do riacho, implantação de barramento à montante etc.), de modo que não fosse necessário realizar eventuais embargos para as edificações já existentes no local. No entanto, todas as soluções baseadas em medidas estruturais simuladas não apresentaram viabilidade de execução, sobretudo pela relação entre o custo financeiro de implementação e o fato de que esta é uma área de baixa densidade urbana, onde se torna mais viável realizar o controle da sua ocupação. Além disto, esta é uma

área de relevância ambiental por se tratar do ponto de encontro entre o Riacho Vitória e o Rio São Francisco, e assim, evitou-se a recomendação de propostas que pudessem ocasionar em alterações ambientais bruscas.

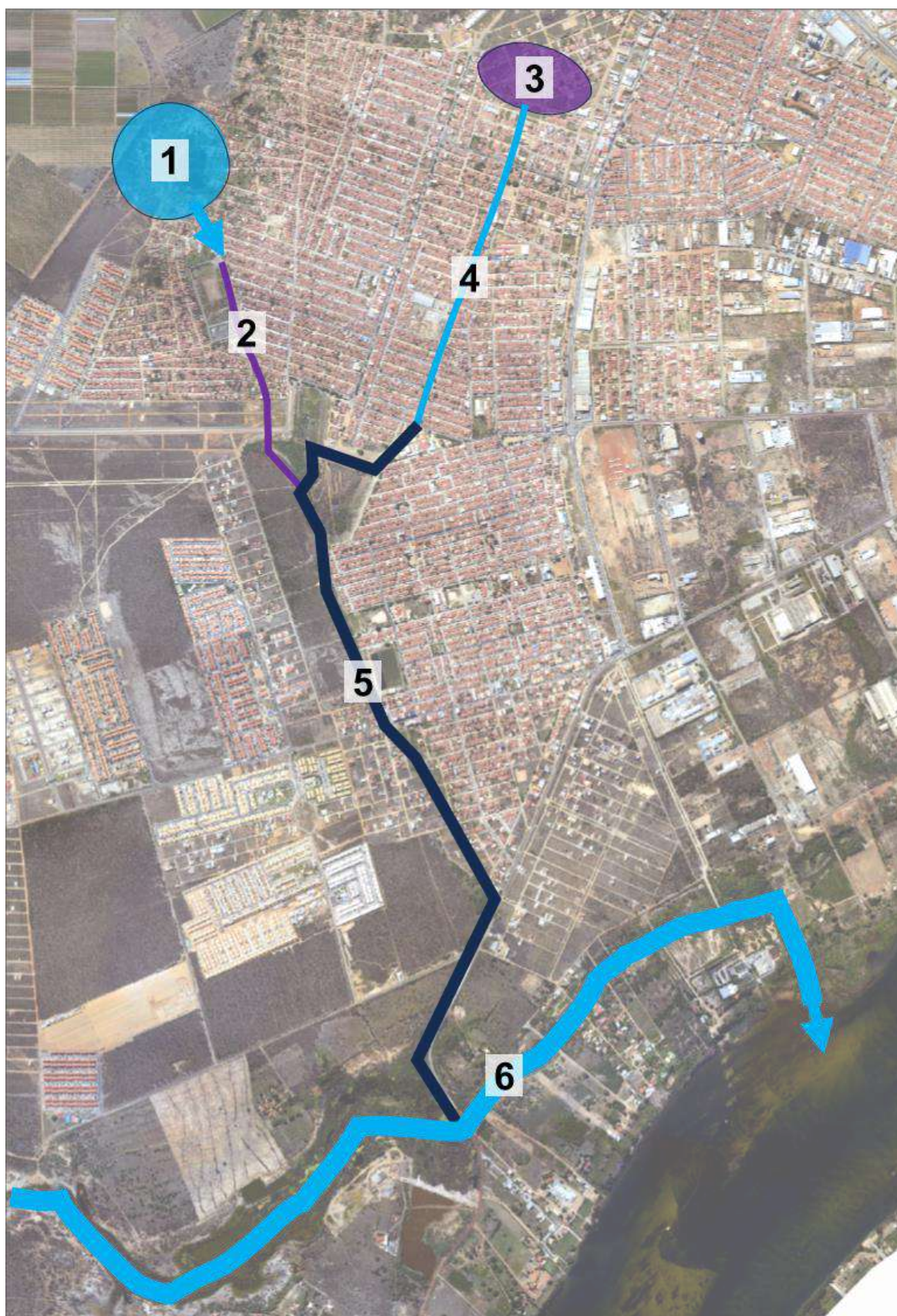
Além destas ações propostas especificamente para os trechos críticos citados, foram determinadas como diretrizes: a revitalização da calha de riachos e canais localizados na bacia; a readequação das travessias (bueiros e pontilhões) de modo que não se configurem como pontos de estrangulamento; a delimitação das Áreas de Proteção Permanente nas margens de riachos, talvegues e lagoas naturais; a delimitação de áreas “*Non Aedificandi*” em canais (com exceção dos trechos em galerias), lagoas artificiais e lagoas e riachos naturais em áreas urbanas consolidadas; delimitação de áreas “*Non Aedificandi*” para áreas suscetíveis à ocorrência de inundações. No que diz respeito à delimitação de áreas com restrição de ocupação, estas foram definidas para toda a bacia, incluindo áreas ainda não ocupadas e áreas rurais, tornando-se assim ações de cunho preventivo considerando a expansão urbana futura de modo compatível com a macrodrenagem do município.

Como resumo das ações apresentadas desta seção do relatório, a Figura 129 apresenta o mapa com a localização das principais propostas adotadas para a bacia, em que:

- 1) Revitalização da lagoa no Bairro Jardim Petrópolis e zoneamento da área de ocupação restrita em seu entorno;
- 2) Revitalização de calha do canal, readequação das travessias (bueiros e pontilhões) e zoneamento da área de ocupação restrita em suas margens;
- 3) Readequação da rede de microdrenagem no Bairro do Alto da Boa Vista;
- 4) Realização de Estudo de Microdrenagem do Canal da Av. Tapuío, para avaliar a sua capacidade em relação à sua área de contribuição;
- 5) Revitalização de calha do afluente, readequação das travessias (bueiros e pontilhões) e zoneamento da área de ocupação restrita em suas margens;
- 6) Revitalização de calha do Riacho Vitória, readequação das travessias (bueiros e pontilhões), zoneamento da área de ocupação restrita em suas margens (área de proteção permanente e área “*Non Aedificandi*” nos trechos inundáveis), levantamento de imóveis existentes em situação de risco.

Por fim, a Figura 129 apresenta de forma esquemática apenas as principais ações propostas para a área já urbanizada, de modo que todas as diretrizes são apresentadas na Tabela 2 e em mapa no Anexo 2.

Figura 129. Ações propostas para os trechos críticos da Bacia 02



Fonte: PDCA (2025).

Tabela 25. Medidas Propostas para a Bacia 02

Trecho	Medidas Propostas
Trecho 01 - Lagoa Jardim Petrópolis até PE-655	Delimitar APP ao longo da Lagoa Jardim Petrópolis;
	Delimitar área “Non Aedificandi” no canal Jardim Petrópolis (trecho aberto);
	Desapropriar imóveis em APP ou áreas “Non Aedificandi”;
	Desocupar imóveis em APP ou áreas “Non Aedificandi”;
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento na lagoa;
	Revitalizar lagoa Jardim Petrópolis;
	Realizar limpeza e regularização da lagoa Jardim Petrópolis;
	Manter canal existente entre a Rua Carminha Chaves e a Rua Demétrio F. de Carvalho (ao longo da rua Cinquenta e Sete) com seção retangular de 2,40m de largura média;
	Verter águas excedentes da Lagoa do Jardim Petrópolis em direção ao canal Jardim Petrópolis, próximo à Rua Cinquenta e Sete, por bombeamento;
	Revitalizar canal, restabelecendo calha trapezoidal com base maior de 5,0m de largura entre a Rua Demétrio F. de Carvalho e a rua Oscár Brasileiro de Souza;
	Remover galeria existente e implantar BDCC de 1,5m X 1,5m da rua Oscár Brasileiro de Souza até após a Av. São Gonçalo;
	Delimitar área “Non Aedificandi” no Afluente do Riacho Vitória;
	Revitalizar Afluente do Riacho Vitória, restabelecendo calha trapezoidal com base maior de 10,0m de largura entre o final do canal da Av. Tapuio (Rua do Maracujá) e a PE-655 (encontro com Riacho Vitória), com vias laterais entre a Rua Quinze e a Avenida Luiz de Souza;
	Executar enrocamento na lateral da PE-655;
	Implantar canal trapezoidal de 5m de largura entre a Av. São Gonçalo (final do BDCC) e encontro com Afluente do Riacho Vitória;
	Implantar calha trapezoidal de 10m de largura do final do canal da Av. Tapuio (Rua do Maracujá) até PE-655;
	Manter BQCC (quádruplo) de 1,5m X 1,5m na Rua Dom Tomaz;
	Implantar BTCC de 1,5m X 1,5m na rua Quinze;
	Implantar BTCC de 1,5m X 1,5m em travessia lateral a PE-655 próximo à rua Maitaca Verde.
Trecho 02 - Canal da Av. Tapuio	Realizar estudos de microdrenagem para o Canal da Av. do Tapuio.
Trecho 03 - Zona Rural até o Rio São Francisco	Delimitar APP ao longo do riacho;
	Delimitar área “Non Aedificandi” em área alagável;
	Desapropriar imóveis em APP ou áreas “Non Aedificandi”;
	Desocupar imóveis em APP ou áreas “Non Aedificandi”;
	Revitalizar riacho, reestabelecendo calha trapezoidal de base maior de 10m de largura;
	Retirar dispositivos de travessias existentes, permanecendo apenas acesso a Compesa.

3.4 MEDIDAS PROPOSTAS - BACIA 03

Na bacia 03 foram identificados os principais problemas existentes em Petrolina no que diz respeito à drenagem urbana, principalmente pelo fato de que as características da bacia contribuem para a formação vazões elevadas, ao passo em que o leito menor do seu talvegue principal (Riacho das Porteiras) não comporta todo o escoamento em sua calha e acarreta pontos de transbordamento às suas margens. Além disso, a bacia apresenta transbordamento de canais afluentes do Riacho das Porteiras, os quais não comportam vazões para o tempo de recorrência de 25 anos, e alagamentos ocasionados pela ausência de sistema de microdrenagem.

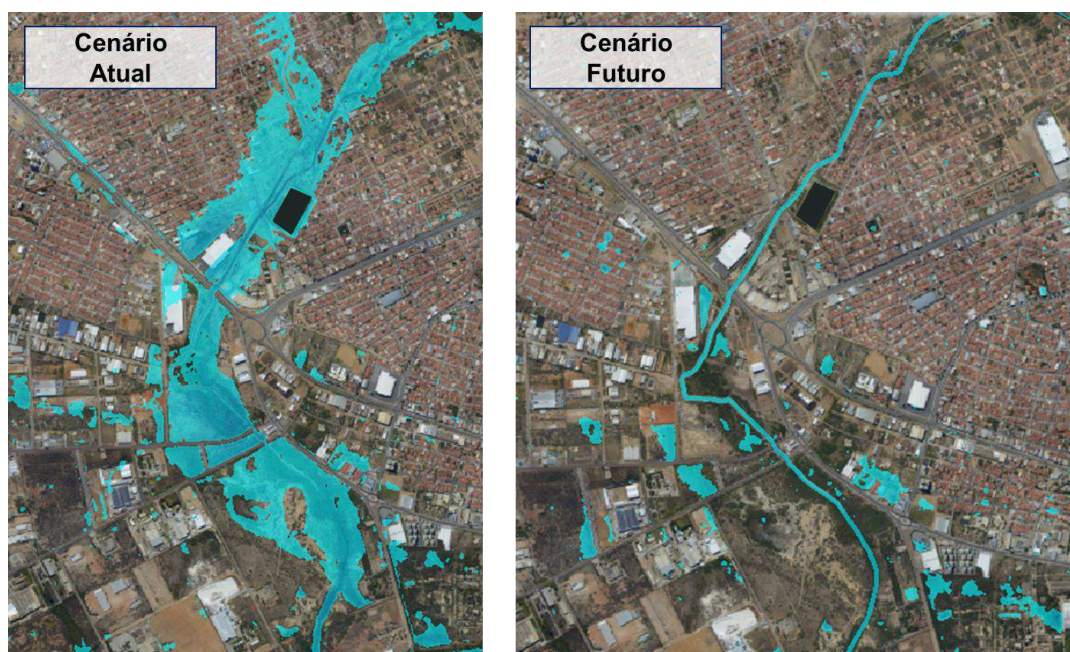
Em relação ao Riacho das Porteiras, que é o talvegue principal da bacia, o seu leito maior (área inundável) na área urbana é ocupado por edificações de forma consolidada, de modo que são identificados danos e prejuízos ocasionados por inundações nestas áreas. Neste contexto, na modelagem de cenários futuros buscou-se inicialmente explorar alternativas relacionadas ao amortecimento das vazões (barramentos, lagoas de amortecimento, etc.), de modo que o redimensionamento da sua calha não acarretasse desapropriações/desocupação/remoção de imóveis localizados em áreas consolidadas da cidade. No entanto, as soluções relacionadas ao amortecimento de vazões em seu curso não demonstraram desempenho satisfatório para a mitigação efetiva dos riscos existentes, ou não apresentaram viabilidade técnica ou financeira.

Sendo assim, optou-se pela revitalização da calha do Riacho das Porteiras para que a sua capacidade esteja compatível com as vazões de projeto, as quais chegam a atingir aproximadamente $65\text{m}^3/\text{s}$ para o tempo de recorrência de 25 anos. Nesse sentido, a revitalização do Riacho das Porteiras demanda por uma calha de largura com dimensões elevadas (entre 10 metros e 25 metros), principalmente por se tratar de vazões elevadas e as características do terreno se configurarem como áreas planas de baixa declividade.

A partir de simulações por modelagem hidrodinâmica verificou-se que, enquanto projeto em nível conceitual, a revitalização do Riacho das Porteiras deve levar em consideração todos os elementos descritos anteriormente na seção inicial deste capítulo, abrangendo: a) o alargamento da sua seção entre 10 metros e 25 metros (caso sejam preservadas as cotas de fundo atuais); b) redimensionamento de passagens sobre vias; c) ajustes de declividades; d) revestimento natural, desde que favoreça o escoamento (rugosidade / manning em torno de 0.035).

Como pode ser observado na **Erro! Autoreferência de indicador não válida.**, a adoção destas medidas irá contribuir significativamente para a mitigação dos danos e prejuízos ocasionados atualmente em decorrência de inundações no Riacho das Porteiras. Por sua vez, a delimitação de áreas de ocupação restrita irá contribuir para a preservação ambiental do riacho e para a mitigação de riscos existentes atualmente a partir da remoção de edificações em áreas restritas e redução da vulnerabilidade.

Figura 130. Redução de área inundável a partir da revitalização do Riacho das Porteiras.



Fonte: PDCA (2025).

No entanto, como já mencionado anteriormente, a execução de intervenções físicas desta magnitude não deve estar focada exclusivamente na função do corpo hídrico apenas como dispositivo de drenagem, e deve levar em consideração aspectos ambientais, urbanísticos e paisagísticos. Por tais razões, recomenda-se que a revitalização do Riacho das Porteiras considere a implantação de duas calhas, sendo a primeira o seu leito menor dimensionado para as vazões normais do riacho, e a segunda calha correspondendo ao seu leito maior dimensionado para comportar o escoamento durante eventos de chuvas intensas (tempo de recorrência de 25 anos). O leito menor se faz necessário para garantir a existência do riacho, uma vez que a sua vazão normal é consideravelmente baixa em relação a uma seção transversal de 10 metros a 25 metros, podendo acarretar lâminas d'água menores que 10 centímetros e ampliar os efeitos de evapotranspiração, além de outros prejuízos ambientais. Além disso, a adoção de duas calhas irá possibilitar que o seu leito maior possa ser utilizado como parque linear durante os períodos secos, contribuindo assim não só para a drenagem

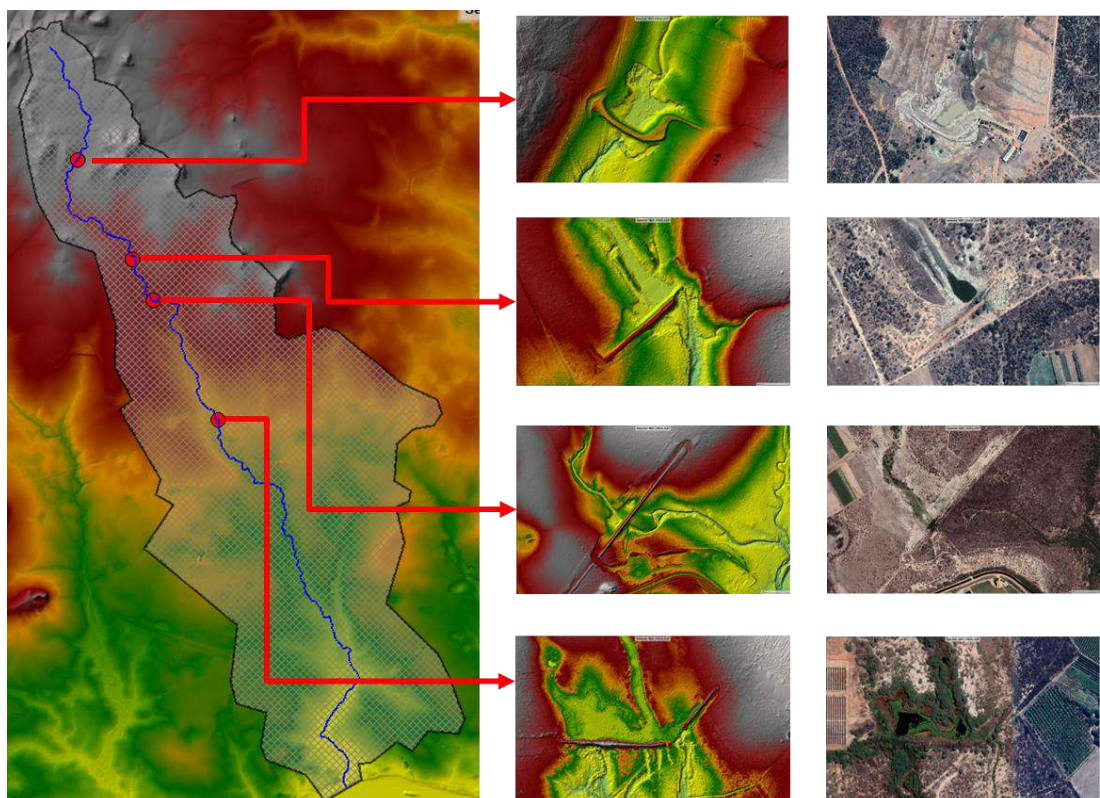
urbana, mas como também para a qualidade de vida da população no que diz respeito ao acesso à equipamentos urbanos de lazer públicos.

Figura 131. Revitalização de riachos em duas calhas



Por fim, no que se trata do Riacho das Porteiras, se faz necessário considerar a existência de 04 barramentos na área rural da bacia, as quais contribuem significativamente para o amortecimento do escoamento (Figura 132 e Tabela 3). No entanto, estes barramentos são estruturas existentes em propriedades rurais privadas, para fins de armazenamento de água, sendo necessário realizar o Plano de Segurança de Barragens e inspeções para avaliação do estado de conservação da sua estrutura e análise do seu potencial no amortecimento de cheias.

Figura 132. Barramentos existentes na Bacia 03.



Fonte: PDCA (2025).

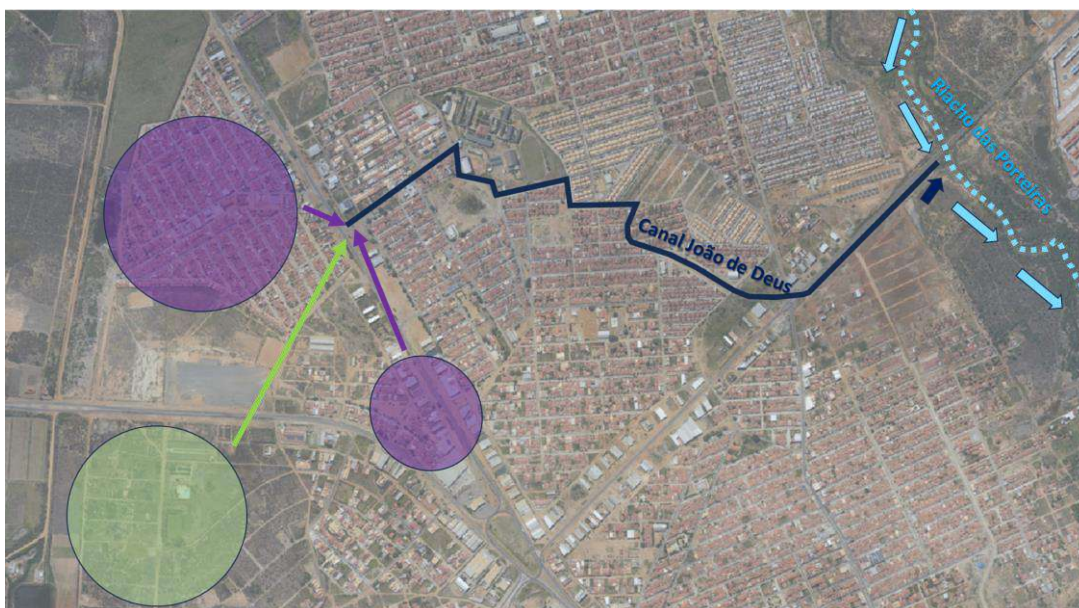
Tabela 26. Localização dos barramentos existentes na Bacia 03

Barramento	Latitude (WGS84)	Longitude (WGS84)
Barramento 01	-9.230328°	-40.596009°
Barramento 02	-9.257818°	-40.580895°
Barramento 03	-9.269349°	-40.575211°
Barramento 04	-9.302352°	-40.557204°

Fonte: PDCA (2025).

Em seguida, o Canal João de Deus foi segundo trecho crítico analisado na bacia, o qual opera atualmente em condições limitadas para o tempo de retorno de 25 anos e onde são relatados problemas relacionados à pontos de transbordamento durante a ocorrência de chuvas intensas. Além disso, existem áreas localizadas na sub bacia do Canal João de Deus que apresentam pontos de alagamentos ocorridos com frequência, demandando assim a implantação de rede de microdrenagem para promover o escoamento efetivo entre estas áreas e o canal (Figura 133). No bairro Cosme e Damião, os pontos críticos estão localizados na Av. Santo Moxotó e no entorno da Rua Agrião, onde recomenda-se a implantação de galerias subterrâneas que garantam o escoamento para o Canal João de Deus. Da mesma forma, no bairro Portal da Cidade os pontos críticos se localizam no entorno da Rua Berimbau e da Rua I, sendo implantar galerias para a conexão entre o bairro e o canal (Figura 133). Sendo assim, recomenda-se a revitalização e ampliação da calha do Canal João de Deus, sobretudo para o aumento da sua capacidade de escoamento, considerando a inclusão das contribuições provenientes dos bairros Cosme e Damião, IPSEP II e Portal da Cidade.

Figura 133. Medidas propostas relacionadas ao Canal João de Deus.



Fonte: PDCA (2025).

No Canal do Vale do Grande Rio, localizado no Bairro Pedro Raimundo, as medidas recomendadas abrangem a revitalização da sua calha, incluindo o seu redimensionamento para o tempo de retorno de 25 anos, e considerando também que a sua capacidade seja ampliada para comportar áreas do bairro que se configuram como pontos baixos e que atualmente não estão conectadas com o canal, consistindo em pontos de alagamento em chuvas intensas. De modo mais crítico, no Bairro Pedro Raimundo são identificadas duas áreas onde ocorrem os maiores danos ocasionados por alagamentos, sendo necessário implementar sistema de microdrenagem para que o escoamento possa ser direcionado para o Canal do Vale do Grande Rio (Figura 134). Além disso, no cenário atual verifica-se que o bairro é afetado pelo de transbordamento do Canal João de Deus e do Riacho das Porteiras, de forma que tais problemas serão mitigados a partir das ações relacionadas à revitalização do canal e do riacho, conforme descrito nas duas medidas propostas anteriormente.

Figura 134. Medidas propostas para o Canal do Vale do Grande Rio.



Fonte: PDCA (2025).

Em relação ao canal Dom Malan, que deságua no Riacho das Porteiras, foi observado que ele opera em condições críticas para chuvas com tempo de retorno de 25 anos, acarretando pontos de alagamento, além de apresentar trechos consideravelmente danificados, em baixo estado de conservação. Nesse sentido, recomenda-se o redimensionamento da sua calha e adoção de galerias, visando ampliar a sua capacidade de escoamento para eventos críticos com tempo de retorno de 25 anos, sem comprometer as vias laterais (Figura 135).

Ainda na sub-bacia do Canal Dom Malan, o Bairro Antônio Cassimiro apresenta problemas de drenagem relacionados à alagamentos, sobretudo na Av. Mar da Tasmânia, sendo atualmente um dos principais pontos críticos existentes na cidade no que diz respeito à microdrenagem. Nesta área observa-se que as configurações do terreno resultam em pontos baixos que não permitem o escoamento apenas por meio de drenagem superficial (sarjetas etc.), sendo necessário readequar o sistema de microdrenagem por galerias subterrâneas existentes, para que o escoamento ocorra de forma efetiva até Canal Dom Malan (Figura 135).

Por fim, observou-se que as vazões de pico da sub-bacia do Canal Malan em seu exutório (Riacho das Porteiras) se aproximam de valores em torno de 15 m³/s, para o tempo de retorno de 25 anos, correspondendo à aproximadamente 23% da vazão de pico do Riacho das Porteiras em seu ponto de deságue final no Rio São Francisco. Ao mesmo tempo, identificou-se a possibilidade de revitalização de duas lagoas de amortecimento ao longo do canal, as quais irão contribuir para a redução das vazões no Riacho das Porteiras, além de ampliar a capacidade de drenagem do canal na própria sub-bacia (Figura 135).

Figura 135. Medidas propostas relacionadas Canal Dom Malan.



Fonte: PDCA (2025).

Assim, estas são as medidas propostas que estão relacionadas com trechos críticos existentes na Bacia 03, visando a mitigação dos riscos existentes em Petrolina. A Figura 136 apresenta a localização destas medidas principais, enquanto a Tabela 4 e o Anexo 03 contém todas as ações propostas para o Plano de Macrodrenagem. Em relação à Figura 136, têm-se:

- 1) Revitalização de calha do Riacho das Porteiras; zoneamento da área de ocupação restrita em suas margens;
- 2) Revitalização de calha do canal João de Deus; Implantação de sistema de microdrenagem conectando os bairros Cosme e Damião, IPSEP II e Portal da Cidade com o canal; zoneamento da área de ocupação restrita em suas margens;
- 3) Revitalização de calha do canal do Vale do Grande Rio; Implantação de sistema de microdrenagem conectando pontos baixos da sub-bacia com o canal; zoneamento da área de ocupação restrita em suas margens;
- 4) Revitalização de calha do canal Dom Malan; Revitalização de lagoas de amortecimento; Readequação do sistema de microdrenagem conectando pontos baixos da sub-bacia com o canal; zoneamento da área de ocupação restrita em suas margens;

Figura 136. Principais medidas propostas para a Bacia 03.



Fonte: PDCA (2025).

Tabela 27. Medidas propostas para a Bacia 03

Trecho	Medidas Propostas
Trecho 01 - Entre a BR-407 e o Rio São Francisco	Delimitar APP ao longo do riacho;
	Desapropriar imóveis em APP;
	Desocupar imóveis em APP;
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento;
	Realizar limpeza, desobstrução e manutenção da calha;
	Implantar BQCC(Quintúplo) de 3,0 x 2,0m na travessia da Av. José de Santana e da Av. Luiz de Souza;
	Implantar ponte de 25,0m de comprimento na travessia da Orla 3;
	Revitalizar riacho, restabelecendo a calha trapezoidal com base maior de 25,0m de largura;
	Implantar canal de largura de 3,0m de próximo à ETA Petrolina II até a rua J.
Trecho 02 - Entre o ponto de encontro da Lagoa Antônio Cassimiro e BR-407	Delimitar área "Non Aedificandi" ao longo do riacho;
	Desapropriar imóveis em áreas "Non Aedificandi";
	Desocupar imóveis em áreas "Non Aedificandi";
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento;
	Aterrar canal paralelo ao riacho que é utilizado para despejo de efluentes sem tratamento (chegando na Av. dos Tropeiros);
	Revitalizar riacho, restabelecendo a calha trapezoidal com base maior de 25,0m de largura;
	Revitalizar canal do Dom Malan, restabelecendo a calha trapezoidal com base maior de 5,0m de largura entre a Lagoa do Antônio Cassimiro e o encontro com Riacho;
	Implantar BQCC(Quintúplo) 2,5m x 1,5m na travessia da Rua Ataulfo Alves;
	Implantar BQCC(Quintúplo) 3,0m x 1,5m na travessia da Av. dos Tropeiros e da BR-407;
Trecho 03 - Trecho entre a Av. Transnordestina e ponto de encontro da Lagoa Antônio Cassimiro	Revitalizar canal, restabelecendo a calha trapezoidal com base maior de 4,0m de largura ao lado do Atacadão até encontro com Riacho das Porteiras.
	Delimitar APP ao longo do riacho;
	Desapropriar imóveis em APP;
	Desocupar imóveis em APP;
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento;
	Revitalizar riacho, restabelecendo a calha trapezoidal com base maior de 20,0m de largura;
	Recuperar vegetação ciliar;
	Revitalizar Afluente do Riacho, restabelecendo a calha trapezoidal com base maior de 10,0m de largura;
	Implantar enrocamento na Rua Santa Catarina;
	Manter BSCE (Sextúplo) de 2,0m x 1,6m na travessia da Rua Santa Catarina;
	Aterrar canal do Cacheado, após a realização dos estudos de microdrenagem e disciplinamento das águas;
	Implantar Parque Ecológico no riacho.
	Delimitar APP ao longo do riacho;

Trecho 04 - Trecho da Av. João Barbosa da Cunha até a Av. Transnordestina	Desapropriar imóveis em APP e áreas “Non Aedificandi”;
	Desocupar imóveis em APP e áreas “Non Aedificandi”;
	Revitalizar riacho, restabelecendo a calha com 20,0m de largura no braço esquerdo e 10,0m no Afluente (lado direito);
	Implantar ponte de 20,0m de largura no braço esquerdo do Riacho das Porteiras na rua Vinte e Três;
	Implantar BDCC de 3,0m X 1,5m no Afluente do Riacho das Porteiras na rua Vinte e Três;
	Aterrar vala existente entre os dois braços do Riacho das Porteiras
	Implantar ponte de 20,0m de largura no braço esquerdo do Riacho das Porteiras na Av. da Fertilidade (Transnordestina);
	Realizar estudos de microdrenagem no Canal do Cacheado;
	Implantar canal de 5,0m de largura a partir da rua Vinte e Três até rua Projetada Um.
Trecho 05 - Canal do Dom Malan - Rua dos Jasmins até Lagoa do Antônio Cassimiro	Delimitar área “Non Aedificandi” ao longo do canal Dom Malan e lagoas Sete de Setembro e Antônio Cassimiro;
	Desapropriar imóveis em áreas “Non Aedificandi”;
	Desocupar imóveis em áreas “Non Aedificandi”;
	Realizar limpeza, desobstrução e manutenção do canal Dom Malan;
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento;
	Realizar limpeza e regularização das lagoas Sete de Setembro e Antônio Cassimiro;
	Revitalizar lagoas Sete de Setembro e Antônio Cassimiro;
	Recuperar vegetação ciliar da lagoa Antônio Cassimiro;
	Integrar trecho do canal Dom Malan com a Lagoa do Antônio Cassimiro (à montante e à jusante da lagoa), restabelecendo a calha trapezoidal com base maior de 10,0m de largura;
	Implantar BTCC 1,5 x 1,5 m na travessia da Av. da Redenção e Av. Fernando Farias;
	Restaurar pontos danificados da estrutura do canal;
	Revitalizar canal trapezoidal, restabelecendo a calha com base maior de 5,0m de largura da Lagoa 7 de Setembro até Av. João Barroso Galvão;
	Implantar BTCC de 1,0 x 1,0m da Av. João Barroso Galvão até Rua dos Jasmins.
Trecho 06 - Canal do João de Deus - Av. Santa Moxotó até encontro com Riacho das Porteiras	Delimitar área “Non Aedificandi” ao longo do canal João de Deus;
	Desapropriar imóveis em áreas “Non Aedificandi”;
	Desocupar imóveis em áreas “Non Aedificandi”;
	Restaurar pontos danificados da estrutura do canal revestido;
	Revitalizar canal, restabelecendo calha em trecho de solo natural;
	Realizar estudos de microdrenagem nos bairros Cosme e Damião e IPSEP, com travessia na BR 407;
	Realizar estudos de microdrenagem no bairro Portal da Cidade com travessia na BR 235;
	Alargar canal existente com largura de 5,0m da BR 407 até a Rua Quatorze;
	Implantar travessia 5,0m de largura entre Rua Quatorze e Rua Dezoito;

	Alargar canal existente paralelo a Av. da Fertilidade para 15,0m de seção até encontro com Riacho das Porteiras;
	Alargar canal existente da Rua Dezoito para 10,0m de seção até Av. da Fertilidade.
Trecho 07 - Canal do Vale do Grande Rio	Delimitar área Non Aedificandi ao longo do canal Vale do Grande Rio;
	Desapropriar imóveis em ANAED;
	Desocupar imóveis em ANAED;
	Realizar limpeza, desobstrução e manutenção do canal;
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento;
	Restaurar pontos danificados da estrutura do canal revestido;
	Realizar prolongamento do canal até a Rua 95;
	Realizar estudos de microdrenagem conectando pontos baixos da sub-bacia com o canal;
	Alargar canal existente da Rua Vinte e Oito para 3,5m de seção.
Trecho 08 - Canal do Massangano	Delimitar área Non Aedificandi ao longo do canal do Massangano;
	Desapropriar imóveis em ANAED;
	Desocupar imóveis em ANAED;
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento;
	Implantar canal de largura de 2,5m da Via de acesso as microempresas até a Rua Altino Coelho.
Trecho 09 - Canal do Distrito Industrial	Delimitar área Non Aedificandi ao longo do canal do Distrito;
	Desapropriar imóveis em ANAED;
	Desocupar imóveis em ANAED;
	Implantar canal de 5,0m de largura de próximo à rua M até encontro com Riacho Vitória;
	Implantar dispositivo de travessia na rua de ligação entre as ruas J e M. com mesma largura do canal;
	Revitalizar canal, restabelecendo a calha com 3,0m de largura;
Barragens na Área Rural	Realizar inspeções para avaliação do estado de conservação da estrutura das barragens e análise do seu potencial no amortecimento de cheias.

Fonte: PDCA (2025).

3.5 MEDIDAS PROPOSTAS - BACIA 04

Na bacia 04 foram identificados problemas pontuais que não se configuram entre os principais trechos críticos do município determinados na etapa de diagnóstico, mas ainda assim, mesmo que de forma pontual, estes pontos críticos secundários localizados na bacia 04 ocasionam transtornos para a população em períodos de chuvas intensas.

No Canal do Alto Cheiroso, além da necessidade de restauração de pontos danificados e delimitação da sua área “*Non Aedificandi*”, foi identificado que ele opera atualmente no limite da sua capacidade, chegando a transbordar em alguns trechos durante eventos de chuvas extremas. Além disso, verifica-se a necessidade de ampliar a sua área de contribuição, abrangendo a absorção do escoamento proveniente de áreas próximas que atualmente não estão conectadas com o canal, aqui se tratando especificamente do Loteamento Nova York (Anexo 4). Dessa forma, para que as contribuições no canal sejam ampliadas se faz necessário analisar o impacto dessas novas contribuições em relação à capacidade do canal, de modo que o canal possa ser utilizado ao máximo desde que venha a gerar problemas futuramente.

Por sua vez, de modo crítico, foram identificados pontos de erosão no trecho final do Canal do Alto Cheiroso, localizado entre a Av. Cardoso de Sá e o Rio São Francisco, margeando o talude lateral do condomínio Granville. Neste aspecto, é recomendada a revitalização do canal neste trecho final, restabelecendo sua calha de modo a reduzir os efeitos erosivos, uma vez que em longo prazo este processo poderá danificar a estrutura de edificações existentes em suas margens (Figura 137 e Anexo 4).

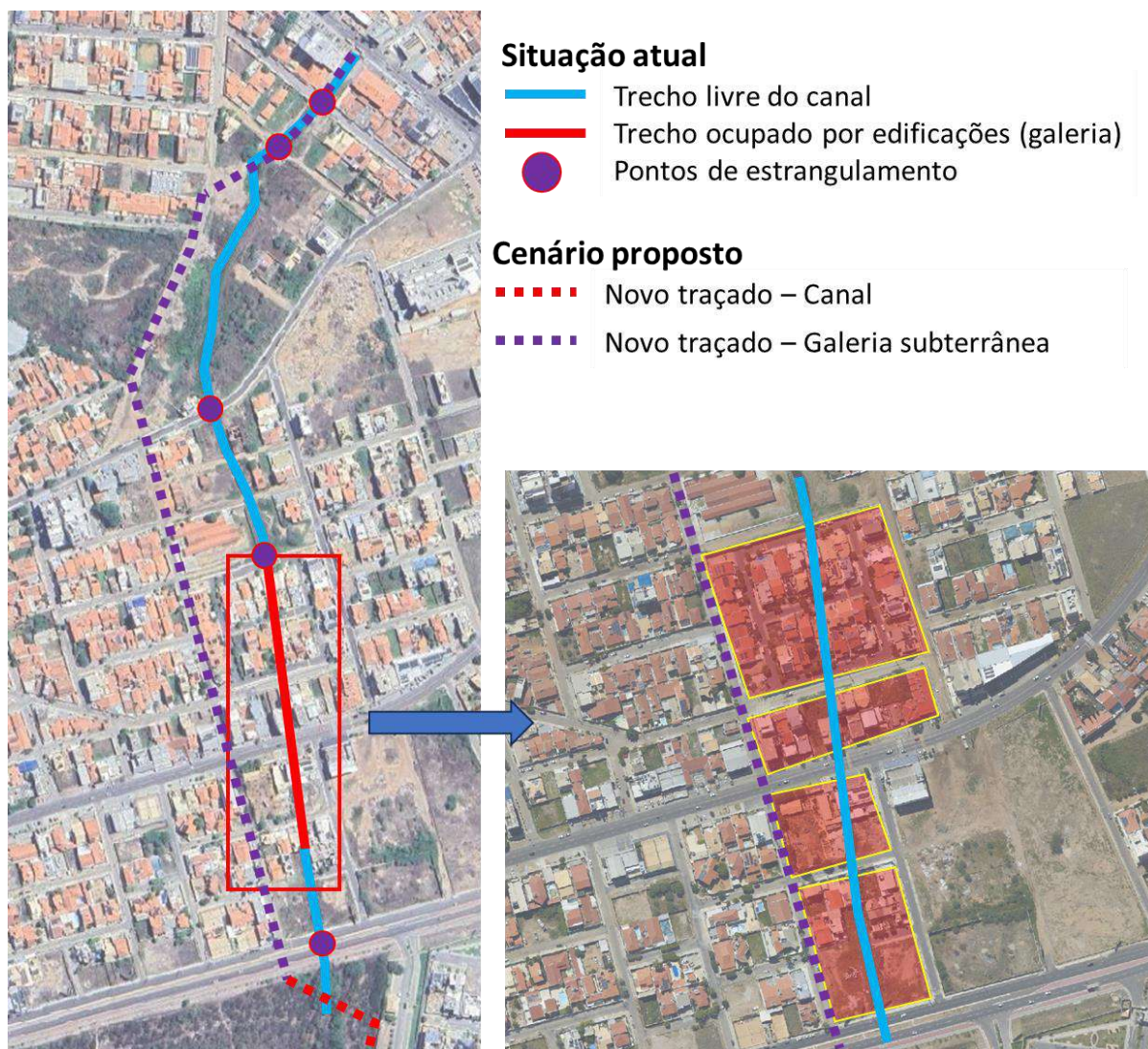
Figura 137. Trecho final a ser implementado no canal do Alto Cheiroso



Fonte: PDCA (2025).

No Canal do São José, localizado entre a Av. da Integração e a Av. Cardoso de Sá, recomenda-se a alteração do seu traçado e a utilização de galerias subterrâneas uma vez que o seu talvegue natural foi ocupado por loteamentos, gerando pontos de estrangulamento e a redução da sua capacidade de escoamento (Figura 138 e Anexo 4). Uma vez que estes loteamentos se encontram consolidados e que já existem loteamentos aprovados na área (mesmo que ainda não construídos), buscou-se evitar desapropriações/desocupações em uma área já consolidada da cidade. Neste sentido, chegou-se então na recomendação da alteração do seu traçado com a utilização de galerias subterrâneas sob as vias, uma vez que não se dispõe de áreas livres para a sua passagem (Figura 138 e Anexo 4). Dessa forma, será possível garantir o escoamento superficial na região, além de garantir a viabilidade de implantação de loteamentos já aprovados no local e que ainda não foram construídos.

Figura 138. Trecho crítico no Canal do São José



Fonte: PDCA (2025).

Além de soluções propostas para os dois canais acima mencionados, têm se também a recomendação de implantação do Sistema de Lagoas do Jatobá, composta por um grupo de 03 lagoas interligadas para a absorção do escoamento de loteamentos existentes na parte sudoeste da bacia 04, e as quais também serão utilizadas para o escoamento proveniente de áreas localizadas na bacia 05 (Figura 139 e Anexo 4). Atualmente, a Lagoa 01 do Jatobá já funciona como um importante dispositivo de drenagem, mas que ainda assim não opera em sua plena capacidade em relação ao volume de escoamento recebido. Verifica-se a retenção de água entre a Avenida João Cleverson Coelho Monteiro, Estrada Jatobá Carneiro e a Av. Maria Coelho Cavalcante Rodrigues. A simulação hidráulica deste trecho indicou que para vazões com recorrência de 25 anos já ocorre transbordamento da lagoa de formação natural localizada próximo à Estrada Jatobá-Carneiro. Sendo assim, para o seu aproveitamento máximo, estabelece-se a recomendação de que a sua capacidade de armazenamento seja ampliada, e a sua interligação com duas outras lagoas localizadas na região e o seu ponto final de deságue no Rio São Francisco. Da mesma forma, recomenda-se a implementação das áreas de proteção ambiental nas margens destas lagoas, de modo a garantir a sua preservação ambiental enquanto dispositivo de drenagem urbana.

Figura 139. Sistema de lagoas do Jatobá



Fonte: PDCA (2025).

Por fim, a Figura 140 elenca as principais proposições definidas para a bacia 04, enquanto todas as ações são apresentadas na Tabela 5 e no Anexo 4.

- 1) Análise de capacidade do canal para ampliação da sua área de contribuição; revitalização de trechos danificados do canal; implantação de área *Non Aedificandi* nas margens do canal;
- 2) Revitalização do trecho final do Canal do Alto Cheiroso, visando a mitigação do processo erosivo que ocorre atualmente, abrangendo também a delimitação de áreas *Non Aedificandi* nas margens do canal;
- 3) Alteração de traçado do canal do São José (galeria subterrânea), abrangendo também a delimitação de áreas *Non Aedificandi* nas margens do canal em seu trecho à céu aberto;
- 4) Implantação do Sistema de Lagoas do Jatobá, abrangendo também a delimitação de áreas *Non Aedificandi* ou APP nas margens das lagoas.

Figura 140. Ações propostas para os trechos críticos da Bacia 04



Fonte: PDCA (2025).

Tabela 28. Medidas Propostas para a Bacia 04

Trecho	Medidas Propostas
Trecho 01 - Lagoas do Jatobá (01, 02 e 03)	Delimitar área “Non Aedificandi” e APP;
	Desapropriar imóveis em áreas “Non Aedificandi” ou APP;
	Desocupar imóveis em áreas “Non Aedificandi” ou APP;
	Realizar limpeza e regularização das Lagoas;
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento;
	Recuperar vegetação ciliar.
	Revitalizar as Lagoas Jatobá 01 e 02;
	Implantar Lagoa do Jatobá 03, como sistema de amortecimento à montante da Lagoa 01;
	Verter águas excedentes da Lagoa 03 para Lagoa 01, com trecho em galeria;
	Verter águas excedentes da Lagoa do Jatobá 01 para o Rio São Francisco através de bombeamento.
	Verter águas excedentes da Lagoa 02 para a Lagoa 01, com trecho em galeria;
	Implantar infraestrutura para drenagem da Av. João Cleverson Coelho Monteiro, como parte da solução da bacia do Jatobá.
Trecho 02 - Canal do São José	Delimitar área “Non Aedificandi” em trecho aberto;
	Desapropriar imóveis em áreas “Non Aedificandi”;
	Desocupar imóveis em áreas “Non Aedificandi”;
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento;
	Realizar limpeza, desobstrução e manutenção do canal e galerias;
	Implantar BTCC de 1,0m da Av. da Integração até a Rua Jânio Quadros;
	Implantar galeria BDCC de 1,5m X 1,5m entre a Rua Jânio Quadros e Av. Cardoso de Sá, passando pelas ruas José Fernandes Teixeira, Austragestino de Ataíde, Constelação Triângulo Astral e Tuparetama;
	Implantar canal retangular de 5,0m da Av. Cardoso de Sá até Rio São Francisco.
Trecho 03 - Canal do Alto Cheiroso	Delimitar área “Non Aedificandi”;
	Desapropriar imóveis em áreas “Non Aedificandi”;
	Desocupar imóveis em áreas “Non Aedificandi”;
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento;
	Realizar limpeza, desobstrução e manutenção do canal e galerias.
	Revitalizar o trecho final do canal (entre Av. Cardoso de Sá e o Rio São Francisco) em calha retangular com 8,0m de largura;
	Regularizar fundo do canal no trecho onde há declividade negativa (próximo à travessia da Av. Cardoso de Sá);
	Restaurar pontos danificados da estrutura do canal;
	Manter seção existente do canal, porém, em caso de novos incrementos, além das contribuições já contempladas por sua bacia, deverá ser realizado estudo para redimensionamento de sua seção.

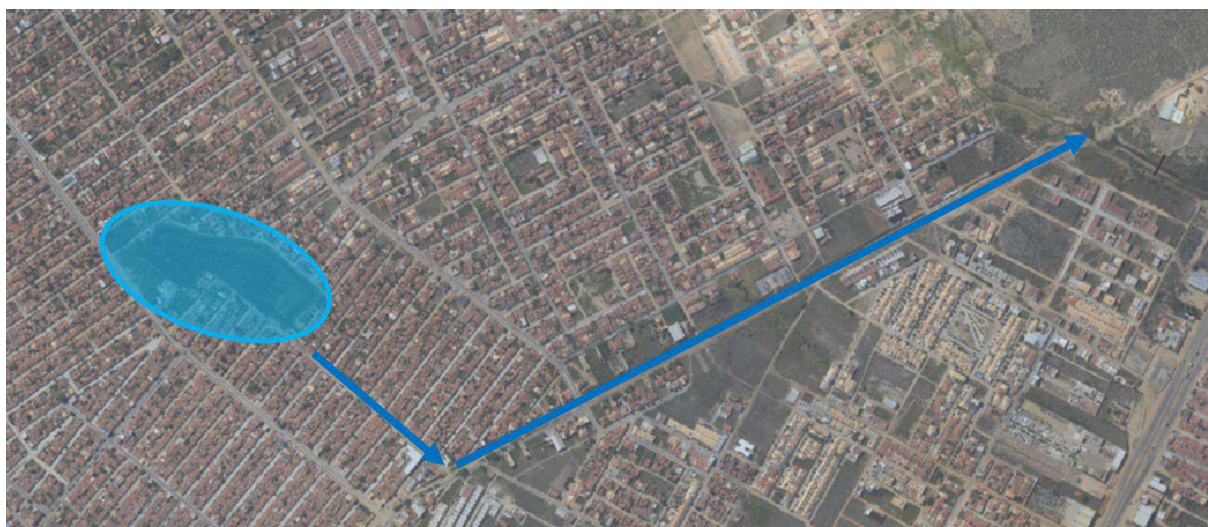
Fonte: PDCA (2025).

3.6 MEDIDAS PROPOSTAS - BACIA 05

A bacia 05 encontra-se entre as bacias que apresentaram a existências trechos críticos principais na etapa de diagnóstico, os quais já ocasionam transtornos consideráveis atualmente, além de alguns pontos críticos isolados identificados em áreas de baixa densidade urbana, mas que futuramente poderiam apresentar problemas de drenagem após a sua consolidação.

Nesse contexto, a primeira ação estabelecida compreende a revitalização da Lagoa São Joaquim no bairro homônimo, e a sua integração com o canal já existente na Avenida da Redenção. A lagoa atualmente já funciona como um dispositivo de drenagem, mas é necessário realizar intervenções para a ampliação da sua capacidade de armazenamento e a sua total integração com o canal da Av. Redenção, além da delimitação da respectiva área *Non Aedificandi* em seu entorno. Da mesma forma, o canal da Av. Redenção, que tem o seu ponto de deságue no Riacho Pau Ferro (Bacia 06), já opera em sua capacidade máxima e já são identificados pontos de extravasamento atualmente, de modo que devem ser realizadas intervenções para o aumento da sua capacidade de escoamento (ampliação de seção através de galerias celulares e remoção de pontos de estrangulamento), sobretudo para que seja possível receber as contribuições oriundas da Lagoa São Joaquim (Figura 141 e Anexo 5). Por fim, também deve ser realizada a delimitação da área *Non Aedificandi* ao longo do trecho natural do canal, buscando garantir que a sua calha e margens não sejam ocupadas por edificações.

Figura 141. Revitalização da Lagoa São Joaquim e Canal da Av. Redenção



Fonte: PDCA (2025).

O segundo ponto crítico localizado na bacia 05 compreende o trecho de drenagem situado entre a Av. Beija-Flor e a rodovia BR-428, onde já ocorrem pontos de alagamentos críticos e danos às edificações e população em seu entorno. Na etapa de diagnóstico, verificou-se que as principais causas são dadas pela ocupação e modificações realizadas no talvegue natural e, principalmente, pela obstrução de vazão que ocorre na BR-428, reduzindo assim a capacidade do escoamento para o seu trecho de jusante, onde o talvegue principal da bacia tem sua continuidade até o seu exutório.

Sendo assim, recomenda-se a revitalização da drenagem de toda a área de contribuição, consistindo na implementação de galerias subterrâneas em trechos de ocupação urbana já consolidada, revitalização da calha do riacho e desobstrução de vazão na travessia da BR-428, além do aumento da capacidade de vazão do trecho de jusante após a BR-428, combinando a utilização de galerias e canal, de modo que todo o escoamento da área de contribuição possa ser direcionado sem que haja transbordamentos dos canais e/ou pontos de alagamentos por inexistência de sistema de micro drenagem (Figura 142). Além destes elementos, recomenda-se a revitalização das Lagoas Padre Cícero, já existentes que atualmente operam com capacidade de armazenamento reduzida, e a sua integração com o canal (Figura 142). Por fim, para todos os trechos de canais e/ou riachos comentados nesta seção, devem ser delimitadas as suas respectivas áreas “*Non Aedificandi*”, e para todas as lagoas a delimitação da Área de Preservação Permanente, de modo a garantir que não sejam ocupadas por edificações em momentos futuros.

Figura 142. Ações recomendadas para o trecho crítico no talvegue principal da bacia 05



Fonte: PDCA (2025).

Em relação ao trecho localizado na área do Batalhão Militar (72º Batalhão de Infantaria Motorizado), em que o corpo hídrico se configura um riacho, recomenda-se a delimitação da área de proteção permanente em suas margens. Em todos os cenários futuros alternativos modelados, buscou-se evitar a realização de intervenções neste trecho do corpo hídrico uma vez que o Plano Diretor já estabelece que toda a área do Batalhão se configura como uma zona sem antropização (Área de Imóvel Especial de Amenização).

Por sua vez, no trecho final de jusante da bacia 05, foram verificados problemas relacionados ao escoamento no trecho localizado entre a saída do Batalhão Militar (na Av. das Pedrinhas) e o seu ponto de deságue no Rio São Francisco, de modo que atualmente já ocorrem problemas de drenagem nesta área. Nesta região verifica-se a existência de áreas alagadas que já afetam edificações, a exemplo da chácara Millenium, Clube de Tiro, a Avenida das Pedrinhas e áreas próximas a Estrada Jatobá Carneiro. O principal problema observado, relacionado aos transbordamentos existentes neste trecho, se deve às modificações realizadas no percurso natural do corpo hídrico, o qual teve seu trecho final desviado, passando a escoar em paralelo à Av. das Pedrinhas, e pela inexistência de uma linha drenagem definida para o seu deságue final no Rio São Francisco.

Nesse contexto, diversos cenários futuros foram simulados por modelagem hidrodinâmica, buscando encontrar as melhores alternativas para a mitigação dos problemas de drenagem nesta área. Verificou-se que a melhor alternativa contempla a adoção de diferentes medidas implementadas em conjunto, uma vez que apenas a implementação de uma única solução não apresentou desempenho favorável para a resolução dos problemas identificados. Neste trecho foram identificadas vazões máximas em torno 25 m³/s, e que para a resolução a partir de soluções individuais seria necessário implementar estruturas com dimensões que não se apresentaram viáveis.

Sendo assim, foram definidas a implementação de um canal para o escoamento em seu trecho final de deságue no Rio São Francisco, e lagoas de amortecimento que serão necessárias para tornar as vazões compatíveis com a capacidade deste novo canal (Figura 143 e Anexo 5). Ainda assim, observou-se a necessidade de elevação do greide da Av. das Pedrinhas em seus trechos mais baixos nesta região de modo que as cotas na via estejam sempre acima das cotas de inundação e assim a Av. das Pedrinhas possa se configurar como um enrocamento e não permita o transbordamento do corpo hídrico entre os dois lados da via (Figura 143 e Anexo 5).

Ainda no trecho final da bacia, além deste ponto crítico citado anteriormente, verificou-se a necessidade de implementação de um canal e de uma lagoa na microbacia delimitada entre a Av. das Pedrinhas e Estrada do Jatobá. Foi verificado que esta é uma região ainda com baixa densidade urbana, mas que se encontra em fase inicial de consolidação, com a existência de alguns loteamentos já aprovados e em execução. Sendo assim, para que a microbacia não

venha a sofrer futuramente com problemas de drenagem, a implementação desta lagoa e de um canal sobre o talvegue natural da microbacia irá permitir que a área possa ser ocupada de modo planejado no que diz respeito à drenagem (Figura 143 e Anexo 5). A lagoa e o canal já existem naturalmente, definidos pela configuração do terreno, e neste momento, busca-se a sua efetiva implementação e preservação enquanto dispositivo de drenagem. Neste aspecto verifica-se a importância do Plano de Macrodrenagem enquanto dispositivo de planejamento em longo prazo, a partir da recomendação de medidas para áreas que ainda não são ocupadas. Por fim, ainda para este trecho, verificou-se a existência de uma área inundável extensa em um talvegue natural que margeia a Estrada do Jatobá e que se conecta com o Rio São Francisco (Figura 143 e Anexo 5). De modo similar ao Riacho Vitória em seu trecho final de jusante, seja pela baixa densidade urbana ou pela importância ambiental do trecho, observou-se que a melhor alternativa recomenda é a delimitação da sua área *Non Aedificandi* em função da suscetibilidade à ocorrência de inundações no local (Figura 143 e Anexo 5).

Figura 143. Ações recomendadas para o trecho final de jusante da bacia 05



Fonte: PDCA (2025).

Como último ponto de ações recomendadas para a Bacia 05 no Bairro Henrique Leite, propõe-se a revitalização da calha do canal e da lagoa para o deságue final da microbacia (Figura 144 e Anexo 5). Ambas as estruturas já existem atualmente, sendo que o canal e galerias subterrâneas precisam ser revitalizados (aumento de seção e redimensionamento das galerias de passagens) para que possam suportar as vazões provenientes da sua área de contribuição, assim como a lagoa precisa ter a sua capacidade de armazenamento ampliada (Figura 144 e Anexo 5). Nesta área, prevê-se a implantação de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), sendo que o canal atualmente não comporta vazões para o tempo de retorno de 25 anos, acarretando pontos de alagamentos (Figura 144 e Anexo 5).

Figura 144. Revitalização de calha de canal e de galerias subterrâneas, e implantação de lagoa no Bairro Henrique Leite



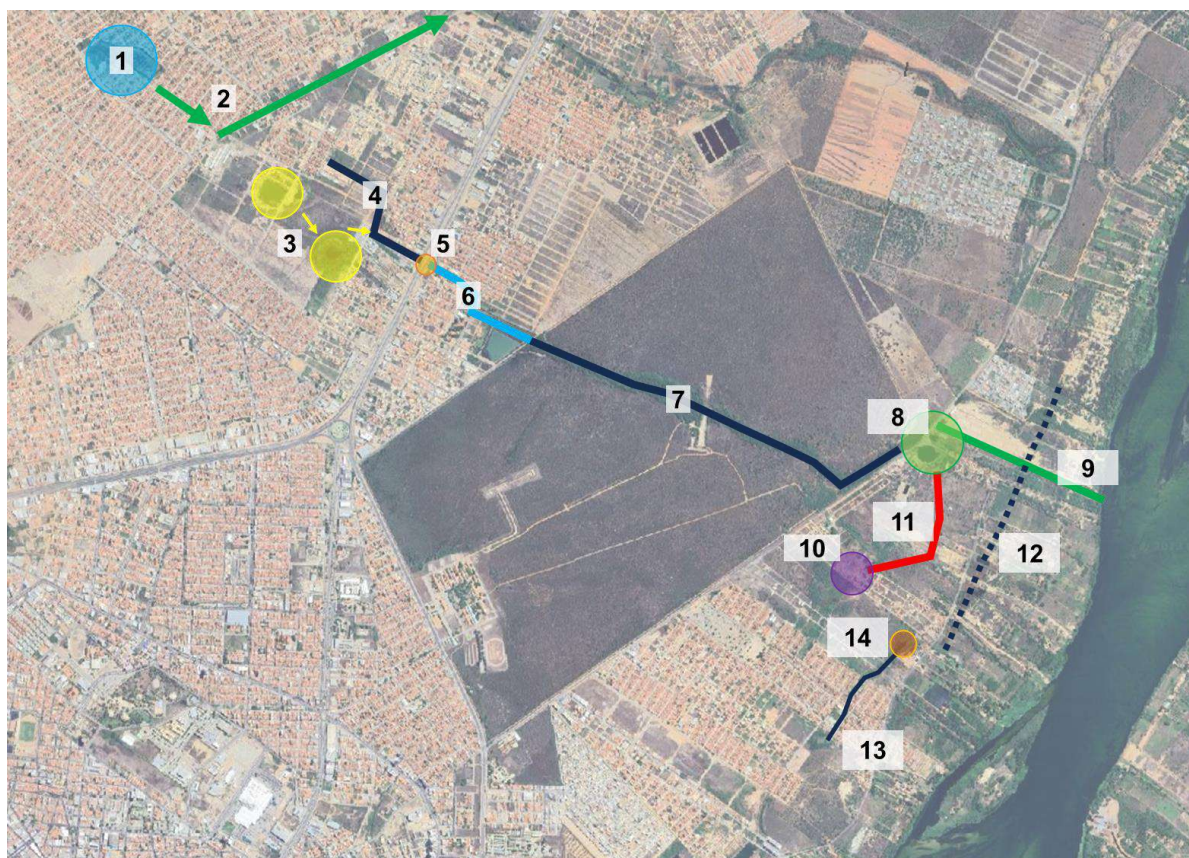
Fonte: PDCA (2025).

Em resumo, a Figura 145 elenca as principais proposições definidas para a bacia 05, enquanto a Tabela X e o Anexo 5 apresentam todas as medidas propostas.

- 1) Revitalização da Lagoa São Joaquim e a sua integração com canal da Av. Redenção; delimitação da área “*Non Aedificandi*” na lagoa;
- 2) Redimensionamento do Canal da Av. Redenção e delimitação da sua área “*Non Aedificandi*” no trecho à céu aberto;
- 3) Revitalização das Lagoas Padre Cícero e delimitação das suas áreas de proteção permanente;
- 4) Implantação de rede de microdrenagem; revitalização de calha do riacho; delimitação de área “*Non Aedificandi*”;
- 5) Redimensionamento da galeria de passagem do canal na BR-428;

- 6) Revitalização de calha do canal e do riacho e delimitação da sua área “Non Aedificandi”;
- 7) Delimitação da área de proteção ambiental do corpo hídrico em seu trecho localizado na área do Batalhão Militar;
- 8) Implementação de lagoas de amortecimento e delimitação das suas áreas de proteção permanente;
- 9) Implantação de canal para o escoamento final da bacia e delimitação da sua área “Non Aedificandi”;
- 10) Implementação de lagoa e delimitação da sua área de proteção permanente;
- 11) Implantação de canal no talvegue natural existente e delimitação da sua área “Non Aedificandi”;
- 12) Delimitação de área “Non Aedificandi” relativa às áreas suscetíveis à ocorrência de inundações;
- 13) Revitalização do canal e galerias subterrâneas do Bairro Henrique Leite, e delimitação da sua área “Non Aedificandi” no trecho à céu aberto;
- 14) Revitalização da lagoa do Henrique Leite, com sistema de bombeamento para o Rio São Francisco, e delimitação da sua área de proteção permanente.

Figura 145. Ações propostas para os trechos críticos da Bacia 05



Fonte: PDCA (2025).

Tabela 29. Medidas Propostas para a Bacia 05

Trecho	Medidas Propostas
Trecho 01 - da Av. Pedrinhas até o Rio São Francisco	Delimitar APP nas lagoas 1, 2, 3, 4 e 5 das Pedrinhas;
	Delimitar área " <i>Non Aedificandi</i> " nos trechos de canal a implantar e em regiões alagáveis com solução inviável.
	Desapropriar imóveis em áreas " <i>Non Aedificandi</i> ";
	Desocupar imóveis em áreas " <i>Non Aedificandi</i> ";
	Realizar limpeza e regularização das lagoas.
	Implantar canal trapezoidal com base maior de 10,0m de largura entre as lagoas das Pedrinhas 01 e 02;
	Implantar canal trapezoidal com base maior de 10,0m de largura entre a lagoa das Pedrinhas 02 e o Rio São Francisco;
	Executar enrocamento no entorno da Av. das Pedrinhas (Lado do Batalhão), além de aumentar o existente na área externa da lagoa das pedrinhas 01;
	Revitalizar as lagoas das Pedrinhas 01, 02, 03, 04 e 05;
	Implantar BTCC 1,5 x 1,5 m na travessia da Av. Pedrinhas entre a lagoa 02 e o canal a implantar;
	Implantar canal trapezoidal com base maior de 3,0m de largura entre as lagoas das Pedrinhas 03 e 04;
	Implantar BDCC 1,5 x 1,5m entre a lagoa das Pedrinhas 04 e o início do canal a implantar (ao lado do condomínio "Eco Spa");
	Implantar BDCC 1,5m x 1,5m interligando a lagoa 05 à galeria que vem da lagoa 04;
	Aterrizar áreas remanescente após a execução da ligação;
	Elevar greide da Av. Pedrinhas no trecho entre o "Cactos Clube de Tiro" e o início do condomínio "Eco Spa".
Trecho 02 - BR-428 até Início da Zona Militar	Delimitar área " <i>Non Aedificandi</i> " ao longo do riacho/canal;
	Desapropriar imóveis em áreas " <i>Non Aedificandi</i> ";
	Desocupar imóveis em áreas " <i>Non Aedificandi</i> ";
	Implantar BTCC 1,5 x 1,5m entre a saída da travessia na BR-428 e o início do canal na Rua José da Conceição;
	Ampliar canal existente entre a Rua José da Conceição e a Av. Um para 5,0m de largura, com seção retangular;
	Revitalizar riacho, restabelecendo calha trapezoidal com base maior de 10,0m de largura entre a Av. Um e a Av. Dois;
	Implantar BTCC de 1,5m x 1,5m nas travessias das Av. Um e Dois e BR-428.
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento.
Trecho 03 - da Av. das Garças até BR-428	Delimitar área " <i>Non Aedificandi</i> " ao longo do riacho/canal;
	Desapropriar imóveis em áreas " <i>Non Aedificandi</i> ";
	Desocupar imóveis em áreas " <i>Non Aedificandi</i> ";
	Implantar galeria em BSCC de 2,0m X 1,5m da Av. Beija Flor (área pública) até a Av. Raimundo Nonato Barros Viana (passando pela Av. das Garças e rua do Pica-pau);
	Implantar galeria BDCC de 1,5mx 1,5m ao longo da Av. Raimundo Nonato Borges Viana até encontro com canal;
	Implantar canal trapezoidal de 10m de largura da Av. Raimundo Nonato Barros Viana (final do BDCC) até a BR-428;

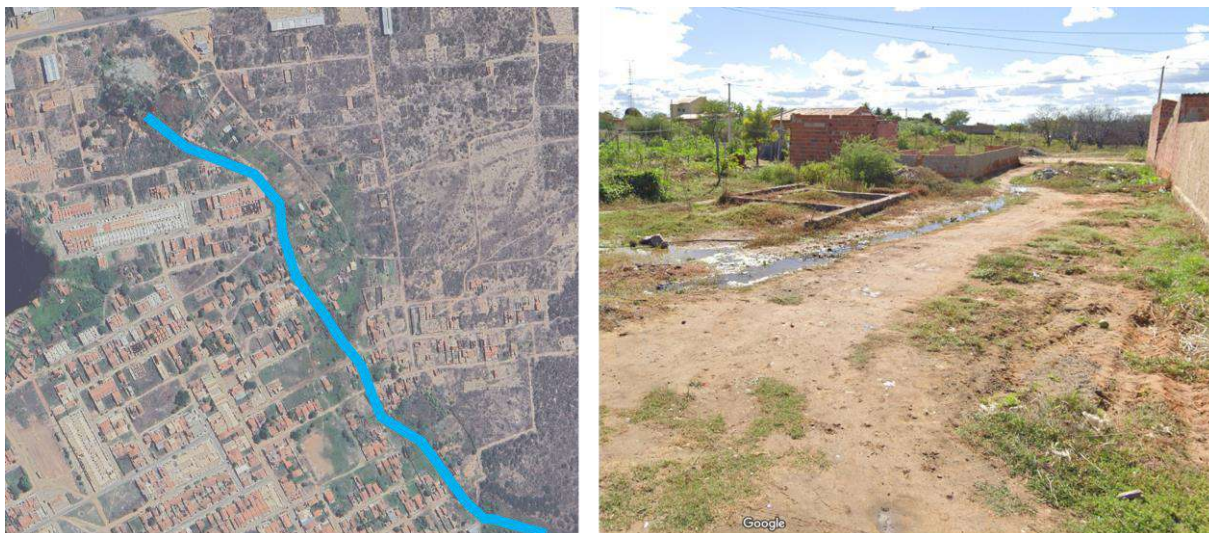
	Delimitar APP ao longo das lagoas do padre Cícero;
	Desapropriação e/ou desocupação imóveis em APP.
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento;
	Realizar limpeza e regularização das lagoas.
	Verter águas excedentes da lagoa Padre Cícero 01 e 02 para o canal, por galeria;
	Revitalizar Lagoa Padre Cícero 01;
	Revitalizar Lagoa Padre Cícero 02.
Trecho 04 - Canal da Av. Redenção	Delimitar área “Non Aedificandi” no canal;
	Desapropriar imóveis em áreas “Non Aedificandi”;
	Desocupar imóveis em áreas “Non Aedificandi”;
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento;
	Realizar limpeza e desobstrução do canal.
	Avaliar implantação de infraestrutura urbana e áreas com equipamentos de lazer.
	Implantar BSCC de 2,5 x 2,5m da Rua do Mercúrio (final da galeria da lagoa São Joaquim) até próximo da Rua da Caridade (aprox. 90,0 m antes da rua);
	Implantar BDCC de 2,5 x 2,5m entre o final do BSCC e a Rua do Azulão;
	Revitalizar canal, restabelecendo calha trapezoidal com base maior de 10,0m de largura entre a Rua do Azulão e o encontro com o Riacho Pau Ferro.
Trecho 05 - Lagoa São Joaquim	Delimitar área “Non Aedificandi” na lagoa;
	Desapropriar imóveis em áreas “Non Aedificandi”;
	Desocupar imóveis em áreas “Non Aedificandi”;
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento;
	Realizar limpeza e regularização da lagoa;
	Verter águas excedentes da lagoa em direção ao canal da Av. da Redenção, por galerias.
	Avaliar implantação de infraestrutura urbana e áreas com equipamentos de lazer.
Trecho 06 - Canal e Lagoa Henrique Leite	Delimitar APP na lagoa;
	Delimitar área “Non Aedificandi” no canal;
	Desapropriar imóveis em áreas “Non Aedificandi” ou APP;
	Desocupar imóveis em áreas “Non Aedificandi” ou APP;
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento;
	Revitalizar Lagoa do Henrique Leite;
	Revitalizar canal, restabelecendo calha trapezoidal com base maior de 3,0m de largura entre a Av. Bascarola e a Lagoa do Henrique Leite;
	Implantar BDCC 1,5 x 1,5m entre a Rua Vinte e Três e a Av. Bascarola, com grelhas na entrada e saída;
	Remover e substituir dispositivos de travessia existentes;
	Aterrizar áreas remanescente após a execução da ligação, visando a utilização da via;
	Implantar BDCC 1,5m x 1,5m na travessia da Rua 1 e 2
	Verter águas excedentes da Lagoa Henrique Leite em direção ao Rio São Francisco por bombeamento.

Fonte: PDCA (2025).

3.7 MEDIDAS PROPOSTAS - BACIA 06

De modo geral, comparando-se com as bacias mais críticas no município, a bacia 06 apresenta problemas concentrados na calha do Riacho Pau Ferro, de modo que a principal medida proposta para a bacia é a revitalização de toda a calha do riacho. Foi observado que, no Bairro Dom Avelar, toda a sua calha no trecho de montante é ocupada por edificações construídas de forma irregular, de forma a prejudicar o escoamento na bacia, e principalmente, causando transtornos para a população residente na área (Figura 146).

Figura 146. Trecho crítico no Riacho Pau Ferro com concentração de edificações irregulares sobre o talvegue natural



Fonte: PDCA (2025).

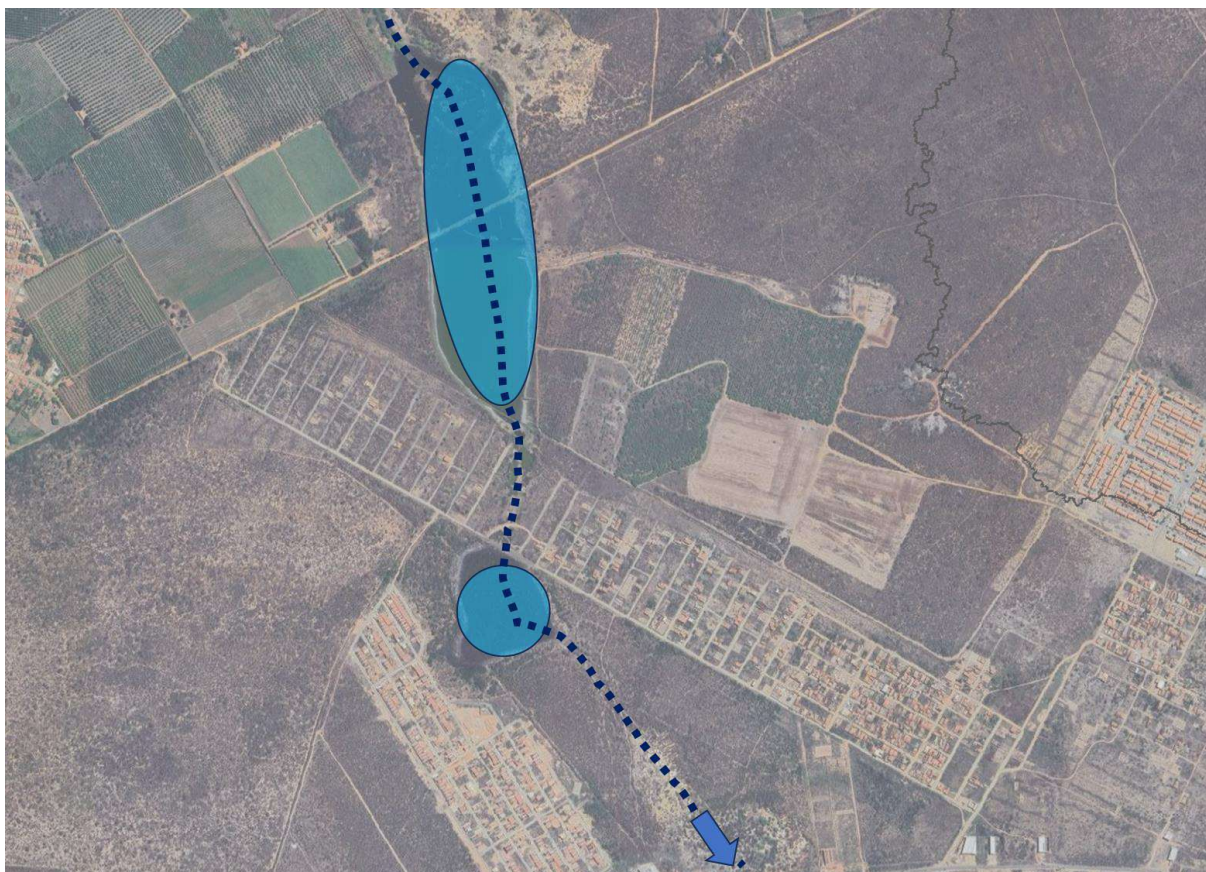
Além disso, ainda sobre Riacho Pau Ferro, observa-se que as passagens do corpo hídrico sobre as vias urbanas se configuram como estrangulamentos que reduzem a capacidade de escoamento e ocasionam pontos de inundações. Uma vez que a maioria das galerias e pontilhões são subdimensionados para o tempo de retorno de 25 anos, estas passagens não permitem o escoamento de toda a vazão e amplia a lâmina d'água que se concentra à montante. Além de gerar transtornos relacionados à lâmina d'água acumulada nos trechos de montante, algumas destas passagens ficam submersas pela água durante eventos de chuvas intensas, dificultando assim a mobilidade da população que transita sobre estas áreas e gerando danos.

Dessa forma, a principal ação recomendada para a bacia é a revitalização de toda a calha do Riacho Pau Ferro, o seu redimensionamento para vazões com tempo de retorno de 25 anos e, da mesma forma, o redimensionamento das passagens existentes sobre as vias que se configuram atualmente como pontos estrangulamento (Figura 147 e Anexo 6).

Adicionalmente, a delimitação de área de proteção permanente às margens do riacho irá garantir a preservação do corpo hídrico enquanto dispositivo de drenagem e na perspectiva ambiental, embora tenham sido identificadas áreas que deverão passar por remoção de edificações existentes atualmente. O objetivo desta medida é garantir o escoamento de toda a bacia até o seu ponto de deságue no Rio São Francisco, de forma que não sejam gerados transtornos à população, atualmente ocasionados por pontos de inundação ao longo do riacho.

No trecho de montante da bacia, propõe-se a revitalização de duas lagoas existentes atualmente no bairro do Topázio, para que possam cumprir função de dispositivos de amortecimento, bem como a integração destas lagoas com o Riacho Pau Ferro (Figura 147). Por se localizarem no 1/3 (terço) da área de contribuição de toda a bacia, a revitalização destas lagoas e a sua integração efetiva com o Riacho Pau Ferro irá garantir o escoamento mesmo quando toda a região for ocupada, uma vez que atualmente se configura como uma área de baixa densidade urbana em processo inicial de ocupação (Figura 147).

Figura 147. Revitalização das Lagoas Topázio e integração com o Riacho Pau Ferro.



Fonte: PDCA (2025).

Além das lagoas citadas acima, propõe-se a revitalização da Lagoa Dom Avelar, a qual já existe, mas que opera abaixo da capacidade necessária mesmo para chuvas com menores tempos de recorrência, ocasionando transtornos para a população residente ao redor da lagoa. Da mesma forma, propõe-se que a lagoa seja integrada com o Riacho Pau Ferro, de modo que o volume de água armazenado possa ser escoado após chuvas intensas, e o dispositivo possa ter o seu volume de espera garantido mesmo em caso de ocorrência de eventos consecutivos (Figura 148).

Figura 148. Implantação da Lagoa Dom Avelar e integração com o Riacho Pau Ferro.



Fonte: PDCA (2025).

Por fim, no trecho final da bacia, recomenda-se a revitalização da calha do Canal dos Carneiros, o qual já existe atualmente, mas que não possui a estrutura necessária para garantir o escoamento em eventos de precipitações intensas. Além disso, a revitalização do canal poderá contribuir enquanto dispositivo de drenagem para o escoamento proveniente das lagoas existentes no condomínio Alphaville, além de loteamentos futuros que possam ser implantados na microbacia onde se localiza o canal (Figura 149 e Anexo 6).

Em resumo, a Figura 149 elenca todas as principais proposições definidas para a bacia 06, e enquanto a Tabela 7 e o Anexo 6 apresentam todas as medidas propostas. Em relação à Figura 149 têm-se:

- 1) Revitalização de Lagoas do Topázio 1 e 2 e a sua integração com Riacho Pau Ferro; delimitação da área de proteção permanente das lagoas;
- 2) Revitalização da Lagoa Dom Avelar e a sua integração com o Riacho Pau Ferro; delimitação de área *Non Aedificandi* nas margens da lagoa;
- 3) Revitalização da calha do Riacho Pau Ferro; redimensionamento das passagens sobre vias; delimitação de área de proteção permanente nas margens do riacho;
- 4) Revitalização de calha do Canal dos Carneiros; delimitação de área *Non Aedificandi*;

Figura 149. Ações propostas para os trechos críticos da Bacia 06



Fonte: PDCA (2025).

Tabela 30. Medidas Propostas para a Bacia 06

Trecho 01 - Av. Pedrinhas até o Rio São Francisco	Delimitar APP ao longo do riacho e Lagoa dos Carneiros;
	Delimitar áreas “Non Aedificandi” em regiões alagáveis com solução inviável;
	Desapropriar imóveis em áreas “Non Aedificandi” ou APP;
	Desocupar imóveis em áreas “Non Aedificandi” ou APP;
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento;
	Realizar limpeza, desobstrução e manutenção;
	Revitalizar Lagoa dos Carneiros;
	Revitalizar Riacho Pau Ferro, restabelecendo calha trapezoidal com base maior de 15,0m de largura;
	Avaliar implantação de infraestrutura urbana e áreas com equipamentos de lazer.
	Executar enrocamento no trecho próximo à Av. das Pedrinhas;
	Implantar BQCC (quintuplo) de 2,0 x 1,5 m nas travessias da Av. das Pedrinhas e Via de acesso às chácaras.
Trecho 02 - da BR-428 até Av. Pedrinhas	Delimitar APP ao longo do riacho;
	Desapropriar imóveis em áreas “Non Aedificandi” ou APP;
	Desocupar imóveis em áreas “Non Aedificandi” ou APP;
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento;
	Realizar limpeza, desobstrução e manutenção;
	Revitalizar Riacho Pau Ferro, restabelecendo calha trapezoidal com base maior de 15,0m de largura;
	Implantar canal do Padre José de Castro retangular de 5,0m de largura entre a Rua São Gregório e o Riacho Pau Ferro;
	Implantar BQCC (quádruplo) de 2,0 x 1,5 m nas travessias da R. Wilson Cavalcanti e R. Parnamirim;
Trecho 03 - da Av. da Redenção até BR-428	Implantar BNCC (nônuplo) de 1,5 x 1,5m na travessia entre a Av. Brasil e o Condomínio Vicco.
	Delimitar APP ao longo do riacho;
	Desapropriar imóveis em APP;
	Desocupar imóveis em APP;
	Revitalizar Riacho Pau Ferro, restabelecendo calha trapezoidal com base maior de 15,0m de largura entre a Av. da Redenção e a BR-428;
Trecho 04 - a partir da Av. Transnordestina até Av. da Redenção	Implantar BQCC (quádruplo) de 2,0 x 1,5 m na travessia da BR-428, corrigindo cota de implantação do dispositivo, próximo ao Posto Paizão I.
	Delimitar APP ao longo do riacho;
	Desapropriar imóveis em APP;
	Desocupar imóveis em APP;
	Revitalizar Riacho Pau Ferro, restabelecendo calha trapezoidal com base maior de 10,0m de largura entre a Av. Transnordestina e Av. da Redenção;
Trecho 05 - Lagoas Topázio 01 e	Implantar BQCC (quádruplo) de 2,0 x 1,5 m na travessia da Av. da Redenção, elevando o greide da via nesse trecho.
	Delimitar APP nas lagoas e riacho;
	Desapropriar imóveis em APP;
	Desocupar imóveis em APP;

02 até Av. Transnordestina	Revitalizar Riacho Pau Ferro, restabelecendo calha trapezoidal com base maior de 3,0m de largura entre as duas lagoas e entre Lagoa do Topázio 2 e a Av. Transnordestina;
	Revitalizar Lagoa Topázio 1 e 2;
	Implantar passagem molhada e aumentar o greide de Via S/D (Lagoa Topázio 01);
	Implantar BDCC 1,5m x 1,5m na travessia da Av. México e Av. Transnordestina;
	Avaliar implantação de urbanização da Lagoa Topázio 02, com parques e área pública de lazer.
Trecho 06 - Lagoa Dom Avelar	Delimitar área “Non Aedificandi” na lagoa;
	Desapropriar imóveis em áreas “Non Aedificandi”;
	Desocupar imóveis em áreas “Non Aedificandi”;
	Realizar limpeza e regularização da lagoa;
	Revitalizar lagoa Dom Avelar;
	Remover despejo de efluentes sanitários sem tratamento;
	Verter águas excedentes da lagoa para o riacho Pau Ferro, por galerias;
Trecho 07 - Canal da Av. Redenção e Lagoa São Joaquim	Avaliar implantação de infraestrutura urbana e áreas com equipamentos de lazer.
Trecho 08 - Canal dos Carneiros	<i>*Diretrizes da Bacia 05</i>
	Revitalizar canal dos Carneiros com calha de 2m.
	Delimitar área “Non Aedificandi”.

Fonte: PDCA (2025).

3.8 MEDIDAS PROPOSTAS - BACIA 07

Por ser uma bacia que ainda não possui ocupação urbana consolidada, as ações propostas para a bacia 07 se configuram basicamente como medidas não estruturais, de caráter preventivo, relativas ao zoneamento de áreas de ocupação restrita.

Na etapa de diagnóstico, foi observado que a existência de muitos problemas relacionados às inundações e alagamentos no município de Petrolina se deve à ocupação urbana em áreas inundáveis, as quais poderiam ser evitadas caso a ocupação destas áreas tivesse respeitado a calha inundável dos rios, riachos e linhas de drenagem natural.

Neste aspecto, buscando estabelecer a ocupação urbana adequada da bacia 07 em um momento futuro, são recomendadas a delimitação de áreas de proteção permanente nas margens de riachos, dos principais talwegues e de lagoas naturais existentes na bacia, e a delimitação de áreas “*Non Aedificandi*” em talwegues naturais de menor porte.

Além disso, também foram definidas as áreas sujeitas à ocorrência de inundações na Bacia, de modo que possam ser aplicadas nestas áreas a recomendação estabelecida no Plano Diretor Participativo de Petrolina (Lei Municipal 034 de 25 de fevereiro de 2022), em que “é proibido o parcelamento de solo para fins urbanos em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas e cujo projeto de drenagem seja aprovado pelo Município”

Dessa forma, buscou-se estabelecer no Plano um conjunto de ações para a Bacia 07 que se configuram como medidas preventivas uma vez que ainda não há ocupação urbana. A delimitação das áreas de ocupação restrita propostas para a Bacia 07 pode ser visualizada no mapa apresentado no Anexo 7.

3.9 MEDIDAS PROPOSTAS - NÚCLEOS URBANOS ISOLADOS

Conforme apresentado em produtos anteriores, o município de Petrolina possui um total de 57 núcleos urbanos, onde apenas 11 apresentam corpo hídrico, por esse motivo foram estudados a nível de diretrizes básicas, tendo em vista apresentarem pontos de alagamento, devido a ocupações desordenadas de áreas de inundações e/ou alagamentos.

Dessa forma, são recomendadas como diretrizes a delimitação de áreas de proteção permanente nas margens de riachos e de lagoas naturais existentes na bacia, e a delimitação de áreas “Non Aedificandi” em talvegues de 1ª ordem e canais de irrigações.

A seguir apresenta-se a tabela de medidas propostas para os núcleos:

Tabela 31. Medidas Propostas para os Núcleos Urbanos

Núcleos Urbanos	Delimitar Área de Preservação Permanente (APP) em lagoas e riachos naturais;
	Delimitar áreas Non Aedificandi em canais (com exceção dos trechos em galerias), lagoas artificiais e lagoas e riachos naturais em áreas urbanas consolidadas;
	Desapropriar e/ou desocupar construções que possam estar em APP ou áreas Non Aedificandi;
	Realizar limpeza, desobstrução e revitalização das calhas dos riachos;
	Realizar limpeza e manutenção sistemática dos canais;
	Recuperar vegetação ciliar dos riachos;
	Remover pontos de despejo de efluentes sanitários sem tratamento de lagoas, riachos e canais;
	Avaliar redimensionamento dos dispositivos de travessia.

3.10 OUTRAS MEDIDAS PROPOSTAS

Para os riachos Vitória e das Porteiras, no trecho do início na região urbanizada até a jusante no rio São Francisco, sugere-se o monitoramento por drones e manutenção manual. É necessário que as intervenções a montante sejam executadas no período seco, reduzindo os níveis de assoreamento com a utilização de escavadeiras hidráulicas sobre esteiras. Se possível, com braço de maior alcance para que consiga retirar o material com o equipamento no leito. Deve-se utilizar a equipe de manutenção manual nos pontos de estrangulamentos e travessias por tubulações, bueiros, pontilhões e pontes.

Para os trechos dos demais cursos d'água que se desenvolvem em leito natural se propõe a manutenção com retroescavadeiras com equipes de limpeza manual.

Para as lagoas, sugere-se a execução das manutenções com a escavadeira hidráulica para retificações das margens e equipe de manutenção manual para limpeza de rotina.

Para os canais que se iniciam ou apresentam trechos revestidos fechados ou abertos, são propostas as seguintes abordagens na manutenção:

- Nos finais dos trechos revestidos abertos ou fechados sugere-se a implantação de reservatórios de retenção de resíduos sólidos que podem dispor ou não de eco barreiras (Figura 34). A periodicidade da remoção é função do volume retido, não devendo ultrapassar o período de uma semana.

Figura 150 - Reservatórios de retenção de resíduos sólidos.



Fonte: Engenharia E, 2018.

- Nos trechos revestidos abertos, a manutenção deve ser manual em função da largura da calha, com frentes de 15 homens para cada encarregado;

- Nos trechos revestidos fechados deve-se estabelecer sobre tampas para inspeção e facilitar a manutenção com espaçamento máximo de 20,00 m. O processo de manutenção deve priorizar a mecânica com jato de sucção. Nos pontos de inspeção quando necessário utilizar o processo manual;

Além da manutenção, é necessária a realização de monitoramento, este pode ser procedido por equipes em vistorias programadas ao longo do período seco, com ou sem a utilização de equipamentos, a depender da dificuldade de acesso, destacando:

- Rota de inspeção visual feita por equipe em toda rede de macrodrenagem, inclusive com maior recorrência nos 86 pontos críticos apontados que, em sua maioria, são pontos de travessias;
- Monitoramento com drones principalmente para trechos de difícil acesso.
- Filmagem de trecho de canal fechado (Figura 35);

Figura 151 - Filmagem de trecho de canal fechado.



Fonte: Endall - Inspeção em Rede de Efluentes.

O monitoramento periódico, estabelecerá o número de intervenções necessárias no ano, principalmente antes da ocorrência de chuvas intensas. Durante o período chuvoso a abordagem, vinculada às demandas emergenciais, podem contar com um sistema de monitoramento com sensores de alagamentos em pontos já cadastrados como críticos (Figura 36). A implantação do sistema possibilitará:

- a) monitoramento de ruas e bairros específicos;
- b) monitoramento de nível de água em rios e canais;

Figura 152 - Sensores de nível de alagamentos em logradouros.



Fonte: O Globo, 2022.

Ademais, é essencial a adequação de dispositivos nos canais, para isso propõe-se a implantação de pequenos reservatórios para detenção de resíduos sólidos, principalmente após trechos revestidos e/ou fechados, como também em leitos naturais. Esses dispositivos deverão ser providos com redes e elementos flutuadores (eco barreiras) para reter e facilitar a retirada dos resíduos sólidos. Devendo a remoção do resíduo retido ser estabelecido pela Autarquia responsável pela coleta de resíduos sólidos na cidade de Petrolina, recomenda-se em não ultrapassar o período de uma semana (Figuras 37).

Figura 153 - Processo de retenção com eco barreiras.



Fonte: FishTV - Ecobarreira no Rio Atuba, 2021.

4.4 RECOMENDAÇÕES DE AÇÕES SISTEMÁTICAS

4.4.1 Mecanismos e procedimentos de controle social e urbano

O objetivo dos procedimentos de controle social, urbano e instrumentos para o monitoramento e avaliação sistemática da eficiência e efetividade das ações programadas é preparar indivíduos, organizações e sistemas para desempenhar funções apropriadas de maneira eficiente, eficaz e sustentável. É um processo através do qual se desenvolvem habilidades para resolver problemas, definir e alcançar objetivos, entender e lidar com as necessidades de um determinado contexto de maneira sustentável (SMDU, 2012).

Envolve a atualização contínua e o desenvolvimento de profissionais para equipá-los com percepção da necessidade de acessar informações relevantes, com conhecimento e treinamento para uma atuação eficiente. Envolve ainda o desenvolvimento de organizações para o estabelecimento das estruturas de gestão, dos processos e procedimentos, não apenas dentro delas, mas também para a construção de relações com outras organizações, tanto do setor público quanto do privado e com a sociedade civil.

Por fim, envolve o desenvolvimento institucional e de um marco legal que possibilite que sejam feitas as modificações necessárias para garantir intervenções mais eficazes, além de fornecer elementos para que os profissionais se posicionem sempre que for necessário justificar sua atuação perante a sociedade.

A capacitação de recursos humanos em drenagem urbana deve proporcionar conhecimento aos profissionais e organizações para conceber, dimensionar e gerir sistemas de drenagem de águas pluviais, como também enfrentar os desafios impostos pelo crescimento acelerado da ocupação no espaço urbano, com foco especial nas bacias hidrográficas (SMDU, 2012). Dessa forma, recomenda-se a capacitação do corpo técnico da Prefeitura de Petrolina para que o processo de controle da ocupação urbana possa ser realizado de forma compatível com os princípios, diretrizes e ações propostas para o Plano. O programa de capacitação aqui mencionado, é apresentado de forma detalhada no Relatório Parcial VI (Produto 07).

4.4.2 Programa de monitoramento hidráulico-hidrológico

O Programa de Monitoramento Hidráulico-Hidrológico visa estabelecer a quantidade e a qualidade da água pluvial, permitindo uma atualização periódica através de monitoramento das informações sobre as bacias hidrográficas na Macrozona Urbana de Petrolina, e, por meio disso, auxiliar na tomada de decisão contribuindo para a gestão sistemática dos recursos hídricos da cidade.

O objetivo do programa de monitoramento hidrológico fundamenta-se na realização permanente de medições, levantamentos e análises de amostras coletadas, possibilitando

acompanhar fatores e/ou elementos vinculados aos impactos ambientais do município através de estações pluviométricas, fluviométricas e meteorológicas, de maneira a:

- Monitorar a vazão de escoamento dos recursos hídricos na Macrozona Urbana de Petrolina;
- Monitorar o nível de inundação na Macrozona Urbana de Petrolina;
- Subsidiar o sistema de alerta em caso de inundação;
- Diagnosticar a qualidade dos recursos hídricos superficiais das bacias hidrográficas na Macrozona Urbana de Petrolina, por meio de parâmetros indicadores de poluição;
- Avaliar a progressão da qualidade dos recursos hídricos;
- Subsidiar tecnicamente estudos futuros;
- Definir áreas prioritárias para o controle da poluição dos corpos hídricos;
- Possibilitar a indicação de medidas visando promover o controle preventivo e corretivo dos impactos encontrados na área avaliada;
- Melhorar o sistema de controle e gerenciamento dos recursos hídricos e das atividades que possam impactar sobre os corpos d'água monitorados.

No Relatório Parcial VI (Produto 07), são apresentadas de forma detalhada as diretrizes mínimas a serem atendidas para o monitoramento hidrológico qualitativa-quantitativo, bem como os recursos técnicos (*hardware* e *software*) necessários para a sua implementação.

4.4.3 Controle de uso e ocupação do solo

Controle de uso e ocupação do solo ocorre através de ação de fiscalização para a correta aplicação dos parâmetros estabelecidos pelos instrumentos de planejamento previstos na legislação municipal, quer seja no Plano Diretor Municipal ou no Plano de Macrodrenagem de Petrolina.

Como objetivo principal para o controle de enchentes, esse programa prevê a preservação das áreas inundáveis, já com tratamento urbanístico-paisagístico ou não, de forma a preservar as áreas verdes de lazer ou de preservação ao longo dos cursos d'água. Conforme descrito no Relatório Técnico Parcial IV – P5, as medidas de controle não estruturais têm custo muito inferior às das medidas estruturais.

Sendo assim, para o poder público, garantir o controle de uso e ocupação do solo deve ser a condição primeira para a preservação das áreas livres fundamentais para o espraçamento das águas em eventos extremos. Essa ação deve ser realizada de forma sistemática, com equipe técnica qualificada para tal, incluindo treinamentos e cursos como conhecimento e entendimento da legislação incidente de uso e ocupação do solo.

Em Petrolina, a SEDURBH é responsável pela fiscalização e controle de uso e ocupação do solo, onde devem ser incorporados os parâmetros propostos para Petrolina pelo Plano de Macrodrenagem.

Além das ações de fiscalização (controle urbano-ambiental) são fundamentais a realização de ações de educação ambiental e de participação da população no planejamento e manutenção das áreas de inundação. Estes tópicos serão abordados em mais detalhe no Relatório Parcial VI (Produto 07).

4.4.4 Programa de manutenção do sistema de drenagem

O Programa de Manutenção busca estabelecer as condições de gerenciamento concatenando-se recursos financeiros, humanos, materiais, equipamentos e, também a política de manutenção de Petrolina implantada na atual gestão, onde seja obtido dentro do prazo, custo e qualidade o melhor resultado possível. Para isso, é indispensável à elaboração do planejamento e controle dessas ações. O Planejamento feito em nível estratégico, tático e operacional, o que se constituirá em programação. E o Controle para o processo decisório contínuo, onde a decisão antecipada pelo Planejamento possa, com o Controle, ser corrigida dos desvios que venham a ocorrer em relação ao planejado.

A drenagem das águas pluviais urbanas vem ao longo dos anos tendo seus volumes de escoamentos aumentados devidos à falta de controle nas ocupações do território urbano e consequente aumento da área impermeável nas cidades. A região urbanizada de Petrolina se insere nesse cenário e apresenta outros condicionantes particulares, haja vista que a maior

parte do território da cidade tem características rurais, mais de 98% do território, sendo um dos grandes polos do agronegócio do estado de Pernambuco. No entanto a região urbanizada, que corresponde a 92 km², vem ao longo de vários anos convivendo com eventos de alagamentos resultado de eventos de chuvas intensas, cujo período se dá entre os meses de novembro a abril.

A bacia hidrográfica deve ser a unidade de planejamento, gestão e intervenções. Devendo os pilares do saneamento como o da drenagem de águas pluviais, coleta de resíduos sólidos, coleta e tratamento de esgotos, terem suas gestões integradas para a unidade de planejamento. Na região urbanizada de Petrolina esse estudo propõe três unidades de planejamento, conforme visualizado no Tabela 32, sendo elas:

Tabela 32. Proposta de Gestão de Manutenção por Bacias Hidrográficas.

UNIDADE DE PLANEJAMENTO E GESTÃO	SUB BACIAS	ÁREA (m ²)	EXTENSÃO (m)
Riacho da Vitória	Riacho Vitória; Afluente1 do Riacho Vitória (Jardim Petrópolis); Canal da Av Tapuio; Afluente 2;	22.750,00	13.851,69
Riacho das Porteiras	Riacho das Porteiras; Canal do Massangano; Canal do Vale do Grande Rio; Canal João de Deus; Canal do Distrito Industrial;	28.820,00	22.406,00
Grupo de Pequenas Bacias - GP	Riacho do Batalhão; Canal do Henrique Leite; Canal do São José; Canal do Alto Cheiroso.	26.875.803,42	8.384,86

Fonte: PDCA (2022).

A manutenção será definida como o conjunto de atividades destinadas a garantir as condições operacionais pré-estabelecidas para o sistema de drenagem, de forma a reduzir o risco de falhas devido ao mau funcionamento de seus componentes. Ela deve se dar através de 3 (três) práticas básicas:

- **Manutenção corretiva:** é uma intervenção realizada após a ocorrência de eventuais falhas do sistema ou até mesmo após seu funcionamento, como o caso dos reservatórios de retenção ou trechos de galerias ou canaletas que necessitam de limpeza após a ocorrência dos eventos de chuva;
- **Manutenção preventiva:** é a intervenção programada que tem como objetivo manter o sistema de drenagem apto a funcionar de modo adequado, incluída na programação de

forma sistemática e periódica a partir de análise técnica do comportamento dos elementos e condições hídricas local;

- **Manutenção preditiva:** é uma metodologia usada para decidir quando será feita a intervenção. A programação é baseada no estado de conservação e funcionamento do elemento de drenagem. Exige o acompanhamento periódico dos elementos de drenagem através de verificação pontual, que baseando-se na análise dos dados coletados por meio desses monitoramentos ou inspeções em campo se decide quando e onde deverá ser feita a intervenção. Este tipo de manutenção indica as condições reais de funcionamento da rede de drenagem, prediz o tempo de vida útil dos componentes e as condições para que esse tempo seja mais bem aproveitado pelo sistema, evita o aumento de danos, aumenta o grau de confiança no desempenho do elemento e reduz o trabalho de emergência não planejado.

O detalhamento do Programa de Manutenção do Sistema de Drenagem é apresentado de forma detalhada no Relatório Parcial VI (Produto 07).

4.4.5 Implementação e atualização do sistema municipal de informações de drenagem urbana

No contexto de elaboração do Plano de Macrodrenagem foi necessário realizar o cadastro georreferenciado do sistema de drenagem urbana, abrangendo o levantamento da localização e a caracterização (atributos) dos riachos, canais, galerias, lagoas, passagens molhadas, sarjetas, etc. Essas informações são fundamentais no processo de gestão da drenagem urbana, de modo que recomenda-se no Plano a implementação do Sistema Municipal de Informações de Drenagem Urbana, e a sua atualização constante. Neste aspecto, importante salientar que o cadastro de informações não deve se restringir ao levantamento de dados sobre estruturas superficial (riachos, canais, lagoas, e sarjetas), devendo incluir também a atualização de informações de drenagem profunda.

4.4.6 Programa de educação hidroambiental

A Política Nacional de Educação Ambiental – PNEA, instituída pela Lei nº 9.795/1999 (PLANALTO, 1999) e regulamentada pelo Decreto 4.281/2002 (PLANALTO, 2002), determina a “criação, manutenção e implementação de programas de Educação Ambiental integrados às atividades de gestão dos recursos ambientais, inclusive dos recursos hídricos”.

A elaboração de um Programa de Educação Hidroambiental para o município de Petrolina/PE visa abordar de forma mais ampla e crítica seus problemas hidroambientais, contribuindo para minimizar os problemas infraestruturais da área. O programa deve estar em

uma linguagem direta e acessível a todas as faixas etárias e todos os níveis de escolaridade, contornando, assim, possíveis dificuldades de comunicação e compreensão.

A partir disso, procura-se a conscientização ecológica da população, por meio da hidrologia e temas afins, sobre o dano causado pela poluição dos corpos hídricos, bem como a necessidade de sua conservação, incluindo suas planícies de inundação, regulamentadas como Áreas de Preservação Permanente – APPs ou *Áreas Non Aedificandi*. Isso representa a participação da sociedade nos processos de preservação ambiental (LEITE *et. al.*, 2007). Dentre os atores envolvidos, estão a Prefeitura Municipal, Entidade Reguladora, ONGs, Governo Estadual e Governo Federal. A temática hidroambiental é nova comparando-se com a temática ambiental, mesmo estando inserida nesta. O tema hidroambiental é mais específico, tornando-o mais fácil de inserir em debates e aulas. O programa visa induzir uma mudança de perspectiva e/ou cultura, inserindo o tema hidroambiental em debates comunitários, de modo a discutir sobre os temas pertinentes à melhor caracterização da realidade ambiental do município. Dito isso, os objetivos específicos são os explanados a seguir (LEITE *et. al.*, 2007):

- Proporcionar troca de conhecimento e experiências entre a comunidade, permitindo que esta desempenhe um papel efetivo na conservação da qualidade hidroambiental e da saúde pública;
- Caracterizar ambientalmente e socioeconomicamente a área estudada, para estabelecer como será apresentada a proposta do Programa de Educação Hidroambiental, alcançando todos os segmentos sociais;
- Caracterizar o uso, ocupação e expansão da área urbana, aliados às problemáticas das áreas afetadas;
- Capacitar professores e demais educadores da rede pública, bem como técnicos, à agentes multiplicadores do conhecimento sobre educação hidroambiental;
- Compatibilizar as ações do projeto que envolva a educação hidroambiental, integrando-as;
- Abordar a necessidade de aprendizagem e domínio de procedimentos de conservação e manejo dos recursos hídricos frente às comunidades com as quais há interação, com sua aplicação no dia a dia.

Para o Programa de Educação Hidroambiental ser implementado, é fundamental que o quadro socioambiental e a qualidade da água dos corpos hídricos sejam abordados, de modo a integrar um sistema de informações de dados que designe mecanismos adequados para o funcionamento do programa. O detalhamento do Programa de Educação Hidroambiental é apresentado no Relatório Parcial VI (Produto 07).

4.4.7 Plano de contingência de proteção e defesa civil – PLANCON

O Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil (PLANCON) foi elaborado pelos órgãos e instituições integrantes do Sistema Municipal de Proteção e Defesa Civil de Petrolina-PE, assumindo o compromisso de atuar de acordo com a competência que lhes é conferida, e realizar as ações para a criação e manutenção das condições necessárias ao desempenho das atividades e responsabilidades previstas neste Plano.

O PLANCON vem a estabelecer os procedimentos a serem adotados pelos órgãos, envolvidos diretamente ou indiretamente, para dar resposta às emergências e aos desastres relacionados a inundações bruscas ou processos hidrológicos correlatos. Vem a recomendar os aspectos relacionados ao monitoramento, alerta, alarme e resposta, incluindo as ações de socorro, ajuda humanitária e reabilitação de cenários, para mitigar os danos, como também os prejuízos decorrentes do evento que venha a ocorrer. É estruturado de acordo com os seguintes tópicos: (i) Introdução; (ii) Finalidade; (iii) Caracterização do município; (iv) Principais Conceitos; (v) Legislações Pertinentes; (vi) Hipóteses de Desastre no Município; (vii) Áreas de Risco; (viii) Operações; (ix) Atribuições; (x) Avaliação do Plano; (xi) Coordenação, Comando e Controle; (xii) Considerações Finais e anexos.

O PLANCON é ativado sempre que as condições e pressupostos que caracterizam um dos cenários de risco previstos sejam averiguadas, seja pela evolução das informações monitoradas, pela ocorrência do evento ou pela dimensão do impacto, em especial quando a precipitação monitorada pela APAC-PE for superior ou igual a 60 mm. Pode ser ativado pelo Chefe do Poder Executivo Municipal e pelo Coordenador da COMPDEC – Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil, órgão vinculado à Secretaria de Desenvolvimento Urbano, Habitação e Sustentabilidade (SEDURBH). E pode ser desmobilizado a partir do momento em que as condições e pressupostos que descaracterizam um dos cenários de risco previstos sejam averiguadas, seja pela evolução das informações monitoradas, pela não confirmação da ocorrência do evento, ou ainda pela dimensão do impacto, em especial quando não há previsão de chuvas para os dias seguintes.

Os órgãos envolvidos em sua elaboração e aplicação deverão realizar exercícios simulados conjuntos pelo menos uma vez por ano, sob coordenação da COMPDEC, com emissão de relatório ao fim do exercício, indicando os pontos do Plano que devem ser reformulados e alterados, os empecilhos encontrados durante sua execução, e sugestões de aperfeiçoamento dos procedimentos adotados. Assim, com base nas informações indicadas nos relatórios, os órgãos poderão se reunir para realizar a revisão do Plano, com lançamento de nova versão, que deverá ser distribuída aos órgãos de interesse.

4.4.8 Manual de drenagem

O manual de drenagem urbana (Anexo 1) é um documento técnico que fornece orientações e diretrizes para o planejamento, projeto, construção e operação de sistemas de drenagem em áreas urbanas. O principal objetivo é gerenciar eficientemente o escoamento das águas pluviais nas cidades, minimizando inundações, alagamentos e danos ambientais.

Subsidiado pelos estudos e diretrizes do Plano Diretor de Macrodrenagem (PDM) e do Plano Diretor Participativo do Município de Petrolina (PDPMP) vigente, o Manual de Drenagem fornece diretrizes e parâmetros essenciais para dimensionar adequadamente a drenagem urbana na cidade, levando em consideração as restrições e métodos aceitos. O Manual de Drenagem assegura que os projetistas trabalhem em conformidade com as normas e leis vigentes em âmbito nacional, estadual e municipal. Desse modo, as diretrizes contidas no manual estão em consonância com as regulamentações relacionadas à drenagem urbana e ao uso e ocupação do solo e contam com respaldo técnico das literaturas existentes. Essa abordagem integrada visa garantir um planejamento e projeto de drenagem eficiente, contribuindo para minimizar os impactos de enchentes e inundações nas áreas urbanas, promovendo a preservação dos recursos hídricos.

4.4.9 Programa de implementação do plano de macrodrenagem

Para a implementação efetiva do Plano de Macrodrenagem, é necessário que toda a gestão municipal esteja estruturada para a devida apropriação e aplicação dos princípios e diretrizes propostos, bem como para o desenvolvimento e implementação das ações e demais recomendações apresentadas neste Plano. Por tais razões, o Programa de Implementação do Plano de Macrodrenagem estabelece conceitos, diretrizes e ações que devem ser realizadas de modo que toda a gestão municipal esteja apta para a implementação do Plano, sendo apresentado de forma detalhada no Relatório Parcial VI (Produto 07). o Programa de Implementação identifica as autarquias responsáveis pela Drenagem Urbana Municipal no âmbito do planejamento, controle do uso e ocupação do solo, e gestão da drenagem urbana, assim como instrumentos legais de suporte existentes. Além disso, o Programa de Implementação também identifica as autarquias na esfera estadual e federal que podem contribuir para a implementação do Plano de Macrodrenagem de Petrolina, e estabelece uma série de ações necessárias para a estruturação da gestão municipal para a efetiva implementação do Plano.

4.5 HIERARQUIA DAS AÇÕES PROPOSTAS

A classificação de prioridade das ações propostas foi realizada a partir da análise de cada uma das medidas elencadas, em função do seu respectivo custo financeiro de execução e o seu impacto positivo obtido após efetivada (benefício). Dessa forma, buscou-se estabelecer uma ordem de prioridade de implementação de cada uma das ações a partir do seu custo-benefício, sendo assim fundamental para a consolidação do Plano de Ações, conforme procedimentos metodológicos detalhados nesta seção do relatório.

Para isso, as medidas propostas foram agrupadas em trechos definidos de acordo com as suas ordens de execução, ou seja, de jusante para montante, uma vez que para o bom funcionamento do encaminhamento das águas pluviais o caminho precisa estar livre até o seu exultório no Rio São Francisco. Portanto os trechos foram subdivididos tendo como limitadores avenidas importantes para o município ou mudança de sentido do corpo hídrico.

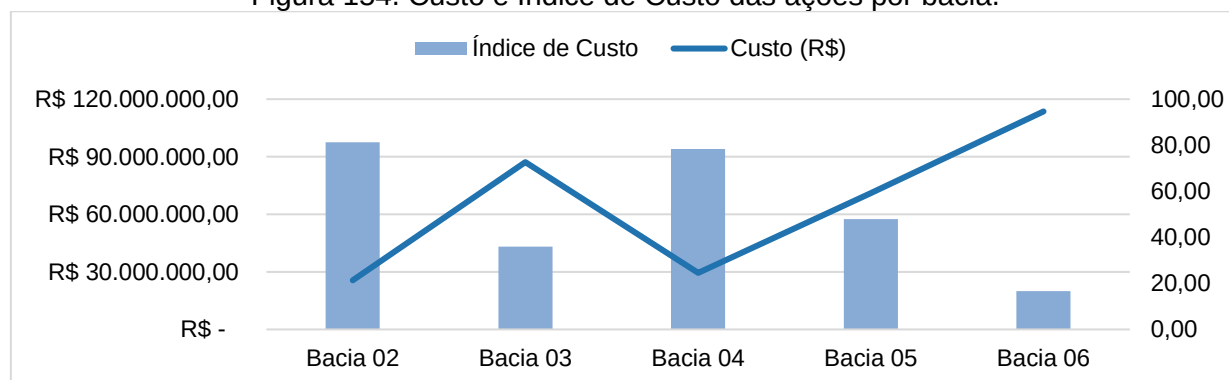
Após a definição dos trechos, foi calculado o respectivo custo e benefício de cada trecho, conforme detalhado no Relatório Parcial VI (Produto 06), possibilitando assim a hierarquização de prioridade das medidas propostas.

4.5.1 Prioridade das ações em relação ao custo

No que diz respeito ao custo, estima-se que a execução das principais intervenções diretas do Plano soma uma quantia de aproximadamente R\$ 326 milhões. Considerando a distribuição do custo por bacia, observa-se que a Bacia 06 agrega aproximadamente 35% dos custos, seguida das bacias 03 e 05, e por fim, as bacias 02 e 04 com aproximadamente 5% dos custos para cada.

Desta forma, considerando o índice de custo, as bacias 02 e 04 possuem a maior prioridade, uma vez que são as bacias com os menores custos, e assim, com maior facilidade de execução no que diz respeito ao orçamento municipal. Por sua vez, as bacias 03 e 05 possuem prioridade intermediária no que diz respeito ao índice de custo, e por fim, a Bacia 06 possui a menor prioridade em relação as demais uma vez que esta bacia apresenta custo consideravelmente superior.

Figura 154. Custo e Índice de Custo das ações por bacia.



Fonte: PDCA (2025).

Tabela 33. Custo e Índice de Custo das ações por bacia.

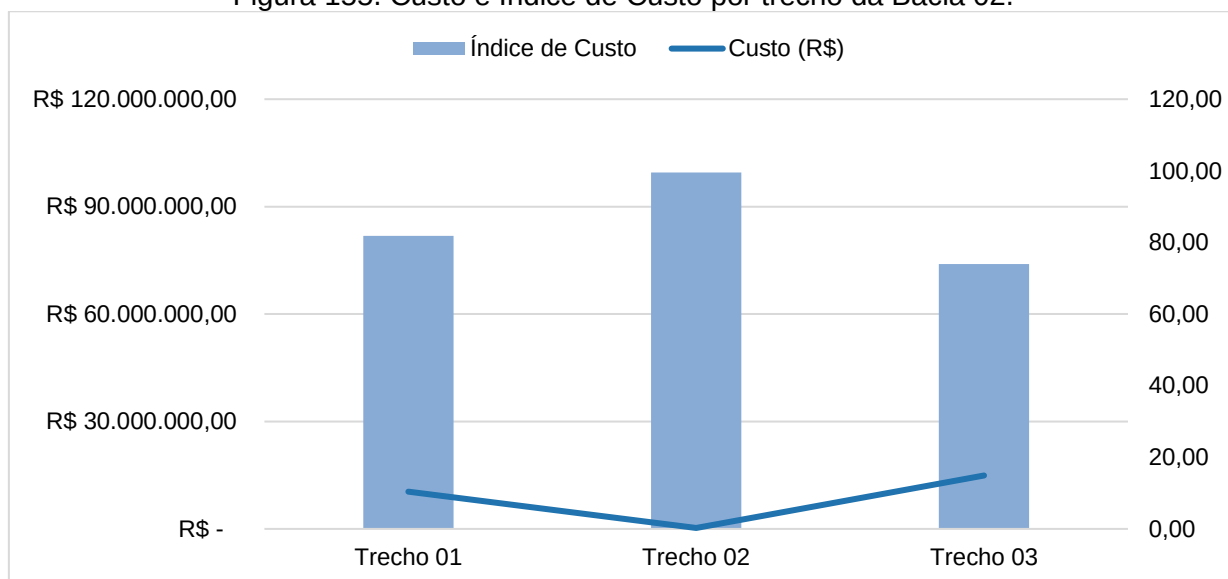
Bacia	Custo (R\$)	Índice de Custo
Bacia 02	R\$ 25.595.687,00	81,22
Bacia 03	R\$ 87.229.253,26	36,00
Bacia 04	R\$ 29.472.948,51	78,38
Bacia 05	R\$ 71.050.463,80	47,87
Bacia 06	R\$ 113.582.860,38	16,67

Fonte: PDCA (2025).

Em relação a Bacia 02, o trecho 02 possui o menor custo de execução, e por isso, o maior Índice de Custo, o colocando assim como maior prioridade no que diz respeito exclusivamente ao custo. Os Trechos 01 e 03 possuem orçamento e índice de custo com valores próximo uns dos outros, e possuem menor grau de prioridade em relação ao trecho 02 da bacia.

Comparando com todos os trechos de todas as bacias, o trecho 02 da bacia 02 é o trecho com o menor custo de execução (maior Índice de Custo), enquanto os trechos 01 e 03 se situam na 15ª e 18ª posição de prioridade em relação ao custo.

Figura 155. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 02.



Fonte: PDCA (2025).

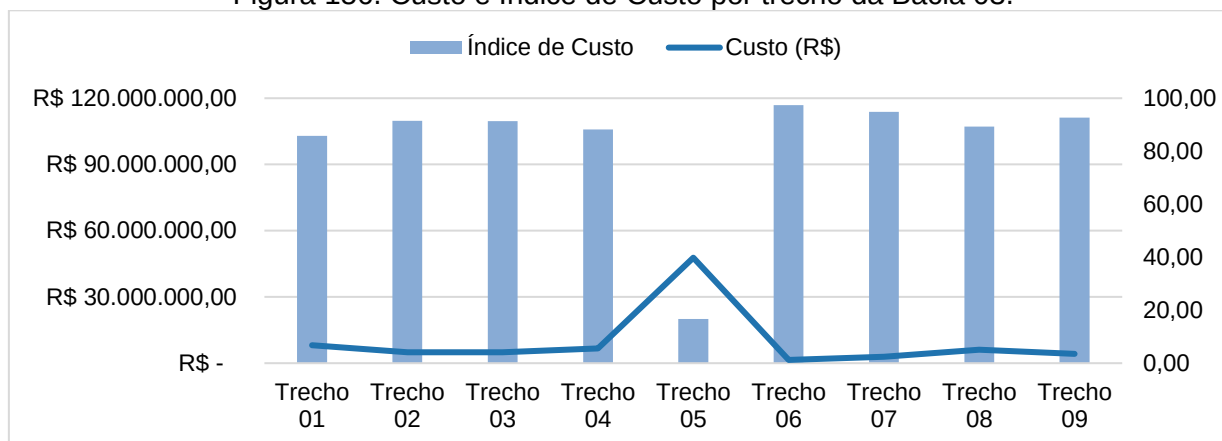
Tabela 34. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 02.

Trecho	Custo (R\$)	Índice de Custo
Trecho 01	R\$ 10.426.488,66	81,81
Trecho 02	R\$ 255.474,98	99,55
Trecho 03	R\$ 14.913.723,36	73,99

Fonte: PDCA (2025).

Na Bacia 03, os trechos possuem custos e índice de custo equivalentes, com exceção do trecho 05, o qual possui custo consideravelmente elevado em relação aos demais trechos da Bacia. Enquanto os demais trechos da bacia 05 estão situados entre os 10 trechos com menor custo em relação à todas as bacias, o trecho 05 ocupa a última posição de prioridade em relação ao custo.

Figura 156. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 03.



Fonte: PDCA (2025).

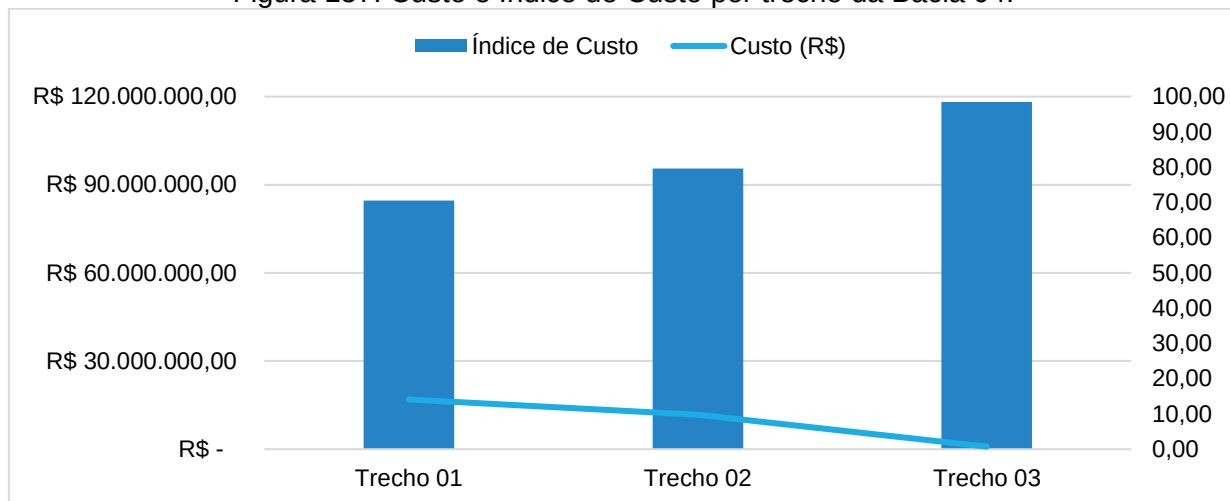
Tabela 35. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 03.

Trecho	Custo (R\$)	Índice de Custo
Trecho 01	R\$ 8.121.135,07	85,83
Trecho 02	R\$ 4.893.378,59	91,46
Trecho 03	R\$ 4.983.749,66	91,31
Trecho 04	R\$ 6.728.313,62	88,26
Trecho 05	R\$ 47.776.725,00	16,67
Trecho 06	R\$ 1.473.829,58	97,43
Trecho 07	R\$ 2.923.050,02	94,90
Trecho 08	R\$ 6.147.816,00	89,28
Trecho 09	R\$ 4.181.255,73	92,71

Fonte: PDCA (2025).

Na Bacia 04, o trecho 03 ocupa a segunda posição de prioridade em relação ao custo, considerando todos os trechos de todas as bacias, uma vez que o seu custo é inferior a R\$ 1 milhão. Por sua vez, os trechos 01 e 02 ocupam posições intermediárias na prioridade em relação ao custo (16ª e 20ª posição respectivamente).

Figura 157. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 04.



Fonte: PDCA (2025).

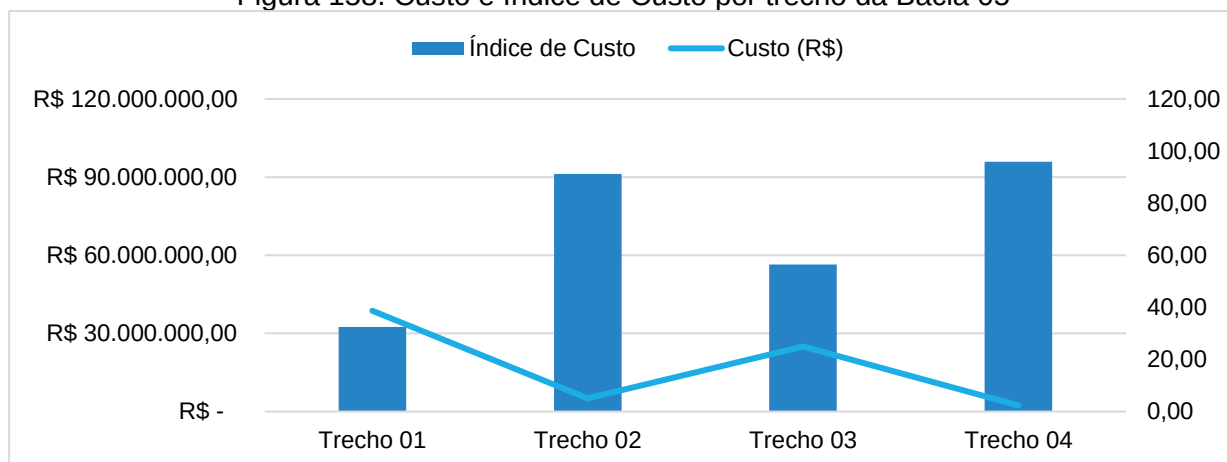
Tabela 36. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 04

Trecho	Custo	Índice de Custo
Trecho 01	R\$ 16.912.412,37	70,50
Trecho 02	R\$ 11.694.581,64	79,60
Trecho 03	R\$ 865.954,51	98,49

Fonte: PDCA (2025).

Na Bacia 05, o custo e índice de custo dos trechos oscilam de forma significativa, em que os trechos 02 e 04 possuem os menores custos e maiores índices de prioridade em relação ao custo, o trecho 03 se situa em posição intermediária, e o trecho 01 possui o maior custo e menor prioridade. Assim, o trecho 01 da Bacia 05 ocupa a penúltima posição de prioridade em relação ao custo quando comparado entre os 26 trechos totais considerados na análise (todas as bacias).

Figura 158. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 05



Fonte: PDCA (2025).

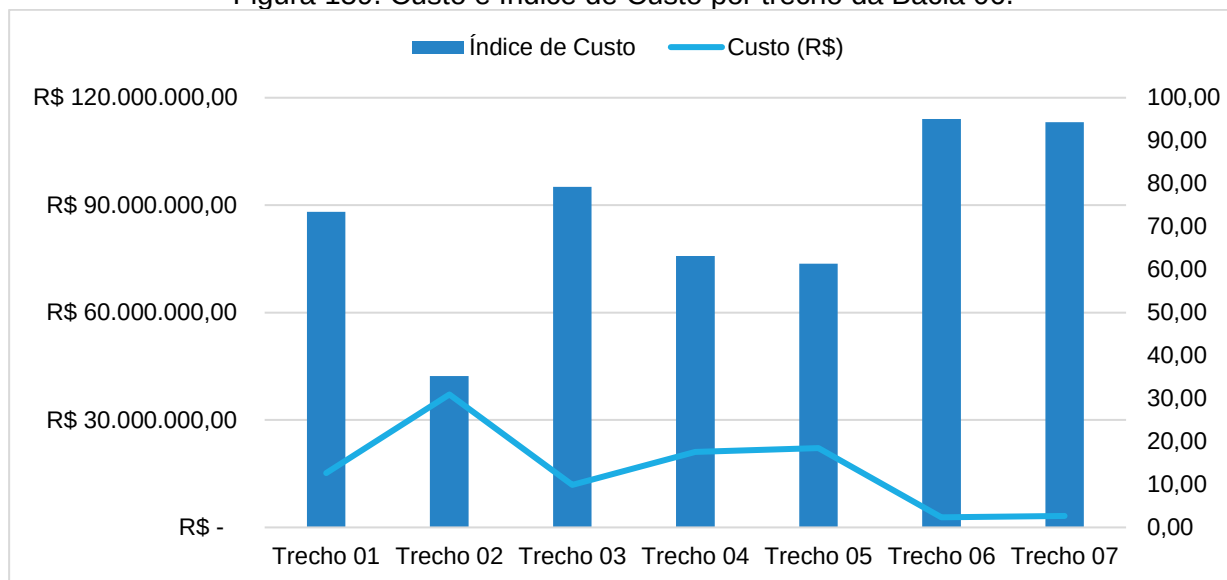
Tabela 37. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 05

Trecho	Custo (R\$)	Índice de Custo
Trecho 01	R\$ 38.688.915,08	32,52
Trecho 02	R\$ 5.048.410,95	91,19
Trecho 03	R\$ 24.978.593,44	56,43
Trecho 04	R\$ 2.334.544,33	95,93

Fonte: PDCA (2025).

Na Bacia 06, observa-se que os trechos 06 e 07 situam-se entre os 10 primeiros trechos prioritários no que diz respeito ao custo. Por sua vez, todos os demais trechos estão posicionados com grau de prioridade inferior, sobretudo o trecho 02, o qual se posiciona na 24ª posição quando comparado com todos os trechos de todas as bacias.

Figura 159. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 06.



Fonte: PDCA (2025).

Tabela 38. Custo e Índice de Custo por trecho da Bacia 06.

Trecho	Custo (R\$)	Índice de Custo
Trecho 01	R\$ 15.222.991,13	73,45
Trecho 02	R\$ 37.135.272,67	35,23
Trecho 03	R\$ 11.902.512,23	79,24
Trecho 04	R\$ 21.123.088,58	63,16
Trecho 05	R\$ 22.127.815,54	61,40
Trecho 06	R\$ 2.823.925,36	95,07
Trecho 07	R\$ 3.247.254,87	94,34

Fonte: PDCA (2025).

Tabela 39. Ordem de prioridade dos trechos em relação do Índice de Custo das ações.

Ordem	Bacia	Trecho	Custo (R\$)	Índice de Custo
1	Bacia 02	Trecho 02	R\$ 255.474,98	99,55
2	Bacia 04	Trecho 03	R\$ 865.954,51	98,49
3	Bacia 03	Trecho 06	R\$ 1.473.829,58	97,43
4	Bacia 05	Trecho 04	R\$ 2.334.544,33	95,93
5	Bacia 06	Trecho 06	R\$ 2.823.925,36	95,07
6	Bacia 03	Trecho 07	R\$ 2.923.050,02	94,90
7	Bacia 06	Trecho 07	R\$ 3.247.254,87	94,34
8	Bacia 03	Trecho 09	R\$ 4.181.255,73	92,71
9	Bacia 03	Trecho 02	R\$ 4.893.378,59	91,46
10	Bacia 03	Trecho 03	R\$ 4.983.749,66	91,31
11	Bacia 05	Trecho 02	R\$ 5.048.410,95	91,19
12	Bacia 03	Trecho 08	R\$ 6.147.816,00	89,28
13	Bacia 03	Trecho 04	R\$ 6.728.313,62	88,26
14	Bacia 03	Trecho 01	R\$ 8.121.135,07	85,83
15	Bacia 02	Trecho 01	R\$ 10.426.488,66	81,81
16	Bacia 04	Trecho 02	R\$ 11.694.581,64	79,60
17	Bacia 06	Trecho 03	R\$ 11.902.512,23	79,24
18	Bacia 02	Trecho 03	R\$ 14.913.723,36	73,99
19	Bacia 06	Trecho 01	R\$ 15.222.991,13	73,45
20	Bacia 04	Trecho 01	R\$ 16.912.412,37	70,50
21	Bacia 06	Trecho 04	R\$ 21.123.088,58	63,16
22	Bacia 06	Trecho 05	R\$ 22.127.815,54	61,40
23	Bacia 05	Trecho 03	R\$ 24.978.593,44	56,43
24	Bacia 06	Trecho 02	R\$ 37.135.272,67	35,23
25	Bacia 05	Trecho 01	R\$ 38.688.915,08	32,52
26	Bacia 03	Trecho 05	R\$ 47.776.725,00	16,67

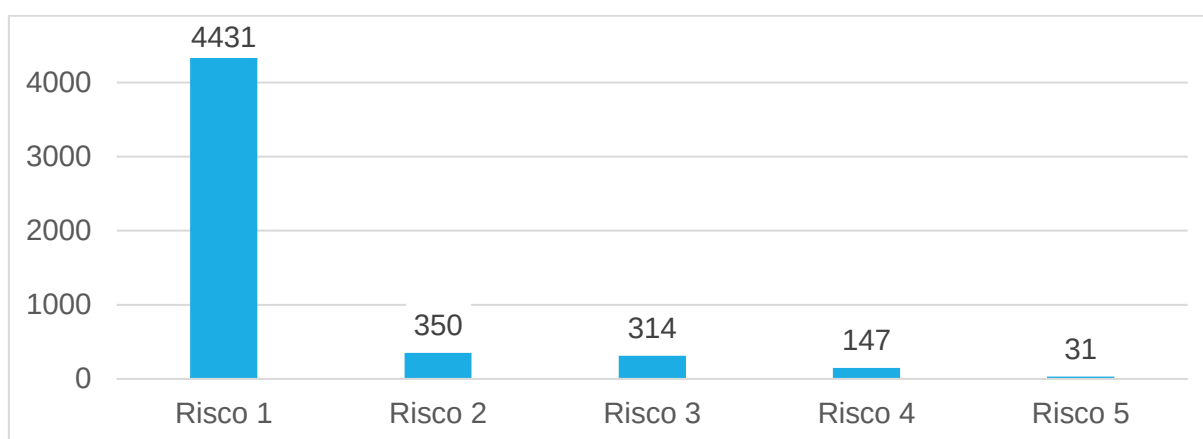
Fonte: PDCA (2025).

4.5.2 Prioridade das ações em relação ao benefício

Em relação ao benefício das ações propostas, observa-se que ao todo serão beneficiados, de forma direta, aproximadamente 5.273 edificações que atualmente se encontram em situação de risco. Entre estes, observa-se também que aproximadamente 85% encontram-se na faixa de risco 1, em que os danos e prejuízos são de menores proporções em comparação com as demais faixas de risco.

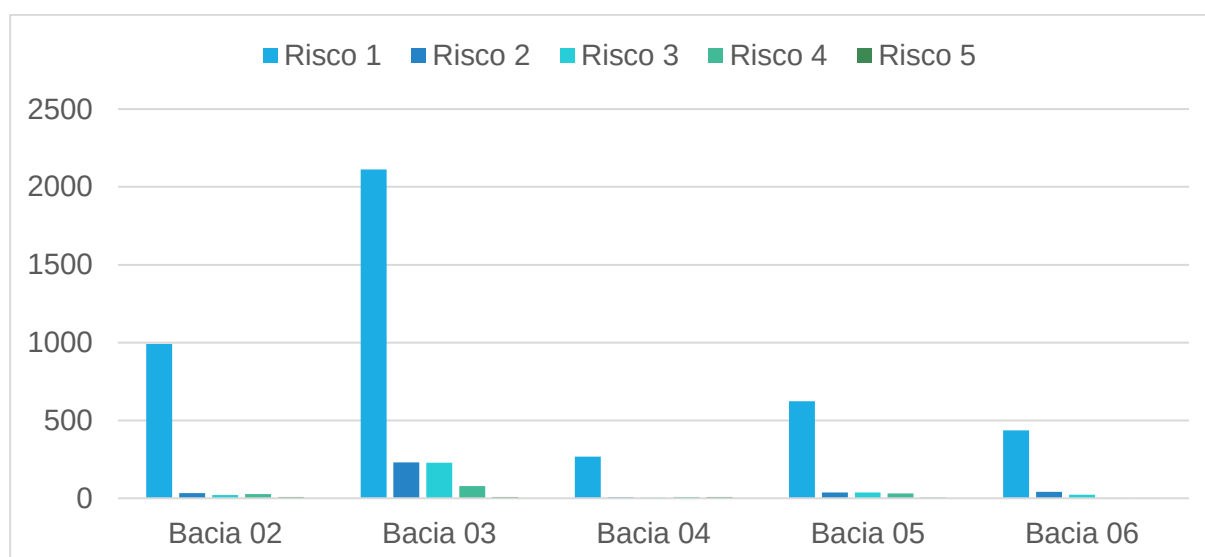
Por sua vez, a Bacia 03 concentra aproximadamente 50% das edificações em situação de risco, sendo esta bacia a com o maior número de edificações que serão beneficiadas pelas medidas propostas no plano. Em seguida, têm-se as bacias 02 e 05 com 20% e 15% das edificações em situação de risco, respectivamente, enquanto as bacias 04 e 06 apresentam o menor número de edificações sujeitos à riscos hidrológicos.

Figura 160. Quantidade de edificações em situação de risco.



Fonte: PDCA (2025).

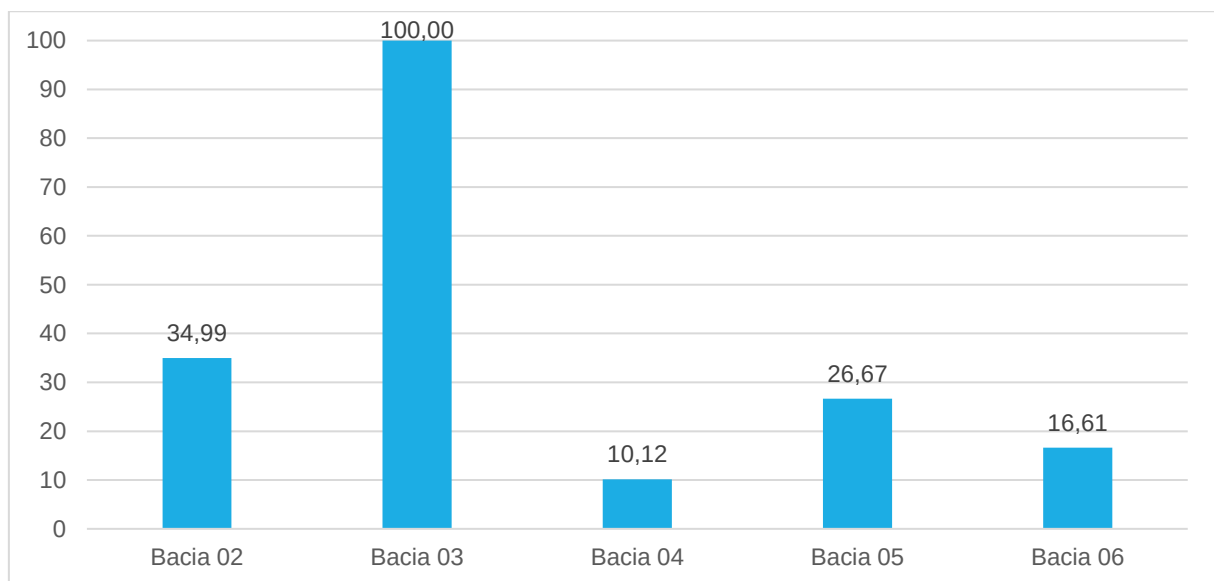
Figura 161. Quantidade de edificações em situação de risco por bacia e faixa de risco.



Fonte: PDCA (2025).

Considerando o Índice de Benefício das ações, o qual varia de 0 (zero) à 100 (cem), têm-se que a bacia 03 apresenta o maior grau de risco e consequentemente o maior benefício direto obtido a partir da implementação das ações. Por sua vez, as bacias 02 e 05 estão situadas na faixa intermediária em relação ao índice de benefício direto das ações, enquanto as bacias 04 e 06 apresentam o menor número de edificações em situação de risco e menor índice de benefício direto das ações. Estes dados refletem os resultados obtidos na etapa de diagnóstico do Plano, demonstrando a relação direta entre o índice de benefício direto das ações propostas e os problemas relacionados à macrodrenagem urbana observados no município. Em termos populacionais, considerando a densidade domiciliar apresentada no Censo Demográfico de 2022 para o Município de Petrolina, serão beneficiadas de forma direta aproximadamente 15.819 pessoas, das quais 3.240 residem na Bacia 02, 7.974 na bacia 03, 693 na bacia 04, 2.400 na bacia 05, e 1.512 habitantes na bacia 06.

Figura 162. Índice de benefício direto das ações por Bacia.



Fonte: PDCA (2025).

Tabela 40. Índice de benefício direto das ações por Bacia.

Bacia	Risco 1	Risco 2	Risco 3	Risco 4	Risco 5	Índice de Benefício
Bacia 02	991	34	21	26	8	34,99
Bacia 03	2111	231	228	79	9	100,00
Bacia 04	268	7	4	8	8	10,12
Bacia 05	624	37	38	32	5	26,67
Bacia 06	437	41	23	2	1	16,61

Fonte: PDCA (2025).

Figura 163. Edificações em situação de risco.

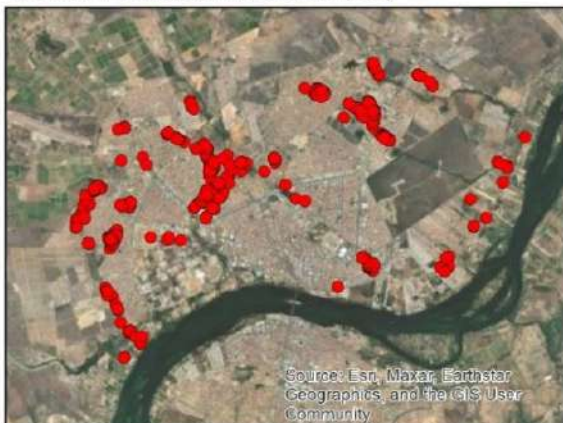
Todos os imóveis em situação de risco (5.273)



Imóveis em Situação de Risco 1 (4.431)



Imóveis em Situação de Risco 2 (350)



Imóveis em Situação de Risco 3 (314)



Imóveis em Situação de Risco 4 (147)



Imóveis em Situação de Risco 5 (31)

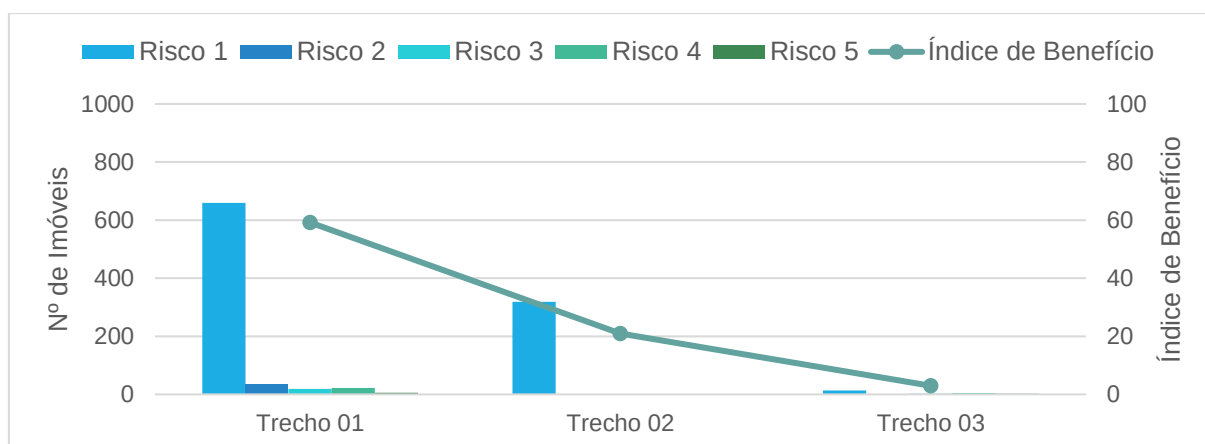


Fonte: PDCA (2025).

Na Bacia 02, o Trecho 01 localizado entre o bairro de Jardim Petrópolis e a foz do Riacho Vitória apresenta o maior número de edificações em situações de risco e maior índice de benefício direto a ser obtido a partir da implementação das ações propostas. Conforme apresentado anteriormente na etapa de diagnóstico, este trecho compreende um número elevado de edificações em situação de risco no Bairro de Jardim Petrópolis, e, no trecho final do Riacho Vitória onde localizam-se edificações situadas na margem inundável do riacho. Em relação à todas as bacias, o trecho 01 da Bacia 02 situa-se na terceira maior ordem de prioridade em Petrolina no que diz respeito ao benefício, demonstrando importância elevada de implementação das ações propostas.

O trecho 02 possui apenas edificações situadas na faixa de risco 01 (lâmina d'água abaixo de 0,50m) e está na sétima posição de prioridade em relação à toda área urbana de Petrolina (entre 26 trechos), compreendendo a mitigação de riscos existentes atualmente no Alto da Boa Vista e em casos de transbordamento do Canal do Tapuio. E por fim, o trecho 03 da Bacia 02 possui um número baixo de edificações situadas em áreas de riscos hidrológicos, e no que diz respeito ao Índice de Benefício o trecho está na 20ª ordem de prioridade em relação aos 26 trechos totais analisados em toda a área urbana de Petrolina.

Figura 164. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 02.



Fonte: PDCA (2025).

Tabela 41. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 02.

Trecho	Risco 1	Risco 2	Risco 3	Risco 4	Risco 5	Índice de Benefício
Trecho 01	659	34	19	22	6	59.19
Trecho 02	319	0	0	0	0	20.93
Trecho 03	13	0	2	4	2	2.95

Fonte: PDCA (2025).

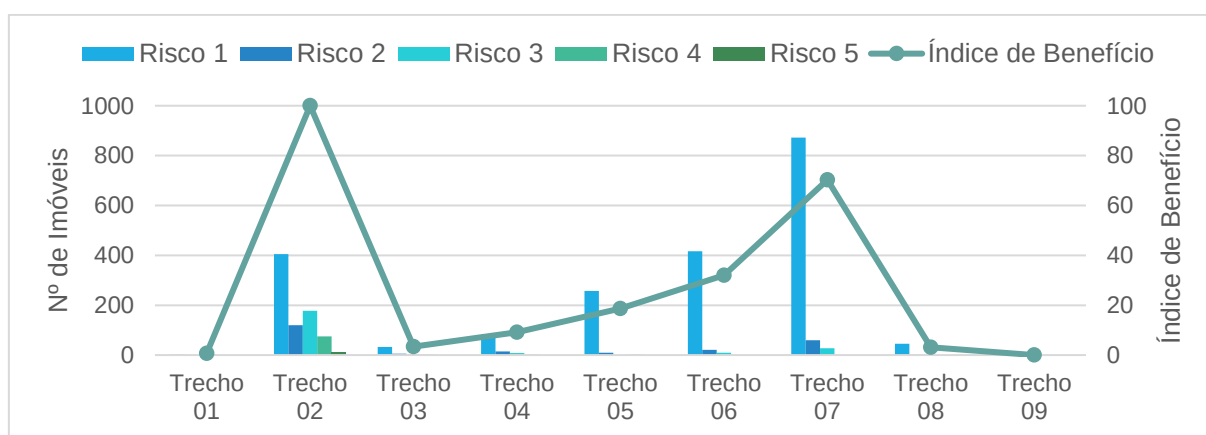
Figura 165. Imóveis em situação de risco por trechos na Bacia 02.



Fonte: PDCA (2025).

Como já mencionado, a Bacia 03 possui o maior Índice de Benefício calculado em toda a área urbana de Petrolina, principalmente pelos riscos hidrológicos ocasionados às margens do Riacho das Porteiras, no Vale do Grande Rio e Canal do João de Deus. O trecho 02 da bacia, localizado no Riacho das Porteiras, situa-se na primeira posição de prioridade em relação à todos os trechos analisados no município, onde se encontra um número elevado de edificações em todas as faixas de risco. Em seguida, o trecho 07 da bacia, localizado no Vale do Grande Rio, situa-se na segunda posição de prioridade em relação ao benefício das ações propostas. O trecho 06 situa-se na quinta posição de prioridade, e este se refere ao Canal do João de Deus, e que a implementação das ações também abrange a mitigação de riscos hidrológicos existentes atualmente nos Bairros Cosme e Damião, IPSEP II e Portal da Cidade.

Figura 166. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 03.



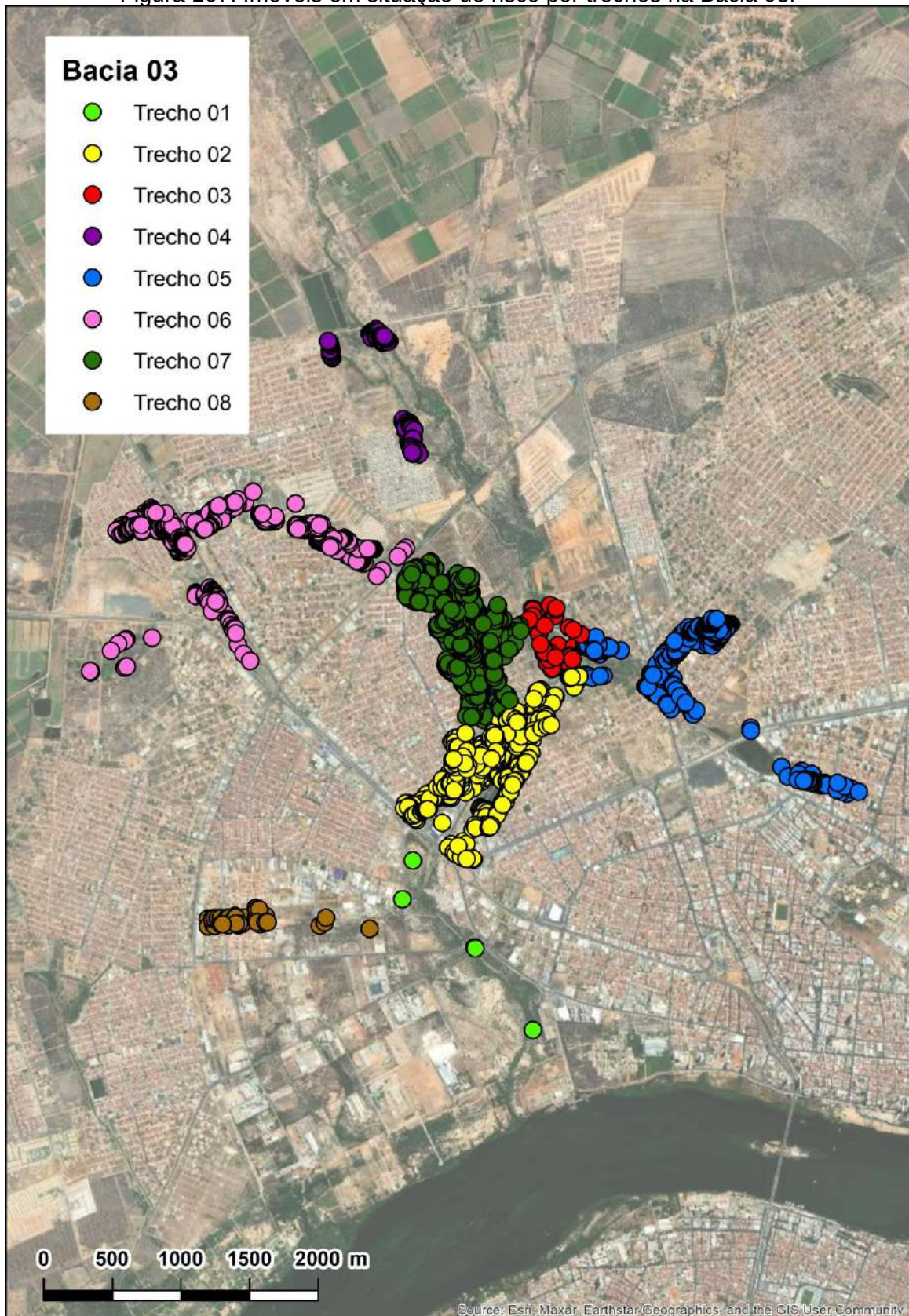
Fonte: PDCA (2025).

Tabela 42. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 03.

Trecho	Risco 1	Risco 2	Risco 3	Risco 4	Risco 5	Índice de Benefício
Trecho 01	2	0	3	0	0	0,72
Trecho 02	405	120	178	75	9	100,00
Trecho 03	32	5	2	1	0	3,41
Trecho 04	82	15	8	1	0	9,19
Trecho 05	257	10	0	2	0	18,70
Trecho 06	416	21	10	0	0	32,02
Trecho 07	872	59	27	0	0	70,28
Trecho 08	45	1	0	0	0	3,08
Trecho 09	0	0	0	0	0	0,00

Fonte: PDCA (2025).

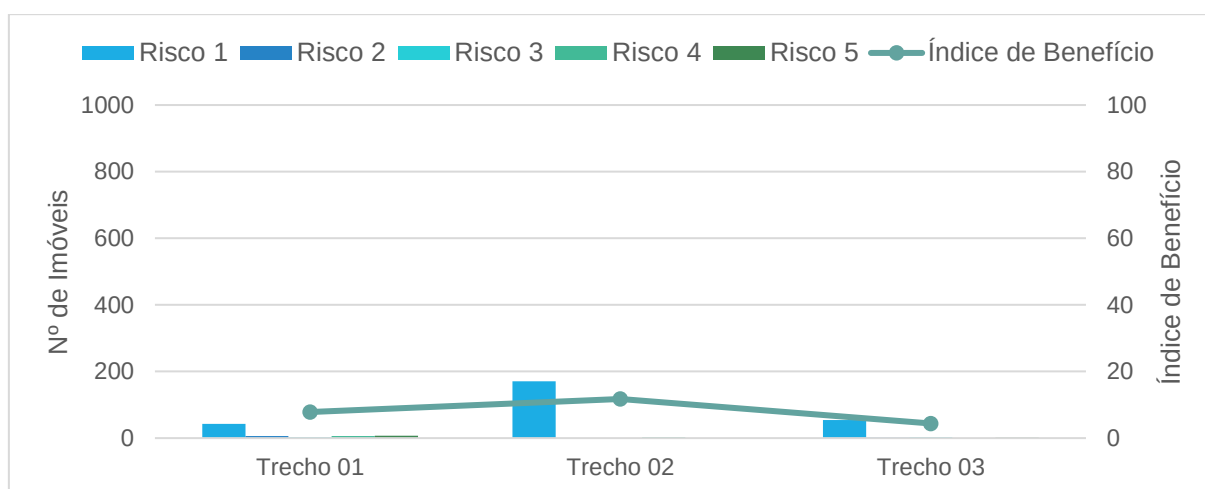
Figura 167. Imóveis em situação de risco por trechos na Bacia 03.



Fonte: PDCA (2025).

A Bacia 04 possui baixo Índice de Benefício quando comparada com as demais bacias analisadas na área urbana de Petrolina, embora o seu trecho 02 localizado no Canal do São José entre a Av. da Integração e a Av. Cardoso de Sá esteja entre os 10 primeiros trechos prioritários no município no que diz respeito ao benefício a ser obtido com a implantação das ações. Em relação ao Trecho 01, referente ao Canal do Alto Cheiroso, a implantação das ações irá possibilitar o aumento da área de contribuição do canal, enquanto no Trecho 03 (Sistema de Lagoas do Jatobá) as ações irão mitigar os riscos existentes atualmente na região e para novos empreendimentos que possam ser implantados na área de entorno das lagoas.

Figura 168. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 04.



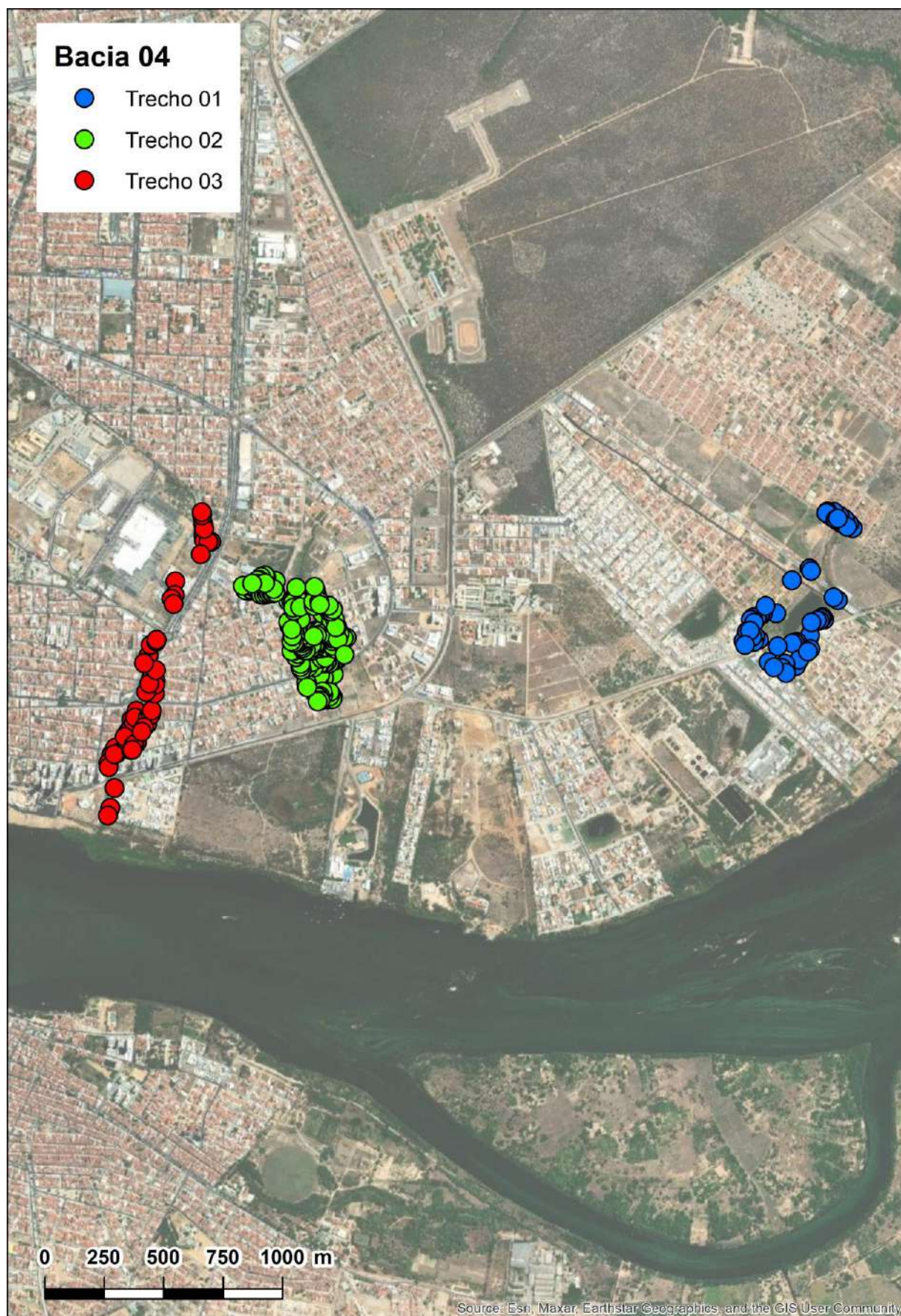
Fonte: PDCA (2025).

Tabela 43. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 04.

Trecho	Risco 1	Risco 2	Risco 3	Risco 4	Risco 5	Índice de Benefício
Trecho 01	43	6	2	6	7	7,87
Trecho 02	171	0	0	2	0	11,75
Trecho 03	54	1	2	0	1	4,40

Fonte: PDCA (2025).

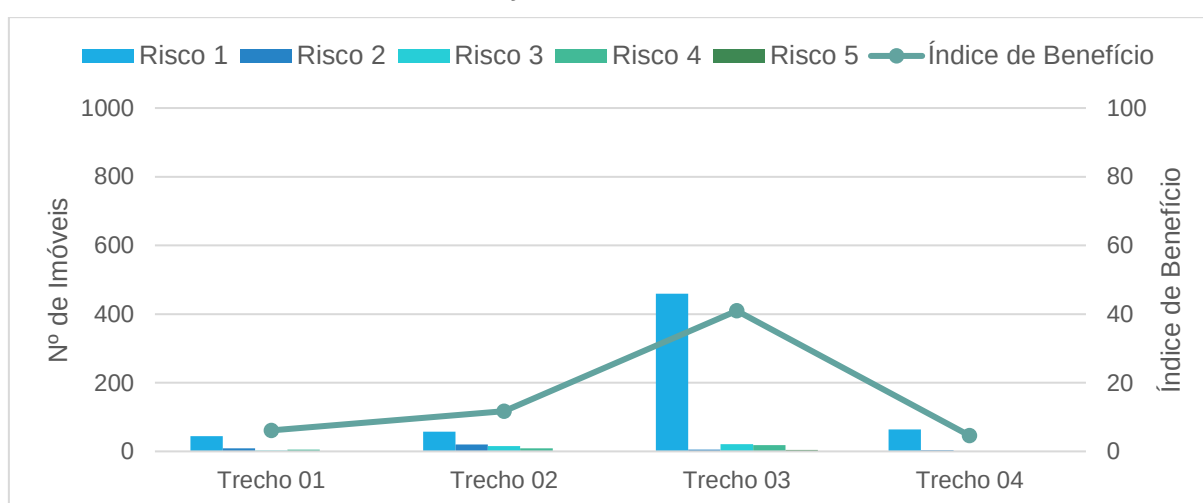
Figura 169. Imóveis em situação de risco por trechos na Bacia 04.



Fonte: PDCA (2025).

Na Bacia 05, o trecho 03 é o trecho com a quarta maior prioridade em relação aos benefícios das ações propostas, e compreende a área de drenagem situada entre a Av. do Beija-Flor e a rodovia BR-428, e também as Lagoas Padre Cícero. Este um dos principais trechos críticos identificados na etapa de diagnóstico do Plano, e por tal razão o trecho se posiciona entre os mais prioritários no que diz respeito aos benefícios que serão alcançados com a implementação das suas respectivas ações propostas. Os demais trechos apresentam baixo Índice de Benefício, sobretudo o trecho 01 (Av. Vale das Pedrinhas) e o trecho 04 (Bairro do Henrique Leite).

Figura 170. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 05.



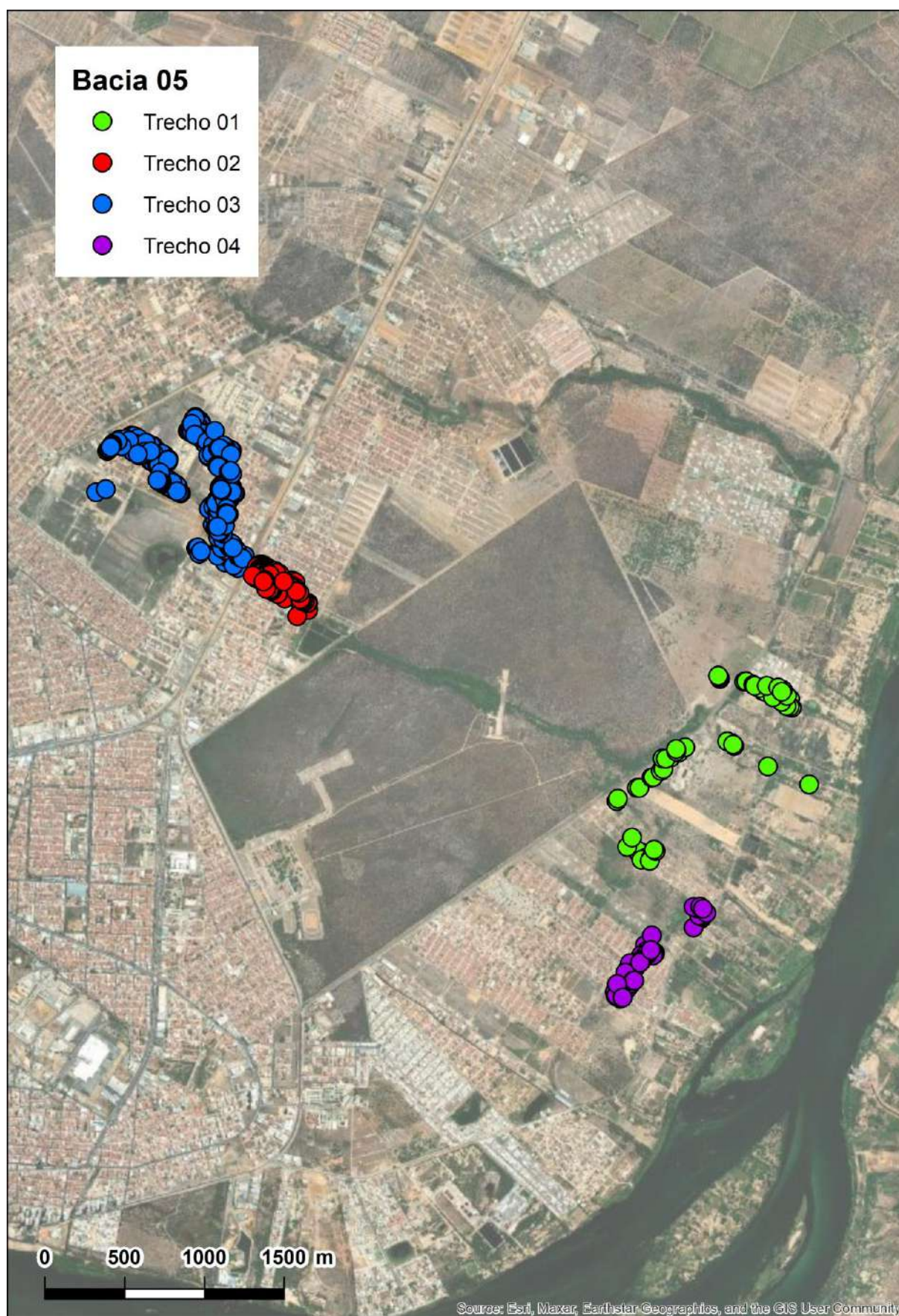
Fonte: PDCA (2025).

Tabela 44. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 05.

Trecho	Risco 1	Risco 2	Risco 3	Risco 4	Risco 5	Índice de Benefício
Trecho 01	44	9	2	5	1	6.10
Trecho 02	57	20	15	9	0	11.68
Trecho 03	459	5	21	18	4	40.94
Trecho 04	64	3	0	0	0	4.59

Fonte: PDCA (2025).

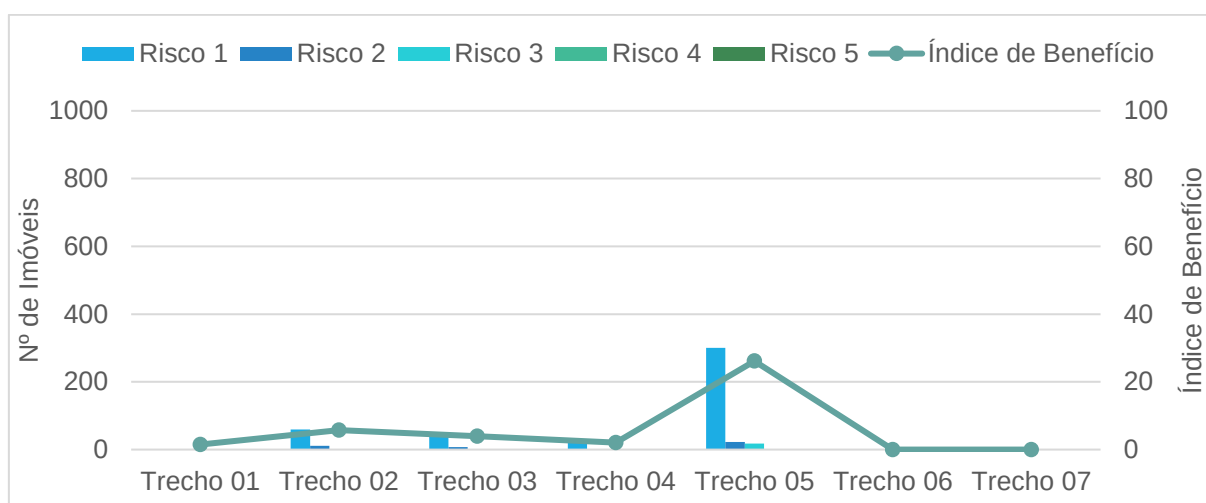
Figura 171. Imóveis em situação de risco por trechos na Bacia 05.



Fonte: PDCA (2025).

Na Bacia 06, o trecho 05, que compreende o Canal da Av. Redenção e Lagoa São Joaquim, apresenta o maior Índice de Benefício direto das ações na Bacia. Em relação a todas as bacias e trechos, o trecho 05 da Bacia 06 se coloca na sexta posição no que diz respeito ao benefício direto a ser obtido com a implantação das ações, demonstrando assim a sua prioridade de execução. No entanto, os demais trechos da bacia apresentam baixo índice de benefício das ações em comparação com as demais bacias e trechos analisados.

Figura 172. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 06.



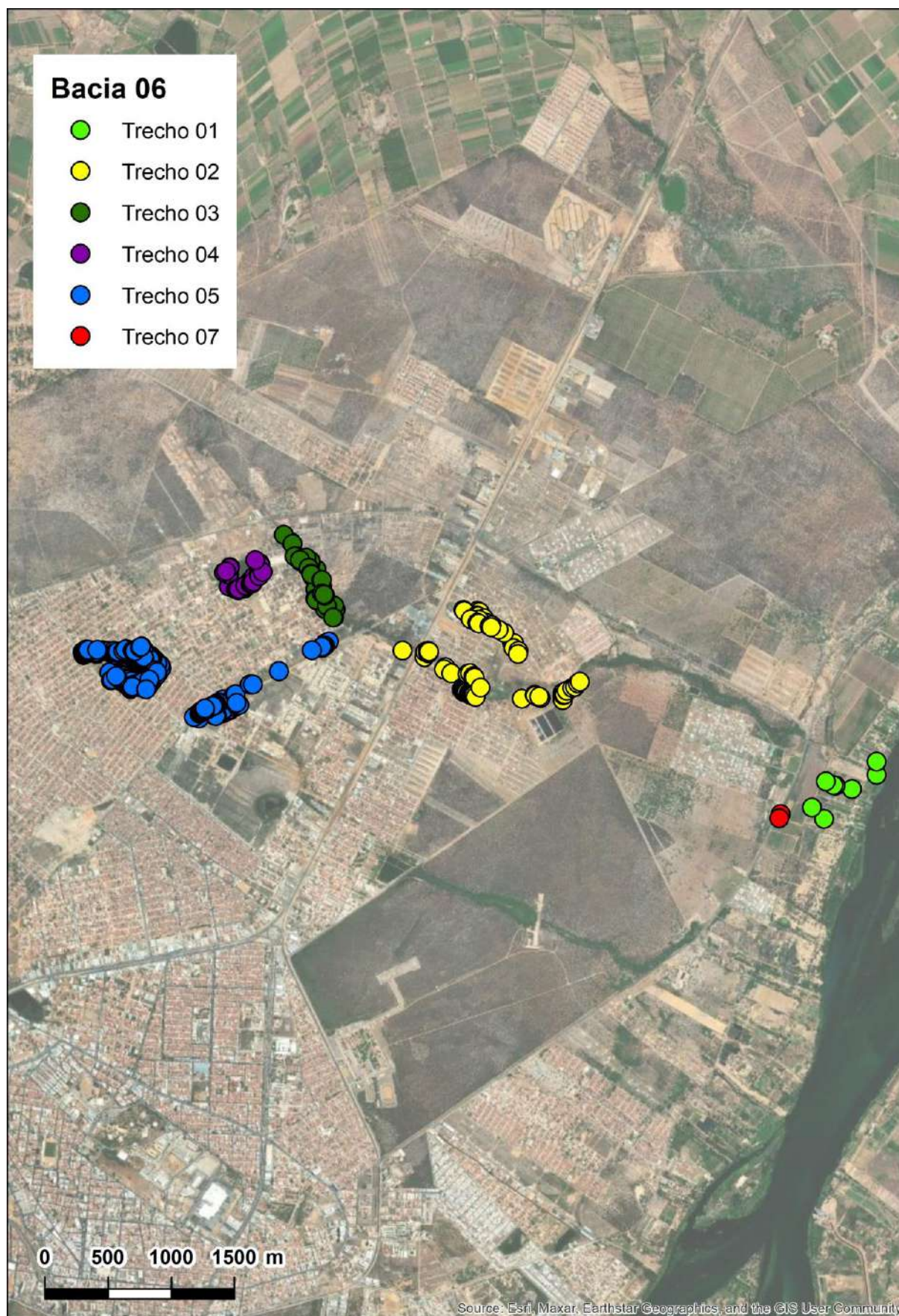
Fonte: PDCA (2025).

Tabela 45. Imóveis em situação de risco e Índice de Benefício na Bacia 06.

Trecho	Risco 1	Risco 2	Risco 3	Risco 4	Risco 5	Índice de Benefício
Trecho 01	2	1	2	2	1	1,51
Trecho 02	59	11	2	0	0	5,71
Trecho 03	46	7	0	0	0	3,94
Trecho 04	28	0	1	0	0	2,03
Trecho 05	300	22	18	0	0	26,12
Trecho 06	0	0	0	0	0	0,00
Trecho 07	2	0	0	0	0	0,00

Fonte: PDCA (2025).

Figura 173. Imóveis em situação de risco por trechos na Bacia 06.



Fonte: PDCA (2025).

Tabela 46. Ordem de prioridade dos trechos em relação do Índice de Benefício das ações.

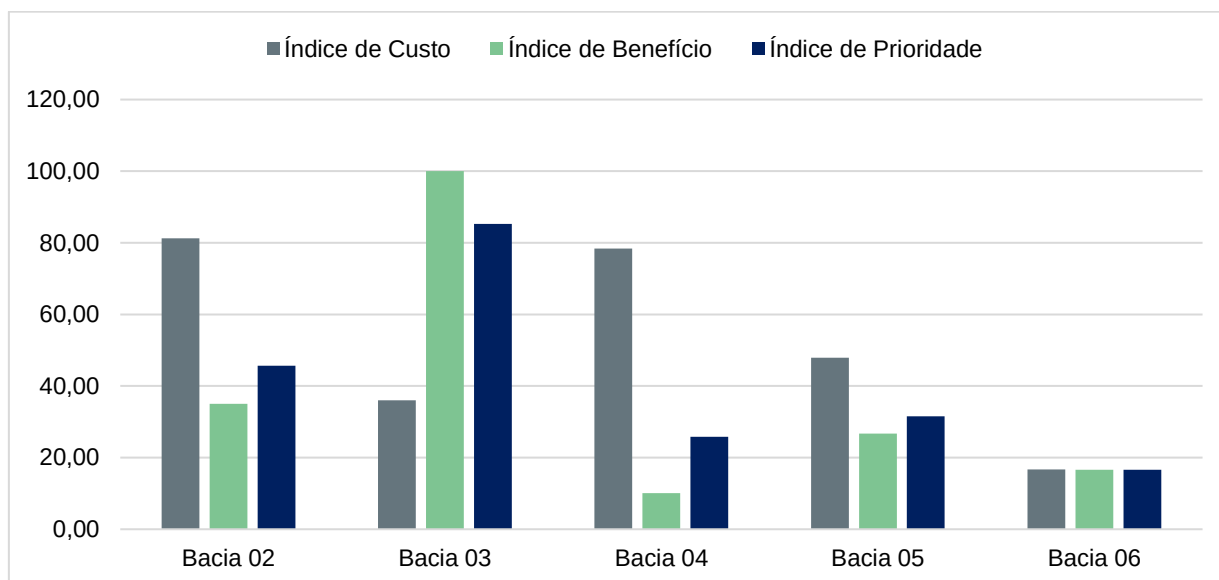
Ordem	Bacia	Trecho	Nº de Edificações por Faixa de Risco					Índice de Benefício (0 – 100)
			Risco 1	Risco 2	Risco 3	Risco 4	Risco 5	
1	Bacia 03	Trecho 02	405	120	178	75	9	100,0
2	Bacia 03	Trecho 07	872	59	27	0	0	70,3
3	Bacia 02	Trecho 01	659	34	19	22	6	59,2
4	Bacia 05	Trecho 03	459	5	21	18	4	40,9
5	Bacia 03	Trecho 06	416	21	10	0	0	32,0
6	Bacia 06	Trecho 05	300	22	18	0	0	26,1
7	Bacia 02	Trecho 02	319	0	0	0	0	20,9
8	Bacia 03	Trecho 05	257	10	0	2	0	18,7
9	Bacia 04	Trecho 02	171	0	0	2	0	11,7
10	Bacia 05	Trecho 02	57	20	15	9	0	11,7
11	Bacia 03	Trecho 04	82	15	8	1	0	9,2
12	Bacia 04	Trecho 01	43	6	2	6	7	7,9
13	Bacia 05	Trecho 01	44	9	2	5	1	6,1
14	Bacia 06	Trecho 02	59	11	2	0	0	5,7
15	Bacia 05	Trecho 04	64	3	0	0	0	4,6
16	Bacia 04	Trecho 03	54	1	2	0	1	4,4
17	Bacia 06	Trecho 03	46	7	0	0	0	3,9
18	Bacia 03	Trecho 03	32	5	2	1	0	3,4
19	Bacia 03	Trecho 08	45	1	0	0	0	3,1
20	Bacia 02	Trecho 03	13	0	2	4	2	3,0
21	Bacia 06	Trecho 04	28	0	1	0	0	2,0
22	Bacia 06	Trecho 01	2	1	2	2	1	1,5
23	Bacia 03	Trecho 01	2	0	3	0	0	0,7
24	Bacia 03	Trecho 09	0	0	0	0	0	0,0
25	Bacia 06	Trecho 06	0	0	0	0	0	0,0
26	Bacia 06	Trecho 07	2	0	0	0	0	0,0

Fonte: PDCA (2025).

4.5.3 Hierarquia de prioridade das ações

Analisando o custo e o benefício por bacia de forma conjunta, observa-se que a bacia 03 possui o maior grau de prioridade em relação as demais, sobretudo pelo benefício que será obtido a partir da implementação das ações propostas. A bacia 02 apresenta o segundo maior grau de prioridade, seguida das bacias 05 e 04, e por fim, a bacia 06 possui o menor grau de prioridade em relação as demais. Em relação a bacia 06 é necessário salientar que o seu benefício é superior à bacia 04, mas devido o elevado custo estimado (baixo índice de custo), a bacia 06 situa-se na última posição de prioridade.

Figura 174. Índices de Custo, Benefício e Prioridade das ações por Bacia.



Fonte: PDCA (2025).

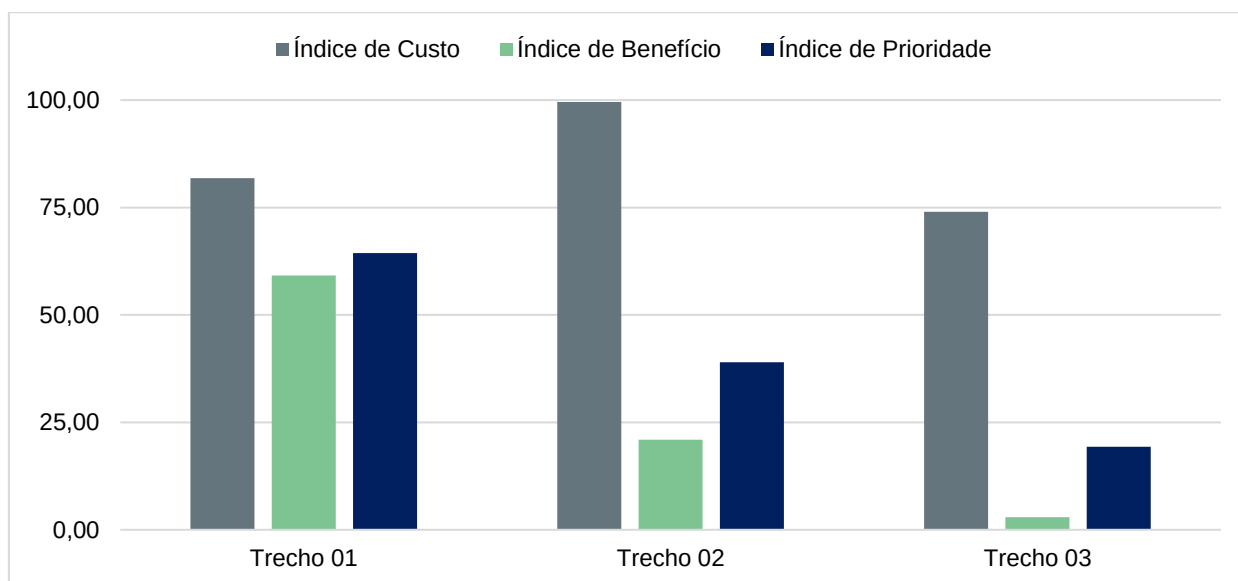
Tabela 47. Índices de Custo, Benefício e Prioridade das ações por Bacia.

Bacia	Índice de Custo	Índice de Benefício	Índice de Prioridade
Bacia 02	81,22	34,99	45,62
Bacia 03	36,00	100,00	85,28
Bacia 04	78,38	10,12	25,82
Bacia 05	47,87	26,67	31,55
Bacia 06	16,67	16,61	16,62

Fonte: PDCA (2025).

Na Bacia 02, o trecho 01 possui o maior grau de prioridade, o qual ocupa a terceira posição quando comparado com todos os trechos de todas as bacias, demonstrando assim a importância da implementação das ações no trecho. O trecho 02 possui prioridade intermediária, situado entre os 10 primeiros trechos prioritários, e o trecho 03 posiciona-se entre os trechos com menor prioridade.

Figura 175. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 02.



Fonte: PDCA (2025).

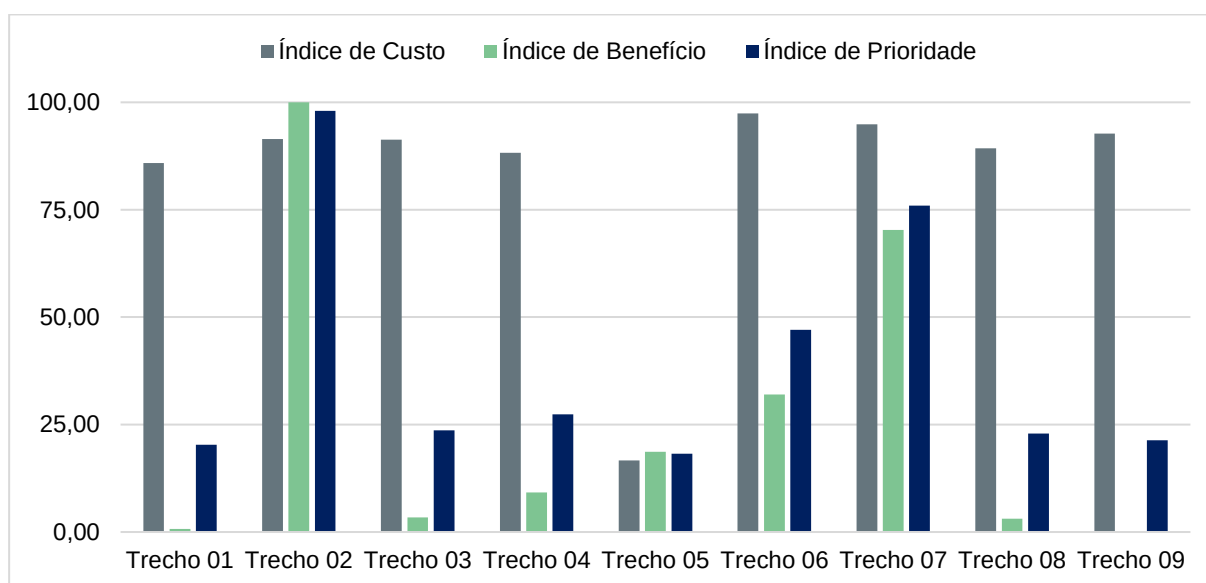
Tabela 48. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 02.

Trecho	Índice de Custo	Índice de Benefício	Índice de Prioridade	Ordem
Trecho 01	81,81	59,19	64,39	3
Trecho 02	99,55	20,93	39,01	6
Trecho 03	73,99	2,95	19,29	21

Fonte: PDCA (2025).

Na bacia 03 observa-se que os trechos 02 e 07 possuem índice de prioridade elevado, os quais se posicionam respectiva na 1ª e 2ª posição de prioridade geral em relação à todas as bacias e trechos analisados. O trecho 06 também se coloca em posição de prioridade elevada, ocupando a 4ª posição de prioridade geral, enquanto os demais trechos se posicionam de forma intermediária, (exceto os trechos 01 e 05). Em relação aos trechos 01 e 05, ambos se colocam com baixa prioridade no ranking geral, posicionando-se respectivamente na 20ª e 23ª posição de ordem prioridade geral.

Figura 176. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 03.



Fonte: PDCA (2025).

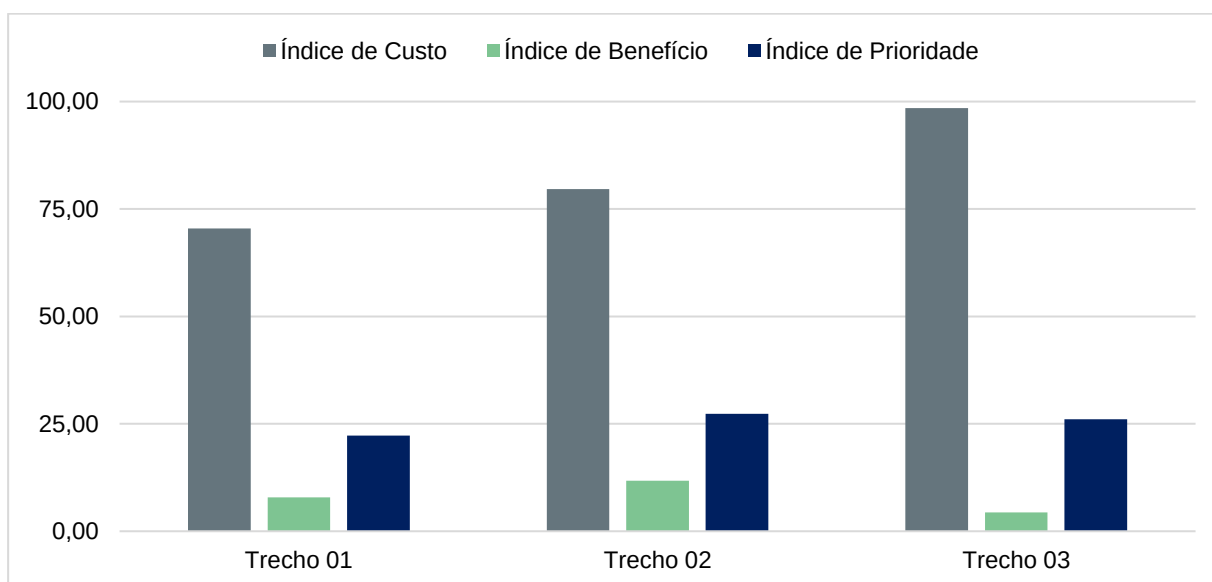
Tabela 49. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 03.

Trecho	Índice de Custo	Índice de Benefício	Índice de Prioridade	Ordem
Trecho 01	85,83	0,72	20,30	20
Trecho 02	91,46	100,00	98,04	1
Trecho 03	91,31	3,41	23,63	13
Trecho 04	88,26	9,19	27,37	9
Trecho 05	16,67	18,70	18,23	23
Trecho 06	97,43	32,02	47,06	4
Trecho 07	94,90	70,28	75,94	2
Trecho 08	89,28	3,08	22,91	14
Trecho 09	92,71	0,00	21,32	18

Fonte: PDCA (2025).

Na Bacia 04 todos os trechos se situam em posição intermediária de prioridade geral, destacando-se o trecho 02, o qual se posiciona entre os 10 primeiros trechos prioritários. Sobre o trecho 02, este se refere ao trecho do Canal do São José entre a Av. da Integração e a Av. Cardoso de Sá, e o qual atualmente já apresenta problemas de macrodrenagem, sobretudo pelo estrangulamento existente no Condomínio Maria Maria. O trecho 01 se refere ao Canal do Alto Cheiroso, que opera em condições críticas e o qual apresenta riscos de transbordamento para eventos extremos. E por fim, o trecho 03 se refere à Lagoa do Jatobá, sendo necessário para a absorção do escoamento proveniente de condomínios e loteamentos situados na região, onde já são relatados alguns problemas relacionados à drenagem.

Figura 177. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 04.



Fonte: PDCA (2025).

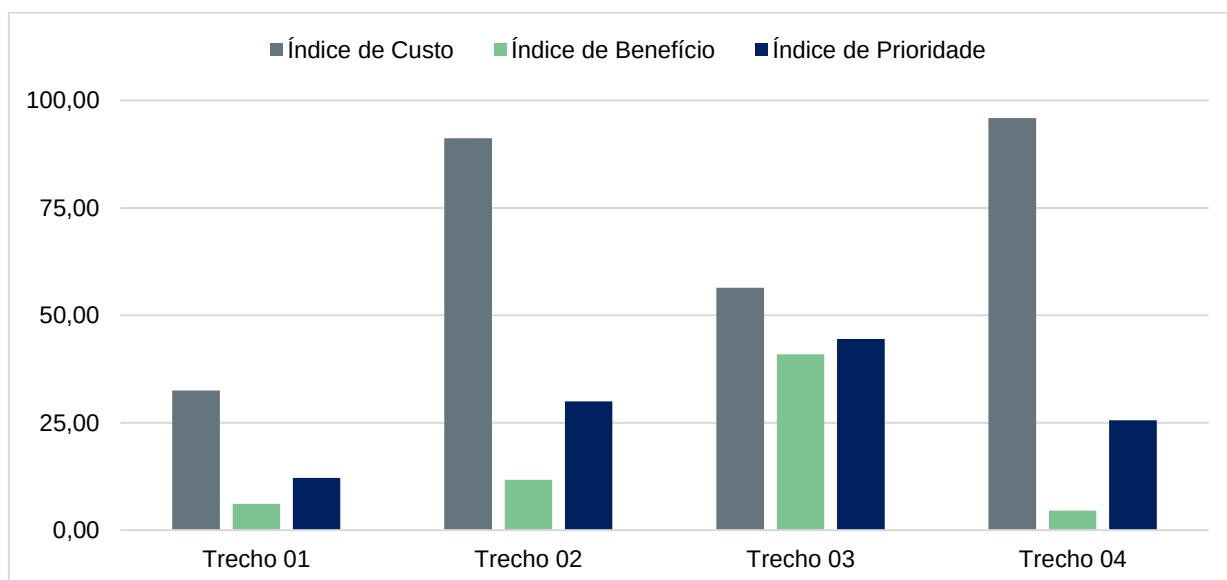
Tabela 50. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 04.

Trecho	Índice de Custo	Índice de Benefício	Índice de Prioridade	Ordem
Trecho 01	70,50	7,87	22,28	17
Trecho 02	79,60	11,75	27,35	10
Trecho 03	98,49	4,40	26,04	11

Fonte: PDCA (2025).

Na Bacia 05, os trechos 02 e 03 situam-se entre os 10 primeiros trechos prioritários, sobretudo o trecho 05, que se posiciona na quarta prioridade geral. O trecho 01 situa-se na última posição de prioridade, devido o seu baixo índice de benefício, e o trecho 04 coloca-se em posição intermediária.

Figura 178. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 05.



Fonte: PDCA (2025).

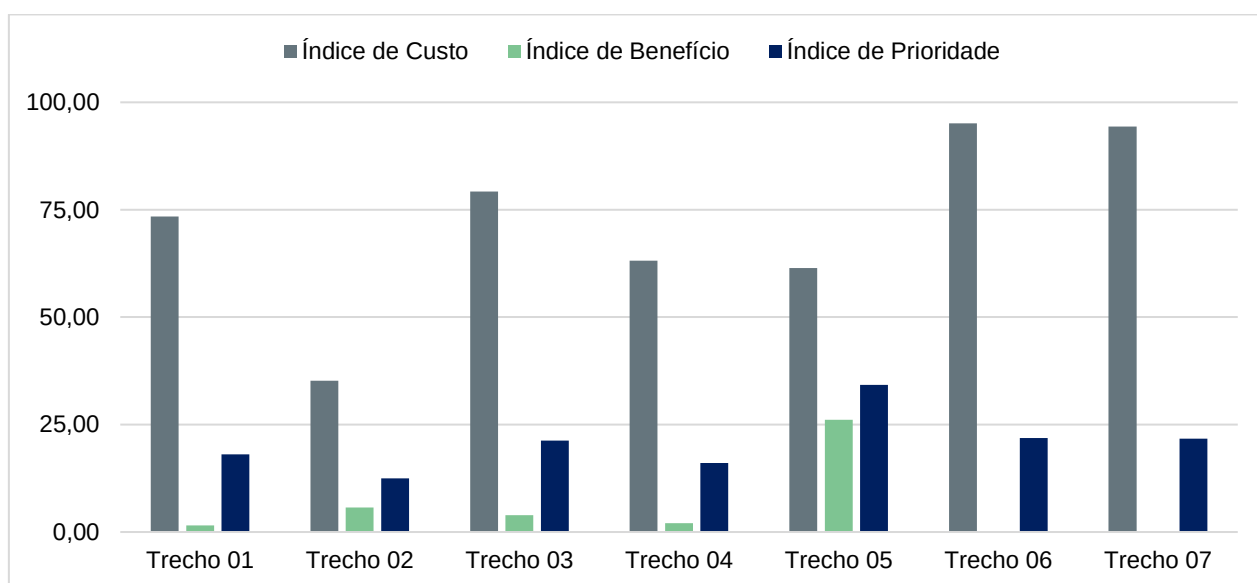
Tabela 51. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 05.

Trecho	Índice de Custo	Índice de Benefício	Índice de Prioridade	Ordem
Trecho 01	32,52	6,10	12,18	26
Trecho 02	91,19	11,68	29,97	8
Trecho 03	56,43	40,94	44,51	5
Trecho 04	95,93	4,59	25,60	12

Fonte: PDCA (2025).

Na bacia 06, apenas o trecho 05 (Canal da Av. Redenção e Lagoa São Joaquim) situa-se entre os 10 primeiros trechos prioritários. Nesta bacia, embora o índice de custo seja elevado, observa-se que o índice de benefício é baixo para todos os trechos (com exceção do trecho 05), sendo esta a principal razão para os resultados obtidos na classificação de prioridade. Por fim, observa-se também que o trecho 06 (Lagoas do Topázio) situa-se na última posição geral de prioridade, considerando o maior custo estimado das ações e o menor benefício que será obtido uma vez que a região não possui edificações em risco.

Figura 179. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 06.



Fonte: PDCA (2025).

Tabela 52. Índice de Prioridade por trecho na Bacia 06.

Trecho	Índice de Custo	Índice de Benefício	Índice de Prioridade	Ordem
Trecho 01	73,45	1,51	18,06	22
Trecho 02	35,23	5,71	12,50	25
Trecho 03	79,24	3,94	21,26	19
Trecho 04	63,16	2,03	16,09	24
Trecho 05	61,40	26,12	34,23	7
Trecho 06	95,07	0,00	21,87	15
Trecho 07	94,34	0,00	21,70	16

Fonte: PDCA (2025).

Tabela 53. Ordem de prioridade dos trechos.

Ordem	Bacia	Trecho	Índice de Custo	Índice de Benefício	Índice de Prioridade
1	Bacia 03	Trecho 02	91,46	100,00	1
2	Bacia 03	Trecho 07	94,90	70,28	2
3	Bacia 02	Trecho 01	81,81	59,19	3
4	Bacia 03	Trecho 06	97,43	32,02	4
5	Bacia 05	Trecho 03	56,43	40,94	5
6	Bacia 02	Trecho 02	99,55	20,93	6
7	Bacia 06	Trecho 05	61,40	26,12	7
8	Bacia 05	Trecho 02	91,19	11,68	8
9	Bacia 03	Trecho 04	88,26	9,19	9
10	Bacia 04	Trecho 02	79,60	11,75	10
11	Bacia 04	Trecho 03	98,49	4,40	11
12	Bacia 05	Trecho 04	95,93	4,59	12
13	Bacia 03	Trecho 03	91,31	3,41	13
14	Bacia 03	Trecho 08	89,28	3,08	14
15	Bacia 06	Trecho 06	95,07	0,00	15
16	Bacia 06	Trecho 07	94,34	0,00	16
17	Bacia 04	Trecho 01	70,50	7,87	17
18	Bacia 03	Trecho 09	92,71	0,00	18
19	Bacia 06	Trecho 03	79,24	3,94	19
20	Bacia 03	Trecho 01	85,83	0,72	20
21	Bacia 02	Trecho 03	73,99	2,95	21
22	Bacia 06	Trecho 01	73,45	1,51	22
23	Bacia 03	Trecho 05	16,67	18,70	23
24	Bacia 06	Trecho 04	63,16	2,03	24
25	Bacia 06	Trecho 02	35,23	5,71	25
26	Bacia 05	Trecho 01	32,52	6,10	26

Fonte: PDCA (2025).

4.6 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTAÇÃO DAS AÇÕES

A partir da classificação de prioridade das medidas propostas, foi realizada a elaboração do Plano de Implementação das Ações, o qual consiste na definição dos horizontes temporais em que cada ação deverá ser executada (curto prazo, médio prazo e longo prazo). Nesta etapa foram consideradas todas as ações propostas no Plano, e não apenas as ações específicas determinadas para os trechos prioritários.

Para isso, considerou-se a urgência das ações e aspectos relacionados às possibilidades de implementação. Em relação à urgência, foi observado o grau de prioridade obtido a partir da hierarquização de prioridade calculada, e também, aspectos identificados ao longo da elaboração do plano e os quais explicitam as necessidades de ações com maior e menor urgência. Por sua vez, em relação às possibilidades de implementação buscou-se distribuir as ações de modo que estas possam ser viabilizadas no aspecto temporal, considerando o seu tempo de execução, evitando concentrar a execução de um número excessivo de ações num mesmo período de tempo, e assim, buscando o máximo possível distribuir as ações ao longo do horizonte do plano.

Em curto prazo, no horizonte de até 2 anos a partir da aprovação do Plano, estão as ações relacionadas à elaboração de projetos básicos para as medidas estruturais nas bacias, a efetivação das desapropriações e desocupações, e medidas mitigadoras complementares como a implementação das APP's e Áreas *Non Aedificandi*, desenvolvimento de sistema de monitoramento e alerta, e ações de manutenção preventiva da rede de drenagem. Dessa forma, busca-se concentrar as medidas com menores custos no horizonte de curto prazo, de modo que a gestão municipal possa planejar o orçamento (incluindo a captação de recursos) para a posterior execução das intervenções de maior porte orçamentário. Ainda assim, a execução de destas ações já irão trazer benefícios diretos no que diz respeito à redução de riscos hidrológicos no município, sobretudo no que diz respeito à desapropriações e desocupações, implementação das APP's e Áreas *Non Aedificandi*, o desenvolvimento de sistema de monitoramento e alerta, e ações de manutenção preventiva da rede de drenagem.

Por sua vez, maior parte das ações estruturais são recomendadas para implantação em médio prazo, entre 2 e 10 anos a partir da aprovação do Plano, uma vez que se trata de trechos críticos já existentes e os quais devem ser solucionados da forma mais breve possível. Com a implementação das ações recomendadas para o cenário de médio prazo, espera-se mitigar os riscos para 88% das edificações atualmente situadas em condições de riscos hidrológicos.

Por fim, as ações de longo prazo, entre 10 e 20 anos a partir da aprovação do Plano, se constituem enquanto ações estruturais em alguns trechos específicos com baixo grau de prioridade. Nestes trechos, observa-se que os mesmos não se tratam de pontos críticos relacionados à macrodrenagem do município, além de se localizarem em trechos ainda não

ocupados e com baixo índice de risco. No entanto, alguns trechos situados no horizonte de longo prazo podem ter a implantação de intervenções antecipadas, em caso de ocupação de áreas em momento anterior.

Tabela 54. Custo e potencial de redução de riscos das ações por horizonte de implantação.

Horizonte	Custo das ações (R\$)	Potencial de Redução de Riscos
Curto Prazo (Até 02 anos)	R\$ 20.000.000,00	576 Edificações (11 % do total)
Médio Prazo (Entre 02 e 10 anos)	R\$ 300.000.000,00	4.679 Edificações (88 % do total)
Longo Prazo (Entre 10 e 20 anos)	R\$ 125.000.000,00	18 Edificações (1 % do total)

Tabela 55. Horizonte temporal de implementação das ações propostas para a Bacia 1.

Ação	Curto Prazo	Médio Prazo	Longo Prazo
Elaboração de projetos básicos da Bacia 01	X		
Implementação de APP's e Áreas Non Aedificandi		X	

Tabela 56. Horizonte temporal de implementação das ações propostas para a Bacia 2.

Ação	Curto Prazo	Médio Prazo	Longo Prazo
Elaboração de projetos básicos da Bacia 02	X		
Desapropriações e desocupações a partir dos projetos básicos	X		
Execução do Trecho 01		X	
Execução do Trecho 02		X	
Execução do Trecho 03			X

Tabela 57. Horizonte temporal de implementação das ações propostas para a Bacia 3.

Ação	Curto Prazo	Médio Prazo	Longo Prazo
Elaboração de projetos básicos da Bacia 03	X		
Desapropriações e desocupações a partir dos projetos básicos	X		
Execução do Trecho 01		X	
Execução do Trecho 02		X	
Execução do Trecho 03		X	
Execução do Trecho 04		X	
Execução do Trecho 05		X	
Execução do Trecho 06		X	
Execução do Trecho 07		X	
Execução do Trecho 08			X
Execução do Trecho 09			X

Tabela 58. Horizonte temporal de implementação das ações propostas para a Bacia 4.

Ação	Curto Prazo	Médio Prazo	Longo Prazo
Elaboração de projetos básicos da Bacia 04	X		
Desapropriações e desocupações a partir dos projetos básicos	X		
Execução do Trecho 01		X	
Execução do Trecho 02		X	
Execução do Trecho 03		X	

Tabela 59. Horizonte temporal de implementação das ações propostas para a Bacia 5.

Ação	Curto Prazo	Médio Prazo	Longo Prazo
Elaboração de projetos básicos da Bacia 05	X		
Desapropriações e desocupações a partir dos projetos básicos	X		
Execução do Trecho 01		X	
Execução do Trecho 02		X	
Execução do Trecho 03		X	
Execução do Trecho 04		X	

Tabela 60. Horizonte temporal de implementação das ações propostas para a Bacia 6.

Ação	Curto Prazo	Médio Prazo	Longo Prazo
Elaboração de projetos básicos da Bacia 06	X		
Desapropriações e desocupações a partir dos projetos básicos	X		
Execução do Trecho 01		X	
Execução do Trecho 02		X	
Execução do Trecho 03		X	
Execução do Trecho 04		X	
Execução do Trecho 05		X	
Execução do Trecho 06			X
Execução do Trecho 07			X

Tabela 61. Horizonte temporal de implementação das ações propostas para a Bacia 7.

Ação	Curto Prazo	Médio Prazo	Longo Prazo
Elaboração de projetos básicos da Bacia 07	X		
Implementação de APP's e Áreas Non Aedificandi	X		

Tabela 62. Horizonte temporal de implementação de outras ações propostas.

Ação	Curto Prazo	Médio Prazo	Longo Prazo
Desenvolvimento e Implementação de Sistema de Monitoramento e Alerta	X		

4.7 DOCUMENTOS FINAIS

Os documentos finais que constituem o Plano Diretor de Macrodrenagem de Petrolina são apresentados nos seguintes anexos:

Anexo X. Plano Diretor de Macrodrenagem de Petrolina

Anexo X. Lei do Plano Diretor de Macrodrenagem de Petrolina

Anexo X. Manual de Drenagem de Petrolina

REFERÊNCIAS

ABNT. Resíduos sólidos – Classificação. Norma Brasileira. **Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT**. 71p. 2004.

ADASA. Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal. Editores: Luiz Fernando Orsini Yazaki, Marcos Helano Fernandes Montenegro, Jeferson da Costa. Brasília, DF: **ADASA, UNESCO**. p.: il. ISBN 978-85-53093-01-4. 2018.

AGRA FILHO, S. S.; VIÉGAS, O. Planos de gestão e programas de monitoramento costeiro: diretrizes de elaboração. Brasília: **Programa Nacional do Meio Ambiente**, 1995.

AHERN, J. Green Infrastructure for Cities: The Spatial Dimension. In: Cities of the Future – Towards Integrated Sustainable Water Landscape Management, (orgs.) Novotny, V. e Brown, P. **IWA Publishing**, London, 2007. pp. 267-283.

ALENCAR, A. K. B. Urbanismo Sensível às Águas: O paradigma da sustentabilidade na concepção de projetos para recuperação de rios urbanos. Tese apresentada à **Universidade Federal de Pernambuco – UFPE**. Recife, 2016.

ALEPE LEGIS. Lei nº 13.047/2006. **Legislação do Estado de Pernambuco**. 2006. Disponível em: <<https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?id=485&tipo=>>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.

ALMEIDA, F. F. M. de. O Cráton do São Francisco. **R. Brasileira de Geociências**, 7(4):349-364, 1977.

ALMEIDA, F. F. M. de. Origem e evolução da plataforma brasileira. Rio de Janeiro, **DNPM/DGM**. 36P. II. (BOLE-TIM, 241). 1967.

ALMEIDA, F. F. M. de; HASUI, Y; BRITO NEVES, B. B. de; FUCK, R. A. Províncias estruturais brasileiras. In: SIM - PC1S10 DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 7, Campina Grande. Anais do Campina Grande, **Soc. Bras. Geol**, 449p. il. p.363-391. 1977.

ALMEIDA, L. V. Q.; ELEUTÉRIO, J. C. Estado da arte de curvas de danos potenciais de inundações para o setor habitacional. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 23, 2019, Foz do Iguaçu. Anais.... Foz do Iguaçu: ABRH/SBRH, 2019.

ALVES, J. O.; PEREIRA, P. C.; QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; FERREIRA, J. M. S; ARAÚJO JUNIOR, G. N. Índice de anomalia de chuva para diferentes mesorregiões do Estado de Pernambuco. **Revista Pensar Acadêmico**, v. 14, n. 1, p. 37-47, 2016.

ANA. Indicadores de Qualidade - Índice de Qualidade das Águas (IQA). Portal da Qualidade das Águas. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA**. 2022. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>>. Acesso em: 29 de novembro de 2022.

ANA. Resolução Conjunta ANEEL/ANA nº 03, de 10 de agosto de 2010. **Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA**. 2010. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/ResolucaoConjunta_n_003-2010.pdf>. Acesso em: 29 de novembro de 2022.

ANDRADE, A. O. de; LOPES, R. J. de C.; LIMA, R. L. F. A.; MOURA, R. C. G.; LIMA JÚNIOR, C. de. Monitoramento da arborização urbana por sensoriamento remoto em um município inserido no semiárido brasileiro. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer** – Jandaia-GO, v.18 n.36; p. 242, 2021.

APAC. Bacias Hidrográficas: GI – 08. Recife: **Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC**. 2019a. Disponível em: <apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=34>. Acesso em 10 de dezembro de 2021.

APAC. Monitoramento Pluviométrico. **Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC**. Recife, 2019b. Disponível em: <apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 29 de novembro de 2021.

APAC. Relatório de situação de recursos hídricos do Estado de Pernambuco 2011/2012. **Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC**. Governo do Estado de Pernambuco. Recife, 116p.: il. CDU 556(813.4)(047.3). 2013.

APPELBAUM, S. Determination of Urban Flood Damages. **Journal of Water Resources Planning and Management-ASCE**, v.111, n.2, pp. 269-283, 1985.

ARRAES, F. D. D.; ANDRADE, E. M.; SILVA, B. B. Dinâmica do balanço de energia sobre o açude Orós e suas adjacências. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 119-127, 2012.

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. Rio de Janeiro, **Bertrand Brasil**. 332 p. (il). ISBN 8528604276 (broch.). 1996.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N; BARRAUD, S. Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. **ABRH**, Porto Alegre-RS, 2011.

BARRETO, R. D. Uso e ocupação do solo às margens do Rio São Francisco no município de Petrolina-PE: Impactos ambientais no canal fluvial. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia. **Universidade Federal de Pernambuco – UFPE**. Recife. 2015.

BENEDICT, M. A., MCMAHON, E. T. Green Infrastructure – Linking Landscapes and Communities. **Island Press**, Washington, 2006.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. Piracicaba: **Editora Livroceres**. 392p. 1985.

BINDER, W. “Renaturalização de Rios - Possibilidades e Limites da Engenharia Ambiental” Projeto Planágua - **SEMAPS/GTZ**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1998. 39p.

BORGES, M. I. A. ASSIS, E. S. Desenho Urbano Sensível à Água: Padrões e Exemplos de Aplicação para Áreas Vulneráveis às Mudanças Climáticas em Belo Horizonte, Brasil. 8º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável – **PLURIS**. 2018.

BRAGA, B. P. F. Non-structural flood control measures – introductory notes for a special issue for urban waters. **Urban Water. Guest Editorial**, v. 1, 1999.

BRASIL. Lei nº 12.651. **Diário Oficial da União**, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 16 de dezembro de 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Caatinga. Brasília: **MMA**, 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação. Brasília: **MMA**, 2004.

BRITO NEVES, B. B. de. Geologia das Folhas Upamirim e Morro do Chapéu, Bahia. Recife, **CONESP-SUDENE**. 52p. (Relatório Técnico,17). 1967.

BROWN, Rebekah.; KEATH, Nina.; e WONG, Tony. Urban water management in cities: historical, current and future regimes. **Water Science & Technology**, v. 59, n. 5, 2009.

CABRAL, J. J. S. P.; ALENCAR, A. V. Recife e a convivência com as águas. In: **Gestão do Território e Manejo Integrado das ÁGUAS urbanas**, Ministério das Cidades. Brasília – DF. 2005.

CANÇADO, V. **Consequências econômicas das inundações e vulnerabilidade**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2009.

CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. **Oficina de Textos**. 2a Edição ampliada e atualizada. São Paulo. ISBN: 978-85-7975-160-8. 2015.

CARVALHAIS, R. M. *et. al.* Deslizamento de encostas devido a ocupações irregulares. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 7, p. 9765-9772, jul. 2019.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (Org.). Mapeamento de riscos de encostas e margem de rios. **Instituto de Pesquisas Tecnológicas**. Brasília: Ministério das Cidades, 176p. 2007.

CAXITO, F. A. Geotectônica e evolução crustal das Faixas Rio Preto e Riacho do Pontal, Estados da Bahia, Pernambuco e Piauí. 2013. **Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas**, 2013.

CBHSF. A Bacia. **Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco**. 2021. Disponível em: <<https://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>>. Acesso em: 16 de março de 2022.

CEIVAP. Programa de Monitoramento Hidrológico Quali-quantitativo do CEIVAP – MONITORAR CEIVAP. **Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – CEIVAP**. Resende/RJ. 2021.

CEMADEN. Ameaças Naturais: Movimento de Massa. **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN**. 2022. Disponível em: <<https://www.cemaden.gov.br/deslizamentos/>>. Acesso em: 07 de julho de 2022.

CENGIZ, B (2013) - Urban River Landscapes. Advances in **Landscape Architecture**, book edited by Murat Özyavuz, ISBN, p. 978-n 953, 2013.

CEPED – UFSC, Centro Universitário De Estudos E Pesquisas Sobre Desastres (Santa Catarina). Universidade Federal de Santa Catarina. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012**: volume Pernambuco. 2ªed, Florianópolis: CEPED UFSC, 130 p. 2013.

CERQUEIRA, E. C.; D'ÁVILA, J. S.; SANTOS, J. M. Diagnóstico hidrológico e proposta para monitoramento dos recursos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paraguari - SSA/BA/Brasil. **Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina**. Universidade de São Paulo. 2005.

CETESB. Guia Nacional de coleta e preservação de amostras. **Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental**. São Paulo: **CETESB**, Brasília: ANA, 326 p, 2011.

CHESF. CHESF inicia controle de cheia no Velho Chico. **Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF**. 2022a. Disponível em: <https://chesf.gov.br/_layouts/15/Chesf_Noticias_Farm/Noticia.aspx?IDNoticia=1014>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2022.

CHESF. Descrição do Aproveitamento de Sobradinho. **Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF**. 2016. Disponível em: <<https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Sobradinho.aspx>>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2022.

CHESF. Mapeamento das áreas inundáveis nas margens do Rio São Francisco no trecho entre os reservatórios de Sobradinho e Itaparica. Relatório técnico do plano de trabalho ACT 003/2008 – CHESF/ANA. **Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF**. Agência Nacional de Águas – ANA. 44p. 2008.

CHESF. Operação dos reservatórios e histórico de enchentes no Rio São Francisco. Reunião pública sobre enchentes no Rio São Francisco. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco – CBHSF. **Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF**. Petrolina, 2018.

CHESF. Reservatórios fazem controle de cheia. **Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF**. 2022b. Disponível em: <https://chesf.gov.br/_layouts/15/Chesf_Noticias_Farm/Noticia.aspx?IDNoticia=1034>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2022.

CHESF. Vazão no Velho Chico será de 3 mil m³/s. **Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF**. 2022c. Disponível em: <https://chesf.gov.br/_layouts/15/Chesf_Noticias_Farm/Noticia.aspx?IDNoticia=1061>. Acesso em: 22 de fevereiro de 2022.

CIRILO, J. A.; ALVES, F. H. B.; SILVA, L. A. C.; LIMA, J. H. A. Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial, **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol 07, n.04, 755-763. 2014.

CODEVASF. **Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e Parnaíba**. 2011. Disponível em: <<http://www.codevasf.gov.br/>>. Acesso em: 10 de dezembro de 2021.

CODEVASF. São Francisco. **Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba – CODEVASF**. 2021. Disponível em: <<https://www.codevasf.gov.br/area-de-atuacao/bacia-hidrografica/sao-francisco>>. Acesso em: 17 de março de 2022.

COMPDEC. Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil – PLANCON. Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil – COMPDEC. **Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Habitação – SEDURBH**. Petrolina/PE. 2022.

COMPDEC. Relatório 013/2021. Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil. **Secretaria Executiva de Segurança Pública**. Prefeitura de Petrolina. Petrolina, 2021.

COMPDEC. Relatório das Áreas de Risco no Município de Petrolina-PE: Enchentes, Inundações e Alagamentos. Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil. **Secretaria Executiva de Segurança Pública**. Prefeitura de Petrolina. Petrolina, 2019.

COUTINHO, M. P.; MEDEIROS, J. D.; SORIANO, E.; LONDE, L. R.; LEAL, P. J. V.; SAITO, S. M. O Código Florestal Atual (Lei Federal nº 12.651/2012) e suas implicações na prevenção de desastres naturais. **Sustainability in Debate/Sustentabilidade em Debate**, v. 4, n. 2, 2013.

CPRM. Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enchentes e Movimentos de Massa: Município de Petrolina - PE. Recife, **Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM**, 08p, 2014. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/19985>>. Acesso em: 09 de dezembro de 2021.

CPRM. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Pernambuco. Diagnóstico do Município de Petrolina. **Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral**. Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Recife. 2005. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/16562/1/Rel_Petrolina.pdf>. Acesso em: 05 de dezembro de 2021.

CRUZ, P. F. S. Reestruturação urbana em Petrolina (PE): Um olhar a partir da implantação dos novos produtos imobiliários. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional da Faculdade de Arquitetura. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre. 2013.

DE BIASE, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. **Revista de Geografia**, São Paulo, v. 6, p. 45- 60. 1993.

DRUMOND, M. A.; KIILL, L. H. P.; LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, M. C. de; OLIVEIRA, V. R. de; ALBUQUERQUE, S. G. de; NASCIMENTO, C. E. de S.; CAVALCANTI, J. Avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga: estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da Caatinga. Petrolina: **PROBIO**, 2000. Disponível em:

<http://www.biodiversitas.org.br/Caatinga/relatorios/uso_sustentavel.pdf>. Acesso em: 10 de dezembro de 2021.

EMBRAPA. Informações Agrometeorológicas do Polo Petrolina, PE/Juazeiro, BA - 1963 a 2009. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA**. Documentos Online. Petrolina/PE. ISSN 1808-9992. 2010.

EMBRAPA. Solos da Margem Esquerda do Rio São Francisco: Município de Petrolina, Estado de Pernambuco / Tony Jarbas Ferreira Cunha [et. al.]. – **Petrolina: Embrapa Semiárido**, 273 p.: il. (Embrapa Semiárido. Documentos, 236). ISSN 1808-9992. Dezembro, 2010.

EMBRAPA. Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco (ZAPE). **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Solos – UEP Recife**. 2001. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/4697/zoneamento-agroecologico-do-estado-de-pernambuco-zape>>. Acesso em: 16 de março de 2022.

EMPESA. RIMA - Implantação de central de tratamento de resíduos sólidos em área rural do município de Petrolina. **RIMA – CTR Petrolina**. 2011.

FARR, D. Sustainable Urbanism – Urban design with nature. **John Wiley & Sons, Inc.** Hoboken, NJ, 2008.

FIGUEIRÔA, I.; SILVA FILHO, M. A. da. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: carta geológica, carta metalogenético-previsional — Escala 1:100.000 (folha SC.24-V•C•111 Petrolina). **Estados de Pernambuco e Bahia**. Brasília, DNPM/CPRM, 1990.

FISRWG - FEDERAL INTERAGENCY STREAM RESTORATION WORKING GROUP –. “Stream Corridor Restoration: Principles, Process, and Practices”. Published USA Government, October, 1998. Revised August, 2001. Disponível em: [http://www.usda.gov/stream restoration](http://www.usda.gov/stream%20restoration). Acesso em: 09 set. 2004. 630p.

FOLHARINI, S. O.; SOUZA, S. O. Mapeamento do uso e ocupação da terra do município de Petrolina (PE) – médio vale do rio São Francisco através do NDVI de imagem LANDSAT 8 (OLI). **Revista Equador (UFPI)**, Vol. 8, Nº 2, p.489 – 502. Piauí. 2019.

FORMAN, R. T. T. Land Mosaics - The Ecology of Landscapes and Regions. **Cambridge**, 1995.

FUJITA, S. Stormwater goes to ground as Japan chooses infiltration. **Water Quality**

GREENBERG, A. G.; CLESCERI, L. S.; EATOON, A. D. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 18 ed. **Washington: APHA**, 1267 p. 1992.

HENN, A.; GRÖGER, G.; STROH, V.; PLÜMER, L. Model driven reconstruction of roofs from sparse LIDAR point clouds. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 76, p. 17-29. 2013.

HERMUCHE, P. H. O Rio de São Francisco. Brasília: **Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF**, 58 p., ; il. 2002.

HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. Infraestrutura verde: sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. **Inverde**, Rio de Janeiro, 2009.

HOYER, J.; DICKHAUT, W.; KRONAWITTER, L.; WEBER, B. Water sensitive urban design: principles and inspiration for sustainable storm water management in the city of the future. **Jovis Hamburg**, Germany, 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IBGE. Áreas urbanizadas. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE**. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/redes-geograficas/15789-areas-urbanizadas.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 12 de dezembro de 2021.

IBGE. Censo Agropecuário. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE**. 2006.

IBGE. Censo Agropecuário. Petrolina. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE**. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/petrolina/pesquisa/24/76693>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2022.

IBGE. Cidades. Panorama Petrolina. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/petrolina/panorama>>. Acesso em: 05 de dezembro de 2021.

IBGE. Produção agrícola municipal. **Centro Brasileiro de Estatísticas Agropecuárias**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2016.

IBGE. Projeções de população. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em: 06 de dezembro de 2021.

IGNATIEVA, M. “Planning and design of ecological networks in urban areas”. Palestra no URBIO 2010 – Conferência de Biodiversidade Urbana e Projeto, In: **Proceedings of the 2nd International Conference of Urban Biodiversity and Design**. Nagoya, Japão, pp.24-26, 2010.

INMET. Normais climatológicas do Brasil. Instituto Nacional de Meteorologia. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2021. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em 17 de dezembro de 2021.

IPSA. Sistematização da leitura da realidade municipal para o Plano Diretor de Petrolina. **Instituto de Pesquisas Sociais Aplicadas – IPSA**. 2005.

JABOR, M. A. Drenagem de Rodovias. Estudos hidrológicos e projeto de drenagem. **Apostila do curso de drenagem em rodovias**, 2019.

KREYSING, K.; LENZ, R.; RIBEIRO, G. F. Salinização das águas subterrâneas do centro do polígono das secas do nordeste brasileiro. Recife, **SUDENE**, 69p. il (Brasil, SUDENE, Hidrogeologia, 46). 1973.

LANDIM, M. F. M.; ALENCAR, M. T. Urbanização e agronegócio: Petrolina, a cidade está em cena. **Revista Equador (UFPI)**, v. 1, n. 1, p. 4-22. 2012.

LEGISWEB. Resolução nº 237 de 19/12/1997. **Conselho Nacional do Meio Ambiente –CONAMA**. 1997. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=95982>>. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.

LEITÃO, M. M. V. B. R.; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, G. M. Estimativas do albedo em três ecossistemas da floresta amazônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 256-261, 2002.

LEITE, T. A.; MATTA, M. A. S.; CAVALCANTE, I. N. CRAVEIRO, G. S. RODRIGUES, R. C. S. Proposta de educação e conservação hidroambiental da bacia do igarapé do Mata Fome, Belém-PA. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. São Paulo. 2007.

LIMA, P. C. F. Comportamento silvicultural de espécies de prosopis, em Petrolina-PE, região semiárida brasileira. **Curitiba: UFPR**, 1994. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/25339/T%20-%20LIMA,%20PAULO%20CESAR%20FERNANDES.pdf?sequence=1>>. Acesso em:

LIMEIRA, M. C. M.; “Gestão Adaptativa e Sustentável: capacitação social como estratégia para restauração de rios”. Tese de Doutorado em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba. 2008, 298p.

LIU, X.; PETERSON, J.; ZHANG, Z. High-Resolution DEM Generated from LiDAR Data for Water Resource Management. **Centre for GIS**, School of Geography and Environment Science Monash University. 2005.

LOUREIRO, H.S.C.; MACÊDO, E.P. Projeto Remanso-Sobradinho: Petrolina, Folha SC.24-V-C-III. Carta Geológica. 1 mapa color. Escala 1:100.000. **Programa Geologia, Mineração e Transformação Mineral**. Salvador: CPRM, 2019.

LWRRDC - LAND AND WATER RESOURCES RESEARCH AND DEVELOPMENT CORPORATION (2000) “A Rehabilitation Manual for Australian Streams”, Vol.1 Disponível em: www.lwrrdc.gov.au Acesso em 15 mar. 2005. 192p.

MACHADO, A. T. M. “A construção de um programa de revitalização na bacia do Rio São Francisco” Revista de Estudos Avançados - USP. vol.22, no.63, p.195-210. Mai./Ago. 2008

MAGALHÃES, I. L.; THIAGO, C. R. L.; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociências**, v. 8, n. 2, p. 63-70, 2011.

MAIDMENT, D.R. (ed.) Handbook of Hydrology. **New York: McGraw Hill**. 1993.

MI. Anuário estatístico de Pernambuco – Tipologia climática. Secretaria de Planejamento e Gestão. Governo do Estado de Pernambuco. **Ministério da Integração Nacional**. 2016.

MUNIZ FILHO, A. Juazeiro (BA) e Petrolina (PE) - cidades médias fronteiriças no Sertão do São Francisco, Brasil. **Terr@Plural**, Ponta Grossa, v.14, p. 1-21, e2013360.031, DOI: 10.5212. 2020.

OCCHIPINTI, A. G.; SANTOS, P. M. Relações entre as precipitações máximas de “um dia” e de “24 horas” na cidade de São Paulo. **Instituto Astronômico e Geofísico, USP**. São Paulo, 26p, 1966.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K; CAMARGO, M. N. Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal: FUNEP, 201 p. 1992.

PAIVA, E. M. C. D. Rede de Monitoramento Hidrológico In: Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas/organizado por Paiva, J. B. D. e Paiva, E. M. C. D. **Porto Alegre: ABRH**, 2001.

PDDU. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano – Petrolina. Estado de Pernambuco. Recife: **SEPLAN**, v.2. 1983.

PEREIRA, M. C. S. *et. al*. Influência do controle da impermeabilização no custo do sistema de drenagem. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Anais. Bento Gonçalves: **Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH)**, 2013.

PERNAMBUCO. Lei nº 13490/2008. Disponível em <https://legis.alepe.pe.gov.br/texto.aspx?tiponorma=1&numero=13490&complemento=0&ano=2008&tipo=&url=>>

PERNAMBUCO. Mapa estadual das Unidades de Conservação. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Recife: **Semas**, 2011. Disponível em: <http://www2.semas.pe.gov.br/web/sectma>. Acesso em: 10 de dezembro de 2021.

PETROLINA. Decreto nº 021/2018. Disponível em <https://doem.org.br/pe/petrolina>.

PETROLINA. Lei Municipal nº 03/1984. Dispõe sobre o Zoneamento do Município. **Petrolina**. 1984.

PETROLINA. Lei nº 2336/2010. Disponível em
<http://www.pe.portaldatransparencia.com.br/prefeitura/petrolina/index.cfm?pagina=lei_decreto&frompage=51&StartRow=276&ato_oficial_tipo_id=2>

PETROLINA. Plano Diretor Participativo. Lei Complementar nº 034/2022. **Prefeitura de Petrolina.** 2022.

PETROLINA. Revisão do Plano Diretor de Petrolina e da Legislação Urbanística Básica. Diagnóstico Técnico. **Prefeitura de Petrolina.** 2018.

PINTO, T. P. Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Departamento de Engenharia da Construção Civil, **Escola Politécnica da USP**, São Paulo, 189p. 1999.

PLANALTO. Decreto nº 4.281/2002. **Presidência da República – Secretaria Geral.** 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4281.htm>. Acesso em: 30 de novembro de 2022.

PLANALTO. Decreto nº 7.217/2010. **Presidência da República – Secretaria Geral.** 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7217.htm>. Acesso em: 29 de novembro de 2021.

PLANALTO. Decreto nº 10.936/2022. **Presidência da República – Secretaria Geral.** 2022. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Decreto/D10936.htm#art91>. Acesso em: 11 de dezembro de 2021.

PLANALTO. Decreto nº 24.643/1934. **Presidência da República – Secretaria Geral.** 1934. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643compilado.htm>. Acesso em: 11 de dezembro de 2021.

PLANALTO. Lei nº 10.406/2002. **Presidência da República – Secretaria Geral.** 2002. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/l10406compilada.htm>. Acesso em: 11 de dezembro de 2021.

PLANALTO. Lei nº 12.305/2010. **Presidência da República – Secretaria Geral.** 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.

PLANALTO. Lei nº 12.608/2012. **Presidência da República – Secretaria Geral.** 2012a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm>. Acesso em: 10 de dezembro de 2021.

PLANALTO. Lei nº 12.651/2012. **Presidência da República – Secretaria Geral.** 2012b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 23 de novembro de 2021.

PLANALTO. Lei nº 12.727/2012. **Presidência da República – Secretaria Geral.** 2012c. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12727.htm>. Acesso em: 15 de julho de 2022.

PLANALTO. Lei nº 8.171/1991. **Presidência da República – Secretaria Geral.** 1991. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8171.htm>. Acesso em: 11 de janeiro de 2022.

PLANALTO. Lei nº 9.795/1999. **Presidência da República – Secretaria Geral.** 1999. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm>. Acesso em: 30 de novembro de 2022.

PMGIRS. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. **Secretaria Municipal de Infraestrutura, Mobilidade e Serviços Públicos – SEINFRA.** 2020.

PMSB. Plano Municipal de Saneamento Básico de Petrolina (PE). PPSEC Engenharia Ltda. **Prefeitura de Petrolina**. 454p. 2019.

PMSP. Plano Municipal de Saúde de Petrolina/PE. **Prefeitura de Petrolina. Secretaria Municipal de Saúde**. 2017. Disponível em: <<https://saude.petroilina.pe.gov.br/wp-content/uploads/2019/09/PMS-2018-2021-Petroilina.pdf>>. Acesso em: 05 de dezembro de 2021.

PNRS. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. **Governo Federal. Ministério do Meio Ambiente**. Brasília. 106p. 2012. Disponível em: <https://sinir.gov.br/images/sinir/Arquivos_diversos_do_portal/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf>. Acesso em: 12 de janeiro de 2022.

Resolução CONAMA Nº 357, de 17/03/2005. **Ministério do Meio Ambiente (MMA)**, 2011. Disponível em <<https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/legislacao/resolucoes/resolucao-conama-no-357-de-17-de-marco-de-2005/view>>.

Resolução CONAMA Nº 430, de 13/05/2011. **Ministério do Meio Ambiente (MMA)**, 2011. Disponível em <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>>.

RONI P. e BEECHIE, T. (2013) - " Introduction to Restoration: Key Steps for Designing Effective Programs and Projects", in Stream and Watershed Restoration A Guide to Restoring Riverine Processes and Habitats. Org. por Roni, P e Beechie, T., ed. John Wiley & Sons, Ltd., Oxford, pp. 1 – 10.

RUANO, M. Ecurbanismo: entornos humanos sostenibles: 60 proyectos = Ecurbanism: sustainable human settlements: 60 case studies, **Gustavo Gili**, Barcelona. 2000.

SANTOS, E. J.; BRITO NEVES, B. E. de. Província Borhorema. In: ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y. Coord., O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo, **Edgard Blucher**. 378p. il. p.12.3-186. 1984.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; OLIVEIRA, J. B. de; COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; CUNHA, T. J. F. (Ed.). Sistema brasileiro de classificação de solos. **2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos**, 306 p. il. 2006.

SANTOS, J. M. Análise Geoambiental através da estruturação e integração de dados, no contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguari. Salvador – BA. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Meio Ambiente) – Curso de Pós-Graduação em Geoquímica e Meio Ambiente, Instituto de Geociências, **Universidade Federal da Bahia**, Salvador, 251 p. 2004.

SARAIVA, M. da G. A. N. O rio como paisagem: gestão de corredores fluviais no quadro do ordenamento do território. **Lisboa: Dinalivro**, 1999.

SHI, X.; GIROD, L.; LONG, R.; DEKETT, R.; PHILIPPE, J.; BURKE, T. A comparison of LiDAR-based DEMs and USGS-sourced DEMs in terrain analysis for knowledge-based digital soil mapping. **Geoderma**, v. 170, p. 217-226. 2012.

SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 3-8, 2016.

SILVA, D. A. O.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A.; SILVA, E. F. F.; SILVA, J. L. B.; BEZERRA, A. C. Evolução Espaço-Temporal do Risco de Degradação da Cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, 11 p, 2019.

SILVA, J C A e PORTO, M (2020) - Requalificação de rios urbanos no âmbito da renaturalização, da revitalização e da recuperação, Labor & Eng., Campinas, SP, v.14, 1-19, e020001, 2020 — ISSN 2176-8846

SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R.; SOUSA, E. P.; OLIVEIRA, S. D. Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal – PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.3. ISSN:1984-2295. p. 646-660. 2012.

SILVA, S. P. R. da; PALHA, M. L. A. P. F. Inventário da biomassa produtora de biogás de Pernambuco. Companhia Energética de Pernambuco – CELPE. Recife: **Gráfica & Copiadora Nacional**, 2016. 125p. : il. ISBN 978-85-92897-07-9. 2013.

SMDU. Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana. **Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano**. São Paulo, 2012.

SNIS. Série Histórica 2011-2016. **Sistema Nacional de Informação Sobre Saneamento - SNIS. Ministério das Cidades**. 2016. Disponível em: <<http://app.cidades.gov.br/serieHistorica>>. Acesso em: 17 de março de 2022.

SOUSA, R. E. S.; GONÇALVES, G. F. G. Um estudo sobre os impactos decorrentes de inundações no município de Belo Horizonte. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 3, p. 591-605, 2018.

SUDENE. Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste (PLIRHINE). **Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste** Recife: SUDENE, 1982.

SUDERHSA. Manual de drenagem urbana. Região Metropolitana de Curitiba-PR. **Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – SUDERHSA**. Governo do Estado do Paraná. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Curitiba. 2002.

TEODORO, V. L. I.; TEXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n.20, p.137-156, 2007.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**. v.38, n.1, 1948.

TORRICO, J. J. T. Práticas hidrológicas. **Rio de Janeiro: Transcon**. 120 p. 1974.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de S. Metodologia para mapeamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul. In: **XI Congresso Brasileiro de geografia Física Aplicada**. São Paulo. Anais... São Paulo, pp. 3606-3615. 2005.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. Capítulo 14 do Livro Água Doce. **Porto Alegre: UFRGS**. 1997.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200007>

TUCCI, C. E. M. Controle de Enchentes. In: ____ (Ed.). Hidrologia: ciência e aplicação. 2ª edição. **Ed. Da Universidade/UFRGS**, cap. 16, p. 621-658. Porto Alegre. 2001.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. Controle da Urbanização. in: Drenagem Urbana. **Editora da**

Universidade/UFRGS. 1.ed. Porto Alegre:, 428p. 1995.

TUCCI, C.E.M. Inundações e drenagem urbana. In: Tucci, C.E.M., Bertoni, J.C. (eds.) Inundações Urbanas na América do Sul. **ABRH**, Porto Alegre, Brasil, 45-150. 2003.

TURCOTTE, R. *et. al*. Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and a digital river and lake network. **J. Hidrol.**, Wellington North, v.240, p.225-242, 2001.

UNISDR. Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres. 2009 **UNISDR - Terminology on Disaster Risk Prevention**. Geneva: UNISDR/ONU, 2009. Disponível em:

<https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf>. Acesso em: 29 de novembro de 2021.

URBONAS, B.; STAHR, P. Stormwater Best Management Practices and Detention, **Prentice Hall, Englewood Cliffs**, New Jersey. 450p. 1993.

VASCONCELOS, R. F. A. Drenagem Urbana: entre os rios e o mar, caminhos e descaminhos das águas na cidade. **Cepe**, Recife, 264 p. 2022.

VERÓL, A. P. (2013) – Requalificação fluvial integrada ao manejo de águas urbanas para cidades mais resilientes, Tese de doutorado, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro.

VEYRET, Y. Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente. **São Paulo: Contexto**, 2007.

VOROVENCII, I. Assessing and Monitoring the risk of Desertification in Dobrogea, Romania, using Landsat data and Decision Tree Classifier. **Journal of Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 4, p. 154-220, 2015.

WALESH, S. G. Urban Surface Water Management. **New York: John Wiley & Sons, Inc.**, 518p. 1989.

WSUD AUSTRALIAN GENERAL CODE. Water ways Water Sensitive Urban Design General Codes. **Australian General Code**. Austrália, 2009. Disponível em: <<http://www.legislation.act.gov.au/ni/2008-27/copy/64663/pdf/2008-27.pdf>>. Acesso em: 22 de novembro de 2022.

XU, D.; KANG, X.; QIU, D.; ZHUANG, D.; PAN, J. Quantitative Assessment of Desertification Using Landsat Data on a Regional Scale: A Case Study in the Ordos Plateau, China. **Sensors**, v. 9, n. 3, p. 1738-1753, 2009.

YU, K. PADUA M. The Art of Survival – Recovering Landscape Architecture. **The Images Publishing Group Pty**, Victoria, 2006.

ZONENSEIN, J. **Índice de risco de cheia como ferramenta de gestão de enchentes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1. Mapa de Bacias
- Anexo 2. Mapa da Rede de Drenagem
- Anexo 3. Mapa de trechos críticos existentes
- Anexo 4. Mapa de áreas de ocupação restrita - Bacia 1
- Anexo 5. Mapa de áreas de ocupação restrita - Bacia 1 a Bacia 3
- Anexo 6. Mapa de áreas de ocupação restrita - Bacia 4 a Bacia 7
- Anexo 7. Mapa de áreas de ocupação restrita - Bacia 7.1
- Anexo 8. Mapa de áreas de ocupação restrita - Bacia 7.2
- Anexo 9. Mapa das Áreas de Desapropriação ou Desocupação
- Anexo 10. Mapa das Diretrizes Propostas – Bacia 01
- Anexo 11. Mapa das Diretrizes Propostas – Bacia 02 e Bacia 03 (parcial)
- Anexo 12. Mapa das Diretrizes Propostas – Bacia 03
- Anexo 13. Mapa das Diretrizes Propostas – Bacia 04 e Bacia 05 (parcial)
- Anexo 14. Mapa das Diretrizes Propostas – Bacia 05
- Anexo 15. Mapa das Diretrizes Propostas – Bacia 06
- Anexo 16. Mapa das Diretrizes Propostas – Bacia 07
- Anexo 17. Minuta de Lei do Plano Diretor de Macrodrenagem
- Anexo 18. Manual de Drenagem