

PLANO MUNICIPAL DE



MACRODRENAGEM

POUSO ALEGRE - MG

PRODUTO 4 – RELATÓRIO 2

PROGNÓSTICO: Cenários Futuros e Zoneamento

Versão Oficial

Itajubá, outubro de 2024

REFERÊNCIAS CADASTRAIS

Cliente	Prefeitura Municipal de Pouso Alegre
Localização	Pouso Alegre, Minas Gerais
Título	Produto 4 – Relatório 2: Cenários futuros e Zoneamento
Contato	Thais Oliveira Ribeiro
E-mail	thais.o.ribeiro@gmail.com
Líder do projeto	Rafael Barbosa Carreira
Coordenador	Aloísio Caetano Ferreira
Projeto/centro de custo	167/2021
Data do documento	08/10/2024

Isenção de Responsabilidade:

Este documento é confidencial, destinando-se ao uso exclusivo do cliente, não podendo ser reproduzido por qualquer meio (impresso, eletrônico e afins) ainda que em parte, sem a prévia autorização escrita do cliente.

Este documento foi preparado pela Dac Engenharia com observância das normas técnicas de Itajubá e em estrita obediência aos termos do pedido e contrato firmado com o cliente. Em razão disto, a Dac Engenharia isenta-se de qualquer responsabilidade civil e criminal perante o cliente ou terceiros pela utilização deste documento, ainda que parcialmente, fora do escopo para o qual foi preparado.

Coordenação

Aloísio Caetano Ferreira	Engenheiro Hídrico e Civil
Nº CREA: MG-97132/D	

Responsável Técnico

Denis de Souza Silva	Engenheiro Hídrico
Nº CREA: MG-127216/D	

Elaboração

Rebecca Cacciacarro Ambrósio Glauser
Felipe Guimarães Alexandre
Pedro Henrique Justiniano
William Baradel Lari
Rafael Barbosa Carreira
Bárbara de Almeida Teixeira
Daniel Oliveira Pessoa
Marcela das Chagas Rossato
Patrícia Martins dos Reis
Priscilla Mota Costa
Frederico de Souza Nascimento
Isabelle Alcântara da Costa
Luana Castellani Carvalho Francisco
Luana Brandão da Silva

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	1
1. CENÁRIO ATUAL DE REFERÊNCIA.....	2
1.1. CARACTERIZAÇÃO	2
1.3.1 Ambiente interno	3
1.3.2 Ambiente externo	6
1.2. SIMULAÇÃO HIDRÁULICA – MANCHA DE INUNDAÇÃO ATUAL	7
2. CENÁRIOS FUTUROS	38
2.1 PROJEÇÃO POPULACIONAL.....	38
2.2 PROJEÇÃO TERRITORIAL.....	40
2.3 MODELAGEM HIDROLÓGICA PARA CENÁRIOS FUTUROS	42
2.3.1 Bacia Córrego São Cristóvão.....	45
2.3.1 Bacia Córrego São Judas Tadeu	47
2.3.1 Bacia Córrego da Remonta.....	49
2.3.2 Bacia Córrego do Patinho	51
2.3.3 Bacia Ribeirão das Mortes	53
2.3.4 Bacia Ribeirão Pantano.....	56
2.3.5 Bacia Rio Mandu	58
2.3.6 Bacia Rio Sapucaí-Mirim.....	60
2.3.7 Bacia Rio Sapucaí.....	63
2.4 MODELAGEM HIDRÁULICA PARA CENÁRIOS FUTUROS.....	66
2.4.1 Bacia Córrego São Cristóvão.....	66
2.4.1 Bacia Córrego São Judas Tadeu	68
2.4.2 Bacia Córrego da Remonta.....	70
2.4.1 Bacia Córrego do Patinho	72
2.4.2 Bacia Ribeirão das Mortes	74
2.4.3 Bacia do Ribeirão Pantano.....	77
2.4.4 Bacia Rio Mandu	79
2.4.5 Bacia Sapucaí-Mirim	81
2.4.6 Bacia Sapucaí	84

3. ZONEAMENTO DAS ÁREAS DE INUNDAÇÃO	87
3.1 METODOLOGIA.....	90
3.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO CRISTOVÃO E PATINHO	91
3.3 BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DA REMONTA	94
3.4 BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO JUDAS TADEU	97
3.5 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS MORTES	99
3.6 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PANTANO	102
3.7 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MANDU	105
3.8 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SAPUCAÍ-MIRIM	107
3.9 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SAPUCAÍ.....	111
4. AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DE FUTURAS INUNDAÇÕES.....	114
4.1 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS DE ANÁLISE	114
4.2 PREMISSAS ADOTADAS NOS CÁLCULOS.....	114
4.3 VALORAÇÃO DE PREJUÍZOS POR ESFERA.....	118
4.3.1 Cruzamento das manchas de inundação com a área artificial	118
4.3.2 Danos as edificações e seus conteúdos	120
4.3.3 Danos aos veículos.....	127
4.3.4 Danos a infraestrutura básica	134
4.3.5 Realocação temporária da população afetada.....	137
4.3.6 Serviços de saúde e emergência	141
4.3.7 Compilação total por esfera	146
REFERÊNCIAS	151
APÊNDICE A.....	153
APÊNDICE B.....	159
APÊNDICE C.....	166

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ocorrência de alagamento isolado	8
Figura 2 – Ocorrência de inundação isolada	8
Figura 3 – Ocorrência de inundação e alagamento	9
Figura 4 – Funcionamento dos vetores de escoamento	10
Figura 5 – Mancha de Inundação do Córrego São Cristóvão para o TR 5 anos	11
Figura 6 - Mancha de Inundação do Córrego São Cristóvão para o TR 10 anos	11
Figura 7 - Mancha de Inundação do Córrego São Cristóvão para o TR 25 anos	12
Figura 8 - Mancha de Inundação do Córrego São Cristóvão para o TR 50 anos	12
Figura 9 - Mancha de Inundação do Córrego São Cristóvão para o TR 100 anos	13
Figura 10 – Mancha de Inundação do Córrego São Judas Tadeu para o TR 5 anos	14
Figura 11 - Mancha de Inundação do Córrego São Judas Tadeu para o TR 10 anos	14
Figura 12 - Mancha de Inundação do Córrego São Judas Tadeu para o TR 25 anos	15
Figura 13 - Mancha de Inundação do Córrego São Judas Tadeu para o TR 50 anos	15
Figura 14 - Mancha de Inundação do Córrego São Judas Tadeu para o TR 100 anos	16
Figura 15 – Mancha de Inundação do Córrego da Remonta para o TR 5 anos	17
Figura 16 – Mancha de Inundação do Córrego da Remonta para o TR 10 anos	17
Figura 17 – Mancha de Inundação do Córrego da Remonta para o TR 25 anos	18
Figura 18 – Mancha de Inundação do Córrego da Remonta para o TR 50 anos	18
Figura 19 – Mancha de Inundação do Córrego da Remonta para o TR 100 anos	19
Figura 20 - Mancha de Inundação do Córrego do Patinho para o TR 5 anos	20
Figura 21 - Mancha de Inundação do Córrego do Patinho para o TR 10 anos	20
Figura 22 - Mancha de Inundação do Córrego do Patinho para o TR 25 anos	21
Figura 23 - Mancha de Inundação do Córrego do Patinho para o TR 50 anos	21
Figura 24 - Mancha de Inundação do Córrego do Patinho para o TR 100 anos	22
Figura 25 - Mancha de Inundação do Ribeirão das Mortes para o TR 5 anos	23
Figura 26 - Mancha de Inundação do Ribeirão das Mortes para o TR 10 anos	23
Figura 27 - Mancha de Inundação do Ribeirão das Mortes para o TR 25 anos	24
Figura 28 - Mancha de Inundação do Ribeirão das Mortes para o TR 50 anos	24
Figura 29 - Mancha de Inundação do Ribeirão das Mortes para o TR 100 anos	25
Figura 30 - Mancha de Inundação do Ribeirão Pantano para o TR 5 anos	26
Figura 31 - Mancha de Inundação do Ribeirão Pantano para o TR 10 anos	26
Figura 32 - Mancha de Inundação do Ribeirão Pantano para o TR 25 anos	27
Figura 33 - Mancha de Inundação do Ribeirão Pantano para o TR 50 anos	27
Figura 34 - Mancha de Inundação do Ribeirão Pantano para o TR 100 anos	28
Figura 35 - Mancha de Inundação do Rio Mandu para o TR 5 anos	29
Figura 36 - Mancha de Inundação do Rio Mandu para o TR 10 anos	29
Figura 37 - Mancha de Inundação do Rio Mandu para o TR 25 anos	30
Figura 38 - Mancha de Inundação do Rio Mandu para o TR 50 anos	30
Figura 39 - Mancha de Inundação do Rio Mandu para o TR 100 anos	31
Figura 40 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí-Mirim para o TR 5 anos	32
Figura 41 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí-Mirim para o TR 10 anos	32
Figura 42 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí-Mirim para o TR 25 anos	33

Figura 43 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí-Mirim para o TR 50 anos	33
Figura 44 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí-Mirim para o TR 100 anos	34
Figura 45 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí para o TR 5 anos	35
Figura 46 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí para o TR 10 anos	35
Figura 47 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí para o TR 25 anos	36
Figura 48 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí para o TR 50 anos	36
Figura 49 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí para o TR 100 anos	37
Figura 50 – Projeção aritmética populacional de Pouso Alegre	39
Figura 51 – Cenários construídos para projeção populacional de Pouso Alegre	40
Figura 52 – Cenário de expansão para Pouso Alegre para os anos de projeção.....	41
Figura 53 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 5 anos para bacia do Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	45
Figura 54 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 10 anos para bacia do Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	46
Figura 55 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 25 anos para bacia do Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	46
Figura 56 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 50 anos para bacia do Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	46
Figura 57 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR100 anos para bacia do Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	47
Figura 58 – Hidrograma de projeto pro TR 5 anos para bacia do Córrego São Judas Tadeu nos anos de 2025 e 2045, respectivamente	48
Figura 59 - Hidrograma de projeto pro TR 10 anos para bacia do Córrego São Judas Tadeu nos anos de 2025 e 2045, respectivamente	48
Figura 60 - Hidrograma de projeto pro TR 25 anos para bacia do Córrego São Judas Tadeu nos anos de 2025 e 2045, respectivamente	48
Figura 61 - Hidrograma de projeto pro TR 50 anos para bacia do Córrego São Judas Tadeu nos anos de 2025 e 2045, respectivamente	49
Figura 62 - Hidrograma de projeto pro TR 100 anos para bacia do Córrego São Judas Tadeu nos anos de 2025 e 2045, respectivamente	49
Figura 63 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 5 anos para bacia do Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	50
Figura 64 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 10 anos para bacia do Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	50
Figura 65 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 25 anos para bacia do Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	50
Figura 66 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 50 anos para bacia do Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	51
Figura 67 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 100 anos para bacia do Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	51
Figura 68 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 5 anos para bacia do Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	52
Figura 69 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 10 anos para bacia do Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	52
Figura 70 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 25 anos para bacia do Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	52

Figura 71 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 50 anos para bacia do Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	53
Figura 72 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 100 anos para bacia do Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	53
Figura 73 – Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 5 anos para bacia do Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	54
Figura 74 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 10 anos para bacia do Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	54
Figura 75 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 25 anos para bacia do Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	55
Figura 76 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 50 anos para bacia do Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	55
Figura 77 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 100 anos para bacia do Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	55
Figura 78 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 5 anos para bacia do Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	56
Figura 79 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 10 anos para bacia do Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	57
Figura 80 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 25 anos para bacia do Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	57
Figura 81 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 50 anos para bacia do Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	57
Figura 82 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 100 anos para bacia do Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	58
Figura 83 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 5 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	59
Figura 84 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 10 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	59
Figura 85 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 25 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	59
Figura 86 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 50 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	60
Figura 87 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 100 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	60
Figura 88 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 5 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	61
Figura 89 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 10 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	61
Figura 90 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 25 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	62
Figura 91 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 50 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	62
Figura 92 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 100 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	62
Figura 93 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 5 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	63

Figura 94 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 10 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	64
Figura 95 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 25 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	64
Figura 96 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 50 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	64
Figura 97 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 100 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	65
Figura 98 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	67
Figura 99 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	67
Figura 100 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	67
Figura 101 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	68
Figura 102 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	68
Figura 103 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Córrego São Judas Tadeu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	69
Figura 104 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Córrego São Judas Tadeu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	69
Figura 105 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Córrego São Judas Tadeu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	69
Figura 106 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Córrego São Judas Tadeu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	70
Figura 107 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Córrego São Judas Tadeu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	70
Figura 108 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	71
Figura 109 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	71
Figura 110 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	71
Figura 111 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	72
Figura 112 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	72
Figura 113 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	73
Figura 114 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	73
Figura 115 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	73
Figura 116 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	74

Figura 117 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	74
Figura 118 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	75
Figura 119 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	75
Figura 120 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	75
Figura 121 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	76
Figura 122 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	76
Figura 123 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	77
Figura 124 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	77
Figura 125 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	78
Figura 126 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	78
Figura 127 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	78
Figura 128 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	79
Figura 129 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	80
Figura 130 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	80
Figura 131 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	80
Figura 132 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	81
Figura 133 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	82
Figura 134 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	82
Figura 135 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	82
Figura 136 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	83
Figura 137 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	83
Figura 138 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	84
Figura 139 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	84

Figura 140 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	85
Figura 141 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	85
Figura 142 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente.....	85
Figura 143 – Composição das zonas no ZPI.....	88
Figura 144 – Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 1 (Cór. Patinho).....	92
Figura 145 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 2 (Cór. Patinho).....	92
Figura 146 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 3 (Cór. Patinho).....	93
Figura 147 – ZPI com Área de Preservação Permanente (Cór. Patinho).....	94
Figura 148 – Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 1 (Cór. Remonta)	95
Figura 149 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 2 (Cór. Remonta)	95
Figura 150 – ZPI com Área de Preservação Permanente (Cór. Remonta).....	96
Figura 151 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 1 (Cór. São Judas Tadeu).....	97
Figura 152 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 2 (Cór. São Judas Tadeu).....	98
Figura 153 - ZPI com Área de Preservação Permanente (Cór. São Judas Tadeu).....	99
Figura 154 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 1 (Rib. Das Mortes)	100
Figura 155 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 2 (Rib. Das Mortes)	100
Figura 156 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 3 (Rib. Das Mortes)	101
Figura 157 - ZPI com Área de Preservação Permanente (Rib. Das Mortes)	102
Figura 158 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 1 (Rib. Pantano).....	103
Figura 159 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 2 (Rib. Pantano).....	103
Figura 160 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 3 (Rib. Pantano).....	104
Figura 161 - ZPI com Área de Preservação Permanente (Rib. Pantano)	105
Figura 162 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 1 (Rio Mandu)	106
Figura 163 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 2 (Rio Mandu)	106
Figura 164 - ZPI com Área de Preservação Permanente (Rio Mandu)	107
Figura 165 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 1 (Rio Sapucaí-Mirim)	108
Figura 166 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 2 (Rio Sapucaí-Mirim)	109
Figura 167 - ZPI com Área de Preservação Permanente Trecho 1 (Rio Sapucaí-Mirim) ..	110
Figura 168 - ZPI com Área de Preservação Permanente Trecho 2 (Rio Sapucaí-Mirim) ..	110
Figura 169 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 1 (Rio Sapucaí)	111
Figura 170 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 2 (Rio Sapucaí)	112
Figura 171 - ZPI com Área de Preservação Permanente (Rio Sapucaí)	113
Figura 172 - Prejuízos tangíveis e intangíveis.	115
Figura 173 - Prejuízos diretos e indiretos.	115
Figura 174 – Área artificial de 2025 e mancha de inundação do Córrego da Remonta (TR 100).....	119
Figura 175 – Cruzamento entre a área artificial de 2025 e a mancha de inundação do Córrego da Remonta (TR 100)	119
Figura 176 - Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Córrego São Cristóvão	123
Figura 177 – Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Córrego São Judas Tadeu.....	124

Figura 178 – Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Córrego da Remonta	124
Figura 179 - Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Córrego do Patinho	124
Figura 180 – Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Ribeirão das Mortes	125
Figura 181 – Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Ribeirão Pantano	125
Figura 182 – Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Rio Mandu	125
Figura 183 - Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Rio Sapucaí Mirim.....	126
Figura 184 – Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Rio Sapucaí	126
Figura 185 - Distribuição da frota de veículos.	127
Figura 186 - Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Córrego São Cristóvão.....	131
Figura 187 – Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Córrego São Judas Tadeu	131
Figura 188 – Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Córrego da Remonta	131
Figura 189 - Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Córrego do Patinho	132
Figura 190 – Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Ribeirão das Mortes	132
Figura 191 – Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Ribeirão Pantano	132
Figura 192 – Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Rio Mandu ...	133
Figura 193 – Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Rio Sapucaí-Mirim	133
Figura 194 – Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Rio Sapucaí.	133
Figura 195 - Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Córrego São Cristóvão	134
Figura 196 – Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Córrego São Judas Tadeu.....	135
Figura 197 – Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Córrego da Remonta	135
Figura 198 - Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Córrego do Patinho.....	136
Figura 199 – Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Ribeirão das Mortes	136
Figura 200 – Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Ribeirão Pantano	136
Figura 201 – Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Rio Mandu.....	136

Figura 202 – Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Rio Sapucaí-Mirim.....	137
Figura 203 – Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Rio Sapucaí.....	137
Figura 204 - Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Córrego São Cristóvão.....	138
Figura 205 – Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Córrego São Judas Tadeu	139
Figura 206 - Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Córrego do Patinho	139
Figura 207 – Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Córrego da Remonta.....	139
Figura 208 – Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Ribeirão das Mortes	140
Figura 209 – Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Ribeirão Pantano	140
Figura 210 – Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Rio Mandu.....	140
Figura 211 – Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Rio Sapucaí-Mirim.....	141
Figura 212 – Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Rio Sapucaí	141
Figura 213 - Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Córrego São Cristóvão.....	143
Figura 214 – Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Córrego São Judas Tadeu	143
Figura 215 – Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Córrego da Remonta.....	143
Figura 216 - Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Córrego do Patinho	144
Figura 217 – Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Ribeirão das Mortes	144
Figura 218 – Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Ribeirão Pantano	144
Figura 219 – Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Rio Mandu.....	145
Figura 220 – Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Rio Sapucaí-Mirim.....	145
Figura 221 – Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Rio Sapucaí.....	145
Figura 222 - Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Córrego São Cristóvão	146
Figura 223 - Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Córrego São Judas Tadeu.....	146
Figura 224 – Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Córrego da Remonta	147

Figura 225 – Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Córrego do Patinho.....	147
Figura 226 – Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Ribeirão das Mortes	148
Figura 227 – Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Ribeirão Pantano	148
Figura 228 – Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Rio Mandu	149
Figura 229 – Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Rio Sapucaí-Mirim.....	149
Figura 230 – Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Rio Sapucaí	150
Figura 231 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 5 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	153
Figura 232 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 10 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	153
Figura 233 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 25 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	154
Figura 234 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 50 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	154
Figura 235 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 100 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	154
Figura 236 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 5 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	155
Figura 237 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 10 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	155
Figura 238 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 25 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	155
Figura 239 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 50 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	156
Figura 240 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 100 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	156
Figura 241 - Hidrograma de projeto da SUB6 para o TR 5 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	156
Figura 242 - Hidrograma de projeto da SUB6 para o TR 10 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	157
Figura 243 - Hidrograma de projeto da SUB6 para o TR 25 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	157
Figura 244 - Hidrograma de projeto da SUB6 para o TR 50 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	157
Figura 245 - Hidrograma de projeto da SUB6 para o TR 100 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	158
Figura 246 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 5 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	159
Figura 247 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 10 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	159

Figura 248 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 25 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	160
Figura 249 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 50 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	160
Figura 250 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 100 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	160
Figura 251 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 5 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	161
Figura 252 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 10 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	161
Figura 253 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 25 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	161
Figura 254 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 50 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	162
Figura 255 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 100 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	162
Figura 256 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 5 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	162
Figura 257 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 10 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	163
Figura 258 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 25 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	163
Figura 259 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 50 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	163
Figura 260 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 100 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	164
Figura 261 - Hidrograma de projeto da SUB4 para o TR 5 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	164
Figura 262 - Hidrograma de projeto da SUB4 para o TR 10 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	164
Figura 263 - Hidrograma de projeto da SUB4 para o TR 25 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	165
Figura 264 - Hidrograma de projeto da SUB4 para o TR 50 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	165
Figura 265 - Hidrograma de projeto da SUB4 para o TR 100 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	165
Figura 266 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 5 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	166
Figura 267 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 10 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	166
Figura 268 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 25 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	166
Figura 269 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 50 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	167
Figura 270 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 100 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente	167

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pontos fortes referentes à macrodrenagem de Pouso Alegre	4
Tabela 2 – Pontos de melhoria referentes à macrodrenagem de Pouso Alegre	5
Tabela 3 – Ameaças e oportunidades no cenário de macrodrenagem em Pouso Alegre	6
Tabela 4 – Dados iniciais para projeção populacional.....	39
Tabela 5 - Projeção territorial para os anos do horizonte de projeto	40
Tabela 6 – Crescimento da área das bacias de Pouso Alegre para o ano de 2045, em porcentagem.....	42
Tabela 7 – Valores de CN para cenários futuros de urbanização de Pouso Alegre	44
Tabela 8 – Porcentagens de impermeabilização para cenários futuros de Pouso Alegre ...	44
Tabela 9 – Simulações realizadas em cada um dos cenários	45
Tabela 10 – Usos recomendados no Zoneamento de Planícies de Inundação	90
Tabela 11 - Diferentes cenários divididos em época e TR.	114
Tabela 12 - Prejuízos Socioeconômicos.....	115
Tabela 13 – Descrição dos códigos de cada ponto	120
Tabela 14 – Critérios de divisão de Classe Socioeconômica.	121
Tabela 15 – Valores de construção	122
Tabela 16 – Valores de conteúdo	122
Tabela 17 – Percentual da construção e conteúdo danificado de acordo altura da lâmina d'água.	123
Tabela 18 – Inventário de veículos de Pouso Alegre	127
Tabela 19 - Valores típicos de automóveis por classe socioeconômica	128
Tabela 20 – Valores médios dos automóveis por classe, por domicílio	128
Tabela 21 – Valores médios dos veículos atualizados, por domicílio	129
Tabela 22 – Valor do veículo típico por classe socioeconômica.....	130
Tabela 23 – Porcentagem de dano ao veículo pela altura da inundação	130
Tabela 24 - Custos associados aos serviços de saúde e de emergência, por evento	142

APRESENTAÇÃO

Este texto aborda a execução do Produto 4: Relatório 2 – Prognóstico: Cenários Futuros e Zoneamento para elaboração do Plano de Macrodrenagem do Município de Pouso Alegre (PMDPA), em conformidade com a ordem de serviço nº 197 emitida pela Prefeitura Municipal de Pouso Alegre e a empresa DAC Engenharia Ltda.

A legislação nacional, representada pela Lei Federal nº 11.445/2007 e Lei nº 14.026/2020, abrange a drenagem urbana e manejo de águas pluviais como serviços públicos. No âmbito municipal, a Lei Ordinária nº 5.887/2017 regula a universalização dos serviços de saneamento básico, englobando a drenagem urbana e o manejo de águas pluviais. Essa legislação destaca a necessidade de programas específicos, projetos, ações e instrumentos para regulamentação, fiscalização, monitoramento e gestão dos serviços.

O presente documento corresponde ao Produto 4 – Prognóstico, precisamente ao relatório 2: Cenários Futuros e Zoneamento. Nele estão contidas as modelagens hidrológicas e hidráulicas construídas de modo a representar a realidade futura do município. Aqui também é apresentado o zoneamento das inundações e a valoração dos prejuízos relacionados a eventos de cheias.

As modelagens hidrológicas e hidráulicas futuras desempenham um papel fundamental em um plano de macrodrenagem, oferecendo uma abordagem analítica e preditiva para o gerenciamento eficiente de águas pluviais no decorrer da expansão do perímetro do município. O processo de valoração permite compreender a dinâmica dos impactos financeiros e sociais que uma inundação acarretará ao município e a sua população. Além disso, o zoneamento das áreas ribeirinhas viabiliza a construção de um cenário de ocupação planejado e controlado, de modo a minimizar os impactos negativos durante os períodos de cheias.

1. CENÁRIO ATUAL DE REFERÊNCIA

O presente capítulo tem o intuito de fornecer informações sobre a situação atual do cenário de macrodrenagem no perímetro de Pouso Alegre, tendo como base os dados obtidos no decorrer da construção dos Produtos 3 e 4.1. A análise do presente contexto é crucial para estabelecer as soluções viáveis dado os principais problemas identificados, com o objetivo de ajustar o planejamento dos serviços de drenagem urbana relacionados à macrodrenagem. Dessa forma, é possível aprimorar a estratégia, coerência e adaptação do planejamento às demandas de macrodrenagem diante das necessidades do município.

1.1. CARACTERIZAÇÃO

O foco do presente trabalho se dá na macrodrenagem, sendo esta uma subdivisão da drenagem urbana. No município de Pouso Alegre, a responsabilidade pela prestação e administração das águas pluviais e da infraestrutura que se refere a drenagem urbana é de competência da prefeitura municipal, como já mencionado posteriormente na fase de diagnóstico técnico. Esses serviços estão inclusos no orçamento público do município no cenário atual.

No diagnóstico participativo efetivado com a população de Pouso Alegre, apresentado no produto 3.2, fica evidenciado que os participantes, em sua maioria, identificam uma mudança de cor das águas dos córregos e rios após a ocorrência de eventos de chuva, o que indica o processo de erosão do solo dentro dessa bacia, acarretando o processo de assoreamento da calha fluvial. A diminuição da calha fluvial decorrida pelo assoreamento implica numa maior suscetibilidade a enchentes e inundações. Dessa forma, para que esses eventos sejam evitados, no decorrer desse processo é necessário que processos de manutenção, como limpeza e desassoreamento, sejam realizados com maior frequência nesses canais.

Os participantes em sua maioria não têm sua residência edificada a margem de um curso hídrico, entretanto, a maioria relata já ter identificado o transbordamento dos rios em época de chuva. Sendo que desses respondentes, alguns notam a obstrução das manilhas por resíduos sólidos de diferentes origens. Além disso, em diversos pontos da cidade são registrados problemas com o lançamento irregular de esgoto nos corpos hídricos do município, o que além de acarretar num problema de saúde pública durante os períodos de

cheia, também pode ser um problema de poluição olfativa nas épocas de seca, onde a vazão para diluir essa poluição é reduzida.

É possível concluir pelas respostas, que além dos impactos diretos da inundação, o fornecimento de serviços básicos também é afetado durante grandes eventos de cheia. Sendo que mesmo que a população não seja afetada pela cheia em si, ela pode ser afetada pela falta de algum serviço dependendo da localidade de sua residência.

1.3.1 Ambiente interno

A Prefeitura Municipal é responsável por empreender iniciativas que solucione os pontos passíveis de aprimoramento a nível interno. Tendo que a identificação e mapeamento dessas áreas de melhoria tornam-se imprescindível para a elaboração das soluções e estratégias para mitigá-las ou solucionar-las nesta etapa do projeto, visto que esses impactos serão discutidos nos próximos estágios do processo. De maneira simultânea, é crucial que os pontos de força devem ser fortalecidos, buscando uma melhora contínua do setor. Sendo assim, os pontos fortes e pontos de melhoria foram elencados e apresentados respectivamente nas Tabela 1 e Tabela 2, utilizando os dados de forma que seja aplicável a análise SWOT.

Para facilitar a gestão municipal e corrigir distorções administrativas, é essencial empregar um planejamento estratégico nos municípios. Isso envolve a identificação das variáveis presentes no ambiente interno e externo, visando atender aos interesses da organização e da sociedade. Ferramentas como a matriz SWOT são utilizadas para esse fim, permitindo a identificação das forças (strengths), fraquezas (weaknesses), oportunidades (opportunities) e ameaças (threats). Essa abordagem busca remover empecilhos institucionais e garantir a viabilização de propostas estratégicas que possam alterar condições indesejáveis para a comunidade local (REZENDE; ULTRAMARI, 2007).

A adoção dessa ferramenta de planejamento visa compreender os pontos potenciais que se interligam com o viés da macrodrenagem, visando a elaboração de um planejamento que satisfaça os âmbitos do plano em seu horizonte de projeto. Tem-se então a construção da análise que aponta as fragilidades e potencialidades do cenário de drenagem urbana no município de Pouso Alegre. Na Tabela 1 podem ser visualizados os pontos fortes referentes a macrodrenagem em Pouso Alegre.

Tabela 1 – Pontos fortes referentes à macrodrenagem de Pouso Alegre

Pontos fortes
Existência de diretrizes que regulam o uso e ocupação do solo, retificado recentemente
O plano diretor conta com exigências de obras de drenagem como contrapartida em zonas de ocupação onde há ocorrência de problemas de macrodrenagem
O município possui plano de contingência e COMPDEC
O município conta com Plano Municipal de Saneamento Básico
Os problemas de inundação no município são de conhecimento da população, assim como a necessidade de mitigá-los
O município conta com COMDEMA que regulariza intervenções ambientais em áreas alagáveis e de APPs
A aprovação de projetos relacionados aos serviços de saneamento básico também é de competência da prefeitura, portanto as chances de incompatibilidade entre projetos são menores

As seguintes considerações são tecidas ao entrar em mais detalhes nos pontos fortes, explicitados na tabela anterior. A retificação do Plano Diretor possibilita a existência de uma legislação que possua um regramento que atenda a realidade de ocupação do município, que já leva em consideração o enquadramento mínimo do Estatuto da cidade (Lei Federal nº 10.257/2001) e da legislação que discorre sobre as APPS urbanas (Lei Federal nº 14.285/2021). O arcabouço legal municipal possui leis que regem sobre os setores de saneamento e habitação, levando em conta a situação de cheias do local. O que faz com que já existam diversas obras que objetivam mitigar os eventos de inundação, sendo um instrumento de compensação na implementação de determinado empreendimento.

O município possui organização quando referente a situações de emergência, sendo seu mapeamento e gestão estruturados no plano de contingência e geridos pela Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC). A organização foi instituída dado a recorrência de eventos de inundação e alagamento decorrente de eventos atípicos de precipitação, que afetam a área urbana do município e a população residente e requerem uma atenção maior da administração pública. A existência dessas políticas vai de acordo com a Lei Federal nº 12.608/2012, que institui uma política nacional de defesa civil e discorre sobre os deveres municipais perante a proteção e defesa civil.

Além da existência do Conselho de Defesa do Meio Ambiente que atua na proteção das áreas vulneráveis ambientalmente e suscetíveis a desastres naturais. Sendo no caso da macrodrenagem deliberando sobre intervenções em áreas de APPs e na alteração da ocupação de áreas de expansão do município, quando pertinente. Preservando áreas de alta vulnerabilidade ambiental e que sua ocupação implicaria em problemas futuros em

situações de cheia. Na Tabela 2 podem ser observados os pontos de melhoria referentes aos sistemas de macrodrenagem de Pouso Alegre.

Tabela 2 – Pontos de melhoria referentes à macrodrenagem de Pouso Alegre

Pontos de melhoria
Ocupação residencial em áreas sujeitas a inundação
Descarte clandestino de esgoto em corpos hídricos
Obstrução do sistema de microdrenagem por resíduos sólidos
Ausência de cobrança referente aos serviços de drenagem urbana
Falta de manutenção preventiva dos sistemas de macrodrenagem
Ausência de um sistema de alerta de cheias no município de Pouso Alegre

Quanto aos aspectos que necessitam de melhoria, é passível discorrer algumas relevâncias sobre esses pontos. Os locais onde são apontadas algumas áreas de expansão urbana convergem, em alguns pontos, com as áreas sujeitas a inundação de acordo com os resultados apresentados no Relatório 1 do Produto 4. Além disso, é válido pontuar que o município possui grande parte de seu perímetro urbano em locais de baixada, dado a localização urbana ocorrer na foz do rio Mandu no rio Sapucaí Mirim.

A rede de microdrenagem do município é afetada pela sobrecarga de vazões em diversas situações devido ao descarte ilegal de ligações domésticas de esgoto, que deveriam estar ligadas a rede de esgotamento para subsequente tratamento. Isso se soma a obstrução das manilhas de drenagem pluvial, que se encontram obstruídas por resíduos sólidos indevidamente descartados e materiais de origem ambiental, alterando a capacidade de escoamento desses sistemas em momentos de chuva.

O município de Pouso Alegre já é conhecido pela recorrência de eventos de cheia. Dessa forma, a gestão municipal desprende de um montante relevante de recursos para gerir esse segmento e investir em obras que mitiguem ou solucionem essas situações de inundação, sendo que a ausência de uma fonte de verba destinada a sanar esses problemas acarreta na incapacidade de executar todas as estruturas necessárias para prevenir impactos civis. Por fim, é importante ressaltar que atualmente toda a responsabilidade do setor de macrodrenagem, seja financeira ou administrativa, se encontra em poder da administração pública.

1.3.2 Ambiente externo

Os pontos de ameaças e oportunidades provenientes do ambiente externo são explicitados na Tabela 3, pertinentes ao quadro de macrodrenagem. É relevante considerar nessa análise que o ambiente externo se encontra fora do domínio de poder da Prefeitura Municipal. Ao mesmo ponto que esses pontos devem ser considerados na gestão, sendo que as oportunidades devem ser utilizadas e as fragilidades evitadas ou amenizadas no processo. São levantados pontos que se referem principalmente as oportunidades apresentadas pelo cenário da bacia como um todo.

Tabela 3 – Ameaças e oportunidades no cenário de macrodrenagem em Pouso Alegre

Oportunidades
O rio Sapucaí já possui Plano Diretor de Recursos Hídricos
O comitê da bacia do Sapucaí já aprovou o sistema de cobrança pelos recursos hídricos
Ameaças
O Plano Diretor da bacia hidrográfica do Sapucaí está desatualizado
As cidades confrontantes com Pouso Alegre não possuem sistemas de alerta de cheia
A foz do rio Mandu e do rio Sapucaí Mirim se dá em Pouso Alegre, sendo influenciada por todas as cidades a montante

O município de Pouso Alegre possui representação municipal no comitê da bacia hidrográfica do rio Sapucaí, na qual o seu território está inserido, tendo participação nas decisões pertinentes ao território e recursos da bacia. O comitê tem deliberado normativas relevantes a utilização dos recursos hídricos, sendo já permitido a cobrança pelo uso da água. Necessitando, entretanto, de um processo de atualização de seu plano de diretor, que apesar de existir está desatualizado, dificultando os planos de melhorias e restauração em ações que afetem a bacia como um todo.

A localização da área urbana de Pouso Alegre se caracteriza pela jusante de afluentes importantes, ou seja, dentro de seu território o Rio Mandu deságua no Rio Sapucaí-Mirim e o mesmo tem sua foz no Rio Sapucaí. O que caracteriza a região por zonas de cheia e que são suscetíveis a toda área de contribuição a montante do município. Tal fator deixa o município vulnerável as decisões dos municípios que se encontram anterior a ele. Sendo que os municípios fronteiriços ao local não possuem sistema de alerta de eventos de cheia. Tem-se então, que quando possível é desejável que exista um diálogo com os responsáveis pelas ações externas, de modo que as mesmas possam ser compatíveis com o cenário construído no município e que as divergências sejam compatibilizadas.

1.2. SIMULAÇÃO HIDRÁULICA – MANCHA DE INUNDAÇÃO ATUAL

Conforme metodologia exposta no Produto 4 – Relatório 1 do presente Plano, as simulações hidráulicas em ambiente HEC-RAS incorporaram dois fenômenos hidrológicos diferentes: a ocorrência de inundações e de alagamentos. Embora frequentemente associados como um único tipo de intercorrência, esses dois eventos possuem uma diferença conceitual em sua concepção: as enchentes ocorrem quando existe um transbordamento da calha fluvial de um corpo hídrico, enquanto os alagamentos decorrem da extrapolação da capacidade dos sistemas de drenagem, levando a um acúmulo temporário das águas pluviais no perímetro urbano (CEMADEN, 2016).

Dessa maneira, como apenas os processos de inundação são escopo do PMDPA, fez-se necessário o tratamento das manchas de acúmulo hidráulico de modo a se obter somente a mancha de inundação de cada um dos corpos hídricos de análise. A simulação abrange os dois fenômenos apresentados de três diferentes formas:

- Ocorrência de alagamento isolado: local onde observa-se somente o acúmulo de águas pluviais, nesse caso as manchas apresentam-se segregadas da mancha de extravasamento da calha fluvial principal, conforme ilustrado pela Figura 1;
- Ocorrência de inundação isolada: local onde observa-se somente o transbordamento da calha fluvial, nesse caso a mancha está ligada ao talvegue principal e os vetores de escoamento apontam a saída da água de dentro da calha fluvial para as áreas de inundação, conforme pode ser observado na Figura 2;
- Ocorrência de inundação e alagamento: Nesse caso observa-se a presença de inundação e alagamento de maneira simultânea, ou seja, a água oriunda de extravasamento da calha fluvial encontra-se com as lâminas de acúmulo pluvial e passam a escoar de maneira conjunta, conforme processo ilustrado na Figura 3.



Figura 1 – Ocorrência de alagamento isolado

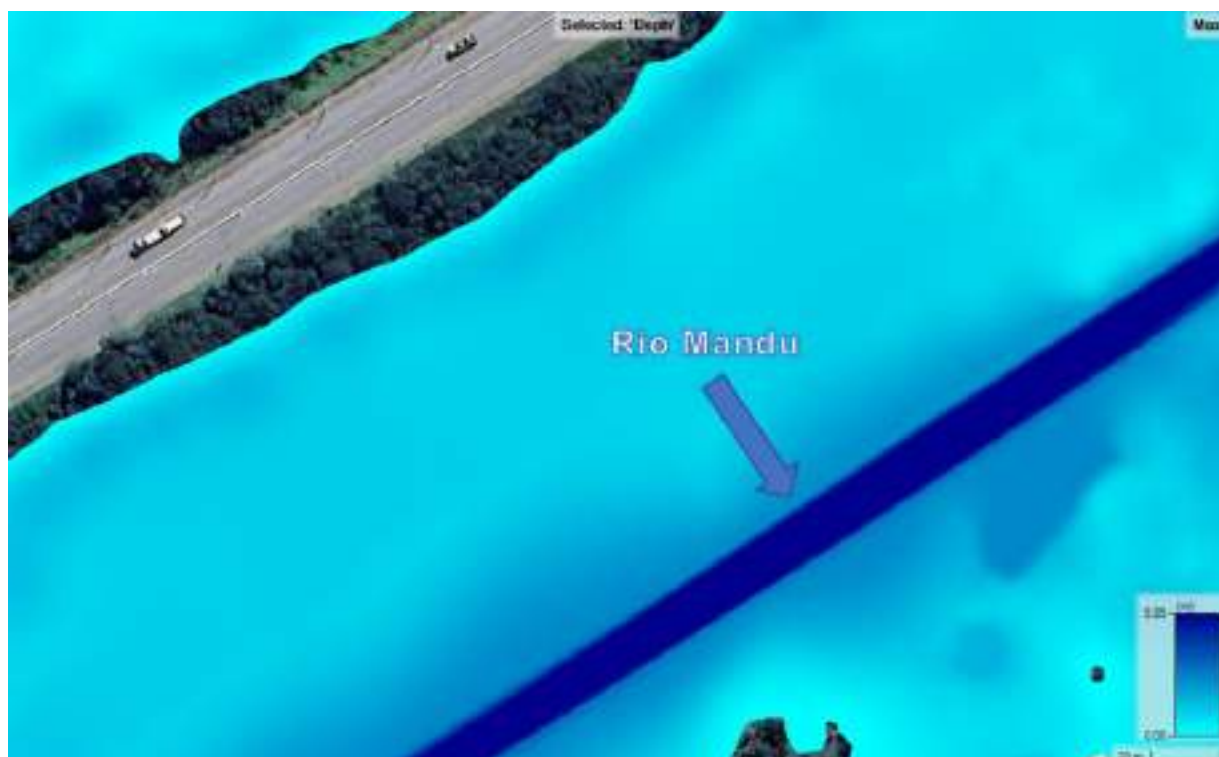


Figura 2 – Ocorrência de inundação isolada



Figura 3 – Ocorrência de inundação e alagamento

Dessa maneira, para separar a mancha de inundação dos processos de alagamento observou-se os locais onde existia segregação da calha fluvial e a direção dos vetores de escoamento, de modo a garantir que estes estivessem sempre saindo do interior do talvegue em direção as áreas de planície (Figura 4). Neste ponto é importante ressaltar que os locais de ocorrência de inundação em conjunto com alagamentos foram mantidos e incorporados a mancha de inundação.

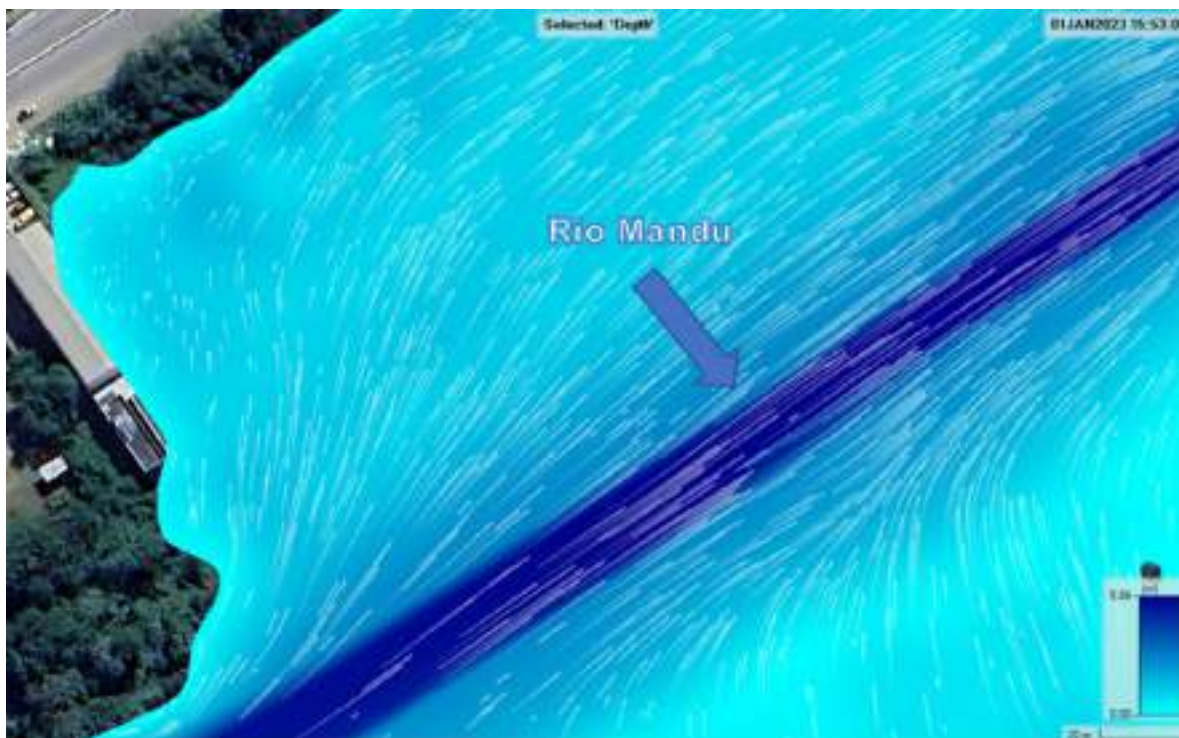


Figura 4 – Funcionamento dos vetores de escoamento

2.4.1. Bacia do Córrego São Cristóvão

O Córrego São Cristóvão margeia grandes áreas urbanizadas e, assim como o Córrego do Patinho, possui o relevo definido e uma vazão ainda menor, diminuindo as chances de grandes impactos. Observando as manchas de inundação apresentadas nas Figura 5 até Figura 9, é possível perceber que mesmo com o TR de 100 anos não há grandes sobreposições da lâmina d'água com malha urbana. Contudo, na parte leste do Bairro Colina Verde há algumas residências que podem ser afetadas nesses casos extremos.



Figura 5 – Mancha de Inundação do Córrego São Cristóvão para o TR 5 anos



Figura 6 - Mancha de Inundação do Córrego São Cristóvão para o TR 10 anos



Figura 7 - Mancha de Inundação do Córrego São Cristóvão para o TR 25 anos



Figura 8 - Mancha de Inundação do Córrego São Cristóvão para o TR 50 anos



Figura 9 - Mancha de Inundação do Córrego São Cristóvão para o TR 100 anos

2.4.1. Bacia do Córrego São Judas Tadeu

Após o refinamento das manchas de acúmulo hidráulico é identificado de maneira clara quais são os efeitos da inundação do córrego na cidade. Pode-se afirmar que o Bairro Cantagalo é afetado pelos eventos de cheia desde o primeiro tempo de recorrência. Esse evento pode ser justificado pela ocupação das margens e pela canalização irregular de um dos seus afluentes que se dá no local onde se localiza o bairro. A seguir, da Figura 10 a Figura 14, podem ser observadas as manchas de inundação do córrego São Judas Tadeu.

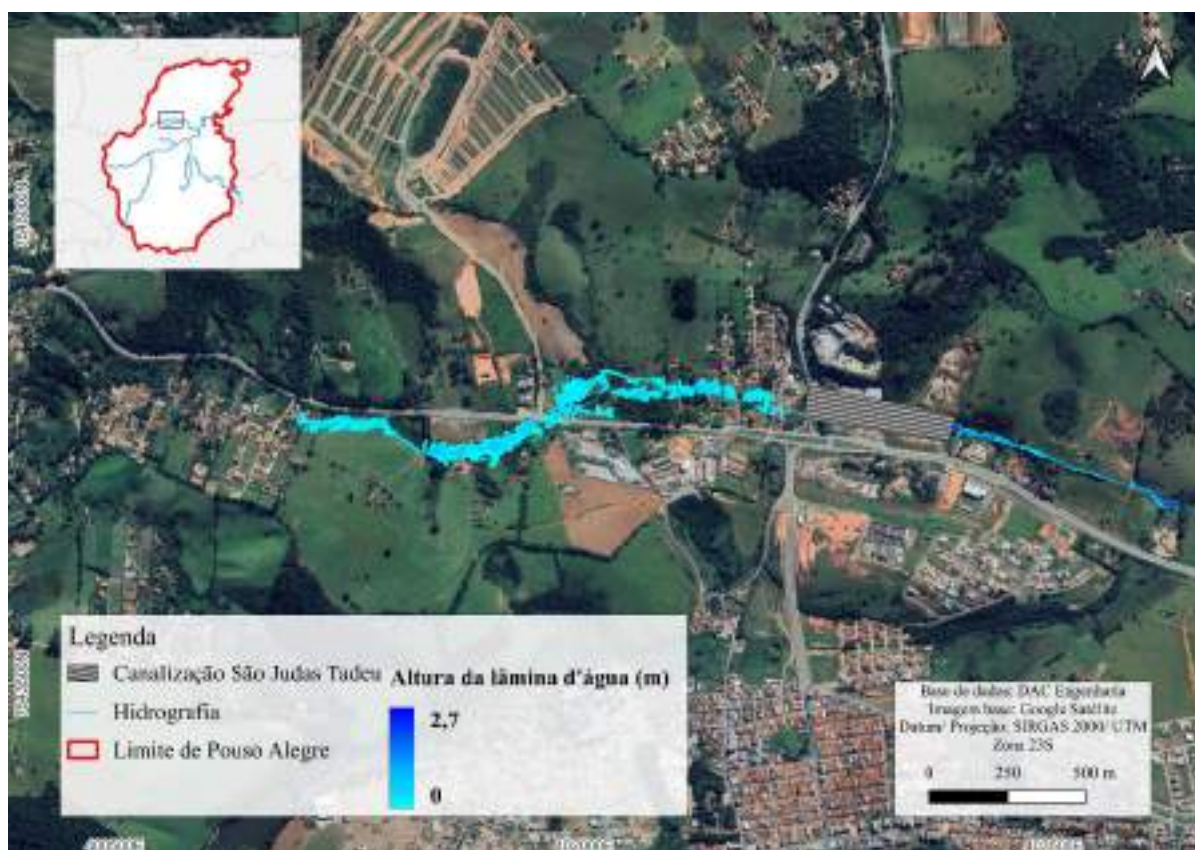


Figura 10 – Mancha de Inundação do Córrego São Judas Tadeu para o TR 5 anos



Figura 11 - Mancha de Inundação do Córrego São Judas Tadeu para o TR 10 anos



Figura 12 - Mancha de Inundação do Córrego São Judas Tadeu para o TR 25 anos



Figura 13 - Mancha de Inundação do Córrego São Judas Tadeu para o TR 50 anos

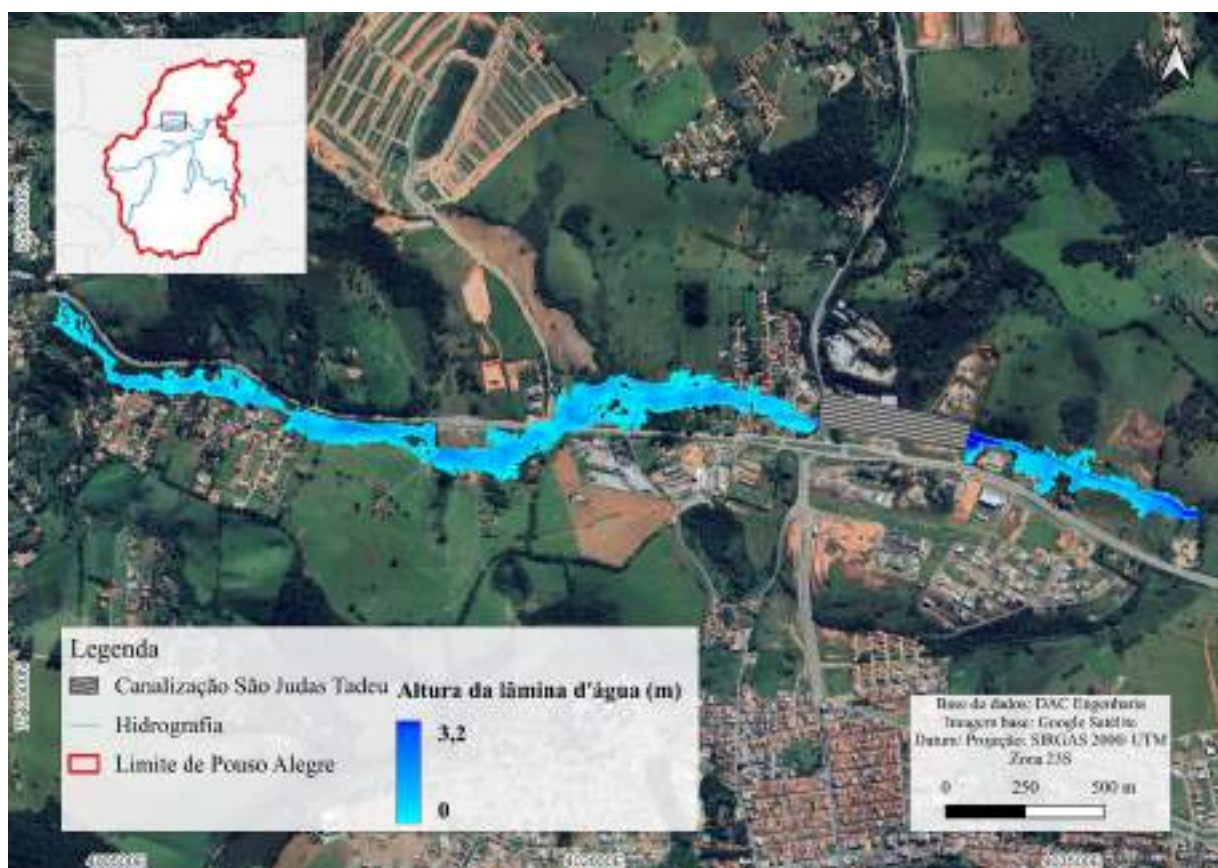


Figura 14 - Mancha de Inundação do Córrego São Judas Tadeu para o TR 100 anos

2.4.1. Bacia do Córrego da Remonta

Após a separação do acúmulo hidráulico, definindo o que realmente é inundação proveniente da calha fluvial é possível identificar que no caso do Córrego da Remonta sua inundação afetada diretamente o Bairro Jardim Yara. No cenário natural essa vazão, que atualmente é represada pela Avenida Antônio Mariosa, escoaria diretamente para a calha do Rio Mandu. Visto que a Avenida Antônio Mariosa foi construída visando a proteção dos bairros da vazão de inundação do Mandu, este também impede com que a vazão que afeta o bairro, proveniente do Córrego da Remonta, siga o seu fluxo para o curso principal. Logo o Córrego da Remonta fica como o único canal de drenagem para essa vazão que extravassa da calha, aumentando o tempo em que ela fica retida dentro da área do bairro. A seguir, da Figura 15 a Figura 19, podem ser visualizadas as manchas de inundação do córrego da Remonta.



Figura 15 – Mancha de Inundação do Córrego da Remonta para o TR 5 anos



Figura 16 – Mancha de Inundação do Córrego da Remonta para o TR 10 anos



Figura 17 – Mancha de Inundação do Córrego da Remonta para o TR 25 anos



Figura 18 – Mancha de Inundação do Córrego da Remonta para o TR 50 anos



Figura 19 – Mancha de Inundação do Córrego da Remonta para o TR 100 anos

2.4.2. Bacia do Córrego do Patinho

O Córrego do Patinho tangencia diversas áreas urbanizadas no município de Pouso Alegre, contudo, suas dimensões e o próprio relevo auxiliam na diminuição dos impactos causados. Após o refinamento das manchas de inundação foi possível perceber que o córrego não representa grandes ameaças para a população, mas há sobreposições da mancha na porção norte do Bairro Jardim Aeroporto, encobrindo até mesmo construções do Clube de Campo Pouso Alegre. Segue abaixo as manchas de inundação para os diferentes Tempos de Retorno apresentados na Figura 20 a Figura 24.



Figura 20 - Mancha de Inundação do Córrego do Patinho para o TR 5 anos

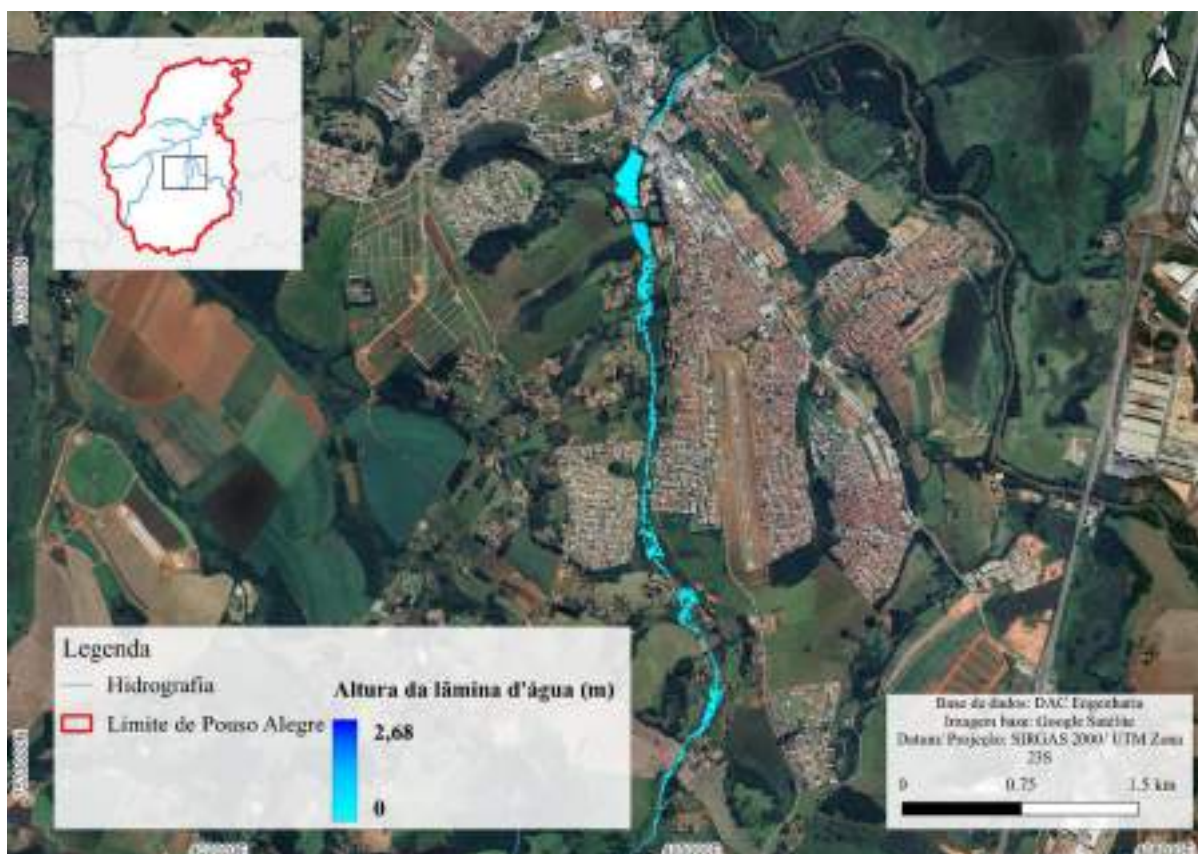


Figura 21 - Mancha de Inundação do Córrego do Patinho para o TR 10 anos



Figura 22 - Mancha de Inundação do Córrego do Patinho para o TR 25 anos

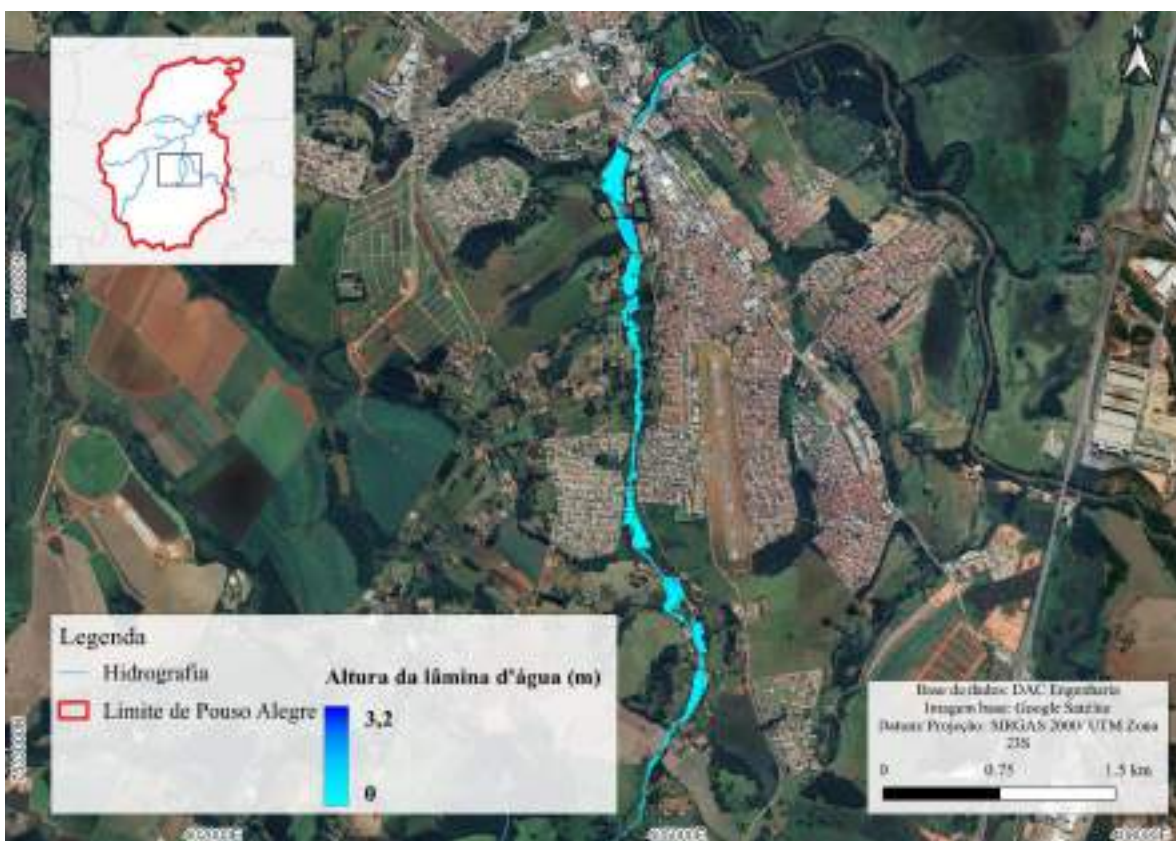


Figura 23 - Mancha de Inundação do Córrego do Patinho para o TR 50 anos

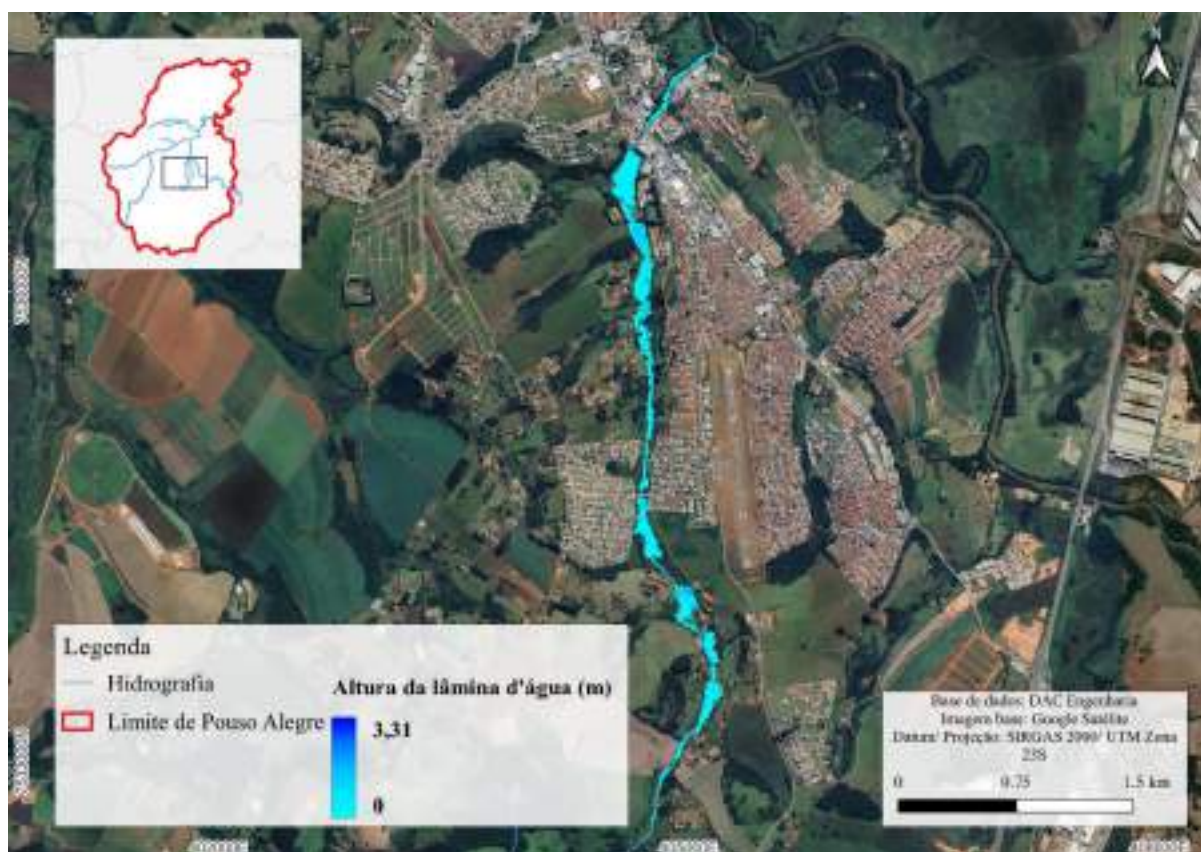


Figura 24 - Mancha de Inundação do Córrego do Patinho para o TR 100 anos

2.4.3. Bacia do Ribeirão das Mortes

Quando considerado apenas os casos de inundação é diagnosticado que o Bairro Cantagalo e Bairro Faisqueira são os mais afetados por eventos de cheia do ribeirão. É importante ressaltar que a simulação feita analisa a situação da vazão do Ribeirão das Mortes sem o efeito de confluência do Sapucaí-Mirim. A análise isolada não leva em consideração os casos em que o Rio Sapucaí-Mirim também estará em um evento de cheia, em situações assim o aumento no nível do Rio represa a vazão de deságue do Ribeirão das Mortes, fazendo com que esta última retorne e extravase ainda mais. No entanto, essa situação é considerada na mancha de inundação do próprio Sapucaí-Mirim, uma vez que nela são analisados os efeitos do deságue mencionado. A seguir, da Figura 25 a Figura 29, são apresentadas as manchas de inundação do ribeirão das Mortes.

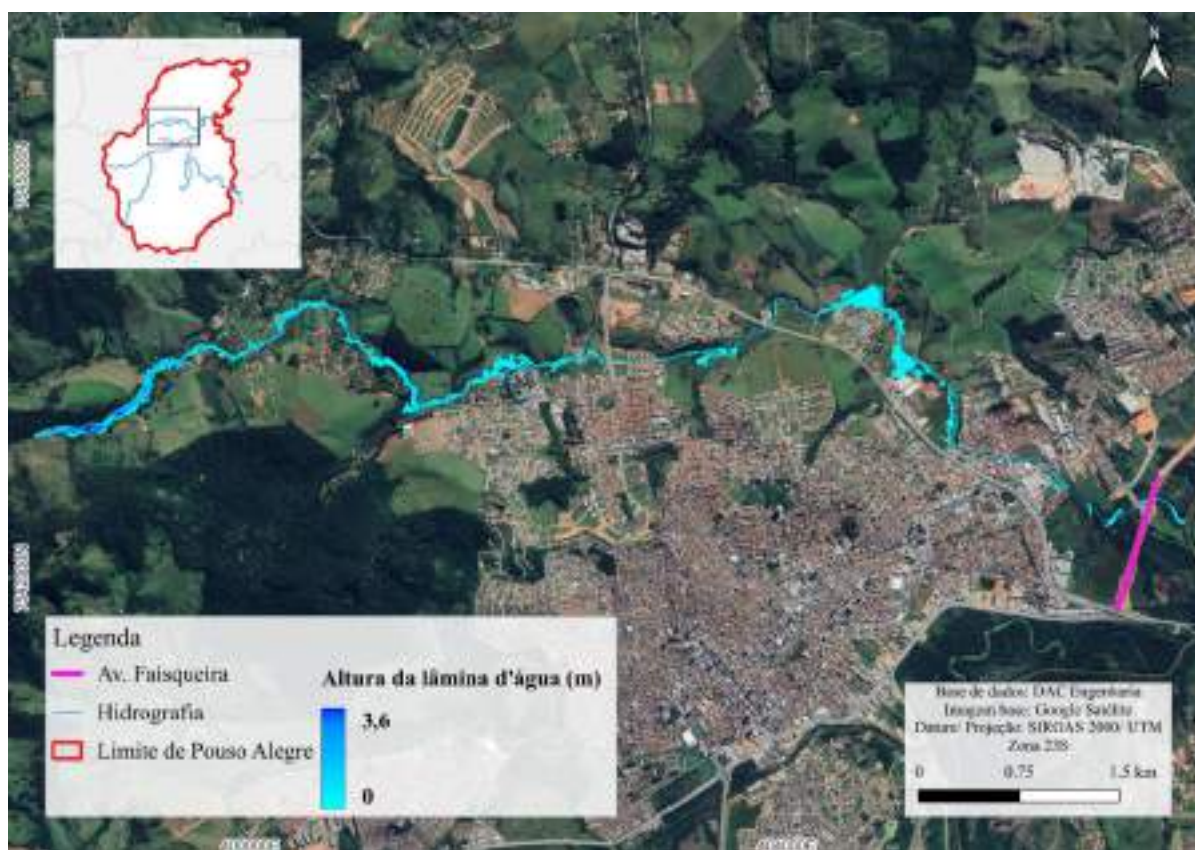


Figura 25 - Mancha de Inundação do Ribeirão das Mortes para o TR 5 anos

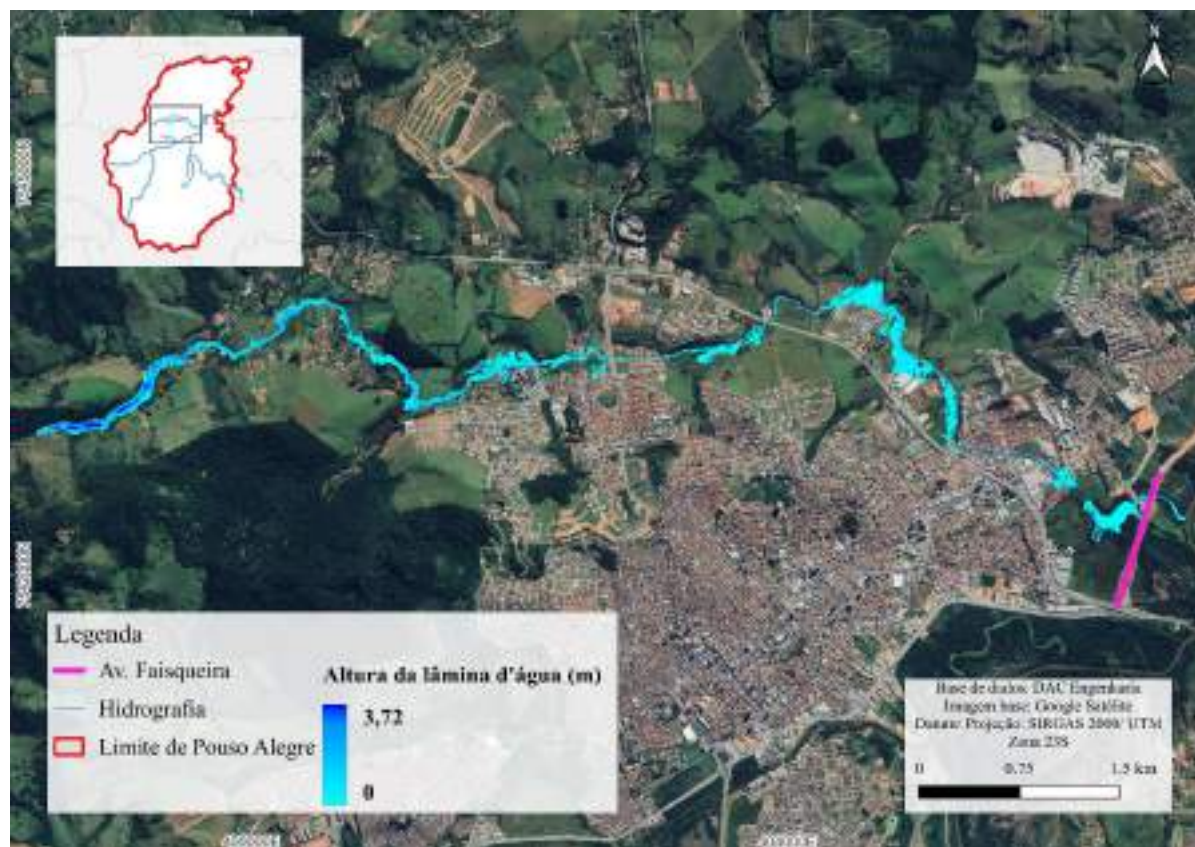


Figura 26 - Mancha de Inundação do Ribeirão das Mortes para o TR 10 anos

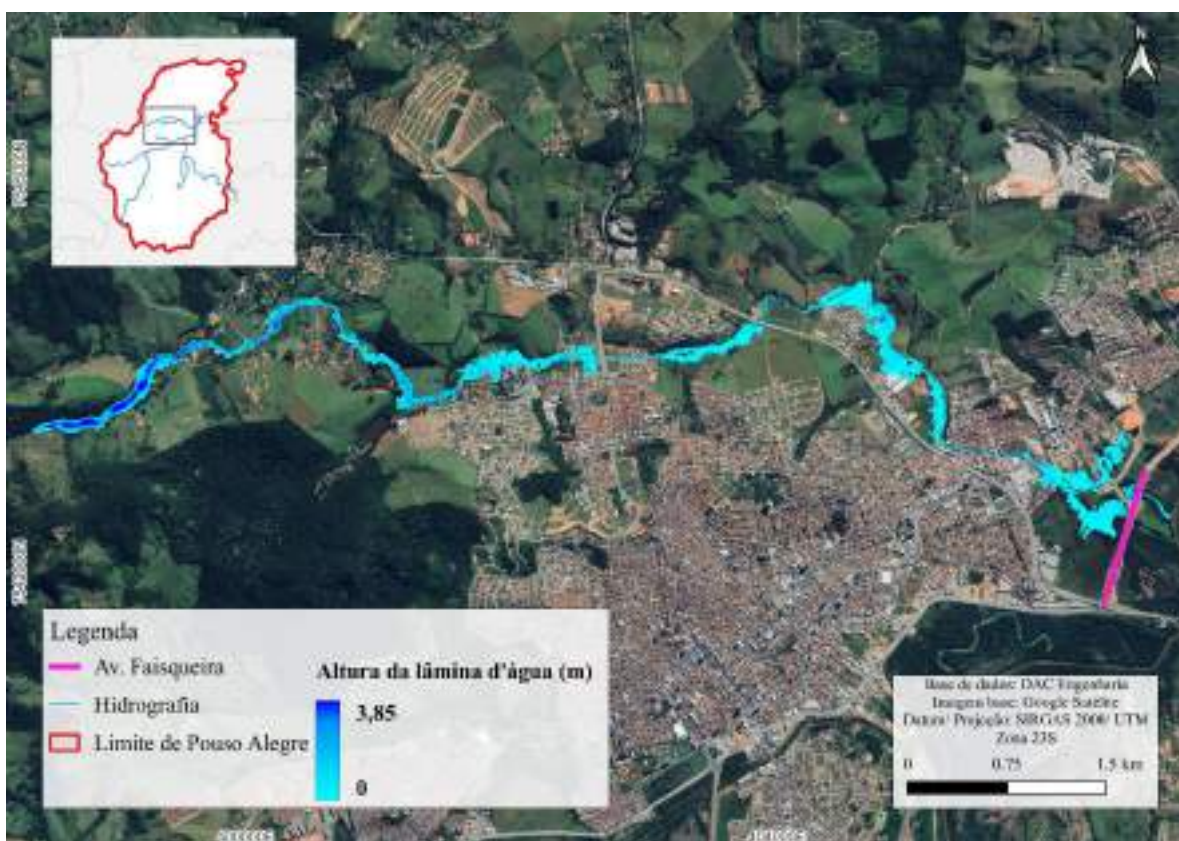


Figura 27 - Mancha de Inundação do Ribeirão das Mortes para o TR 25 anos

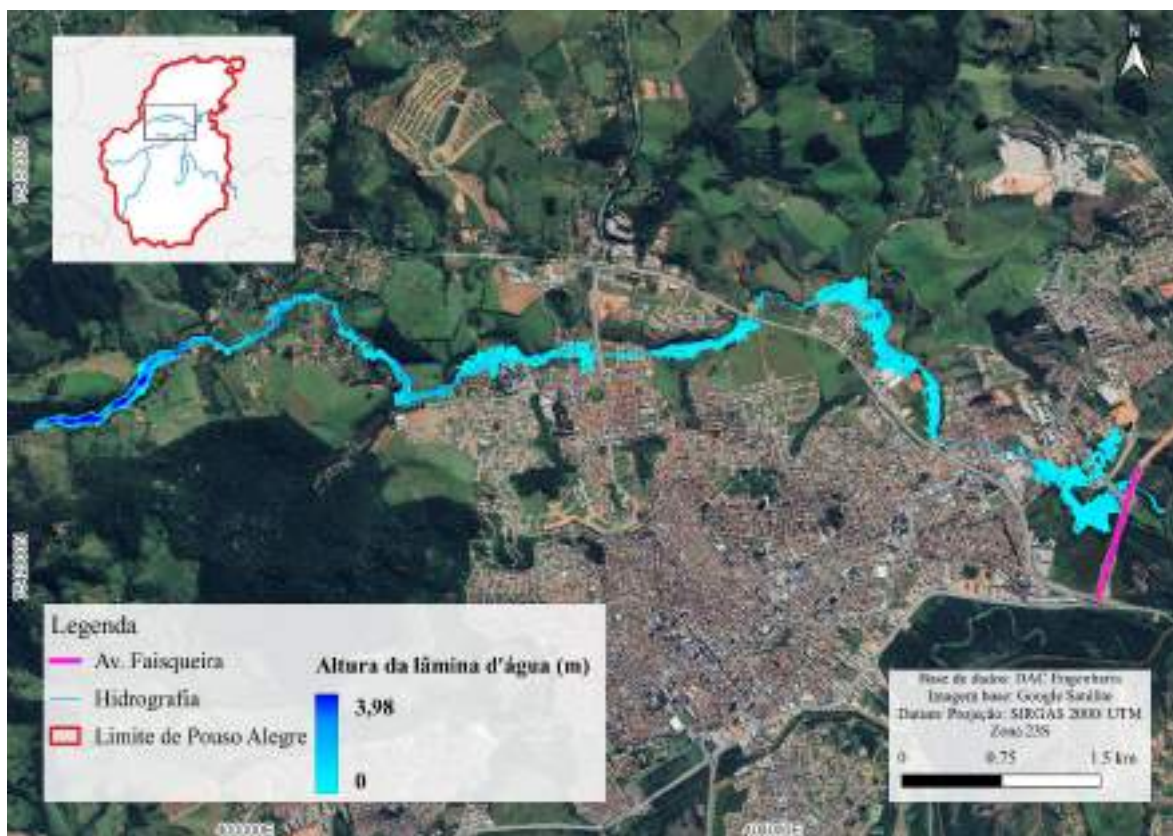


Figura 28 - Mancha de Inundação do Ribeirão das Mortes para o TR 50 anos

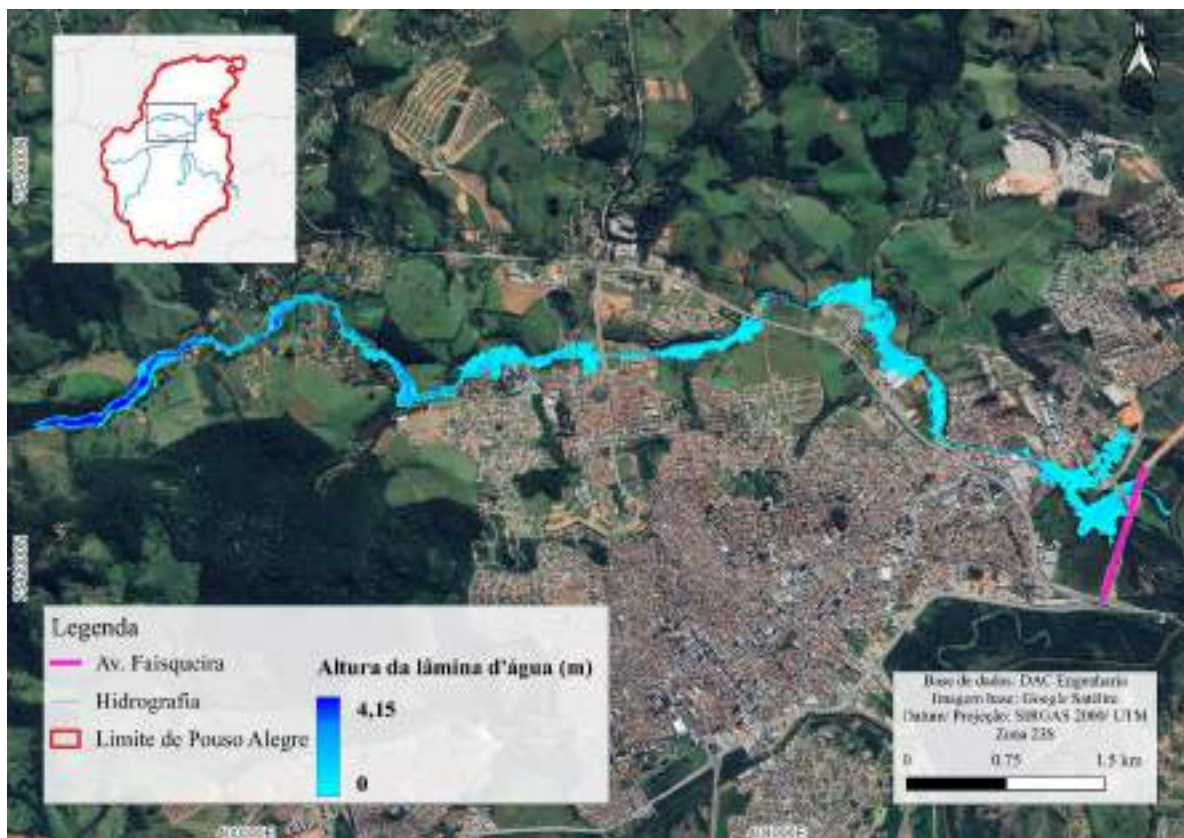


Figura 29 - Mancha de Inundação do Ribeirão das Mortes para o TR 100 anos

2.4.4. *Bacia do Ribeirão Pantano*

As manchas de inundação obtidas para o Ribeirão Pantano são apresentadas a seguir, da Figura 30 a Figura 34. Dado a sua localização no território do município, a inundação desse corpo hídrico não apresenta grandes impactos na área urbana. O bairro São José do Pantano e o Cajuru são os únicos suscetíveis a eventos de cheia do ribeirão. Entretanto há potencial de expansão urbana nessas áreas, deve-se então considerar as áreas de cheia já delineadas.

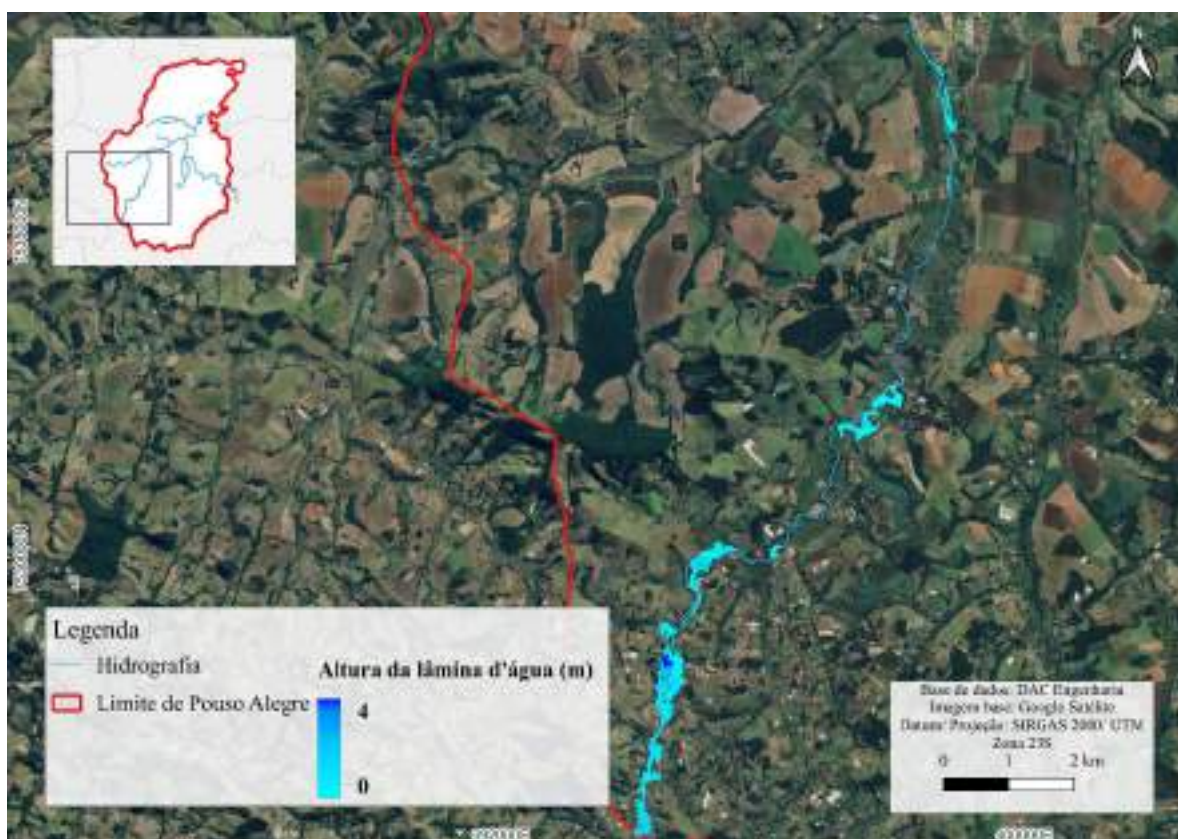


Figura 30 - Mancha de Inundação do Ribeirão Pantano para o TR 5 anos

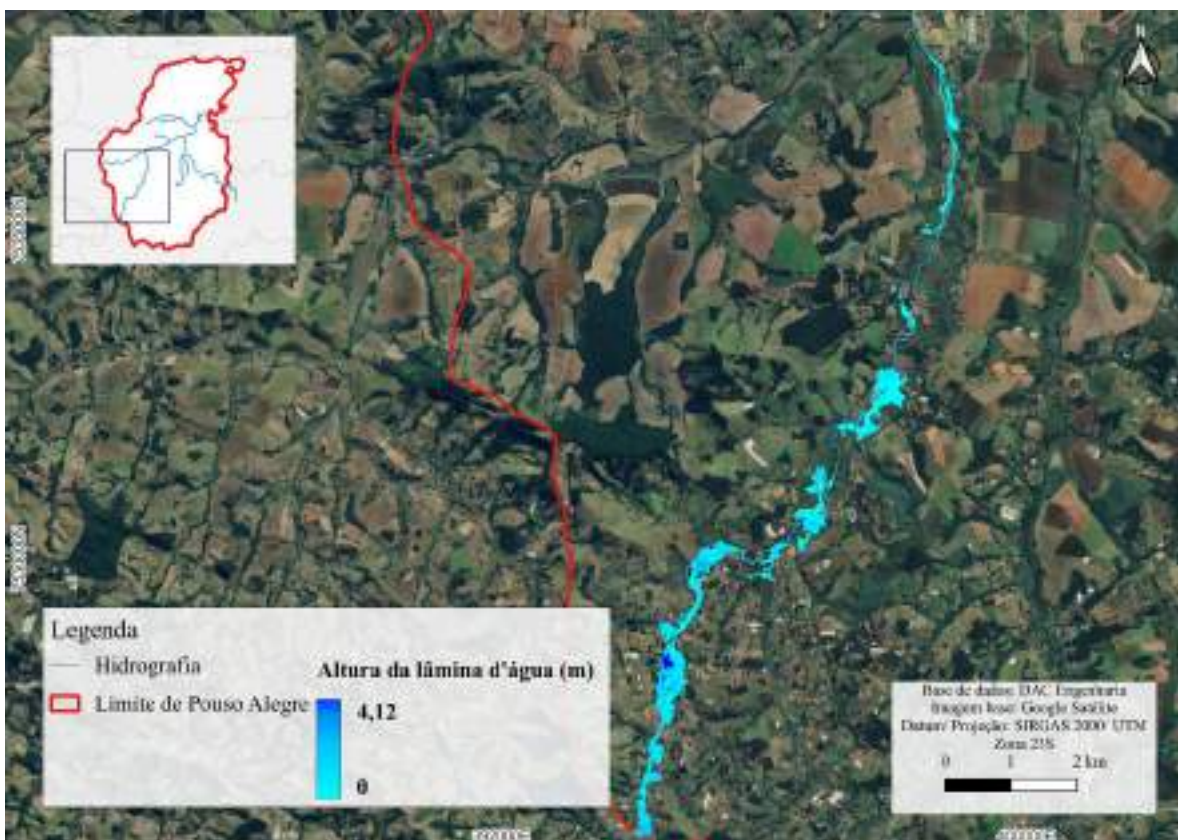


Figura 31 - Mancha de Inundação do Ribeirão Pantano para o TR 10 anos

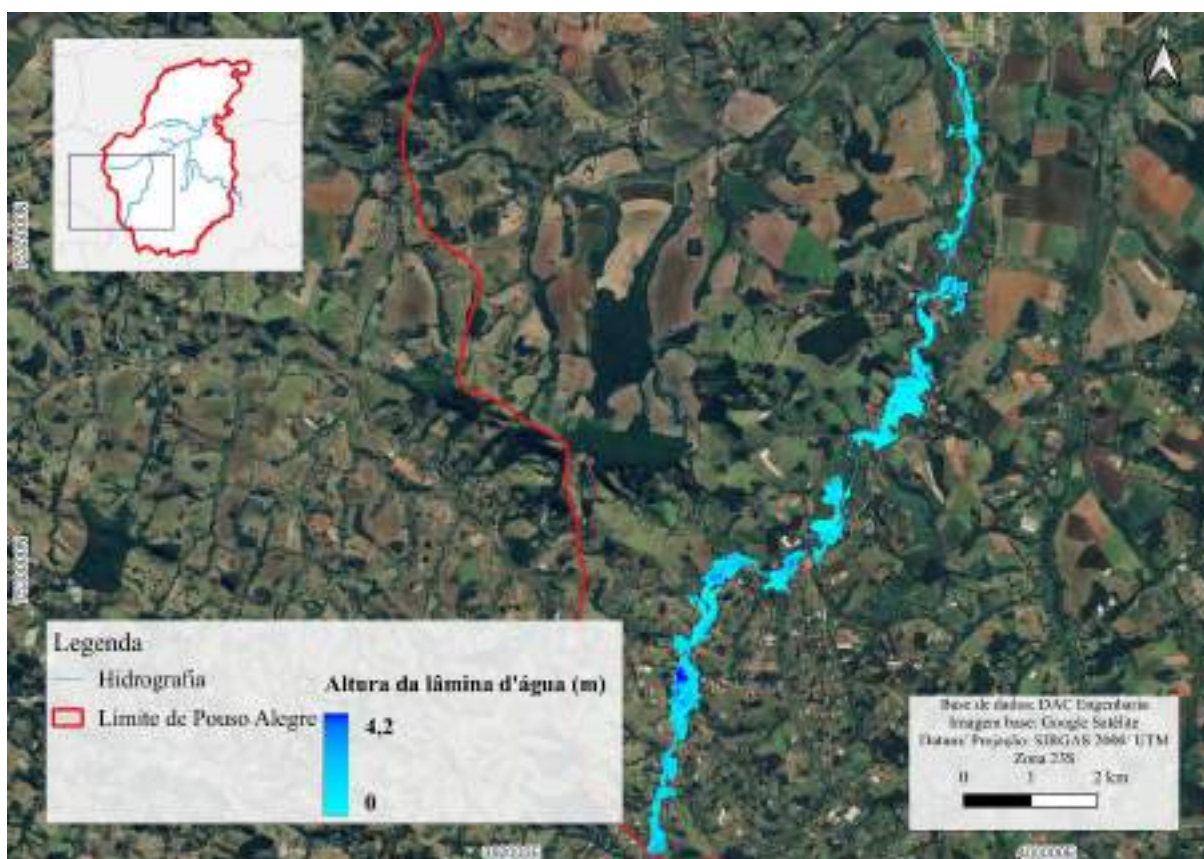


Figura 32 - Mancha de Inundação do Ribeirão Pantano para o TR 25 anos

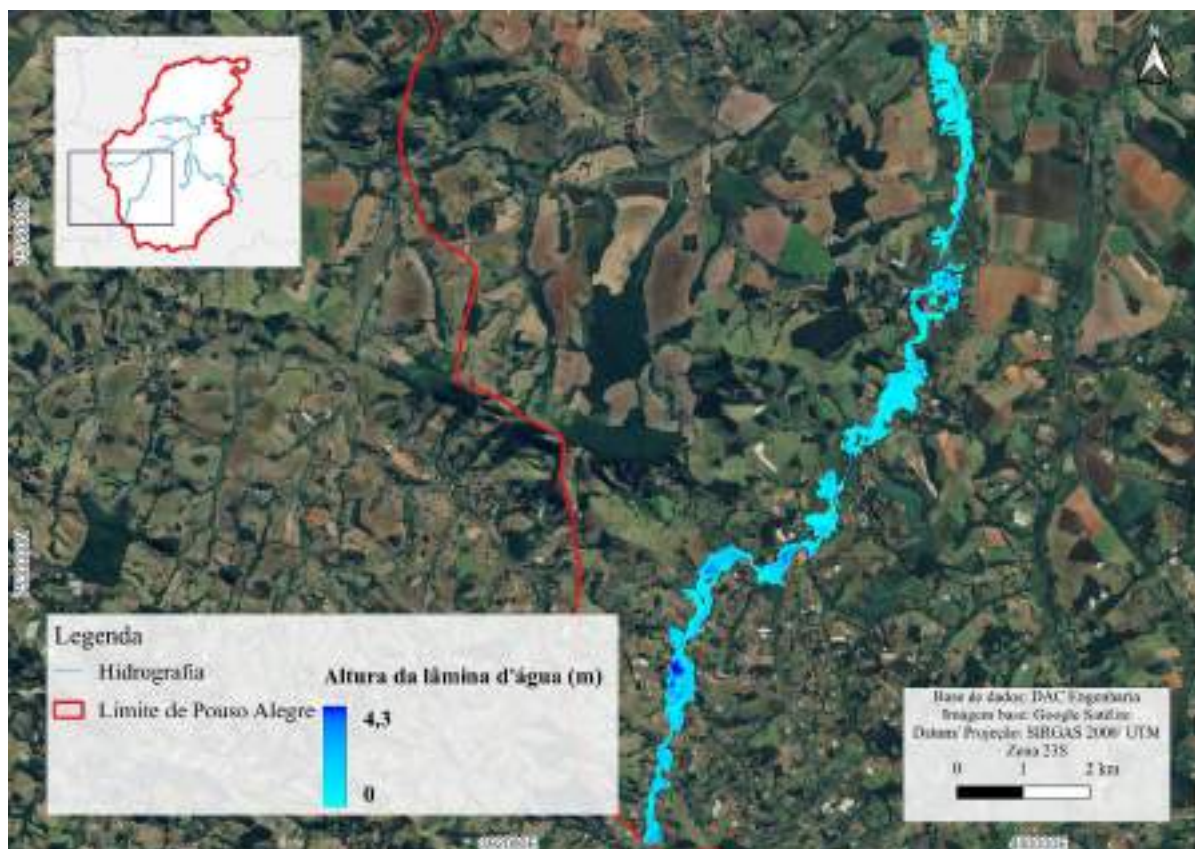


Figura 33 - Mancha de Inundação do Ribeirão Pantano para o TR 50 anos

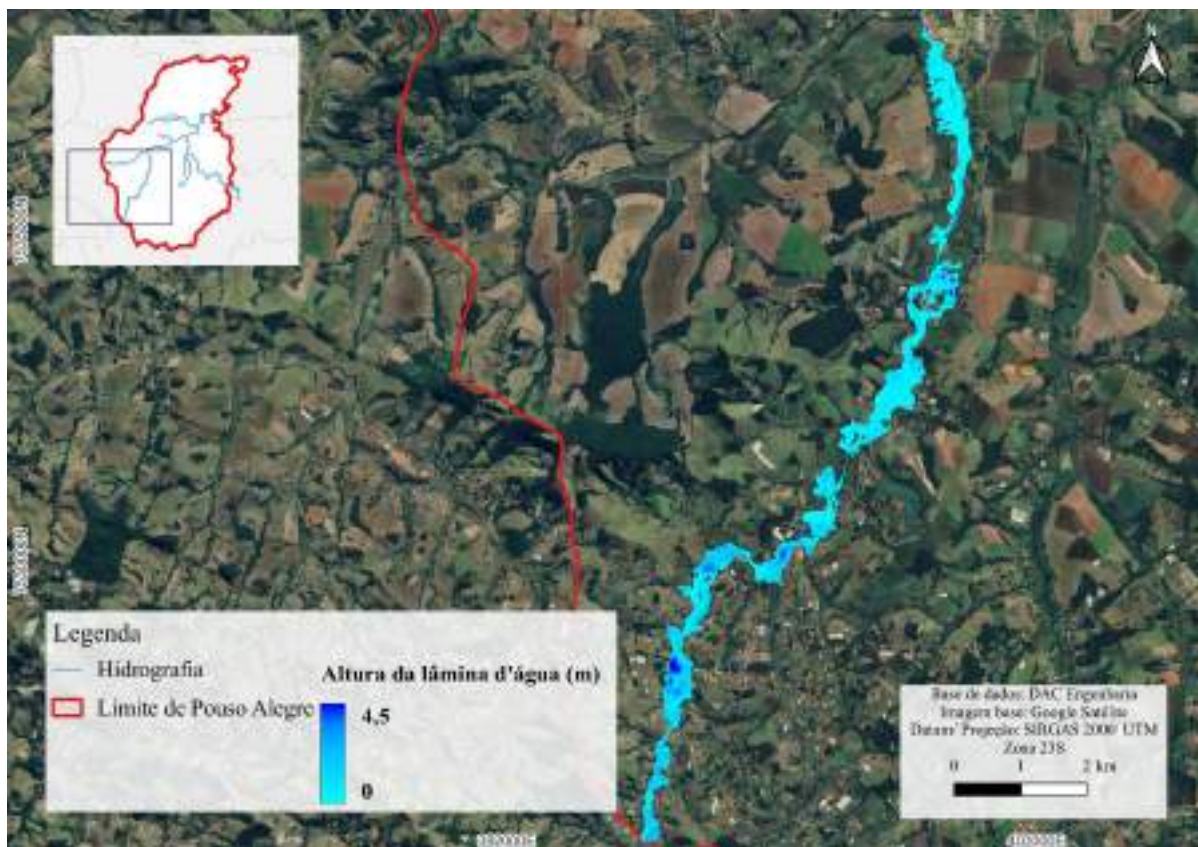


Figura 34 - Mancha de Inundação do Ribeirão Pantano para o TR 100 anos

2.4.5. Bacia do Rio Mandu

É possível identificar o que se trata de inundação no Rio Mandu após a separação do acúmulo hidráulico, como apresentado a seguir, da Figura 35 a Figura 39. Devido ao extenso histórico de inundações que afetam o município foram executadas obras com a finalidade de evitar que a inundação da calha chegasse nas áreas ocupadas. Dado isso, a inundação do Mandu não afeta a muito a área urbana devido aos sistemas de diques que impedem o avanço da inundação. Logo, os problemas de acúmulo hidráulico que ocorrem atualmente na região do bairro São Geraldo são oriundos de alagamentos decorrentes da conformação do terreno aliados a insuficiência dos sistemas de microdrenagem.

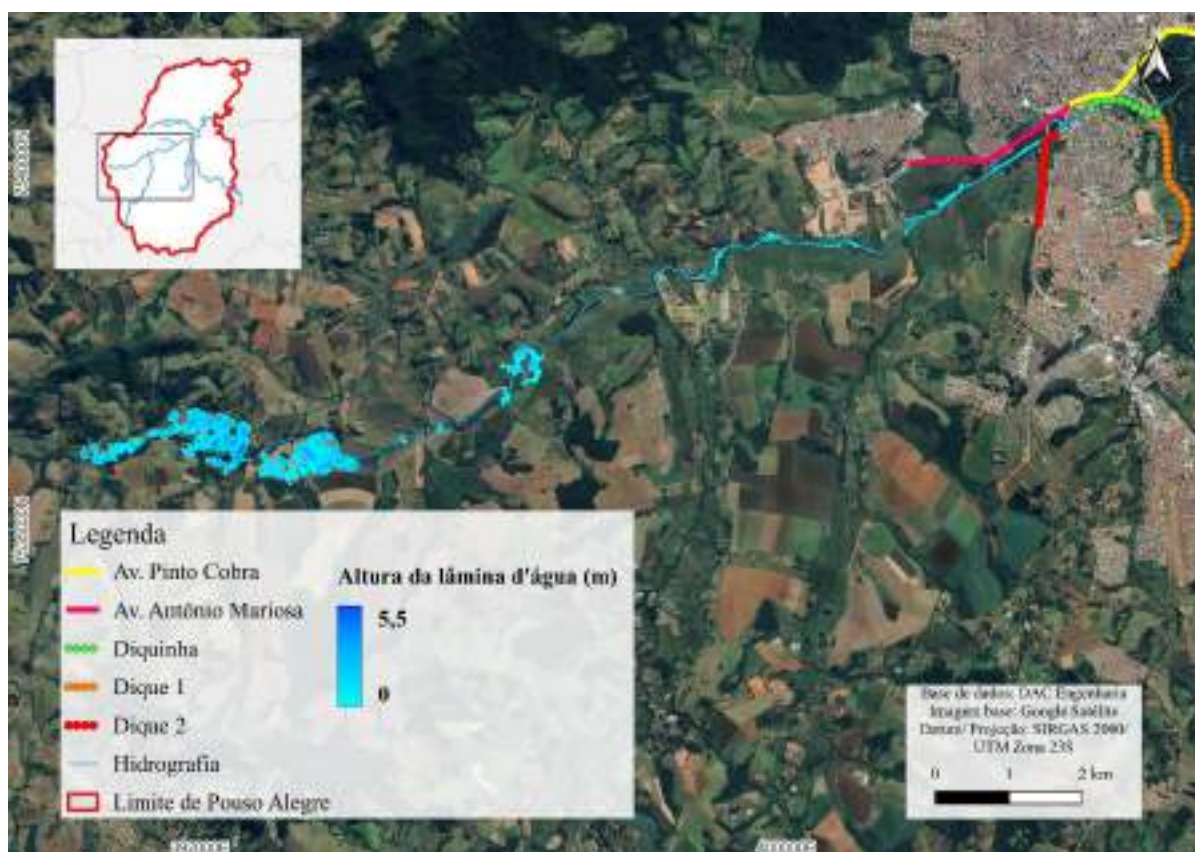


Figura 35 - Mancha de Inundação do Rio Mandu para o TR 5 anos

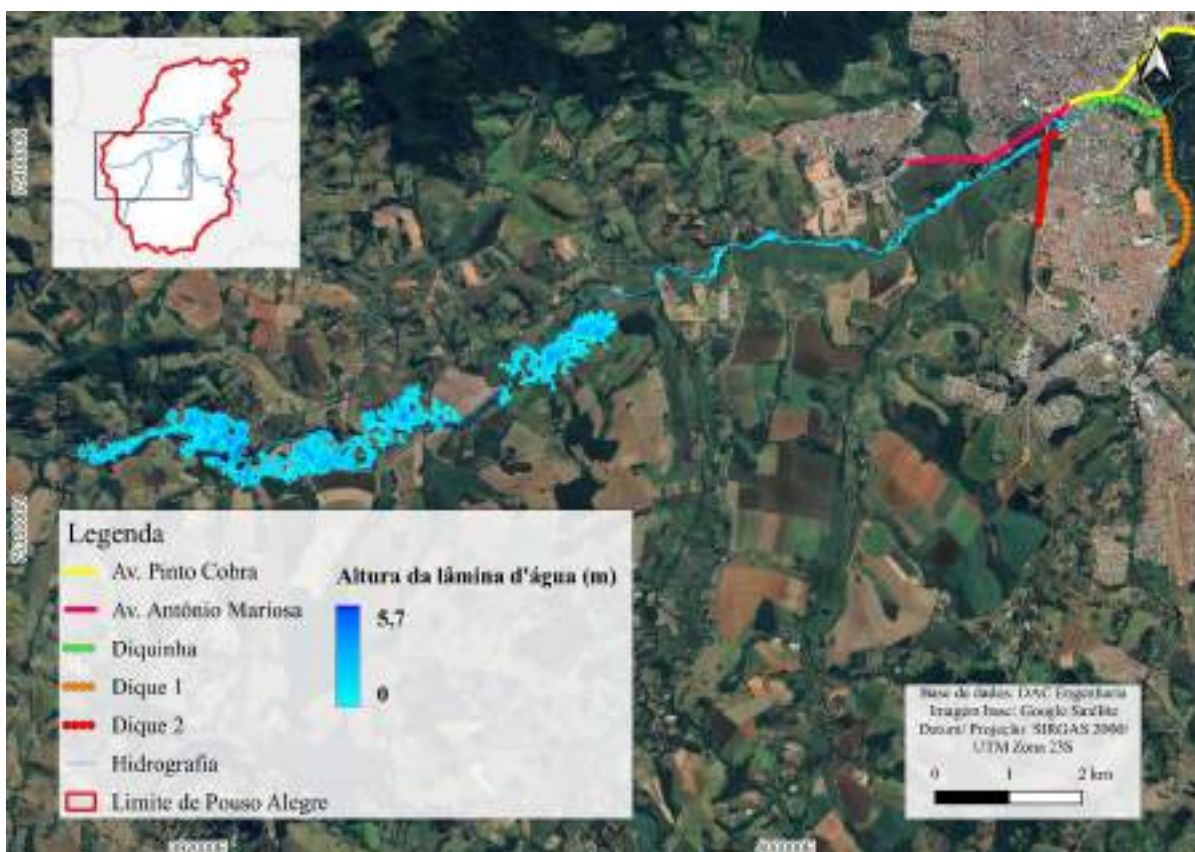


Figura 36 - Mancha de Inundação do Rio Mandu para o TR 10 anos

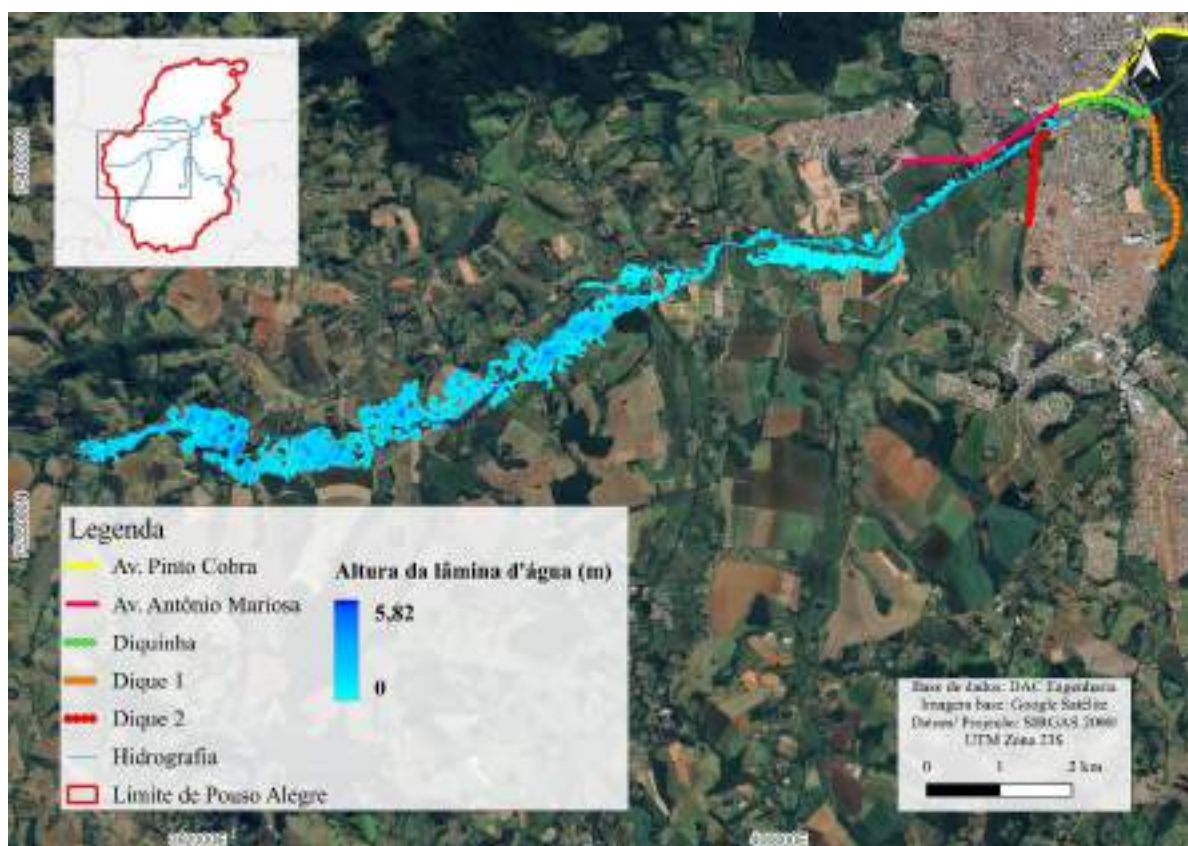


Figura 37 - Mancha de Inundação do Rio Mandu para o TR 25 anos

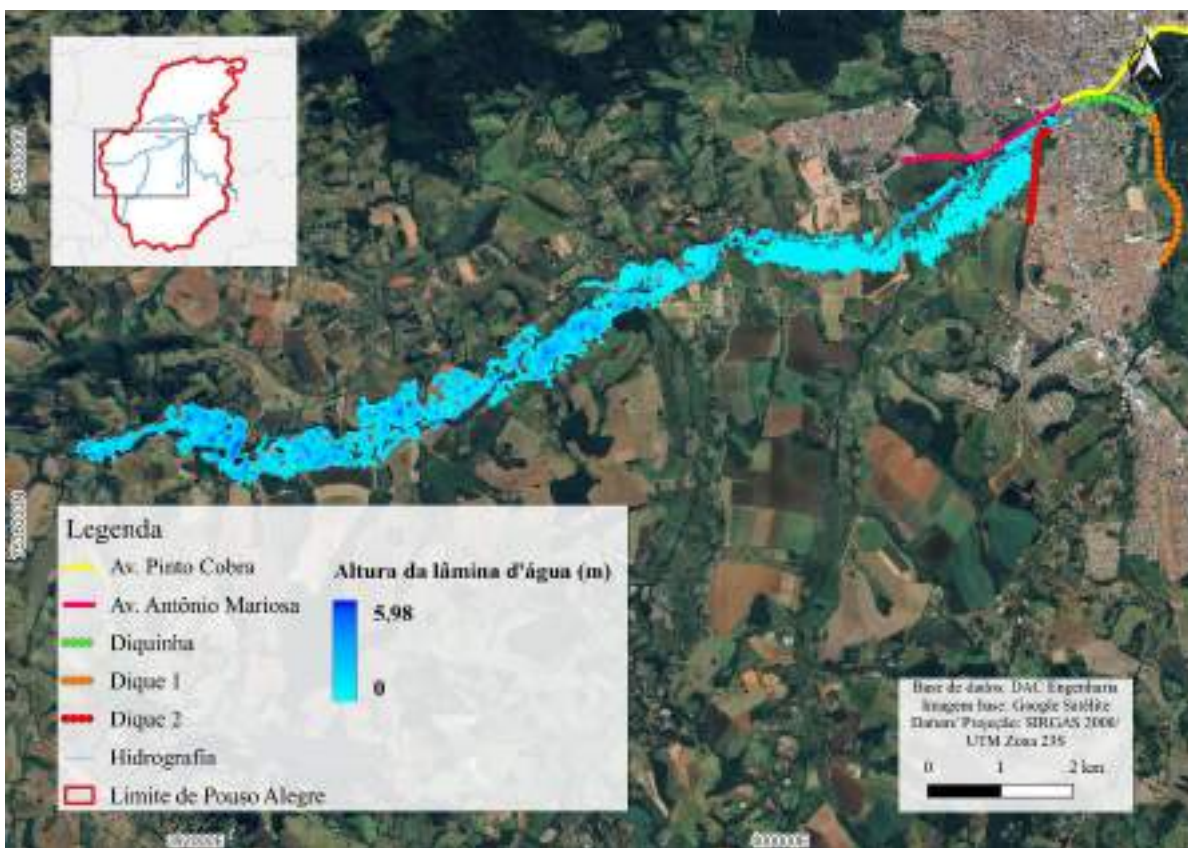


Figura 38 - Mancha de Inundação do Rio Mandu para o TR 50 anos

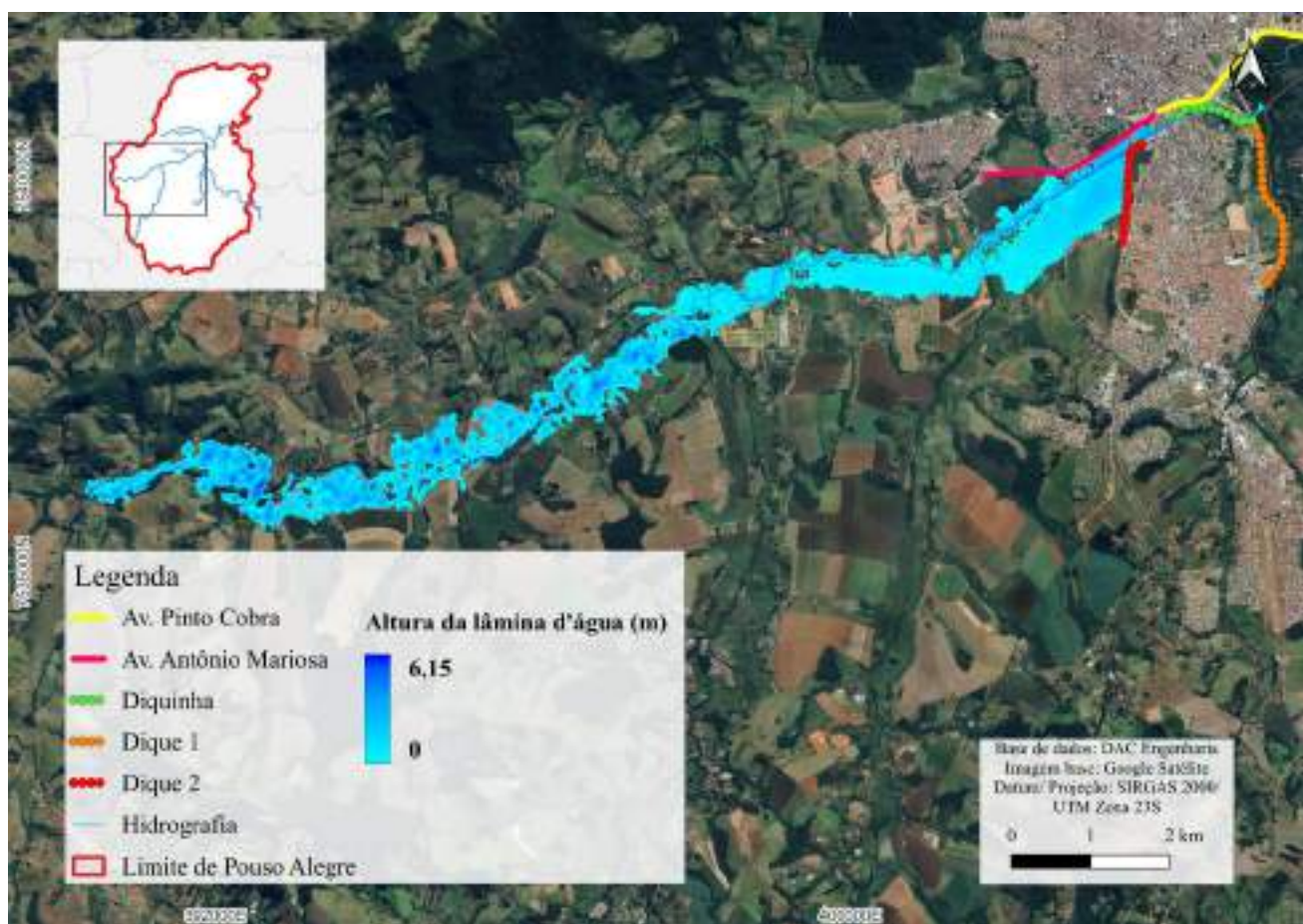


Figura 39 - Mancha de Inundação do Rio Mandu para o TR 100 anos

2.4.6. *Bacia do Rio Sapucaí-Mirim*

Após o processo de definição de quais acúmulos são provenientes de alagamento ou de inundação, foram obtidas as manchas de inundação do Rio Sapucaí-Mirim (Figura 40 a Figura 44). Os efeitos das inundações do Sapucaí-Mirim na área urbana foram mitigados através do sistema de diques, projetados de maneira a conter o avanço das cheias provenientes do encontro desses rios e de seu impacto individualizado. Por consequência, conforme já elucidado anteriormente, os acúmulos pluviais que ocorrem atualmente no Bairro São Geraldo e nos seus arredores, caracterizam-se por alagamento decorrentes de uma malha de microdrenagem insuficiente.

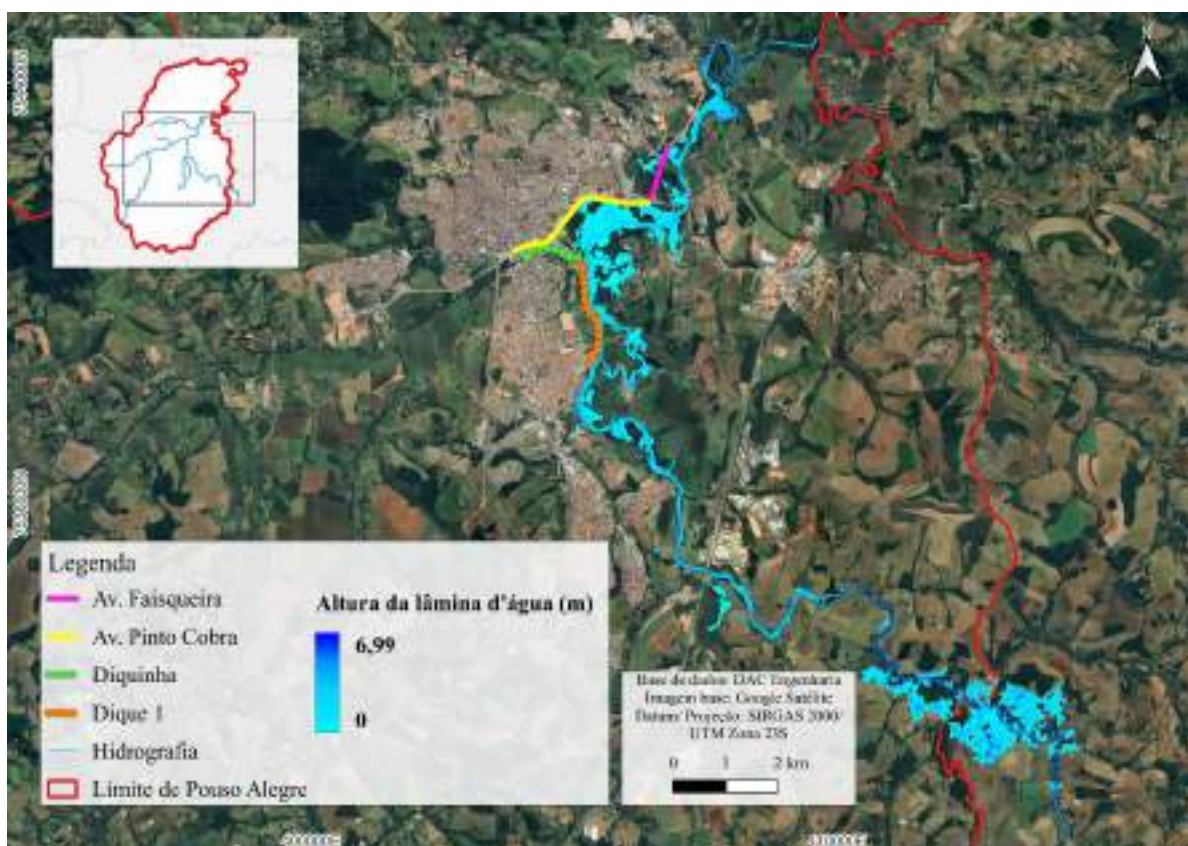


Figura 40 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí-Mirim para o TR 5 anos

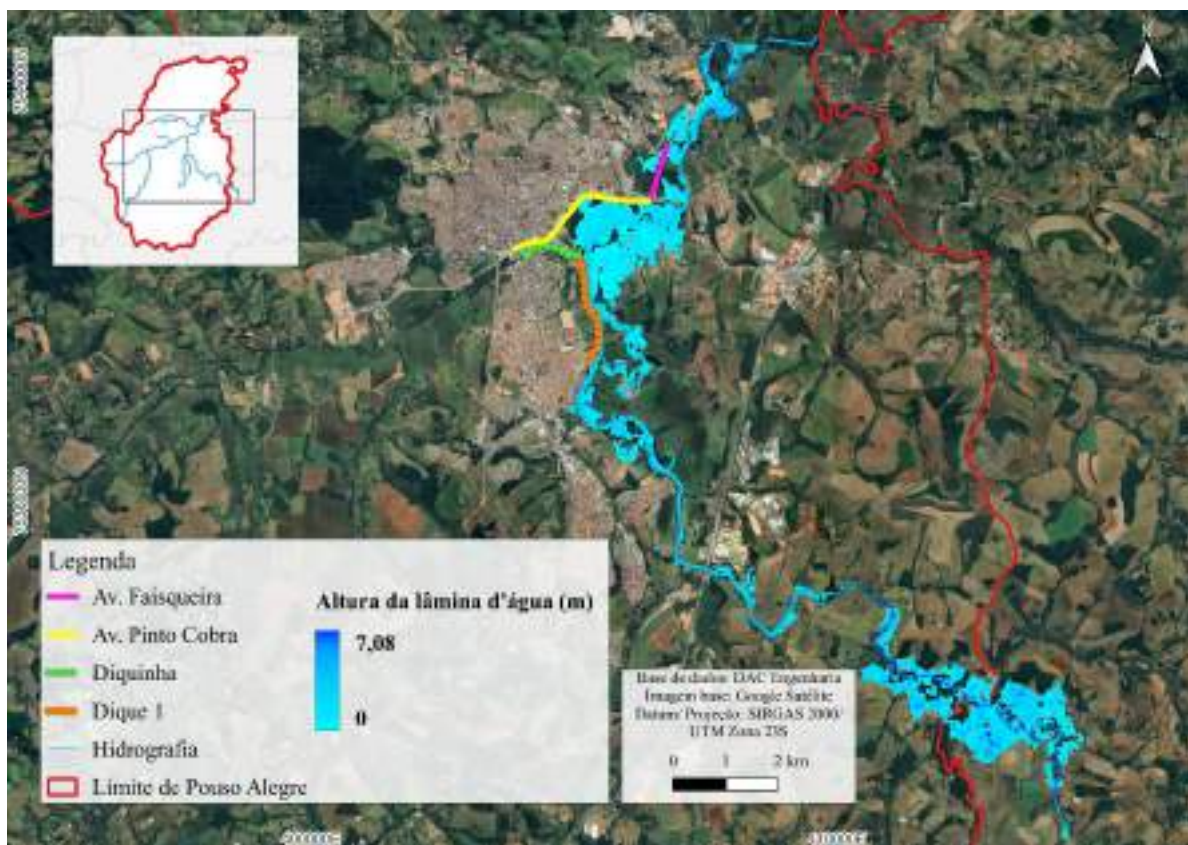


Figura 41 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí-Mirim para o TR 10 anos

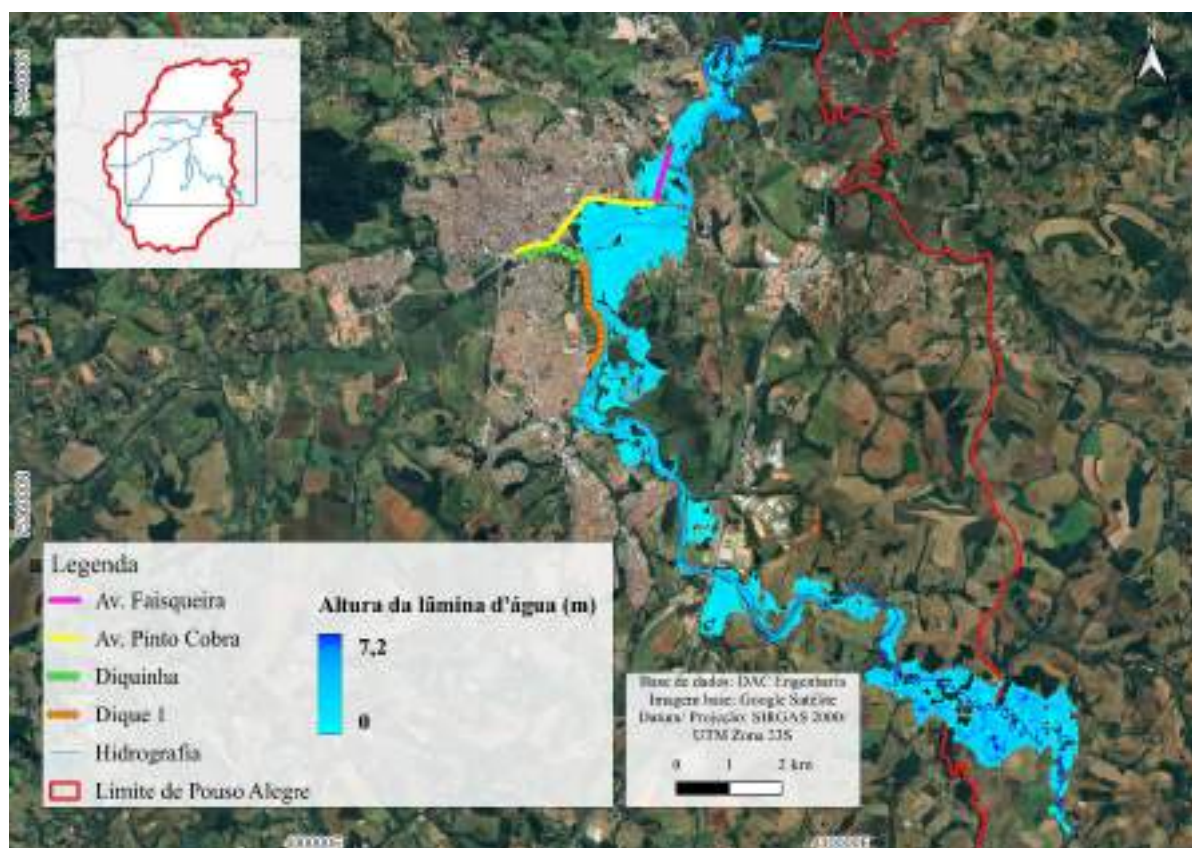


Figura 42 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí-Mirim para o TR 25 anos

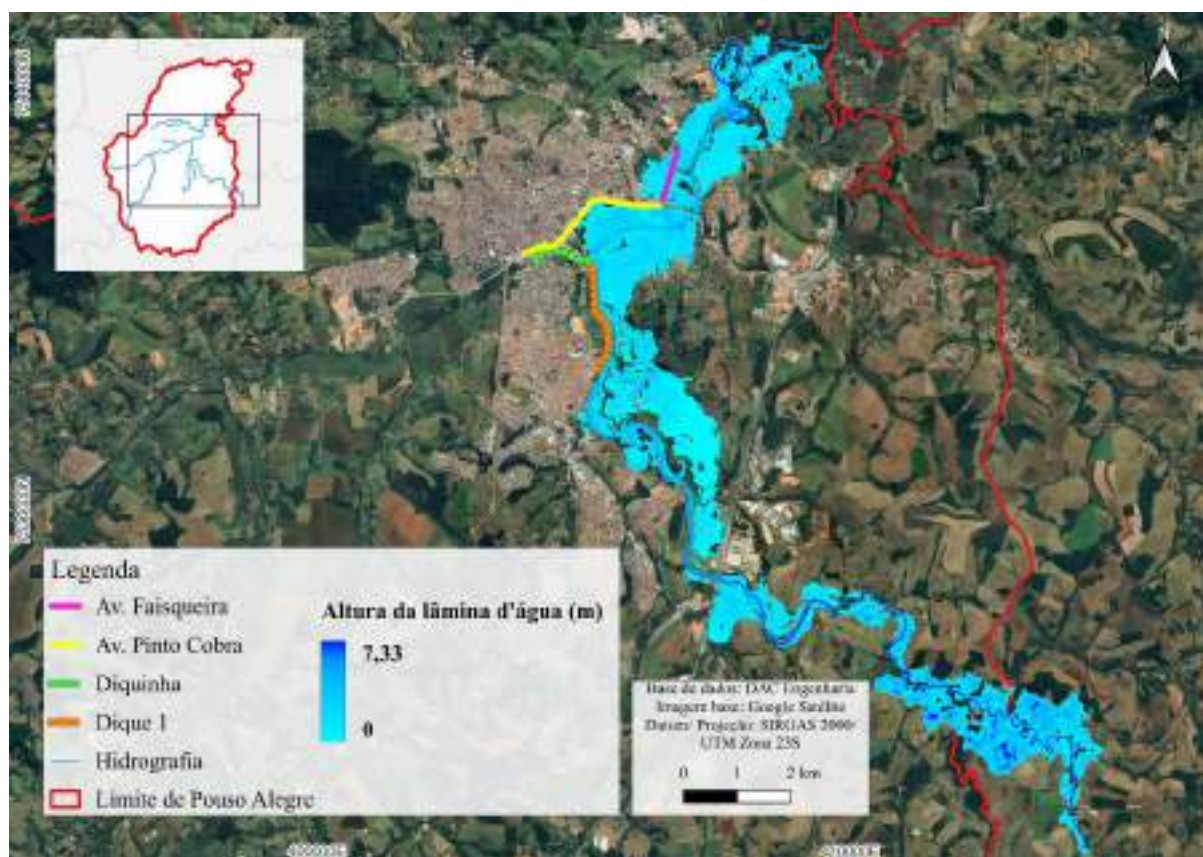


Figura 43 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí-Mirim para o TR 50 anos

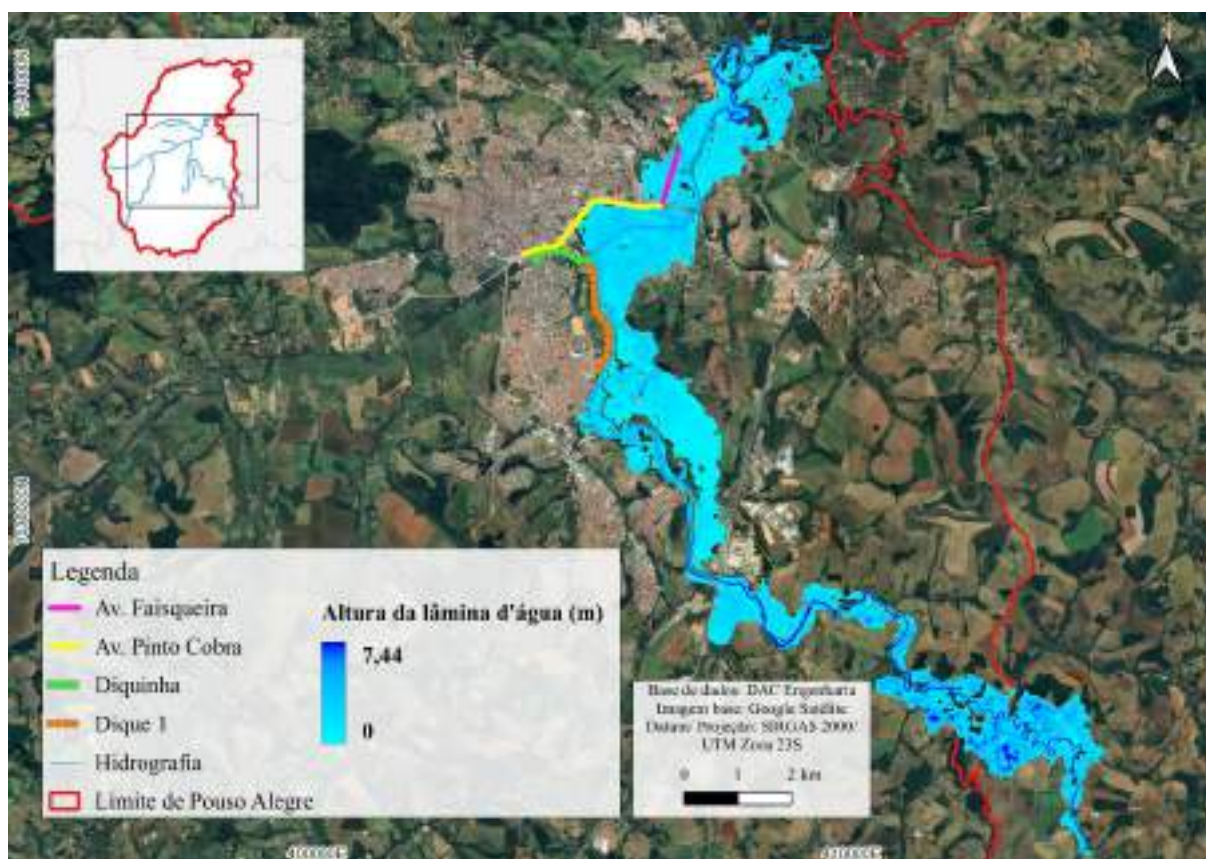


Figura 44 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí-Mirim para o TR 100 anos

2.4.7. Bacia do Rio Sapucaí

As manchas de inundação obtidas das simulações hidráulicas, após sua distinção do processo de alagamento, são apresentadas a seguir, da Figura 45 a Figura 49. O bairro Jardim Solar do Quitas é o único bairro residencial que é o principal atingido pelo processo de inundação do Rio Sapucaí. As outras áreas suscetíveis a inundação se caracteriza por se tratar de locais industriais, os quais devem possuir medidas para lidar com o avanço das cheias dependendo da atividade que exercem, visto que se encontram localizados as margens de um curso hídrico de porte considerável.

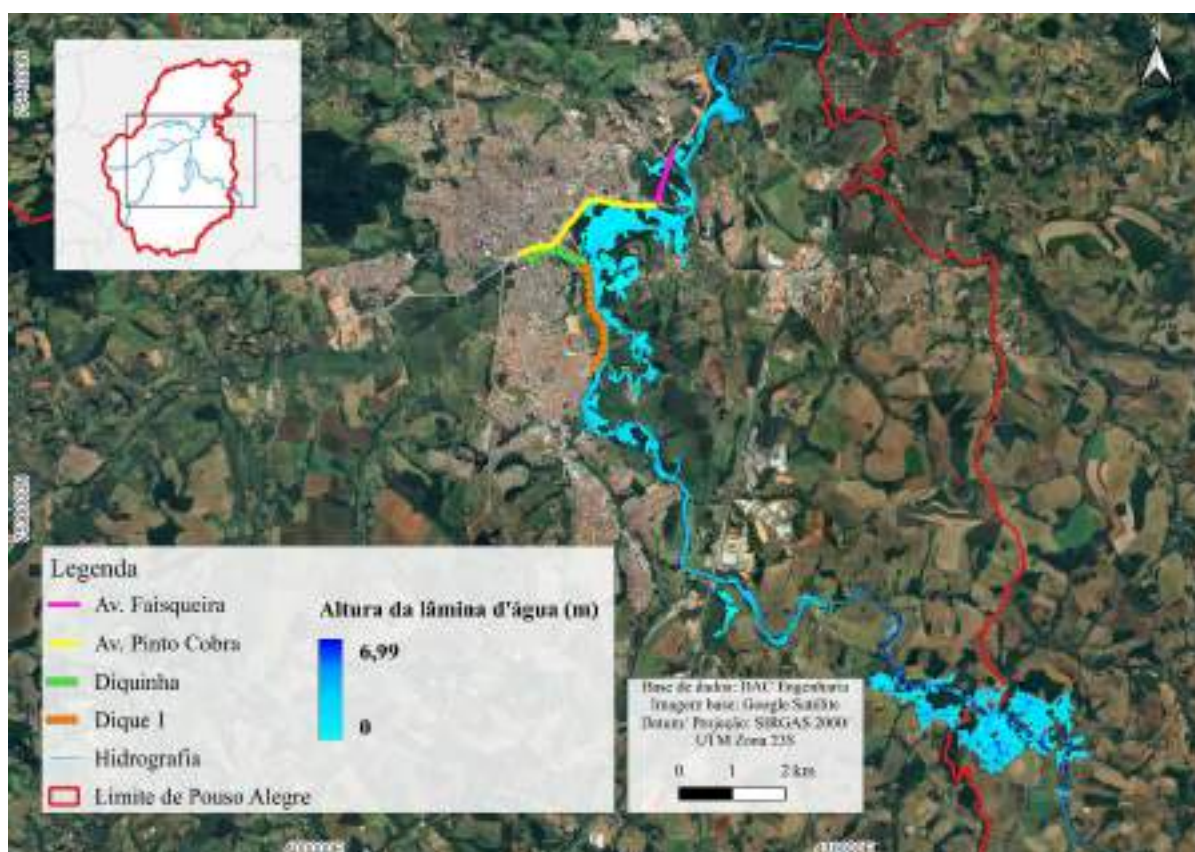


Figura 45 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí para o TR 5 anos

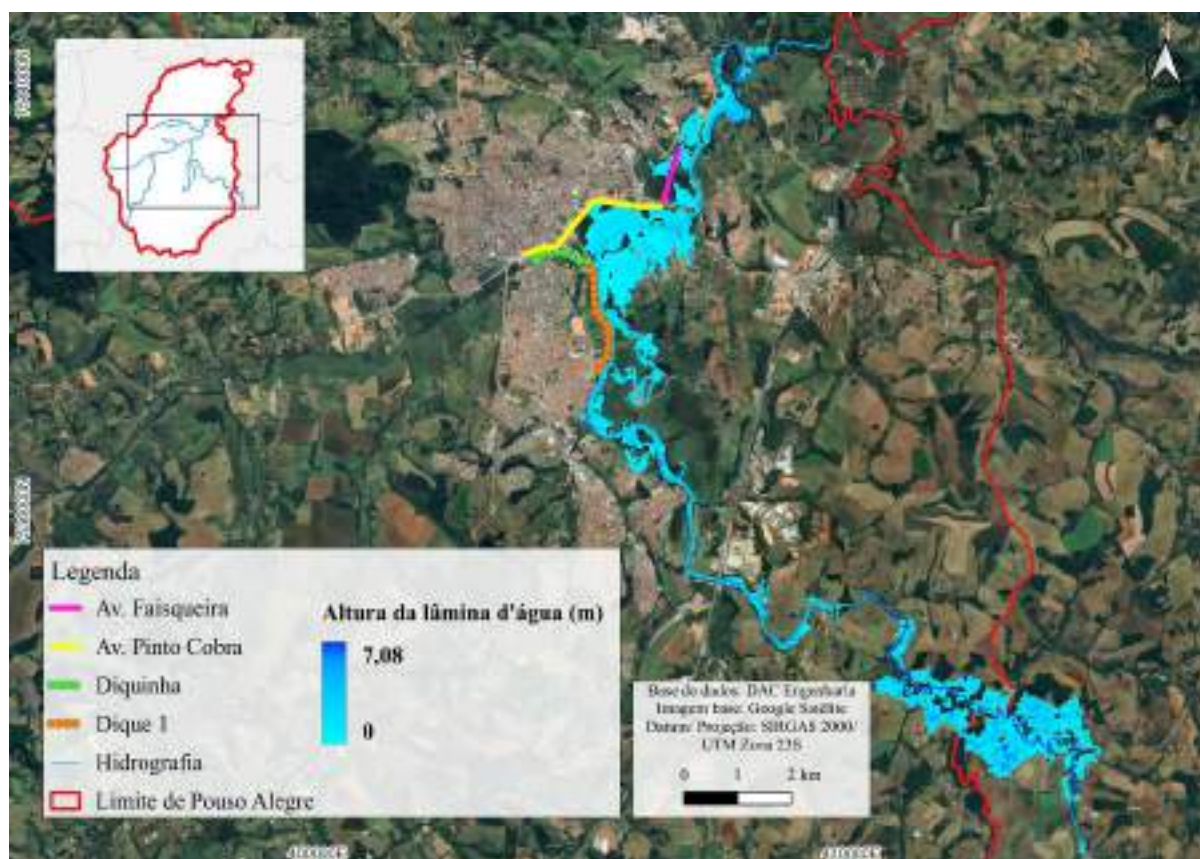


Figura 46 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí para o TR 10 anos

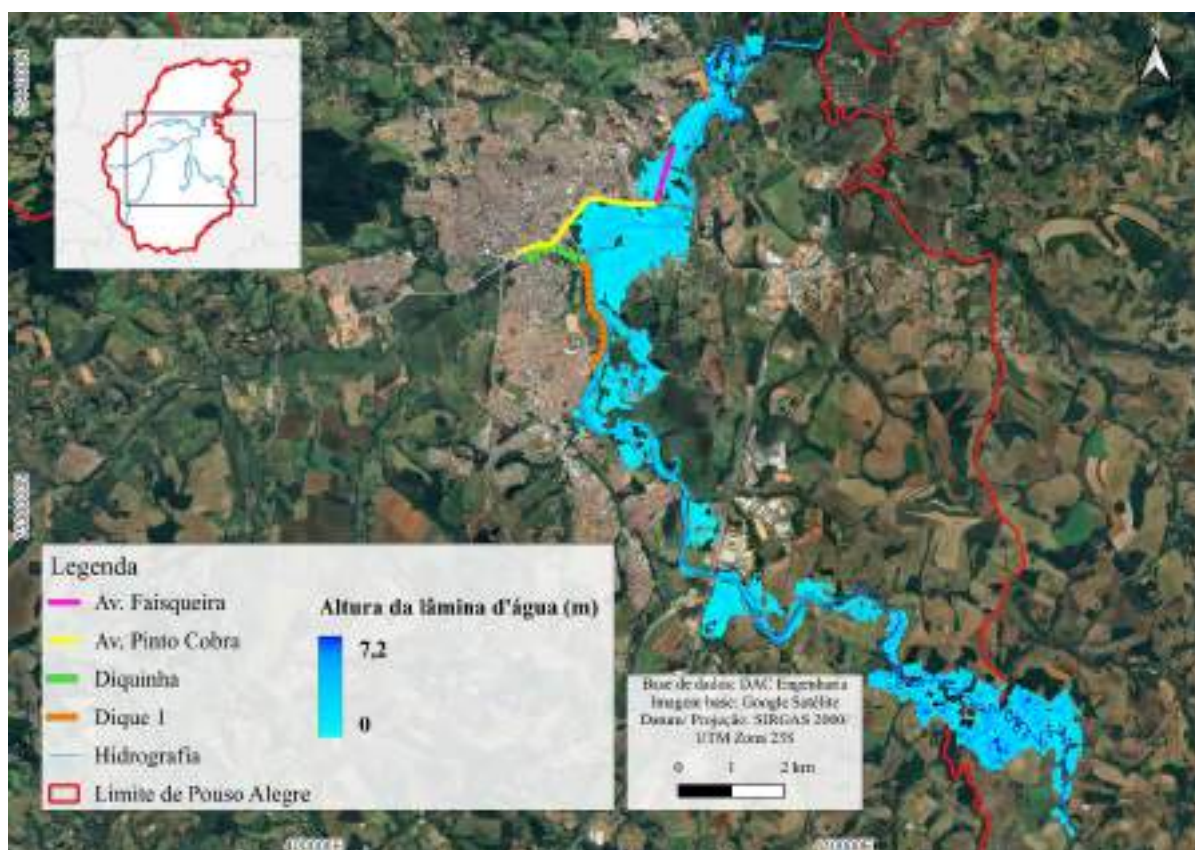


Figura 47 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí para o TR 25 anos

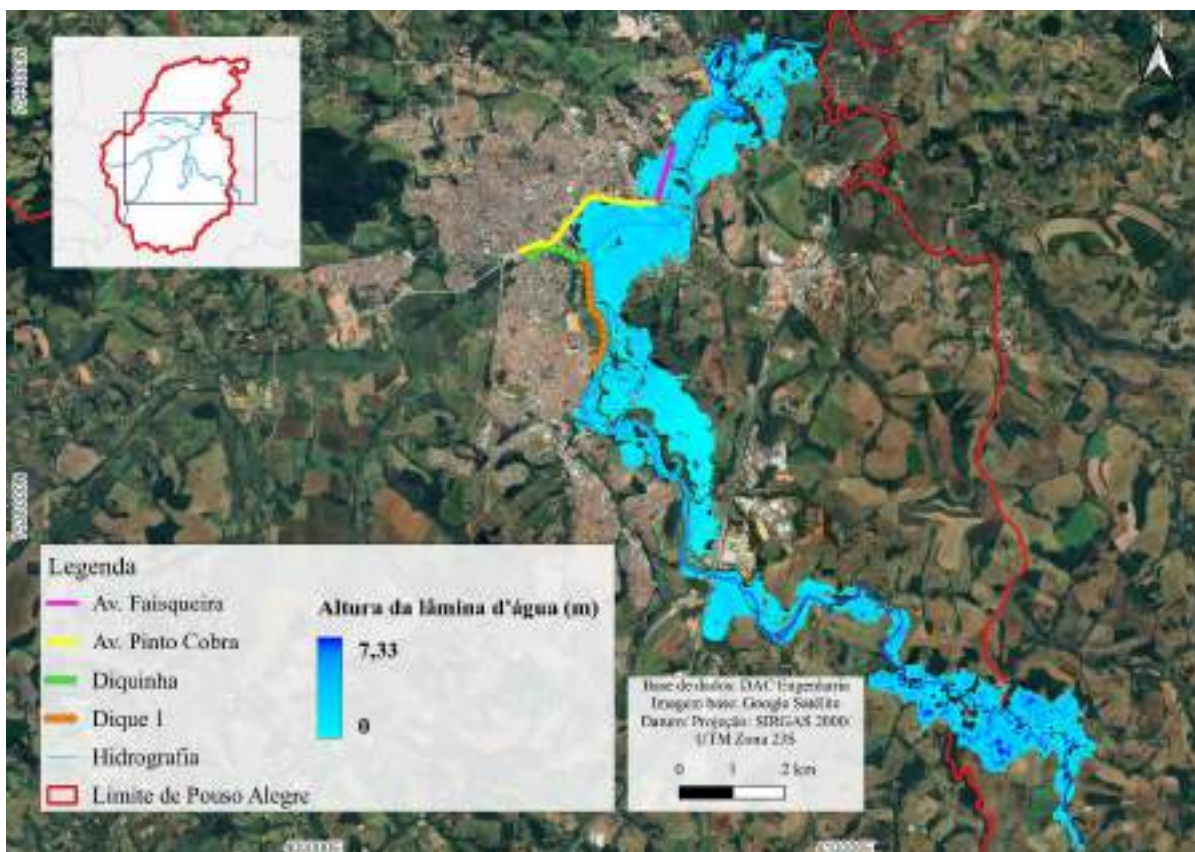


Figura 48 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí para o TR 50 anos

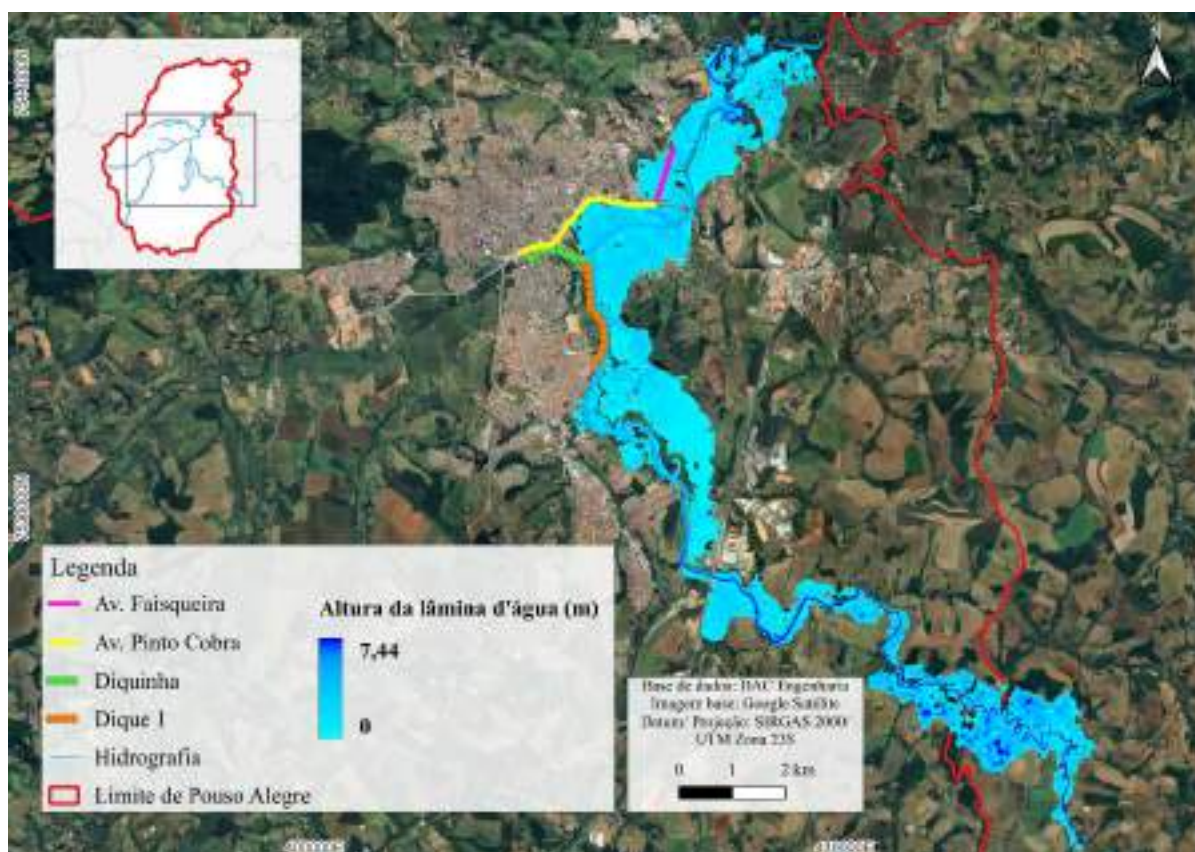


Figura 49 - Mancha de Inundação do Rio Sapucaí para o TR 100 anos

2. CENÁRIOS FUTUROS

É necessário a concepção de um sistema de macrodrenagem que seja apto a lidar com os desafios da gestão das águas pluviais, para que isso seja viabilizado é essencial conduzir estudos que considerem as cheias e orientem a tomada de decisões de forma estratégica. A escolha dos procedimentos adequados só é possível após a análise desses estudos. Assim, o planejamento urbano é elaborado levando em conta o cenário presente e projetando um crescimento sustentável, compatível com as características ambientais e econômicas.

A caracterização inicial do município exigiu a coleta de dados e a obtenção de resultados por meio de análises técnicas e participativas realizadas nos estágios anteriores do processo. As características foram determinadas utilizando modelagens computacionais, que forneceram um panorama detalhado de Pouso Alegre em termos hidrológicos e hidráulicos. Essa base inicial possibilita a projeção de cenários futuros, garantindo a segurança das intervenções planejadas para o horizonte do projeto.

É essencial que o sistema de drenagem e o gerenciamento das águas pluviais no município ocorram de forma apropriada, considerando a ocorrência de eventos extremos e minimizando o impacto sobre a população e os bens públicos e privados. Isso é fundamental para preservar a disponibilidade e a qualidade dos recursos hídricos. Com esses objetivos em mente, e visando a segurança e confiabilidade ao longo do tempo de projeção, o horizonte de projeto foi dividido em intervalos menores de tempo com o propósito de se obter uma análise mais detalhada. O período total foi dividido em quatro cenários: imediato (2028), curto prazo (2033), médio prazo (2037) e longo prazo (2045). Esses períodos serão utilizados para categorizar as medidas de intervenção em ordem de prioridade, e mensurar o crescimento da urbanização no período atendido pelo projeto.

2.1 PROJEÇÃO POPULACIONAL

A estimativa da população para cenários futuros ocorreu de acordo com a metodologia descrita no Capítulo 1 do Produto 4 – Relatório 1 do presente plano. Os dados utilizados como entrada para os cálculos das projeções se referem ao Censo de 2000, 2010 e 2022, executados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Os valores utilizados

são apresentados na Tabela 4 e se referem a população que reside no município de Pouso Alegre.

Tabela 4 – Dados iniciais para projeção populacional

Ano	População
2000 - t_0	106.776 - P_0
2010 - t_1	130.615 - P_1
2022 - t_2	152.217 - P_2

Fonte: IBGE

A análise das projeções foi feita considerando quatro metodologias diferentes de regressão numérica, sendo elas a projeção aritmética, projeção geométrica, taxa decrescente de crescimento e a taxa de crescimento logístico. Dentre as opções de regressão apresentadas, foi determinado quais resultados mais se assemelhavam ao cenário de crescimento populacional de Pouso Alegre. Após todas as considerações necessárias, determinou-se que a projeção aritmética foi escolhida em melhor representar o cenário do município.

O horizonte de projeto considerado nas projeções se refere a um intervalo de 20 anos, tendo que o ano é o de 2025, levando em conta o tempo que será necessário para a implantação das medidas normativas sugeridas. A projeção utilizada para os cálculos, referente a projeção aritmética é apresentada na Figura 50.

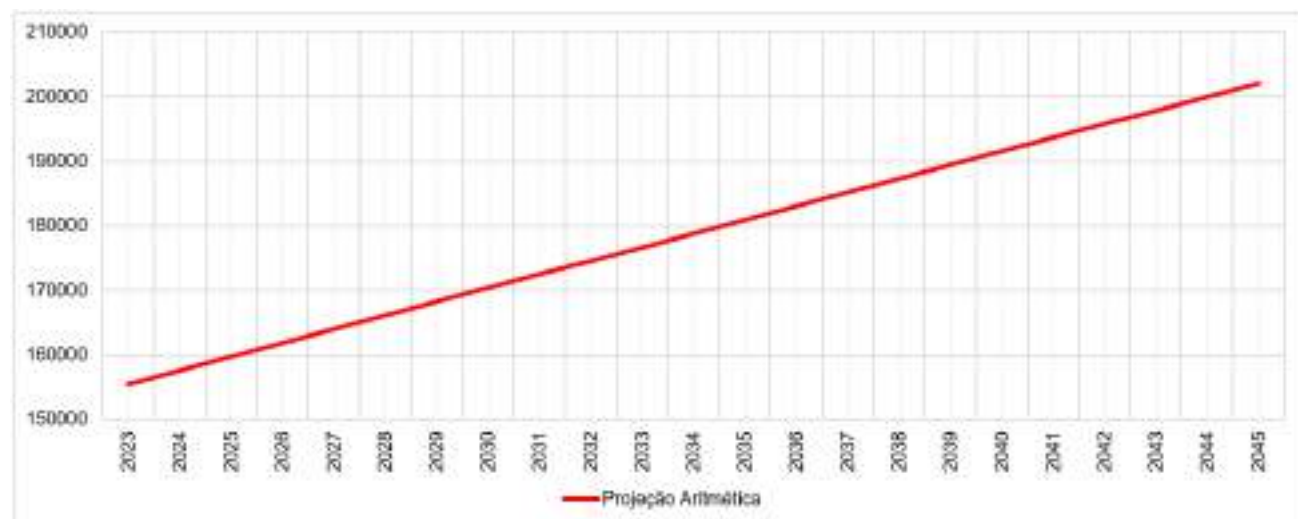


Figura 50 – Projeção aritmética populacional de Pouso Alegre

O número de habitantes, neste estudo, representa a demanda de recursos públicos que deverá ser mobilizada para atender essa população. Logo, dimensionar um cenário pessimista significa que esse cenário possui uma população maior, implicando em um custo maior para operar os mesmos serviços públicos. Os cenários pessimista e otimista são

construídos considerando uma margem de segurança nos cálculos de estimativa, nesse estudo o corpo técnico determinou que a projeção pessimista seria a utilizada, sendo essa composta pelo valor da população projetada pela projeção aritmética acrescido de 5% do montante populacional, como ilustrado na Figura 51.

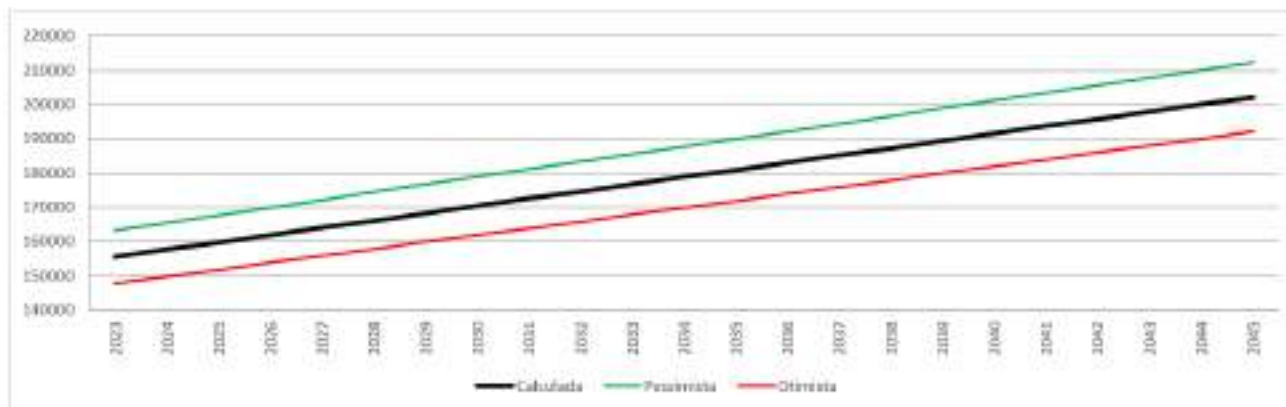


Figura 51 – Cenários construídos para projeção populacional de Pouso Alegre

2.2 PROJEÇÃO TERRITORIAL

Assim como foi necessário estimar o crescimento populacional do município, também é preciso estimar a expansão do território urbano, de modo a determinar o aumento de área impermeabilizada no perímetro do município. O processo de projeção da mancha urbana foi realizado utilizando a metodologia apresentada no Capítulo 1 do Produto 4 – Relatório 1 do presente produto. Visto que todo os dados coletados e gerados até agora retratavam a caracterização do cenário atual do município (referente a 2023).

Com base em todos os dados que foram levantados e calculados durante as etapas anteriores do projeto, a respeito do cenário atual, fez-se necessário a interpolação desses dados. A projeção desses dados se fez de modo que se obteve análises consistentes que possam ser usadas na construção dos cenários futuros (2028, 2033, 2037 e 2045). Os valores finais obtidos de área urbana expandida são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Projeção territorial para os anos do horizonte de projeto

Ano	Área de expansão (km²)
2028	1,11
2033	2,25
2037	3,19
2045	5,11

O passo inicial para elaboração dos cenários foi a expansão para o último ano do projeto, sendo neste caso 2045, tendo como diretriz os vetores de crescimento identificados a partir das evoluções regressas do crescimento anterior do município (Figura 52). Para obter a representação espacial do cenário de expansão teve-se como referência a área urbana atual, já concretizada. A expansão foi segmentada considerando o crescimento espacial em cada uma das bacias, e discretizando o crescimento em cada um dos prazos estabelecidos tomando como ponto final o valor de 2045 (Tabela 6). Obtendo assim a representação espacial da evolução do crescimento da mancha urbana.

Em função disso, foi gerado o mapa de evolução das áreas artificiais de Pouso Alegre para os cenários projetados dentro do horizonte de projeto, mostrado na Figura 52. Essas informações possibilitam que os cenários futuros sejam previstos para que se consiga estimar o comportamento dos cenários perante a eventos pluviométricos extremos. Seja alteração nos hidrogramas de cada bacias ou a alteração do espalhamento das manchas de inundação nas áreas de interesse.

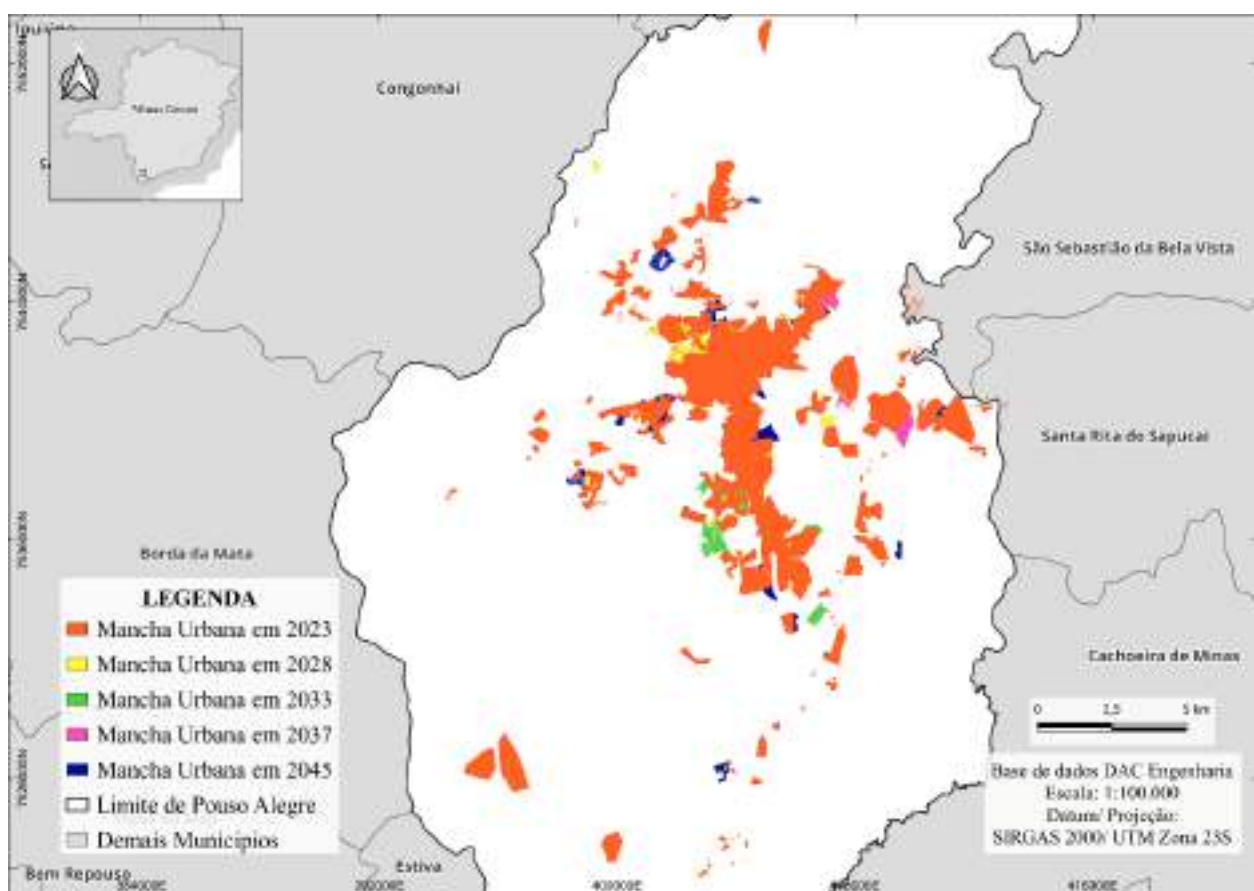


Figura 52 – Cenário de expansão para Pouso Alegre para os anos de projeção

Tabela 6 – Crescimento da área das bacias de Pouso Alegre para o ano de 2045, em porcentagem

Bacia	Crescimento (%)
BH Córrego São Cristóvão	1,06
BH Córrego São Judas Tadeu	0,05
BH Córrego da Remonta	0,27
BH Córrego do Patinho	6,41
BH Ribeirão das Mortes	0,72
BH Ribeirão Pantano	0,14
BH Rio Mandu	1,7
BH Rio Sapucaí-Mirim	3,79
BH Rio Sapucaí	5,09

2.3 MODELAGEM HIDROLÓGICA PARA CENÁRIOS FUTUROS

A caracterização hidrológica dos aspectos das bacias estudadas e dos processos hidrológicos específicos de cada bacia se mostra como uma tarefa desafiadora, entretanto essas informações são imprescindíveis para construção do cenário técnico próximo a realidade das áreas de estudo. Nesta etapa do projeto, os parâmetros levantados serão o respaldo técnico necessário para construção das estratégias para gerir as bacias hidrográficas presentes no território municipal. O conhecimento do sistema hidrológico possibilita a modelagem computacional de cenários futuros, de modo que seja possível a compreensão do comportamento hidrológico que afetam diretamente a área urbana de Pouso Alegre.

Sendo assim, os dados pluviométricos identificados foram utilizados como entrada de um modelo de chuva-vazão, de modo que se obtivesse as vazões a montante do município. Tendo como objetivo a construção de um modelo que avalie os aspectos hidrológicos e possibilitem a construção de uma previsão da reação do sistema diante a eventos de precipitação e viabilizando a construção de um sistema de monitoramento e alerta de eventos de perigo, possibilitando a gestão da drenagem no município, prevendo a resposta hidrológica perante a eventos extremos. Dado isso, os dados obtidos foram utilizados como informação de entradas para as simulações hidrológicas realizadas no software HEC-HMS.

A mesma metodologia aplicada no Produto 4 – Relatório 1, foi utilizada para se obter as vazões que propagam nas bacias em determinado período e determinado volume de precipitação. No mesmo contexto, optou-se pelo método do Serviço de Conservação do Solo

(SCS) para calcular a chuva efetiva, baseando-se na teoria do Hidrograma Unitário. Nesse processo, inicialmente, determina-se o volume proveniente da precipitação que entrará na bacia e escoará superficialmente. Tal cálculo é realizado por meio da aplicação do balanço hídrico, utilizando-se como referências o índice CN e a taxa de impermeabilidade. Como resultado, são obtidos o hidrograma de projeto, a fração do escoamento superficial e a parcela destinada à infiltração e perdas iniciais.

O processo foi realizado nas 9 bacias de contribuição que são consideradas neste estudo, considerando sua relevância e influência no município, sendo elas Córrego São Cristóvão, Córrego São Judas Tadeu, Córrego da Remonta, Córrego do Patinho Ribeirão das Mortes, Ribeirão Pantano, Rio Mandu, Rio Sapucaí-Mirim e Rio Sapucaí. Os dados do cenário atual foram apresentados no prognóstico, contido no produto anterior.

O curve-number ou CN é utilizado na metodologia como um parâmetro adimensional que quantifica o percentual de infiltração, ou seja, qual porção do volume de precipitação vira escoamento superficial. Logo, a mensuração do CN está relacionada ao uso e ocupação do território e condição hidrológica pré-determinada do solo. Outro parâmetro a ser considerado no processo de escoamento superficial é a porcentagem de impermeabilização da área de estudo, dado que todas as bacias possuem pelo menos o grau mínimo de urbanização, sendo assim para o cenário atual considerou uma porcentagem de 0,5% de impermeabilização para todas as bacias.

Considerando que esses parâmetros citados anteriormente são os primordiais para a determinação do escoamento, e que os demais dados da bacia permanecem iguais no decorrer dos anos, o CN e a impermeabilização são os únicos que se alteram com o passar dos anos, dado que a expansão urbana modifica a ocupação da área urbana. O que implica numa mudança do quantitativo do escoamento superficial e escoamento de base. Dado isso, esses parâmetros foram redimensionados de modo que seja possível simular os cenários futuros de ocupação projetados no item anterior.

A área determinada na projeção territorial para o ano de 2045, indica que em todas as bacias dentro do território urbano de Pouso Alegre tiveram sua ocupação expandida, como mostrado na Tabela 6. Com isso, foram simuladas as novas manchas considerando os cenários de expansão e o fator de segurança para os cenários futuros. Os valores calculados de CN e impermeabilidade para os cenários futuros são apresentados nas Tabela 7 e Tabela 8.

As simulações consistiram na alteração da impermeabilização e do CN nas sub bacias em cada um dos cenários (conforme valores apresentados na Tabela 7 e Tabela 8), portanto foram modelados somente os cenários em que uma dessas variáveis era alterada, conforme a Tabela 9.

Importante ressaltar que para as bacias em que as alterações estagnaram em anos de projeção intermediários (antes de 2045) foram consideradas como o cenário final de projeção (como é o caso do córrego São Judas Tadeu, por exemplo, que as alterações acontecem somente até o ano de 2028, portanto a situação dessa projeção será considerada para os cenários de 2033, 2037 e 2045).

Tabela 7 – Valores de CN para cenários futuros de urbanização de Pouso Alegre

Bacias	CN 2025	CN 2028	CN 2033	CN 2037	CN 2045
BH Córrego São Cristóvão	69	69	69	69	69
BH Córrego São Judas Tadeu	57	64	64	64	64
BH Córrego da Remonta	69	70	70	70	70
BH Córrego do Patinho	64	64	65	65	65
BH Ribeirão das Mortes	65	70	70	70	70
BH Ribeirão Pantano	61	66	66	66	67
BH Rio Mandu	61	69	69	69	69
BH Rio Sapucaí-Mirim	62	68	68	68	69
BH Rio Sapucaí	57	68	68	68	68

Tabela 8 – Porcentagens de impermeabilização para cenários futuros de Pouso Alegre

Bacias	Sub-bacia	2025	2028	2033	2037	2045
BH Córrego do Patinho	SUB 1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	SUB 2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,9
	SUB 3	0,5	0,5	15,7	15,7	15,7
BH Rio Mandu	SUB 2	0,5	0,5	0,5	0,5	2,8
	SUB 3	0,5	0,6	1,2	1,2	3,2
	SUB 6	0,5	2,1	2,1	2,6	29,1
BH Rio Sapucaí-Mirim	SUB 1	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8
	SUB 2	0,5	2,4	2,4	2,4	3,4
	SUB 3	0,5	0,6	2,2	2,2	3,2
	SUB 4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6
BH Rio Sapucaí	SUB 1	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6

Tabela 9 – Simulações realizadas em cada um dos cenários

Bacias	Simulações
BH Córrego São Cristóvão	1 simulação (2025)
BH Córrego São Judas Tadeu	2 simulações (2025 e 2028)
BH Córrego da Remonta	2 simulações (2025 e 2045)
BH Córrego do Patinho	3 simulações (2025, 2033 e 2045)
BH Ribeirão das Mortes	2 simulações (2025 e 2028)
BH Ribeirão Pantano	3 simulações (2025, 2028 e 2033)
BH Rio Mandu	5 simulações (2025, 2028, 2033, 2037 e 2045)
BH Rio Sapucaí-Mirim	4 simulações (2025, 2028, 2033 e 2045)
BH Rio Sapucaí	3 simulações (2025, 2028 e 2033)

2.3.1 Bacia Córrego São Cristóvão

O Córrego São Cristóvão não apresentou variação em seu coeficiente de escoamento superficial (CN), registrando uma alteração mínima de apenas 1,06% no nível de impermeabilização da área de drenagem. Essa variação discreta resultou em simulações que não demonstraram mudanças significativas no comportamento hidrológico do córrego. No entanto, mesmo com essa leve variação, foi possível observar um aumento notável nos picos de vazão, com elevação de aproximadamente 2 m³/s para todos os Tempos de Retorno analisados. Isso indica que, apesar da alteração sutil na área urbanizada, há uma resposta perceptível nos picos de escoamento. Segue abaixo os hidrogramas plotados para a bacia (Figura 53 a Figura 57).

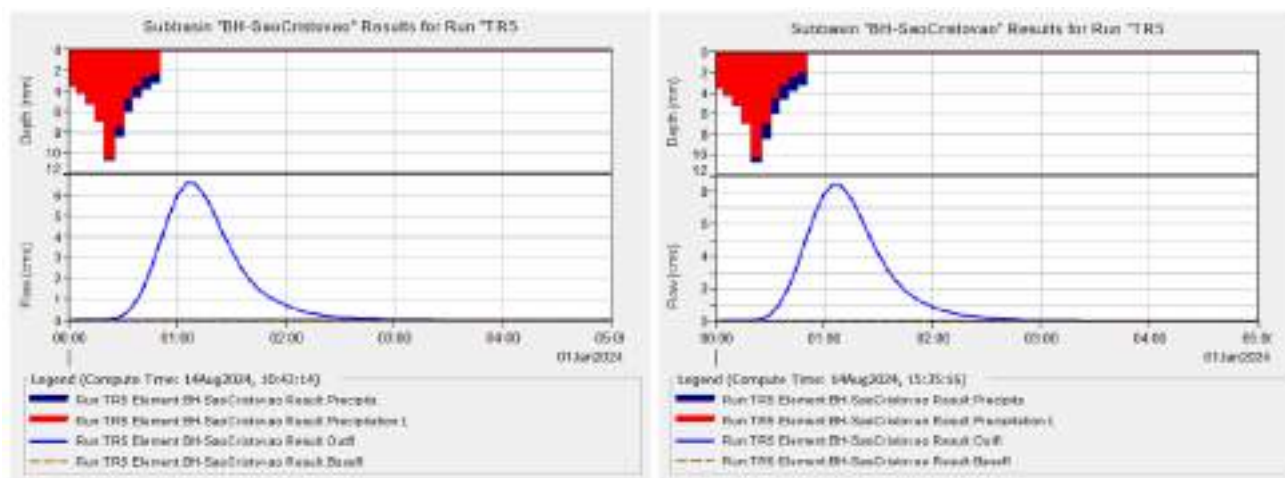


Figura 53 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 5 anos para bacia do Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

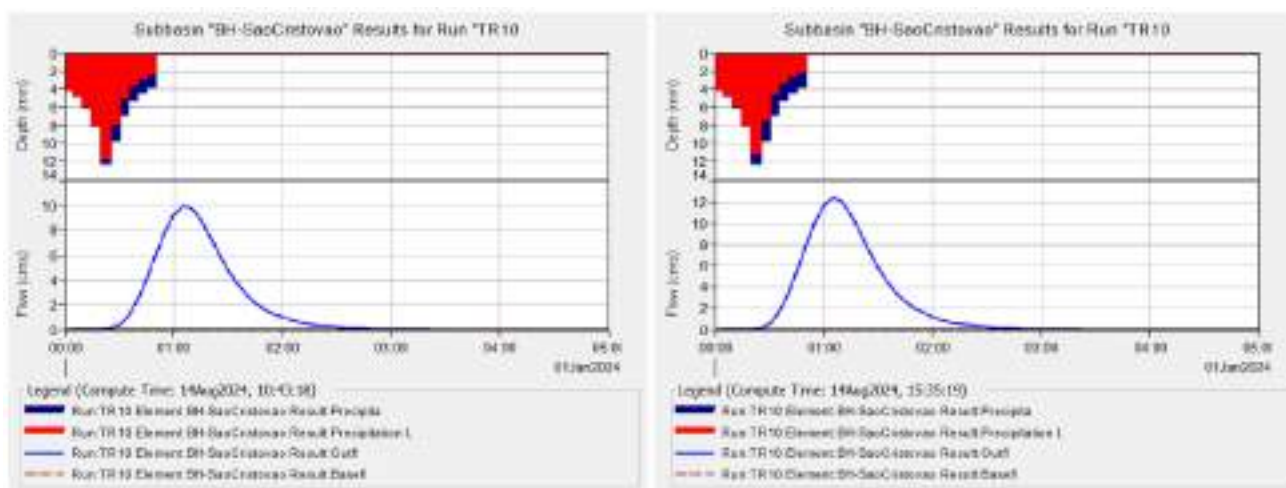


Figura 54 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 10 anos para bacia do Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

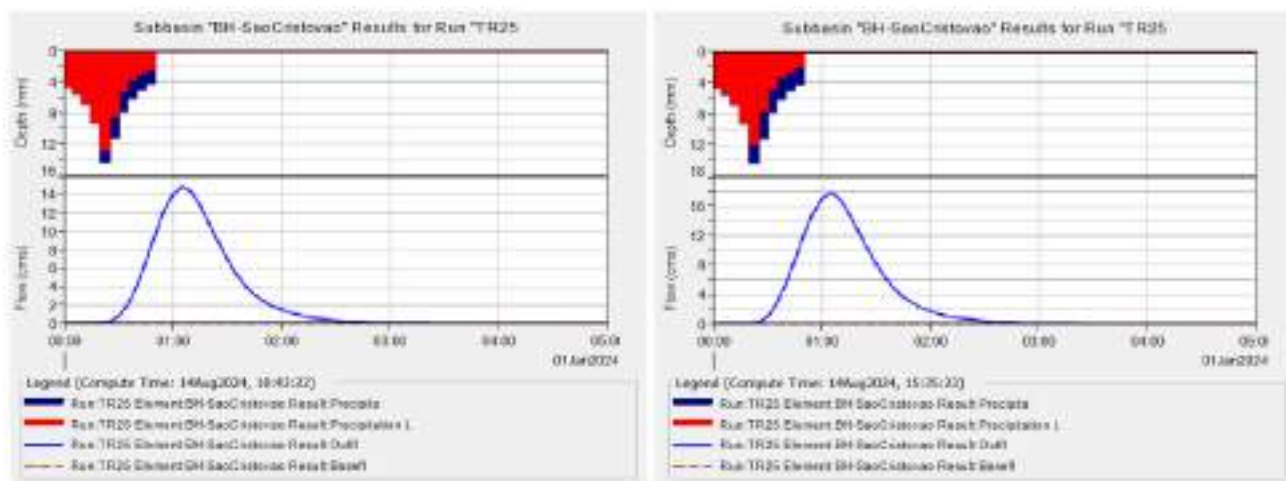


Figura 55 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 25 anos para bacia do Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

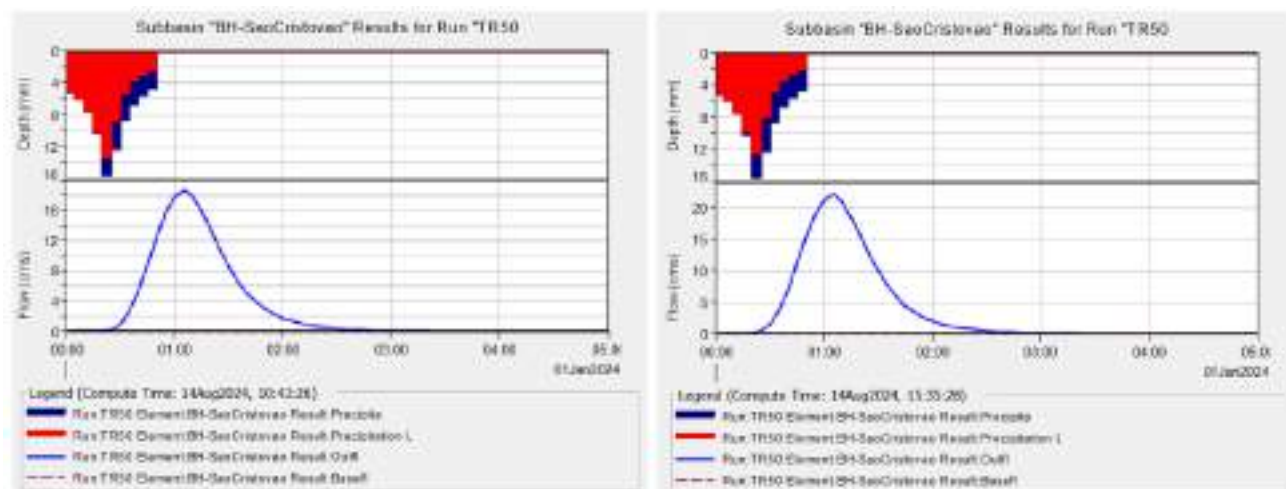


Figura 56 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 50 anos para bacia do Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

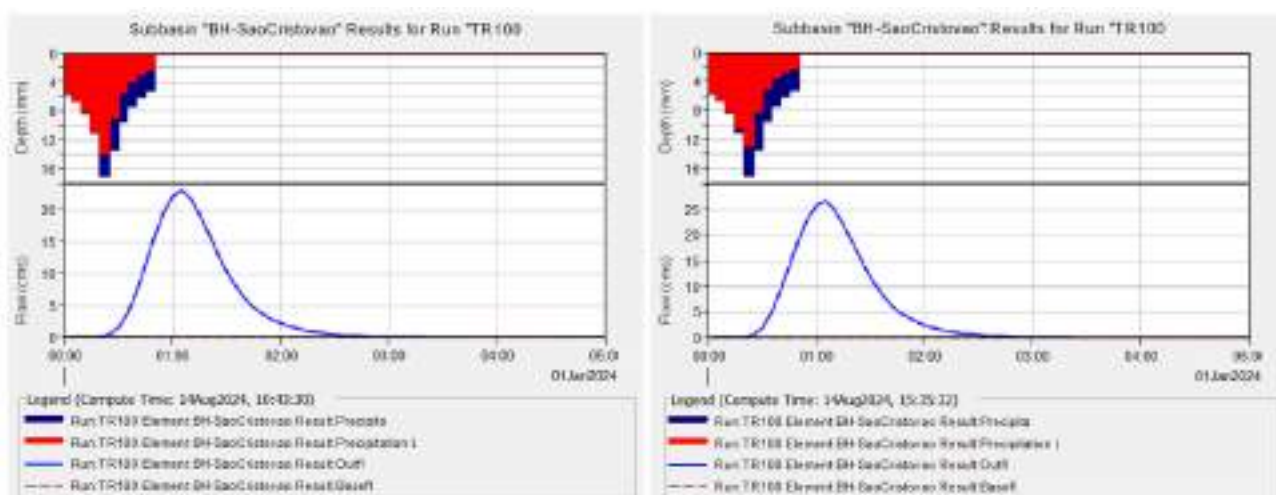


Figura 57 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR100 anos para bacia do Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

2.3.1 Bacia Córrego São Judas Tadeu

As avaliações foram conduzidas com base nos anos de início e término do período de projeto, o que significa que os cenários de comparação abrangem os anos de 2025 e 2045 (aqui sendo mantido igual ao ano de 2028). Em relação ao Córrego São Judas Tadeu, a única modificação observada foi no valor de CN, no qual ocorreu um acréscimo de 7 unidades, já sendo visto em curto prazo em 2028 e permanecendo o mesmo até o fim do horizonte de projeto. Os resultados dos cenários de expansão, levando em conta o novo valor de CN, estão apresentados nas Figura 58 a Figura 62. Importa ressaltar que a alteração no CN foi aplicada exclusivamente à área de estudo da bacia, e que essa elevação representa uma modificação relevante na área urbanizada nessa bacia.

Os hidrogramas demonstram um aumento proporcional ao incremento do valor de CN. Em 2025, o valor da vazão num TR de 5 anos é de 3,0 m³/s, enquanto no cenário de 2045 atinge 5,4 m³/s. No caso do tempo de recorrência de 100 anos, a vazão é de 12,5 m³/s em 2025, enquanto em 2045 esse valor sobe para 20,1 m³/s. Os resultados são coerentes com a expansão esperada no cenário futuro estipulado.

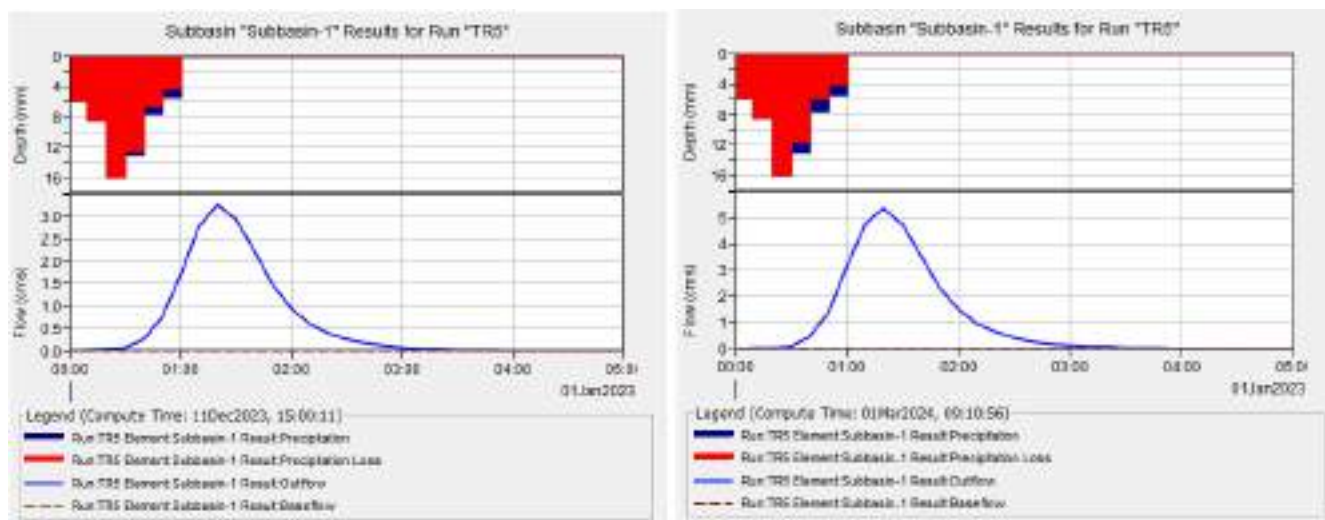


Figura 58 – Hidrograma de projeto pro TR 5 anos para bacia do Córrego São Judas Tadeu nos anos de 2025 e 2045, respectivamente

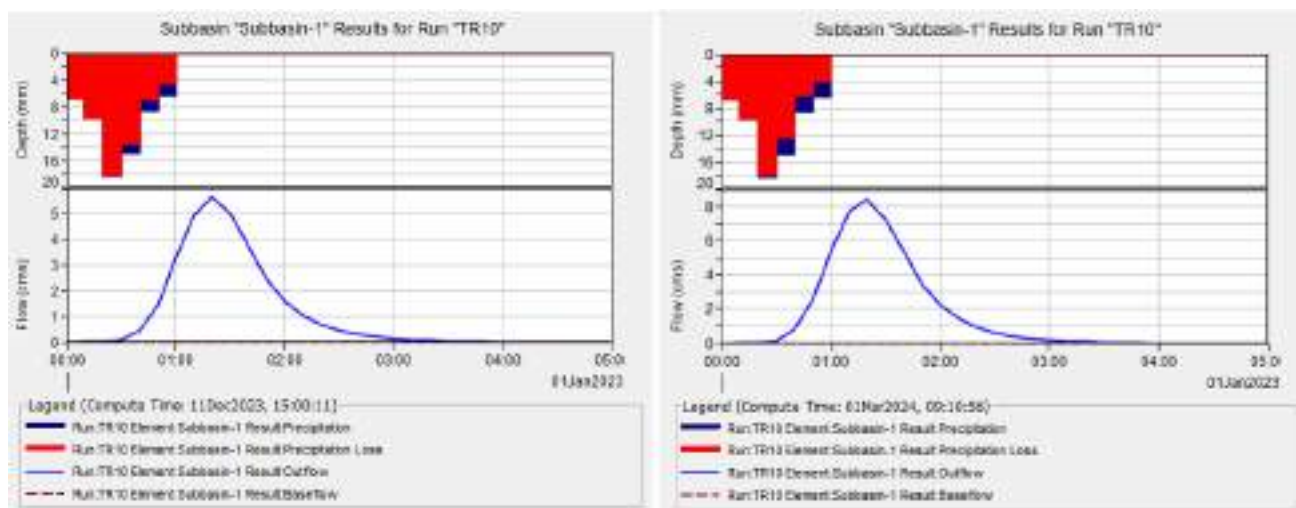


Figura 59 - Hidrograma de projeto pro TR 10 anos para bacia do Córrego São Judas Tadeu nos anos de 2025 e 2045, respectivamente

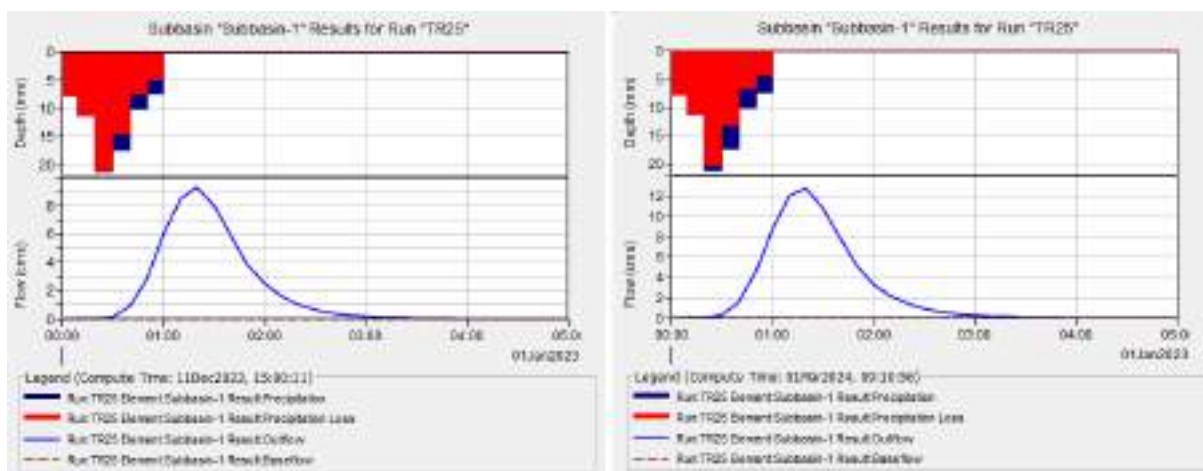


Figura 60 - Hidrograma de projeto pro TR 25 anos para bacia do Córrego São Judas Tadeu nos anos de 2025 e 2045, respectivamente

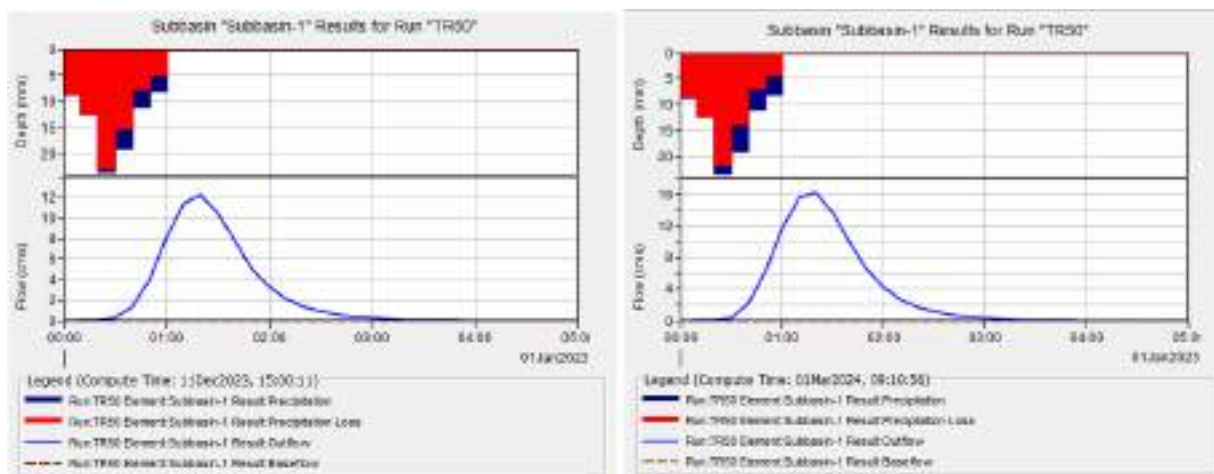


Figura 61 - Hidrograma de projeto pro TR 50 anos para bacia do Córrego São Judas Tadeu nos anos de 2025 e 2045, respectivamente

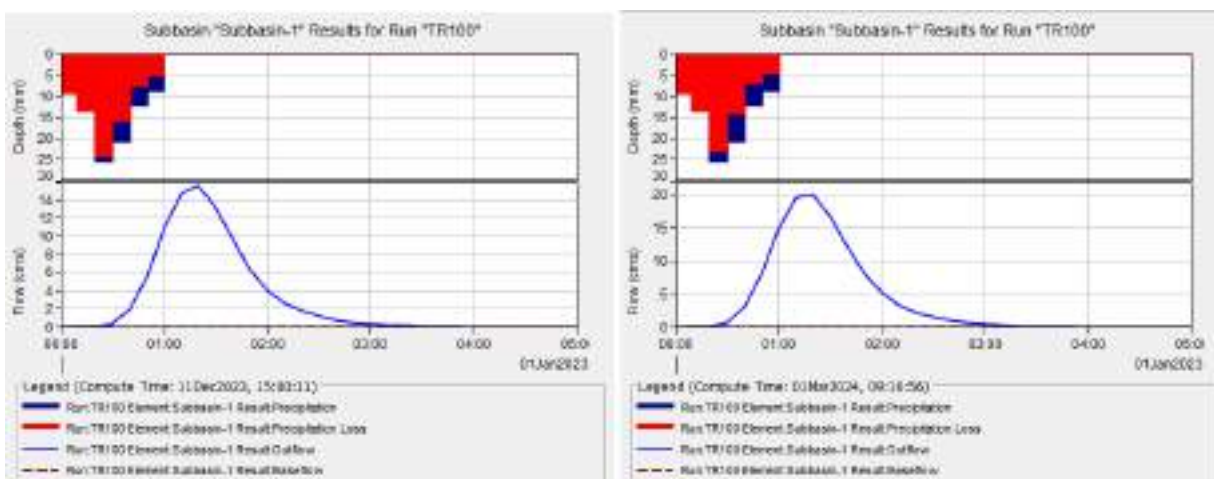


Figura 62 - Hidrograma de projeto pro TR 100 anos para bacia do Córrego São Judas Tadeu nos anos de 2025 e 2045, respectivamente

2.3.1 Bacia Córrego da Remonta

No caso do Córrego da Remonta a única alteração ocorreu no valor de CN, no qual houve um incremento de 1 unidade, mantendo-se o mesmo em todo os anos. Os resultados obtidos para os cenários de expansão, considerando o novo CN, são apresentados nas Figura 63 a Figura 67. É relevante ressaltar que a alteração de CN foi manifestada apenas na área de análise da bacia.

Os hidrogramas ilustram um aumento coerente do valor de CN. No ano de 2025 é obtido um valor de 15,3 m³/s para o TR 5 anos enquanto no cenário de 2045 chega-se a um valor de 16,8 m³/s. No tempo de recorrência de 100 anos, tem-se uma vazão de 50,9 m³/s quando se refere ao ano de 2025, já no ano de 2045 esse valor chega a 53,7 m³/s.

Resultados que apontam que apesar do aumento sutil no parâmetro, há uma mudança considerável nos valores de vazão nos diferentes TRs.

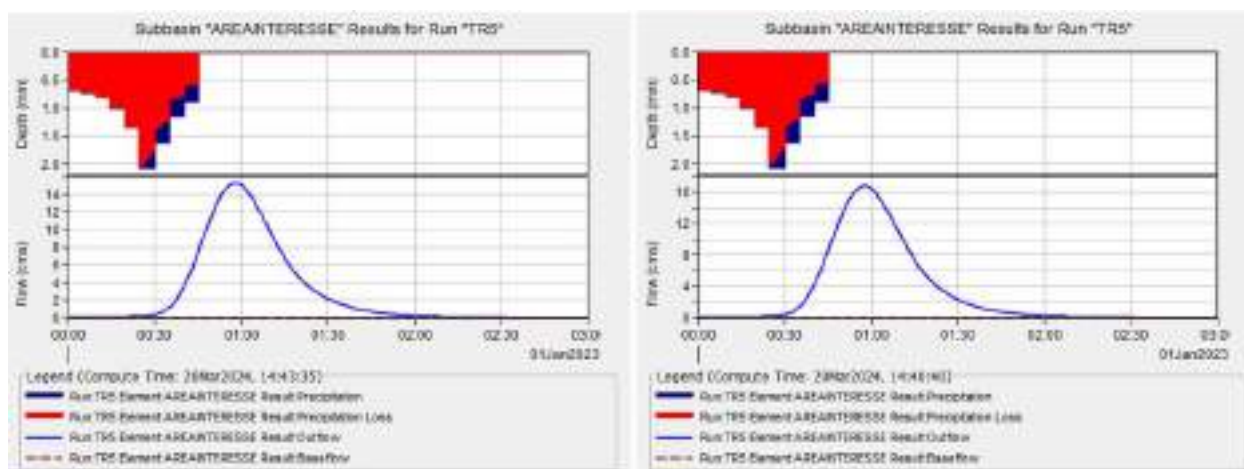


Figura 63 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 5 anos para bacia do Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

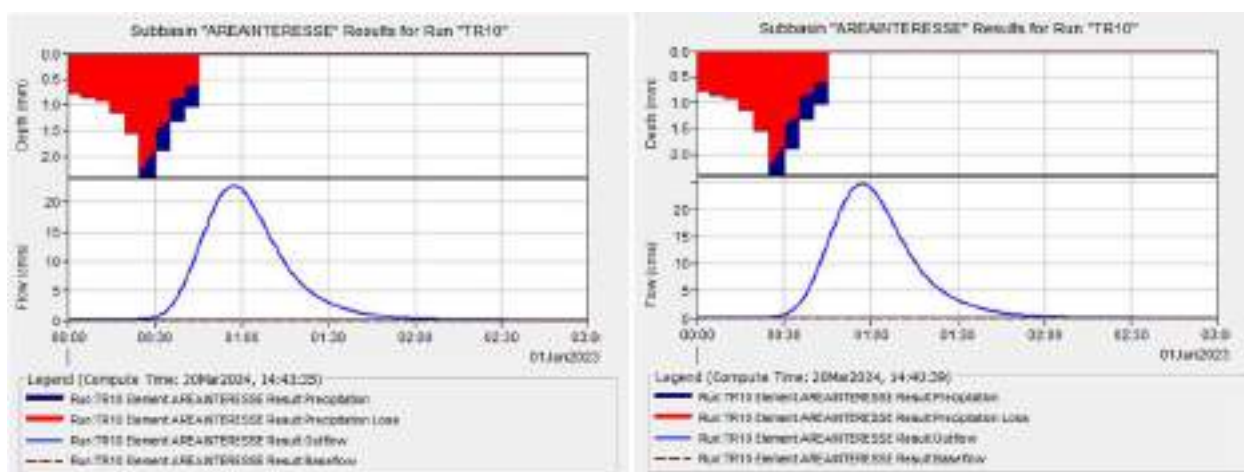


Figura 64 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 10 anos para bacia do Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

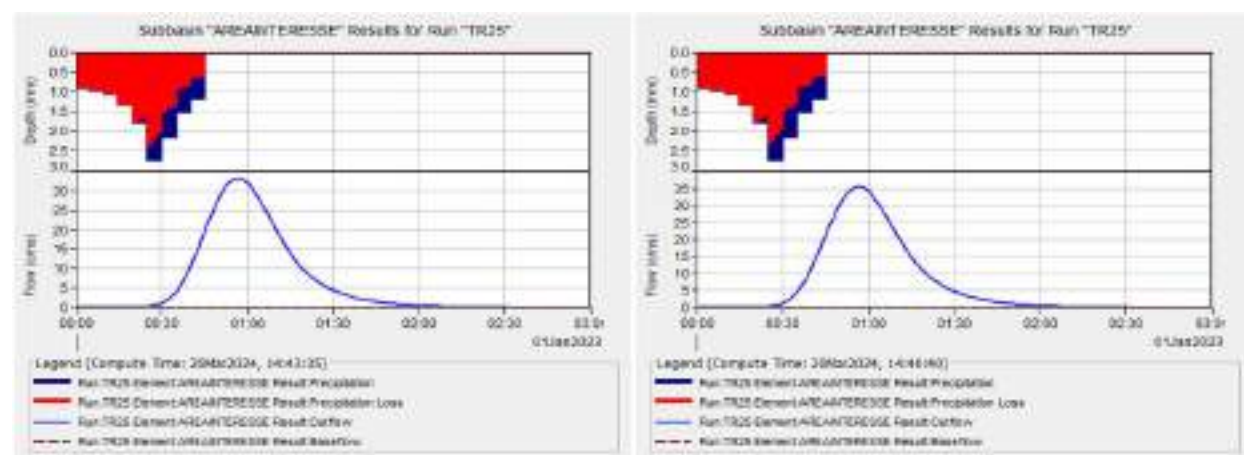


Figura 65 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 25 anos para bacia do Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

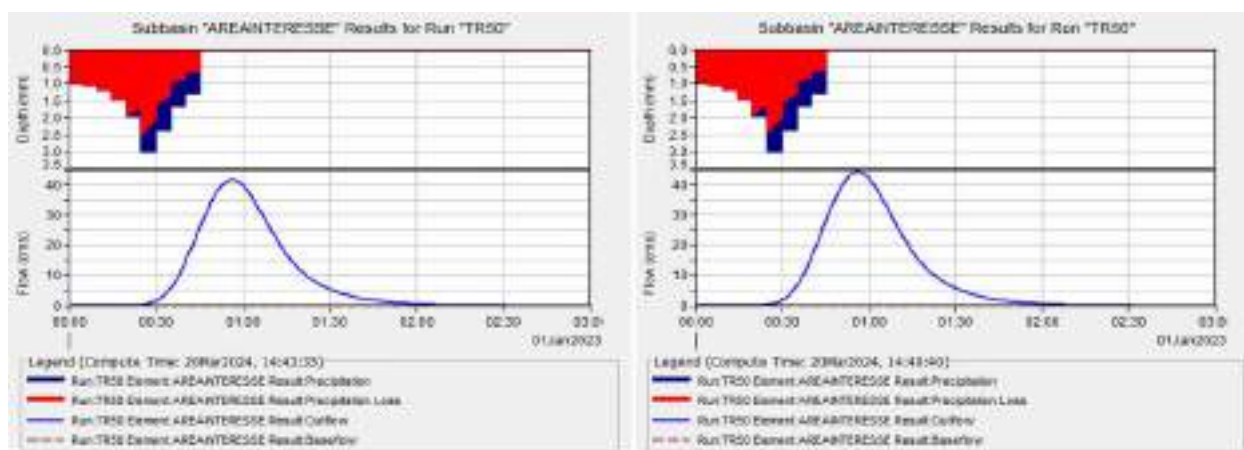


Figura 66 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 50 anos para bacia do Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

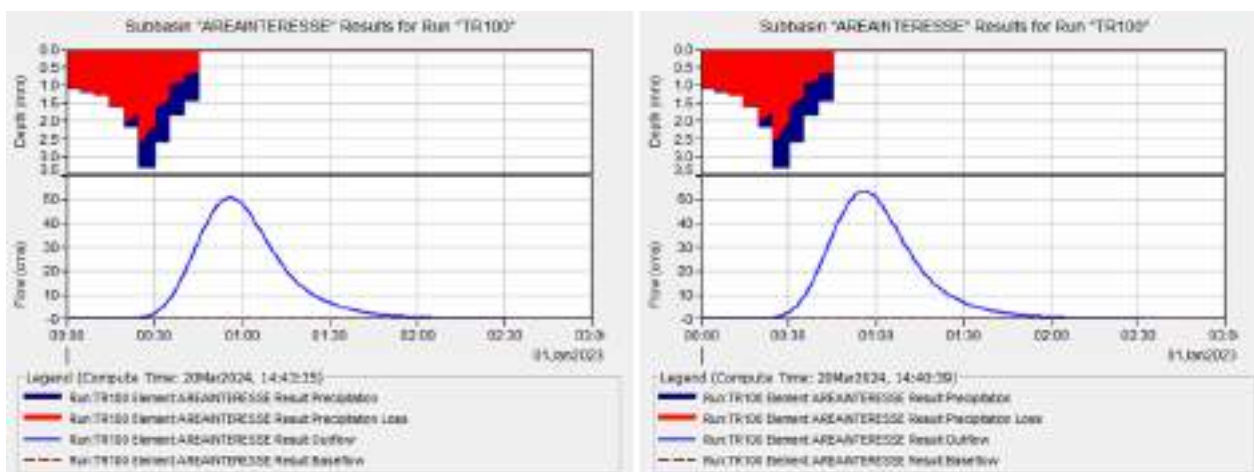


Figura 67 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 100 anos para bacia do Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

2.3.2 Bacia Córrego do Patinho

As análises foram realizadas considerando os anos de início e fim do horizonte de projeto, sendo assim, os cenários de comparação se referem a 2025 e 2045. Na BH do Córrego do Patinho ficou evidente o impacto da impermeabilização causada pela urbanização estipulada, visto que a precipitação que escoar (parte azul do hietograma) aumentou significativamente. Isso se dá pelo aumento do CN na projeção de 2033 e da impermeabilização das sub-bacias da mesma projeção. Além disso, há um grande aumento do pico de vazão que passou de aproximadamente 4 m³/s para mais de 10 m³/s para o TR de 5 anos, mantendo o mesmo padrão de aumento nos outros TRs. As Figura 68 até Figura 72 apresentam os hidrogramas.

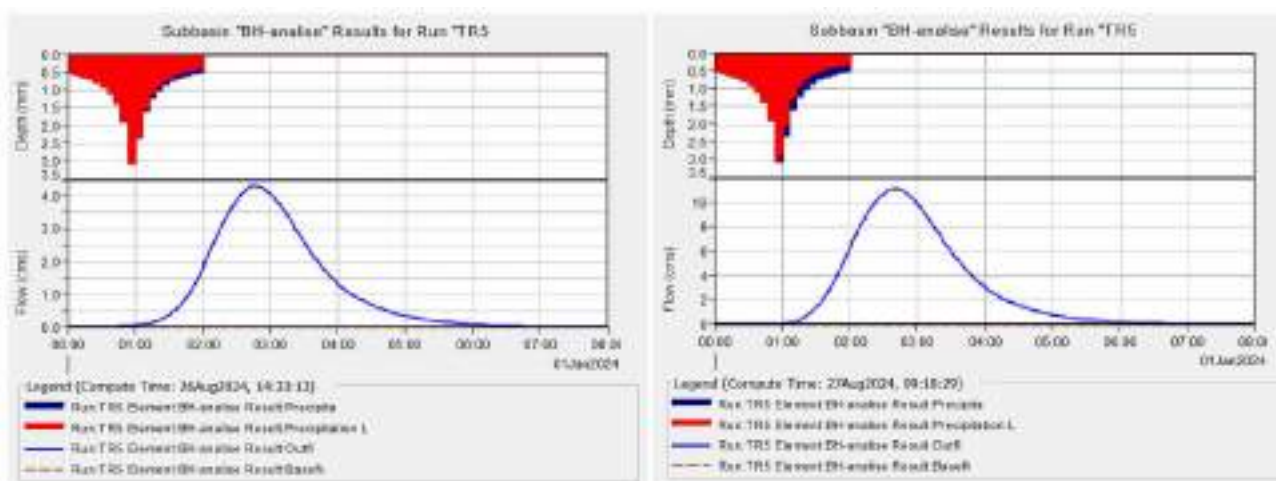


Figura 68 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 5 anos para bacia do Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

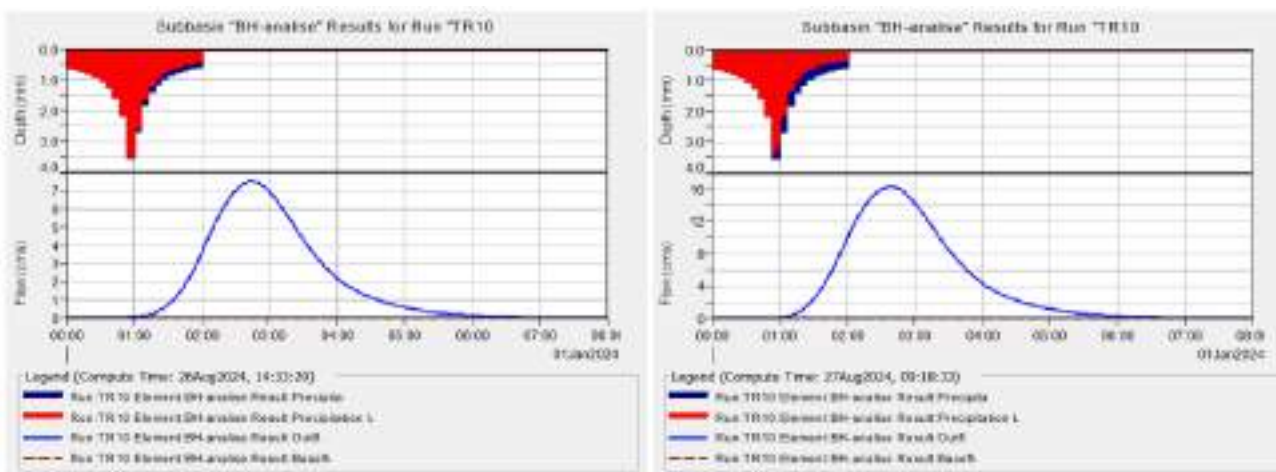


Figura 69 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 10 anos para bacia do Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

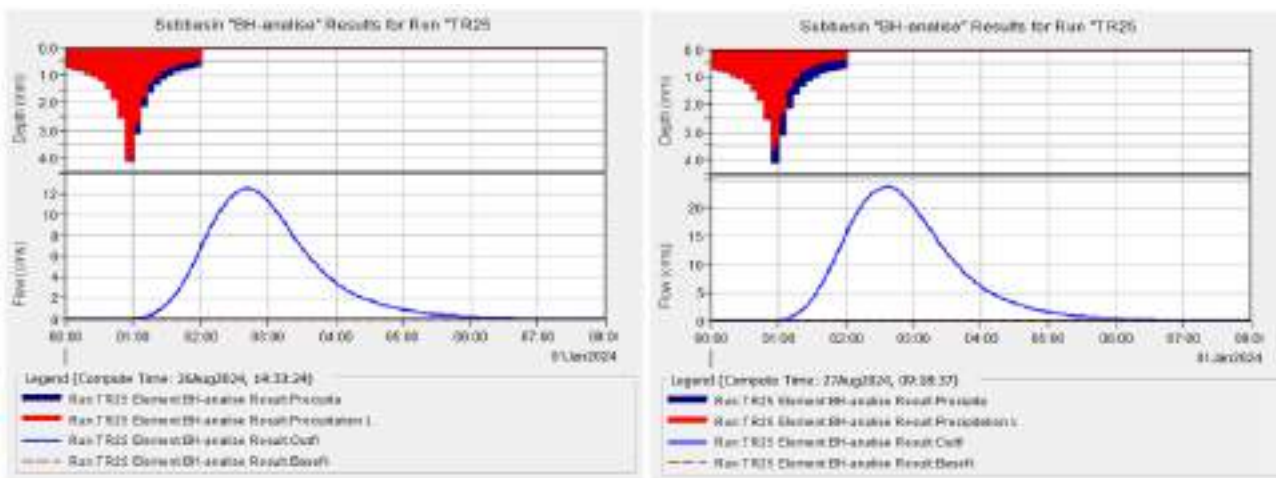


Figura 70 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 25 anos para bacia do Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

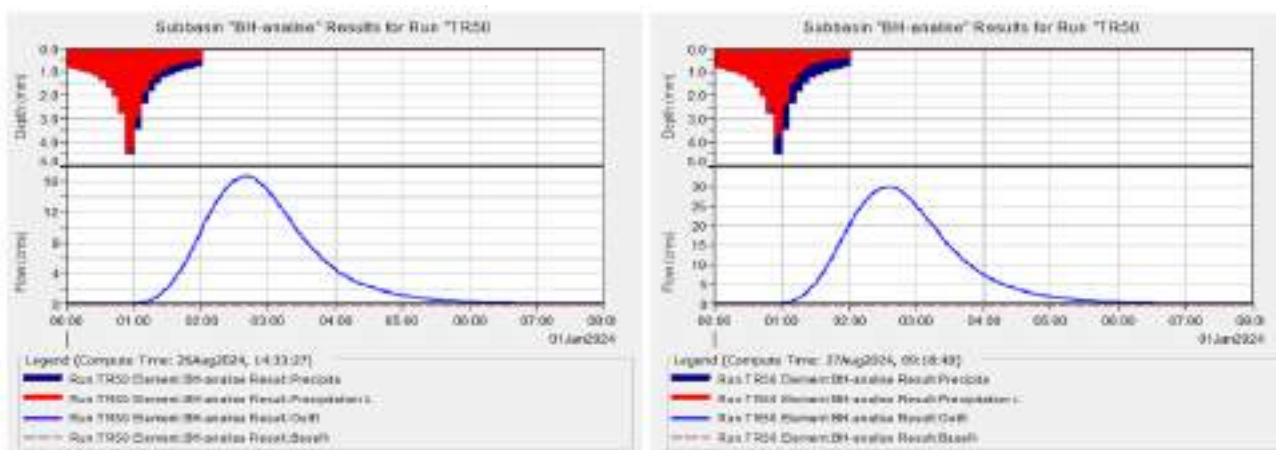


Figura 71 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 50 anos para bacia do Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

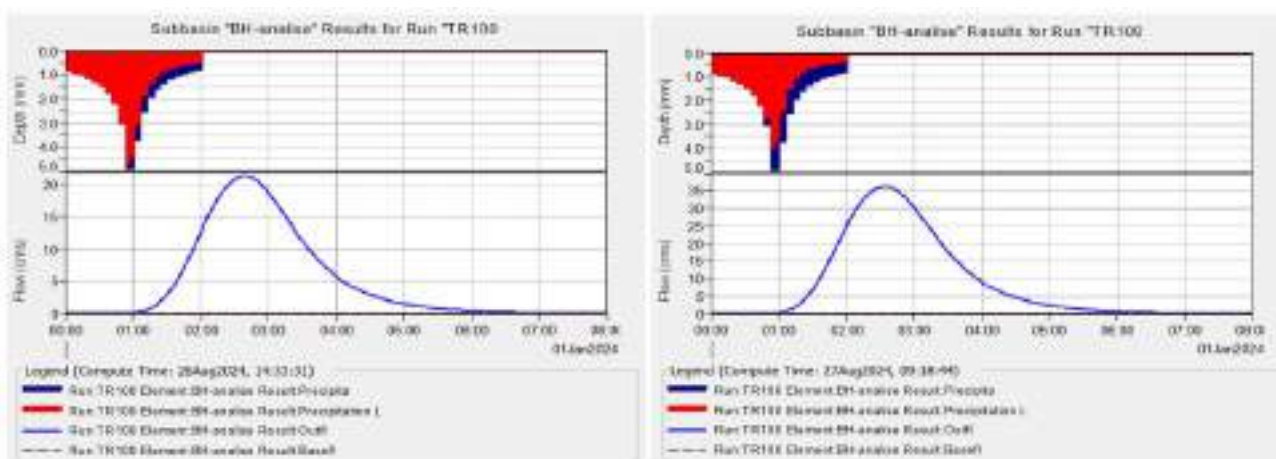


Figura 72 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 100 anos para bacia do Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

2.3.3 Bacia Ribeirão das Mortes

No cenário do Ribeirão das Mortes, um dos afluentes do Rio Sapucaí-Mirim, ocorre apenas a alteração do parâmetro do CN. A curto prazo (2028), há o aumento do valor de CN de 65 para 70, representando uma expansão urbana significativa. Esse valor se mantém até o ano de 2045, logo foi necessário simular apenas uma vez para cada tempo de recorrência considerando o novo cenário. Os hidrogramas representativos desse novo cenário são apresentados nas Figura 73 a Figura 77, juntamente com o hidrograma característico do cenário referente ao ano 0 (2025).

O cenário futuro apresenta um aumento significativo nas vazões prevista para a área de análise. No menor tempo de recorrência é estimado uma vazão de 13,1 m³/s no ano zero, enquanto para o ano de 2045 esse valor chega a 18,8 m³/s. Já em um TR de 100 anos a

vazão do primeiro cenário era de 40,5 m³/s em seu pico, para o ano de 2045 esse valor chega a 50,9 m³/s. Esses valores demonstram como a ocupação da bacia por área urbanizadas afeta diretamente na vazão de escoamento superficial no seu perímetro.

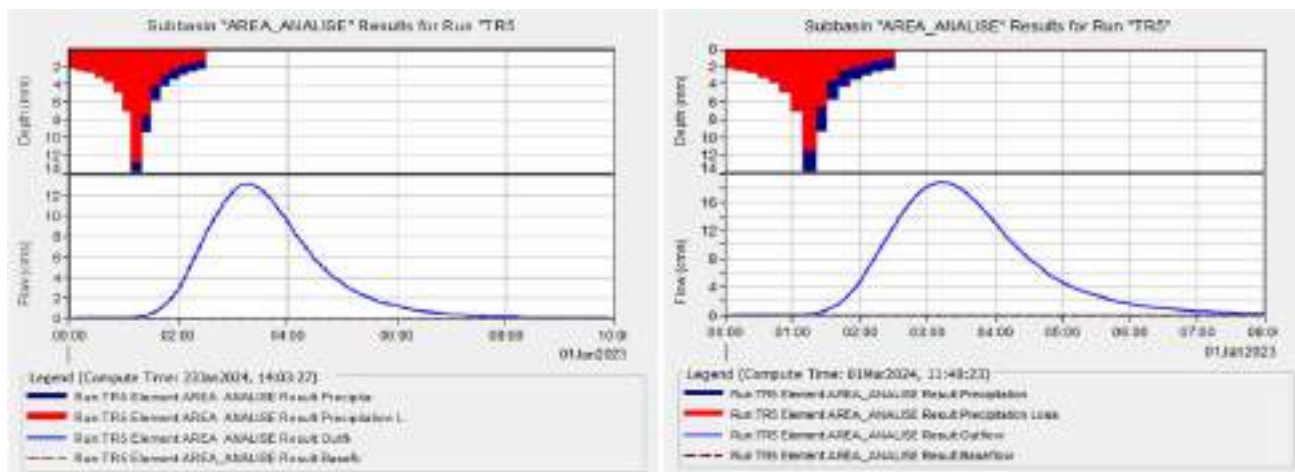


Figura 73 – Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 5 anos para bacia do Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

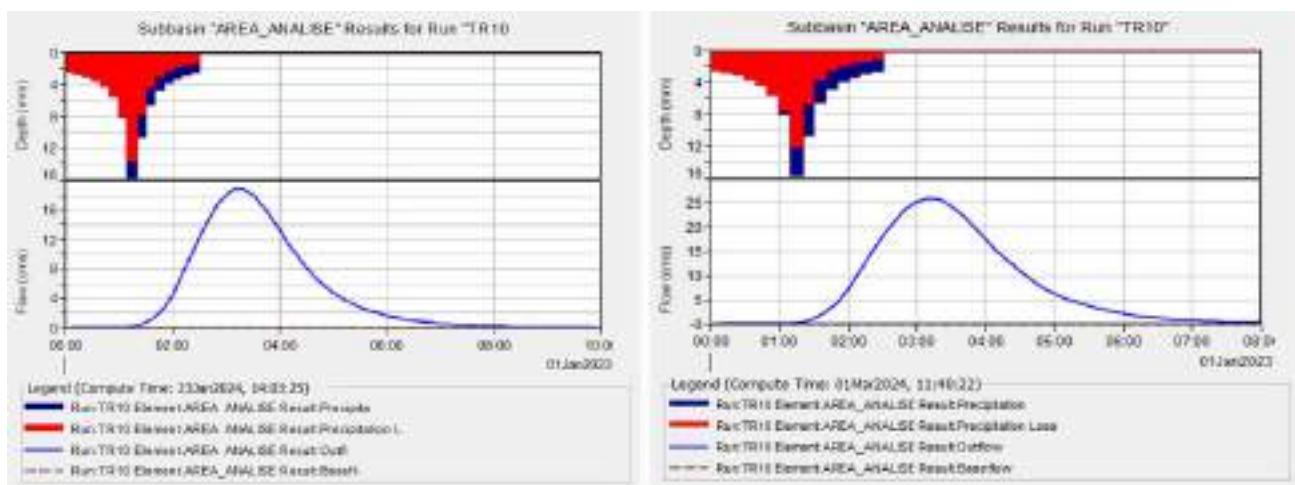


Figura 74 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 10 anos para bacia do Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

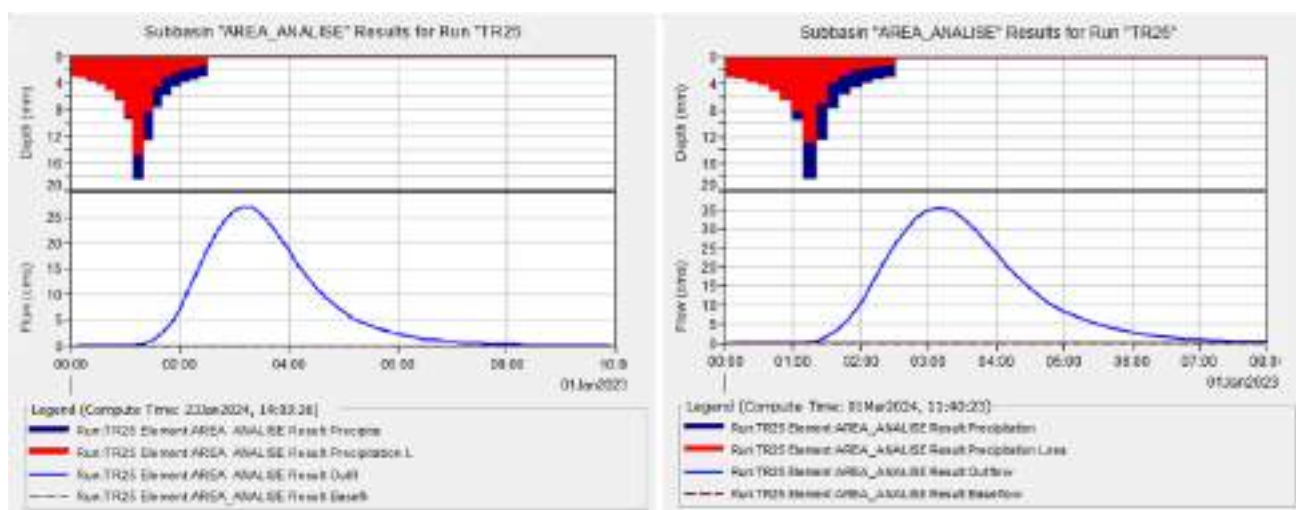


Figura 75 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 25 anos para bacia do Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

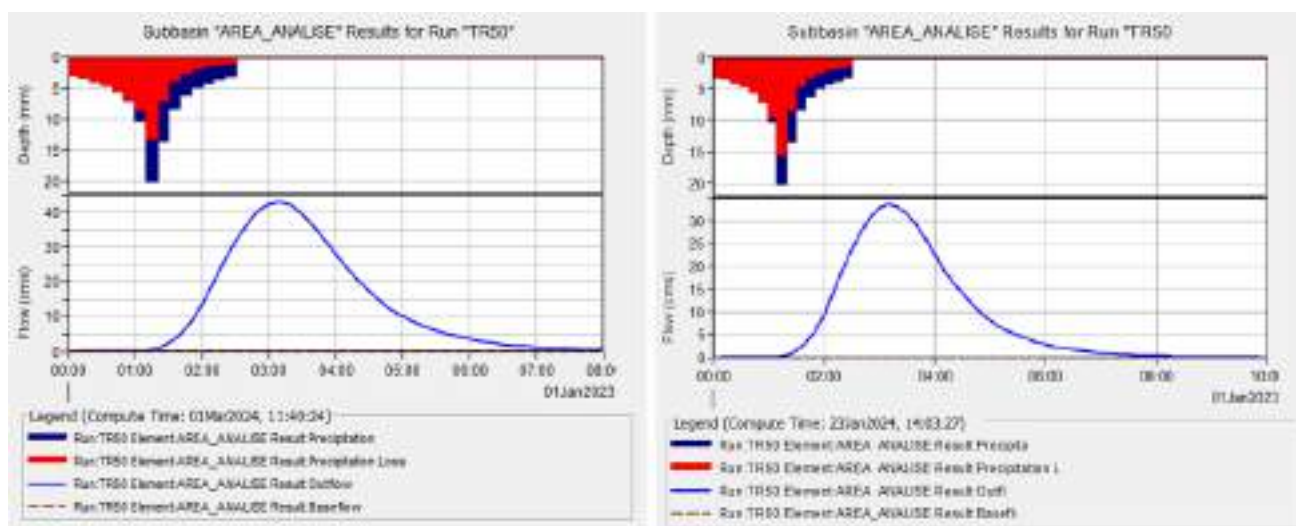


Figura 76 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 50 anos para bacia do Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

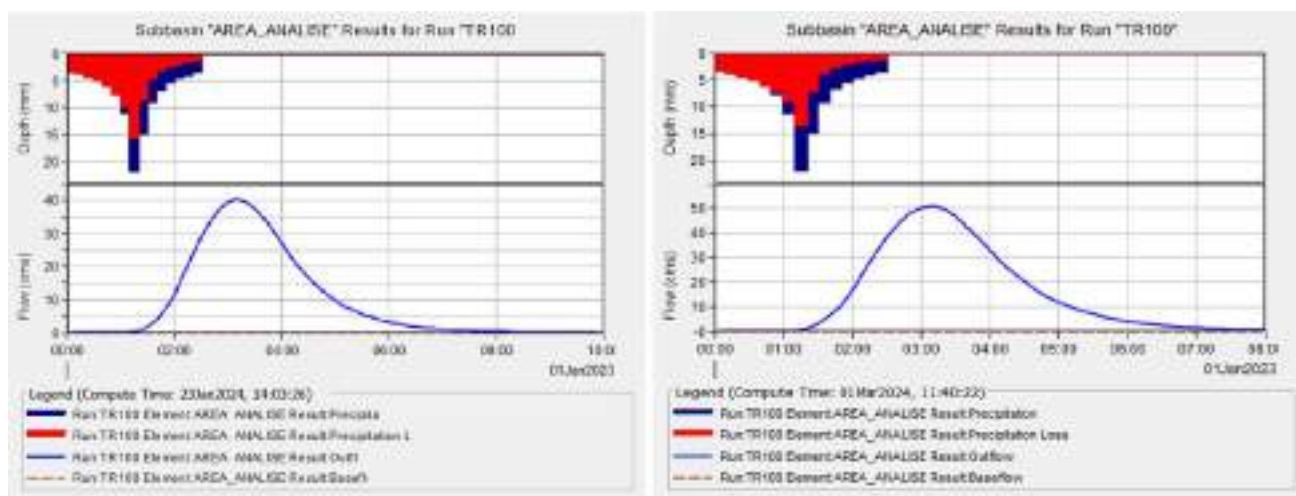


Figura 77 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 100 anos para bacia do Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

2.3.4 Bacia Ribeirão Pantano

A bacia do Ribeirão Pantano apresenta um aumento de 2 pontos no valor do parâmetro CN no período entre 2025 e 2045, o que é significativo dado o caráter rural da bacia. Tem-se então que foi simulado mais uma vez o cenário hidrológico, levando em conta essa alteração do valor do curve number. Gerando os hidrogramas apresentados nas Figura 78 a Figura 82, nos quais é graficamente visível a diferença de vazão entre o cenário futuro e atual.

A vazão apresentada no ano de 2025 para um TR de 5 anos era de 10 m³/s, enquanto para o cenário de 2045 essa vazão se altera para 15,7 m³/s. Quando se considera um TR de 100 anos a vazão obtida para 2025 era de 33,1 m³/s e com a nova simulação para 2045 esse valor passa a ser 43,9 m³/s. Os novos valores obtidos mostram um aumento significativo do volume de escoamento superficial dado a nova área de ocupação.

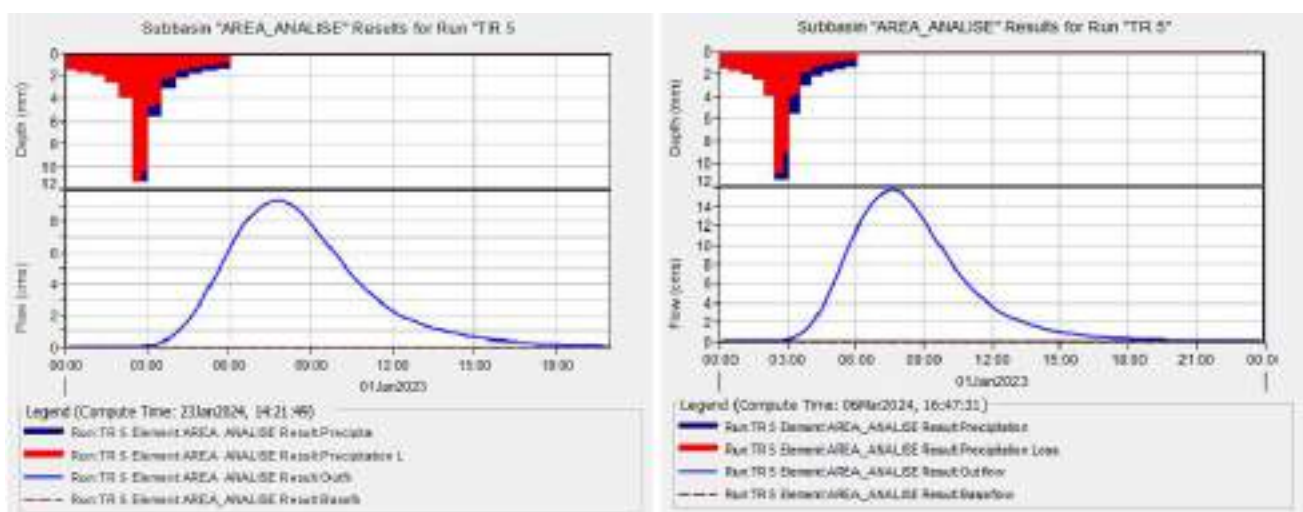


Figura 78 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 5 anos para bacia do Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

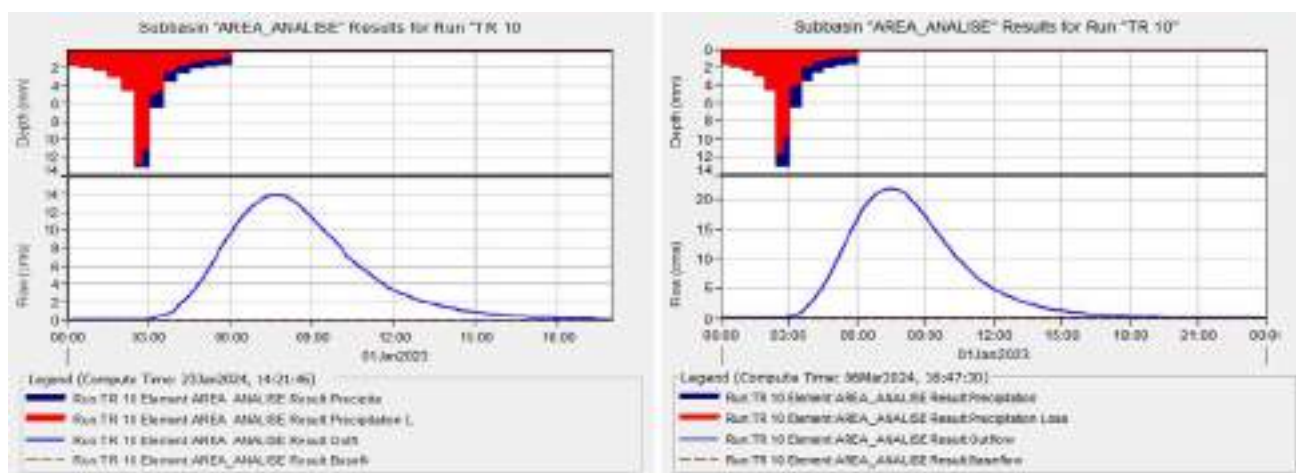


Figura 79 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 10 anos para bacia do Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

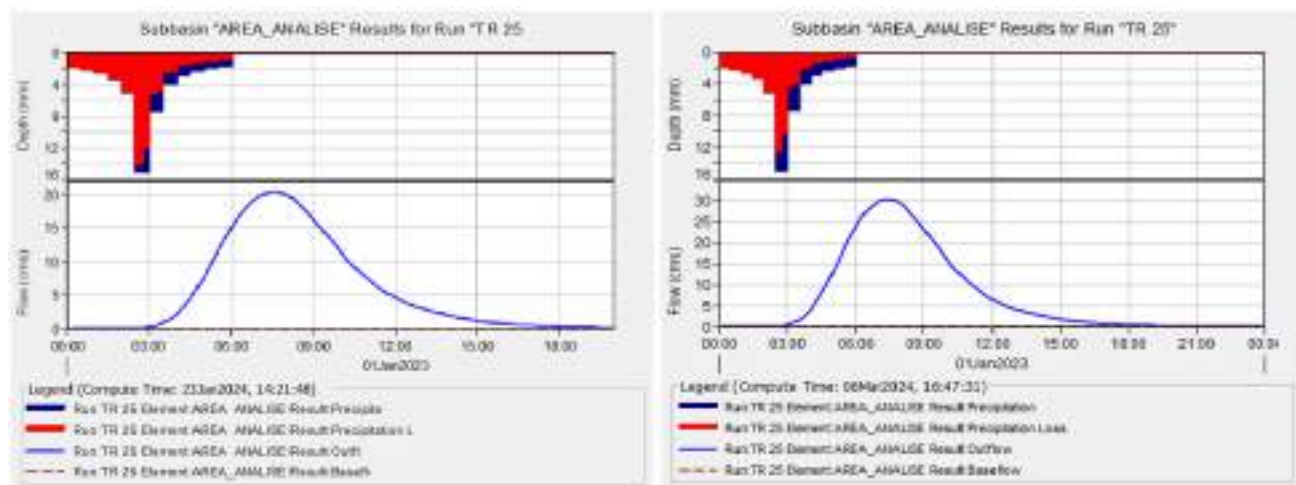


Figura 80 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 25 anos para bacia do Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

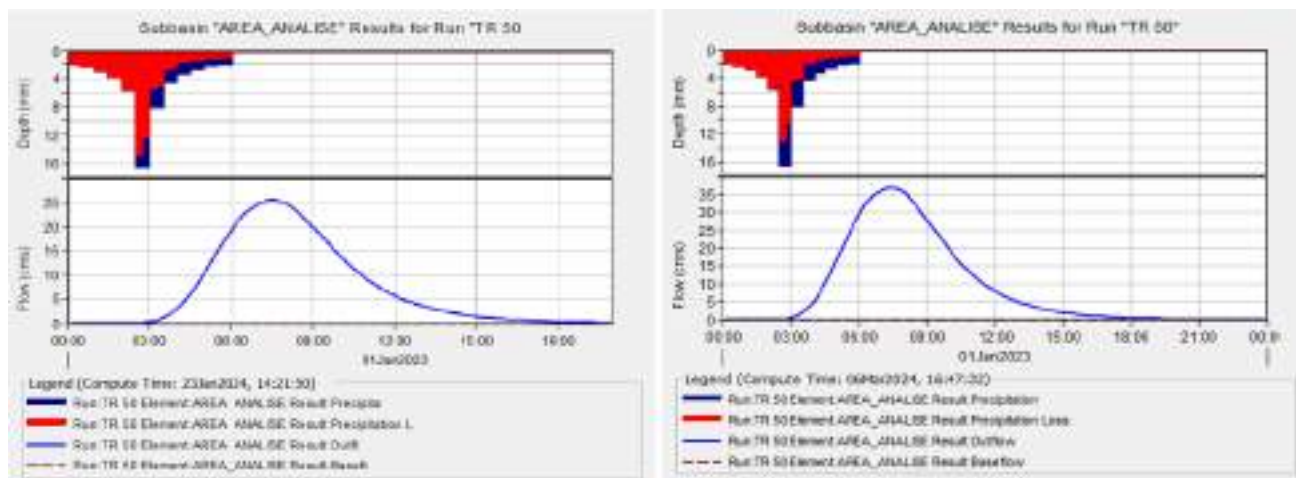


Figura 81 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 50 anos para bacia do Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

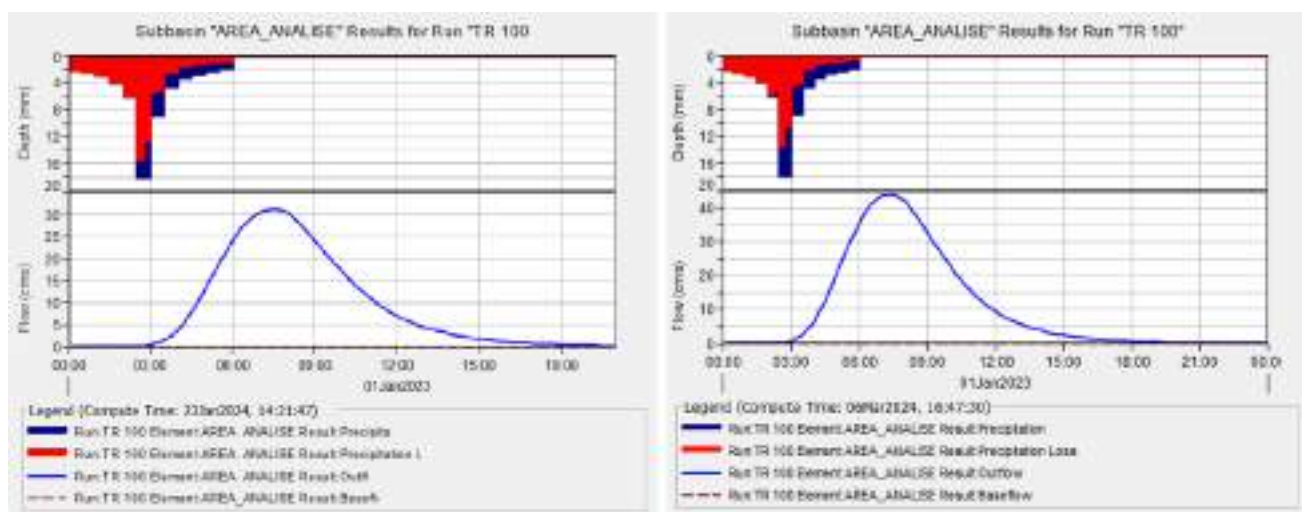


Figura 82 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 100 anos para bacia do Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

2.3.5 Bacia Rio Mandu

Na análise dos cenários futuros do Rio Mandu, ocorre um aumento de 8 pontos no parâmetro CN entre 2025 e 2045, um aumento considerável em termos de uma área já urbanizada. Consequentemente, foi necessário simular novamente o cenário hidrológico, levando em conta essa mudança no valor do curve number. Os hidrogramas resultantes são apresentados nas Figura 83 a Figura 87, destacando graficamente a discrepância nas vazões entre o cenário atual e o futuro.

Em 2025, a vazão para um período de retorno de 5 anos era de 18,7 m³/s, enquanto em 2045 essa vazão aumenta para 33,8 m³/s. Para um período de retorno de 100 anos, a vazão era de 62,4 m³/s em 2025 e, com a nova simulação para 2045, esse valor atinge 89,9 m³/s. Esses números indicam um grande aumento no volume de escoamento superficial devido à expansão da área urbanizada.

Nas sub-bacias correspondentes a divisão apresentada no produto anterior, também foi analisado os vetores de crescimento, a fim de detectar se essa expansão também afetava sua área, e quando isso ocorreu esse crescimento foi considerado como porcentagem de impermeabilização. Sendo assim, no Rio Mandu, isso ocorreu em 3 das sub-bacias, sendo elas a SUB2, SUB 3 e SUB4, esses valores de impermeabilização foram aplicados as novas simulações, obtendo novos valores de vazão a serem considerados na simulação hidráulica. Os hidrogramas obtidos são apresentados no APÊNDICE A.

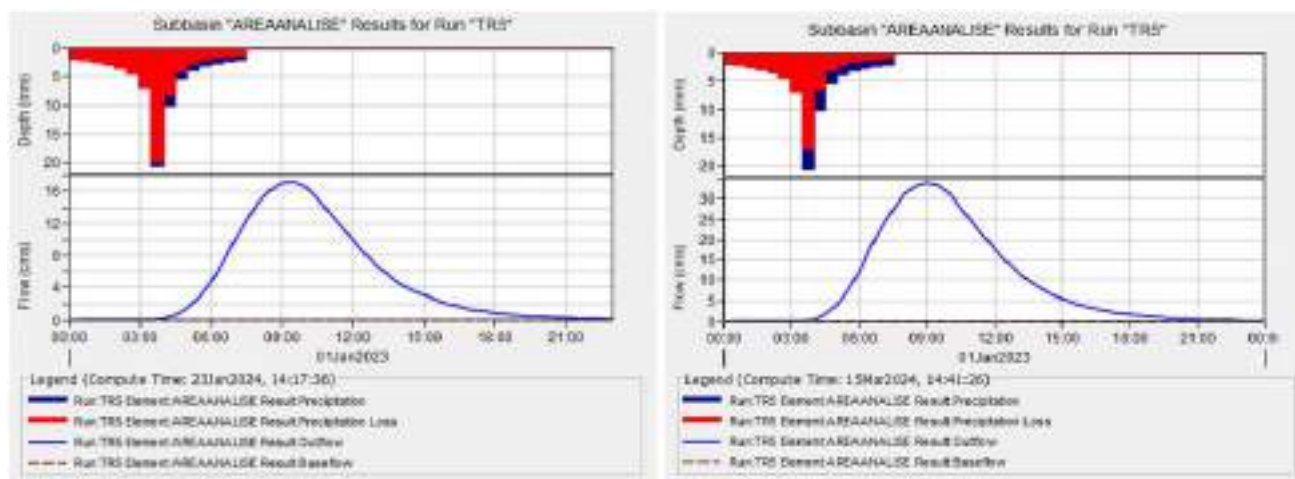


Figura 83 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 5 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

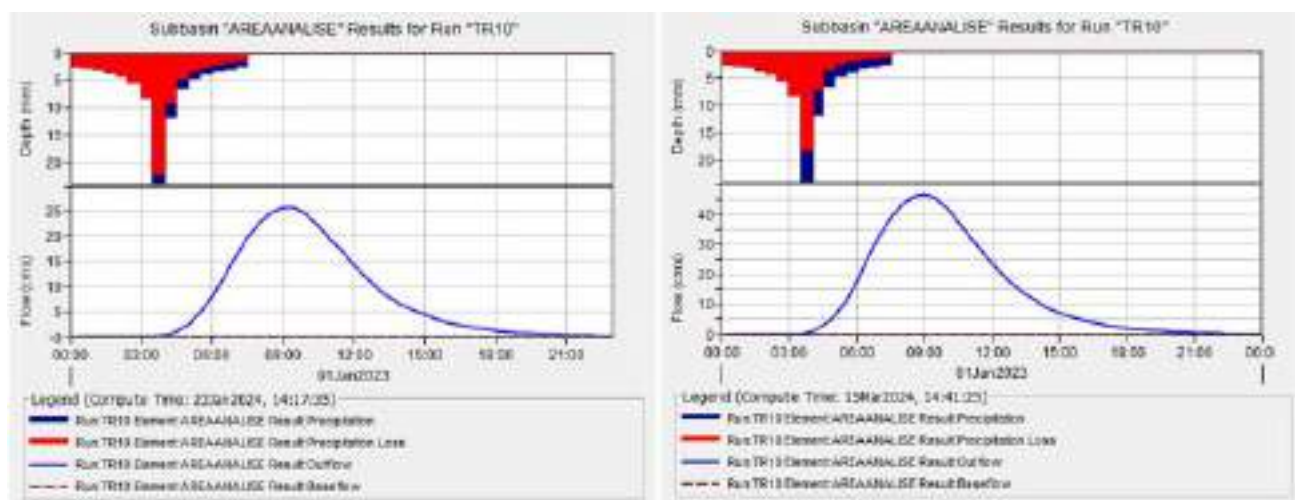


Figura 84 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 10 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

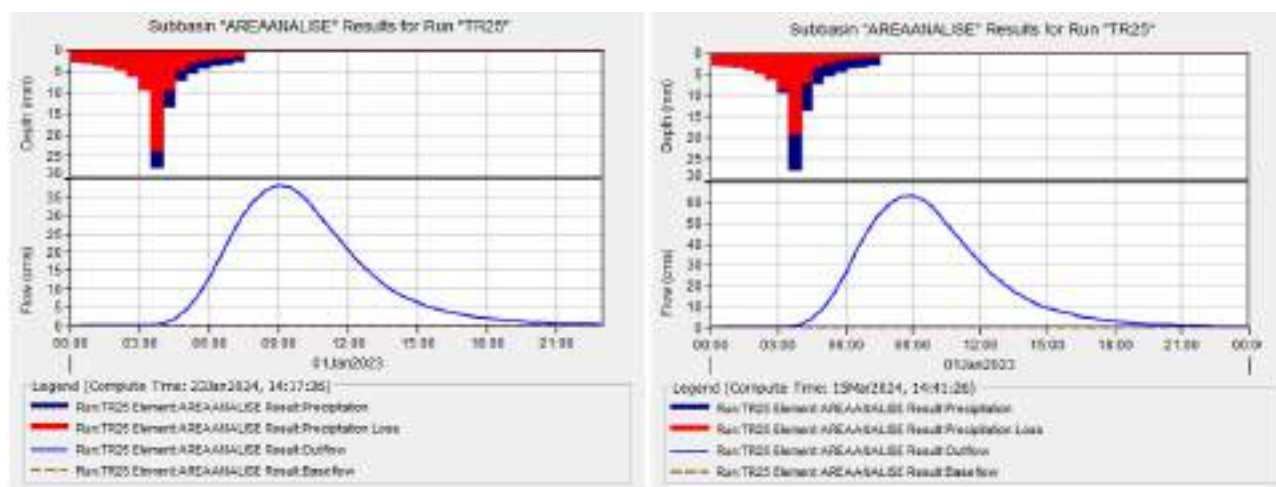


Figura 85 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 25 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

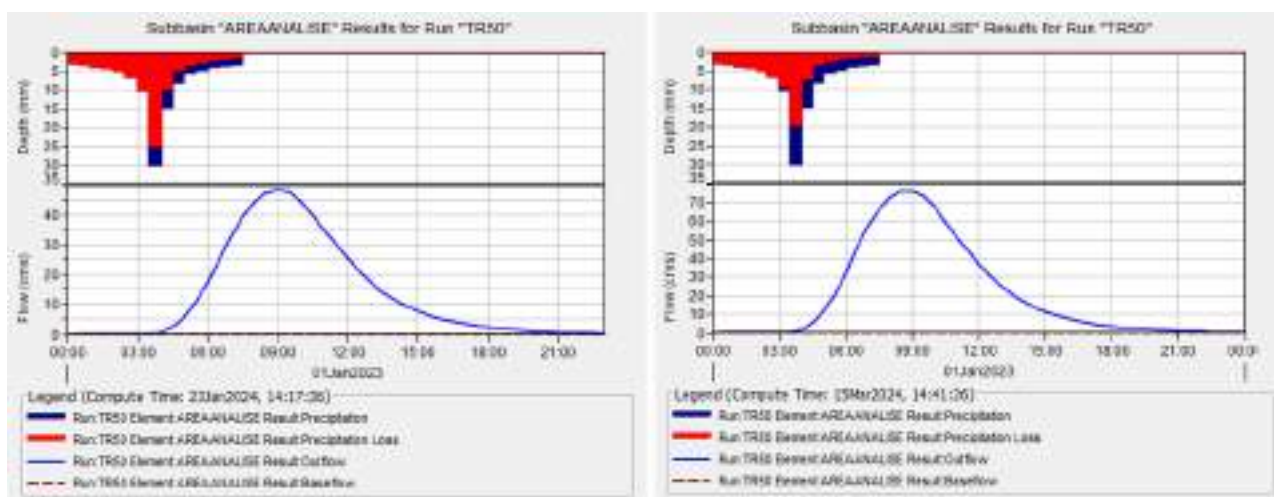


Figura 86 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 50 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

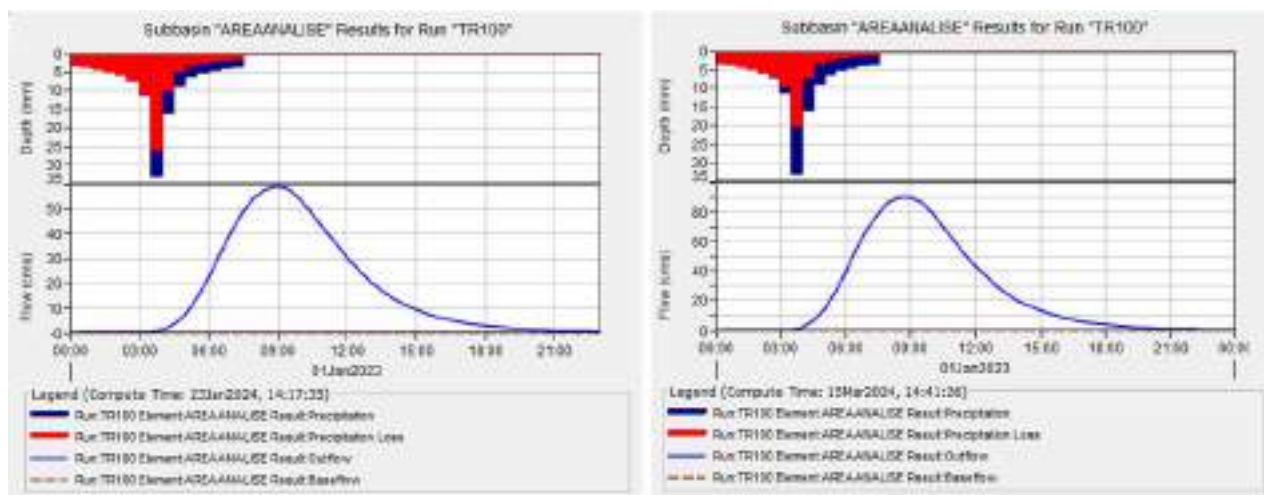


Figura 87 - Hidrograma de projeto da Área de Análise para o TR 100 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

2.3.6 Bacia Rio Sapucaí-Mirim

Ao examinar as perspectivas futuras do Rio Sapucaí-Mirim, nota-se um incremento de 7 pontos no índice CN entre os anos de 2025 e 2045, representando um aumento substancial dentro de uma área já urbanizada. Consequentemente, foi imperativo recalibrar o modelo hidrológico, levando em conta essa alteração no volume do escoamento superficial. Os gráficos resultantes delineiam de maneira visual as disparidades nas taxas de escoamento entre o cenário atual e futuro.

Em 2025, a taxa de escoamento para um período de recorrência de 5 anos era de 36,8 m³/s, enquanto em 2045 essa taxa eleva-se para 58,1 m³/s. Para um período de recorrência de 100 anos, a taxa era de 110,9 m³/s em 2025, e com a nova simulação para

2045, esse valor atinge 148,4 m³/s. Tais números indicam um aumento considerável no volume de água escoada superficialmente devido à expansão da área urbanizada.

Nas subdivisões correspondentes à divisão delineada no produto anterior, os padrões de crescimento foram analisados para determinar se essa expansão afetava também suas áreas, e quando detectado, esse crescimento foi quantificado como uma porcentagem de impermeabilização. Portanto, no Rio Sapucaí-Mirim, isso se verificou em quatro das sub-bacias, nomeadamente a SUB1, SUB2, SUB3 e SUB4. Esses índices de impermeabilização foram então incorporados às novas simulações, resultando em novos valores de taxa de escoamento a serem considerados na modelagem hidráulica. Os gráficos hidrográficos obtidos são detalhados no APÊNDICE B.

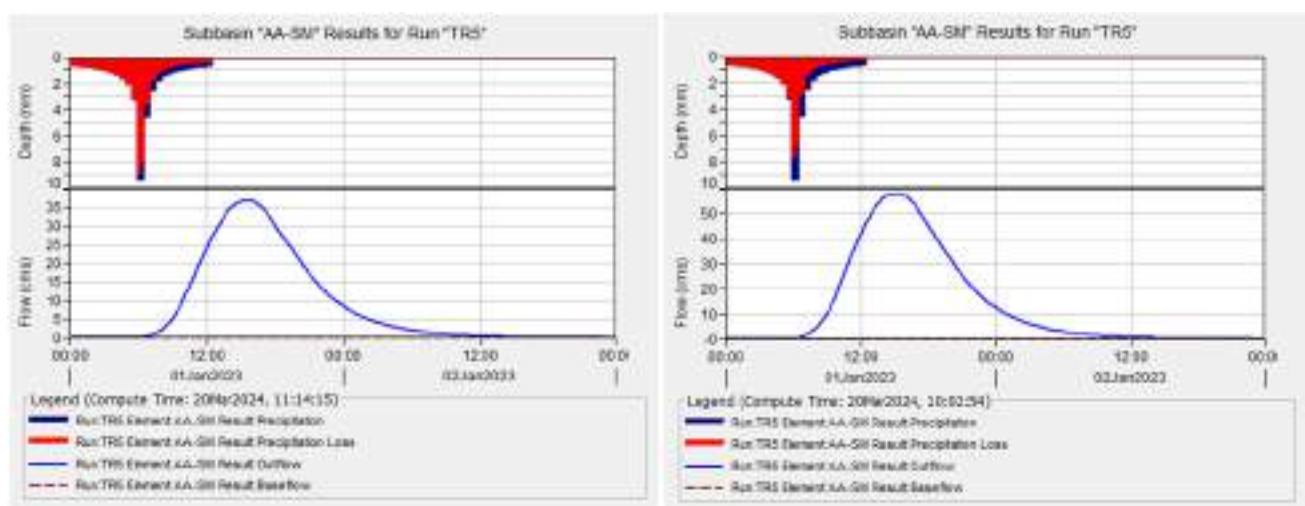


Figura 88 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 5 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

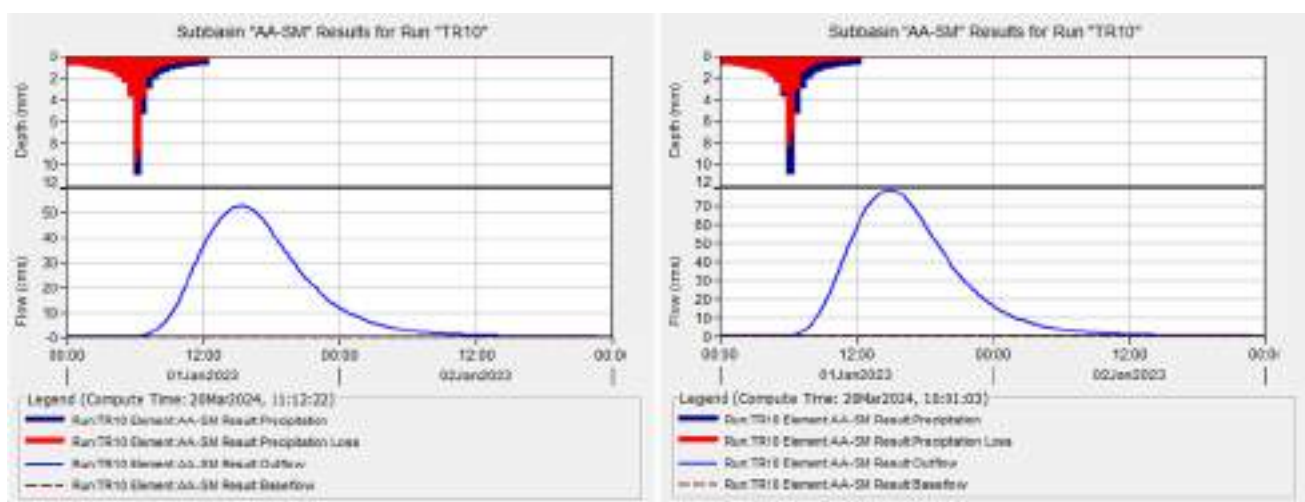


Figura 89 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 10 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

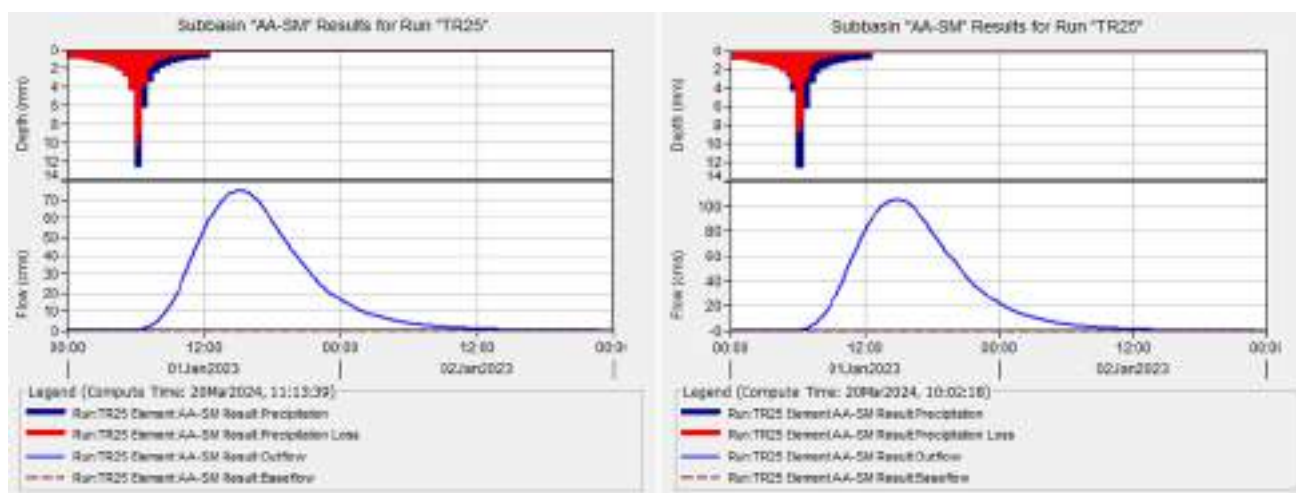


Figura 90 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 25 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

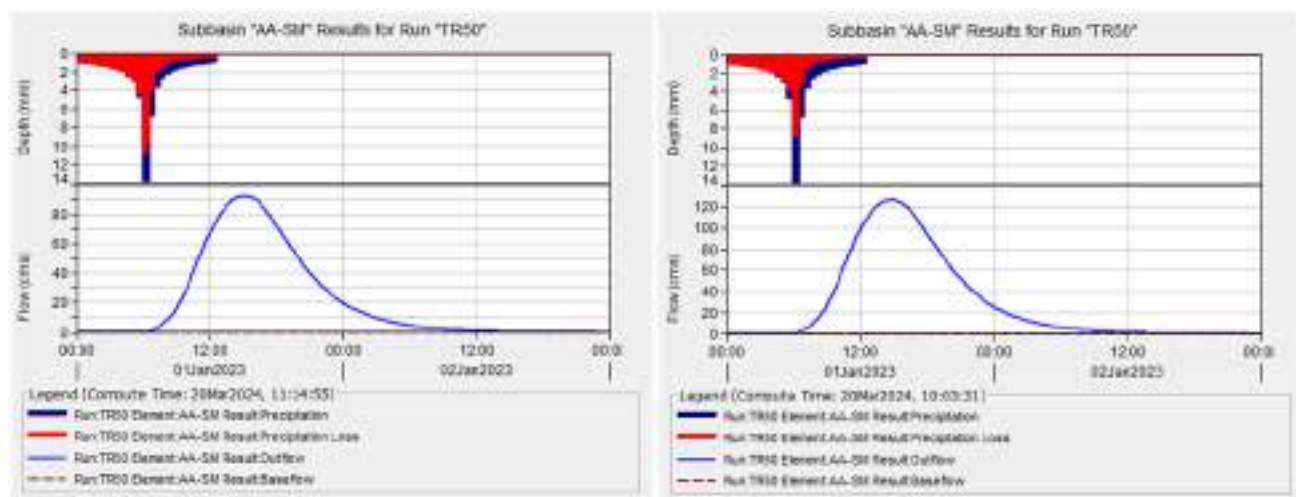


Figura 91 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 50 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

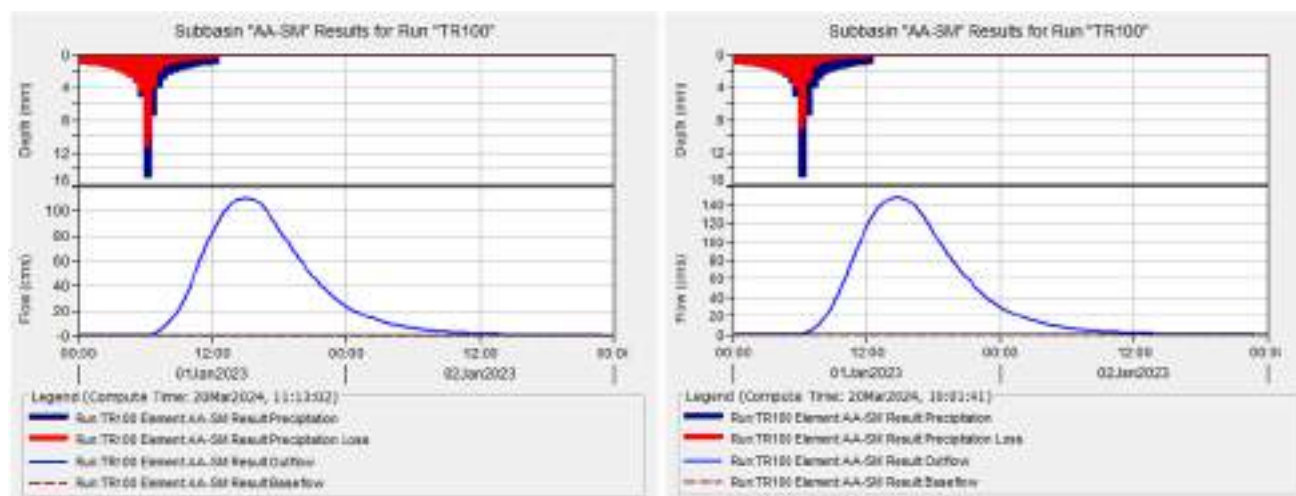


Figura 92 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 100 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

2.3.7 Bacia Rio Sapucaí

A análise do Rio Sapucaí sofre um crescimento no parâmetro do curve number em 11 unidades em sua área de interesse, entre os anos de 2025 e 2045, representando um aumento relevante em uma área onde já ocorrem problemas com eventos de cheia devido a urbanização. A partir desse novo valor foi simulado novamente o cenário hidrológico da bacia, considerando esse aumento de CN. Os hidrogramas resultantes (Figura 93 a Figura 97) delineiam de maneira visual as disparidades nas taxas de escoamento entre o cenário atual e futuro.

No ano de 2025, a vazão para um período de retorno de 5 anos era de 29,6 m³/s, enquanto em 2045 essa vazão aumenta para 65,9 m³/s. Para um período de retorno de 100 anos, a vazão era de 104,1 m³/s em 2025 e, com a nova simulação para 2045, esse valor atinge 171,5 m³/s. Esses dados evidenciam um notável aumento no volume de água escoada superficialmente devido à expansão da área urbanizada.

No produto 4 – relatório 1 foram apresentadas as subdivisões utilizadas nas simulações hidrológica, sendo que dentro dessas divisões foram também analisados os vetores de crescimento da urbanização, de forma determinar se essa expansão afetava também suas áreas, e quando detectado, esse crescimento foi considerado como uma porcentagem de impermeabilização. No Rio Sapucaí, esse crescimento só ocorreu na SUB 1, para qual foi incorporado o novo valor de impermeabilização, tendo assim uma nova simulação. Os gráficos hidrográficos obtidos são detalhados no APÊNDICE C.

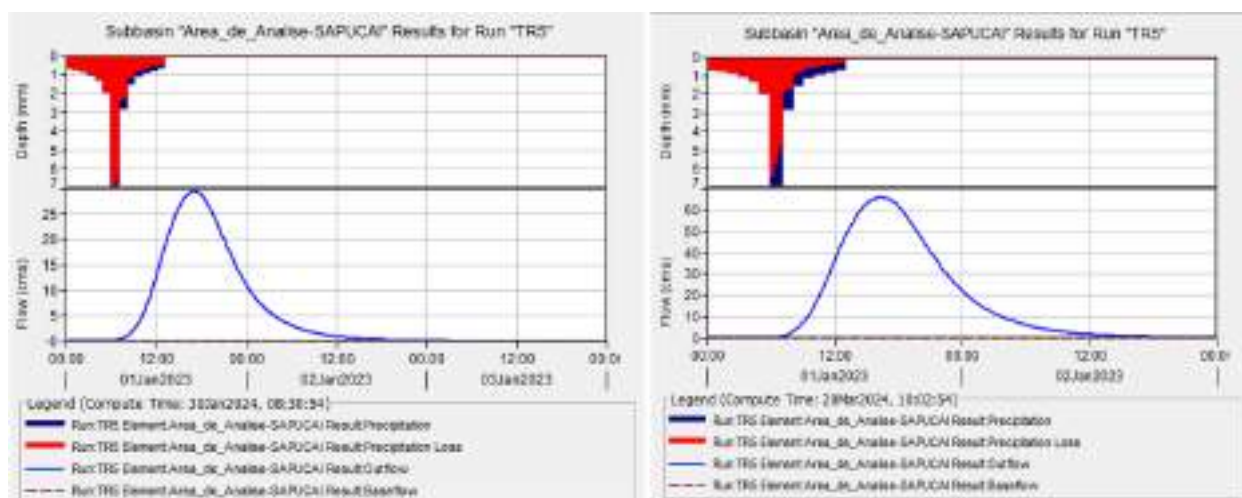


Figura 93 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 5 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

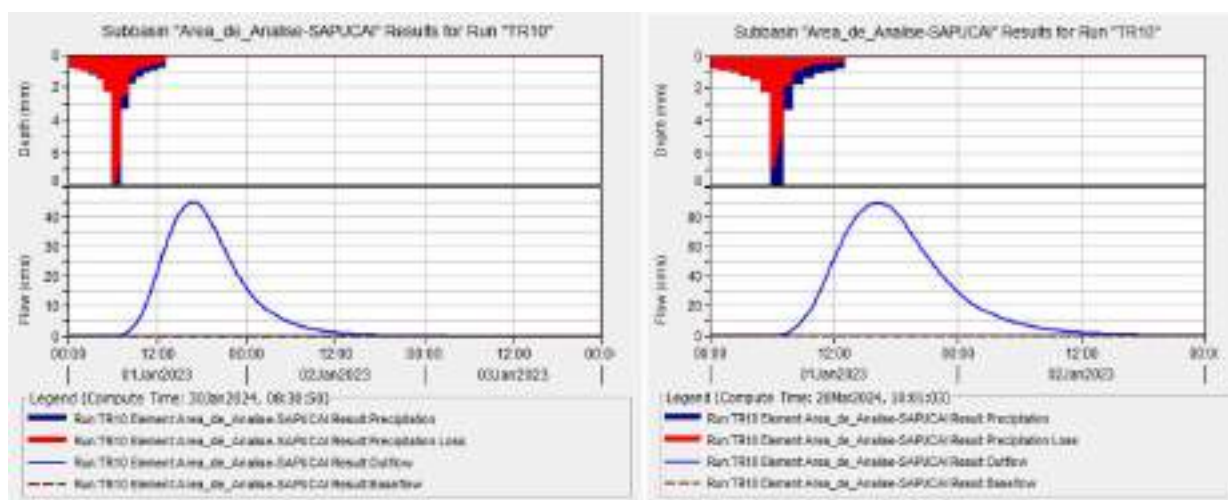


Figura 94 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 10 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

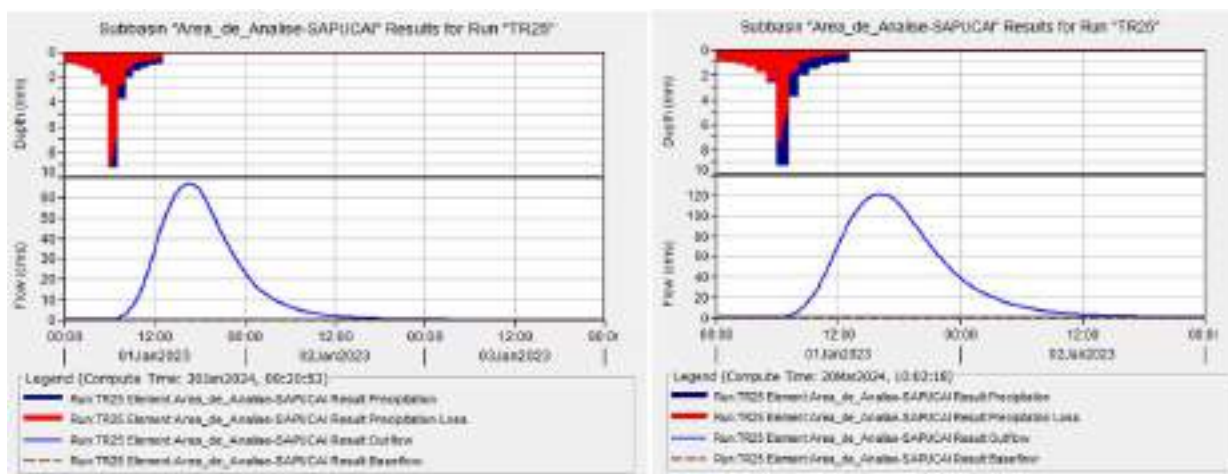


Figura 95 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 25 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

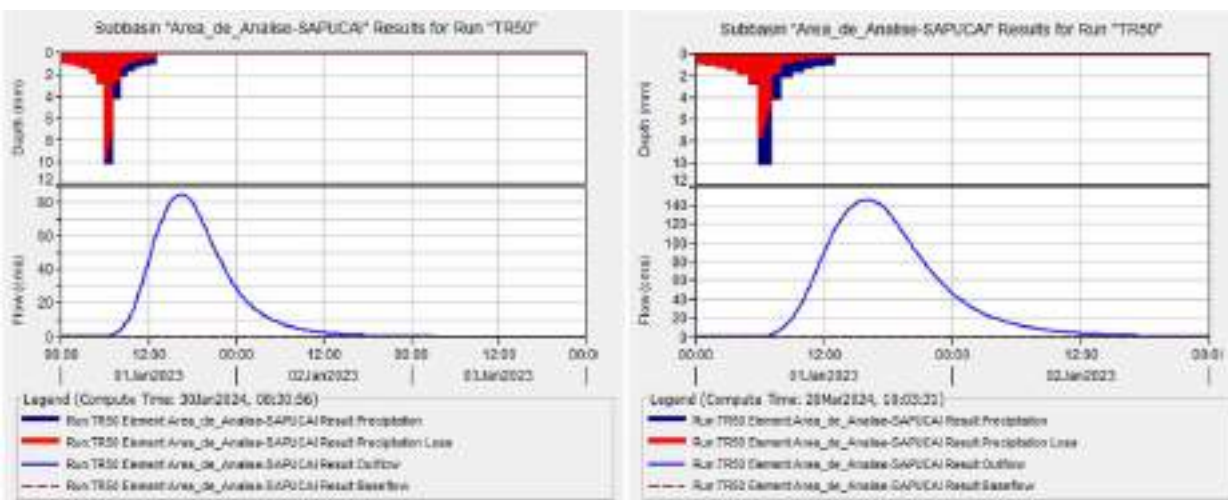


Figura 96 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 50 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

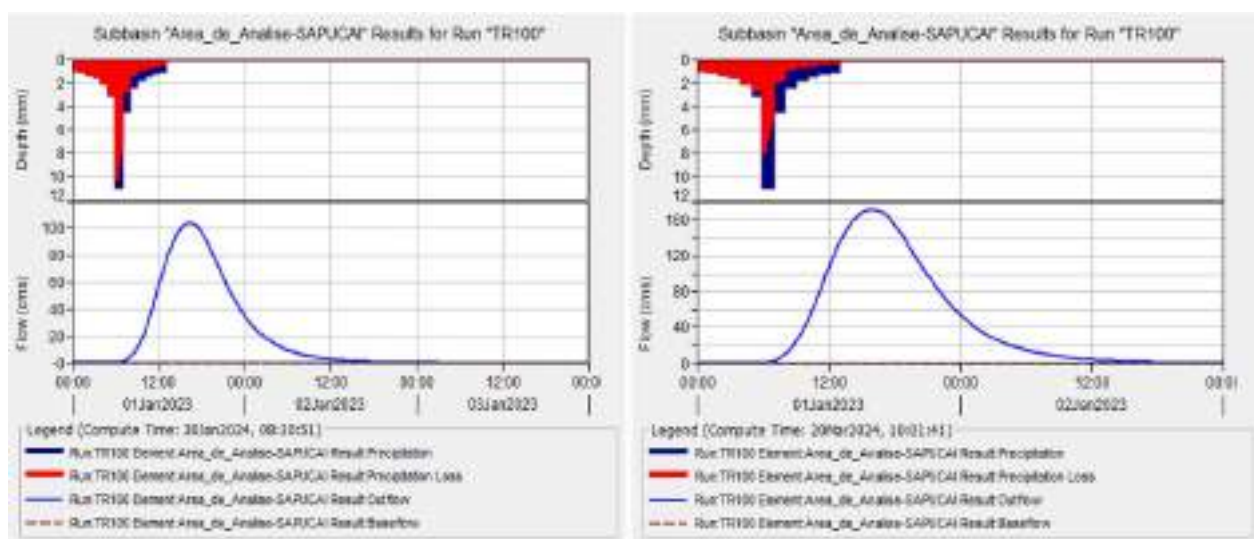


Figura 97 - Hidrograma de projeto da Área Análise para o TR 100 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

2.4 MODELAGEM HIDRÁULICA PARA CENÁRIOS FUTUROS

Os cenários de expansão urbana e verticalização em ritmo acelerado geram a necessidade de compreender a dinâmica das águas pluviais no espaço urbano, de modo a possibilitar ferramentas que auxiliem o planejamento territorial, visando construir medidas que possibilitem a adaptação da estrutura urbana no enfrentamento de eventos extremos. Dado isso, após as simulações hidrológicas, é simulada a propagação do escoamento através de modelos hidráulicos, o resultado será utilizado para avaliar as áreas de inundação, levando em consideração o crescimento urbano citado anteriormente (TRENTIN; FREITAS, 2010).

A interferência humana no solo tende a provocar um aumento na impermeabilização, modificando os processos hidrológicos naturais de tal forma que o escoamento superficial se transforma em eventos de inundação (TUCCI; BERTON, 2003). Desta maneira, as vazões modificadas obtidas nas simulações hidrológicas futuras constituem os dados primordiais para a modelagem hidráulica nos cenários de projeção.

Os dados que caracterizam topograficamente o terreno da bacia e a calha fluvial são oriundos de imagens que possuem as características de elevação da área, com qualidade suficiente para representar as áreas urbanas. Importante ressaltar que essas informações permaneceram inalteradas durante a modelagem dos cenários futuros, mantendo-se consistentes com os dados utilizados na modelagem para o ano de 2025. A metodologia adotada para a modelagem hidráulica das bacias hidrográficas posteriormente apresentadas nesse item é a mesma aplicada no diagnóstico técnico do cenário atual apresentada no Produto 4 – Relatório 1, mantendo como base o mesmo software para modelagem das simulações.

2.4.1 Bacia Córrego São Cristóvão

Após a inclusão do avanço da malha urbana estipulado para os cenários futuros, foram geradas as machas de inundação para último cenário calculado para o ano de 2045, visando uma comparação dos impactos causados pelas fortes chuvas considerando o avanço do município. Sendo um pequeno afluente do Córrego do Patinho, o Córrego São Cristóvão possui características muito semelhantes, incluindo nas manchas de inundação.

As Figura 98 a Figura 102 apresentam as comparações entre as manchas de 2025 para 2045.



Figura 98 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 99 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

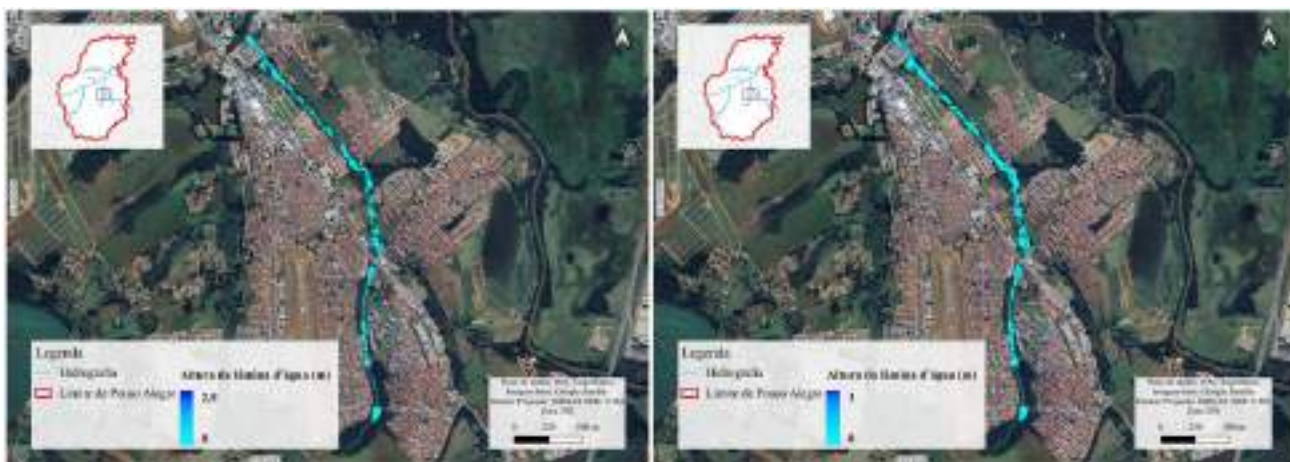


Figura 100 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 101 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 102 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Córrego São Cristóvão para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

Assim como ocorre no Córrego do Patinho, o São Cristóvão não possui locais que se sobressaem por conta do grande aumento da lâmina d'água, mas ocorre uma pequena ampliação geral das manchas.

2.4.1 Bacia Córrego São Judas Tadeu

A bacia do Córrego São Judas Tadeu está inserida como sub-bacia do Ribeirão da Morte, estando toda ela dentro do perímetro de Pouso Alegre. Observa-se que grande parte da sua área sofreu algum efeito de urbanização, afetando diretamente nas áreas naturais de drenagem. Foram realizadas simulações em diferentes cenários prospectivos para os cinco períodos de retorno considerados nas análises do plano. Os resultados das áreas inundadas previstas estão expostos em comparação com as áreas inundadas no presente cenário.

Portanto, os resultados das simulações para os cenários futuros são ilustrados nas Figura 103 a Figura 107.



Figura 103 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Córrego São Judas Tadeu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 104 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Córrego São Judas Tadeu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 105 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Córrego São Judas Tadeu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 106 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Córrego São Judas Tadeu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 107 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Córrego São Judas Tadeu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

É evidente um incremento na extensão das áreas inundadas em todos os cenários analisados. Ao se comparar um tempo de recorrência de 100 anos, onde a área inicial de inundação era de 0,26 m², registrou-se um acréscimo de 10,5% nessa extensão, acompanhado pela elevação do nível da água em áreas já propensas a inundações. Tal expansão amplia a região do Bairro Cantagalo que será impactada pelas cheias, além do aumento da lâmina d'água nas porções a jusante, antes do seu exutório no Ribeirão das Mortes. Tais fatores evidenciam a necessidade de diretrizes de ocupação que evitem novas edificações em áreas propensas a cheias.

2.4.2 Bacia Córrego da Remonta

O Córrego da Remonta é um dos afluentes do Rio Mandu, sendo que seu processo de cheia afeta principalmente o bairro Jardim Yara, problema que já é constatado pelos

moradores locais e pelo poder público. Sendo assim, nas Figura 108 a Figura 112 são apresentados os resultados das simulações para os cenários projetados.



Figura 108 – Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 109 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 110 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 111 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 112 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Córrego da Remonta para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

É perceptível um aumento na altura das manchas em todos os cenários de referência. No comparativo de um TR de 100 anos, onde a área inicial da mancha abrangia 0,56 m², foi constatado um aumento de 5,3% dessa área, além da elevação do nível da lâmina da cheia em alguns pontos já inundados atualmente. Essa expansão aumenta a área do bairro Jardim Yara que será afetado pela cheia. Sendo primordial que as áreas não ocupadas na proximidade do bairro não sejam edificadas para cenários futuros, devido a sua vulnerabilidade a cheia.

2.4.1 Bacia Córrego do Patinho

Para o Córrego do Patinho, as Figura 113 até Figura 117 mostram que é possível visualizar a diferença entre os anos de 2025 e 2045.



Figura 113 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 114 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 115 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 116 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

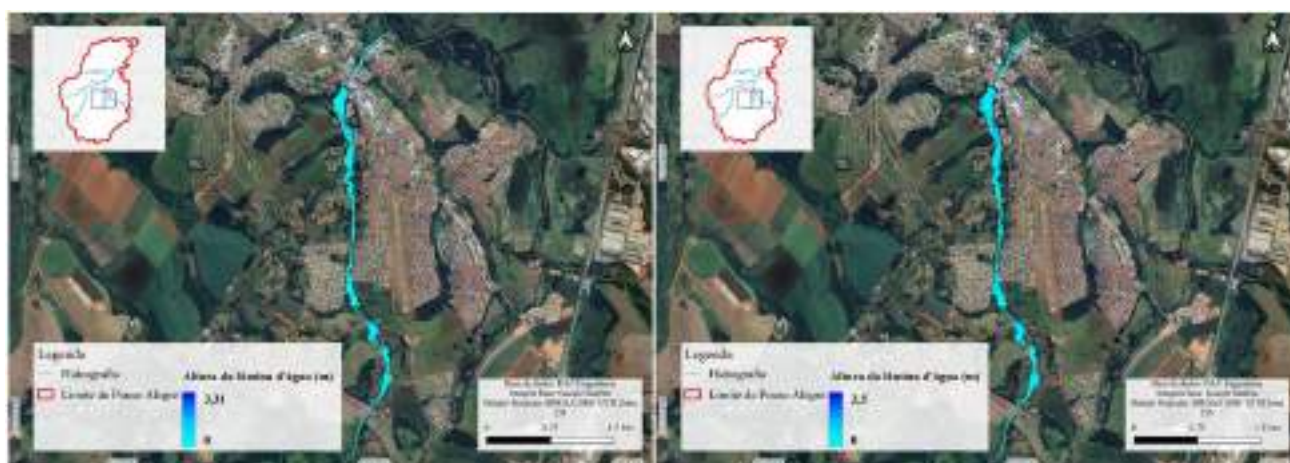


Figura 117 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Córrego do Patinho para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

Como citado anteriormente, não há grandes mudanças nas manchas de inundação de sua BH, mas ainda é possível observar o aumento geral na largura das manchas. Isso se dá pelo pequeno aumento em sua malha urbana futura e pela existência de construções em na proximidade do curso d'água.

2.4.2 Bacia Ribeirão das Mortes

Como já citado posteriormente, toda a área de drenagem dessa bacia se encontra no município de Pouso Alegre, o que implica em uma bacia altamente urbanizada, com potencial de crescimento no horizonte de projeto. Assim como foi realizado nas duas bacias anteriores, simulou-se os novos cenários, considerando a expansão urbana, e assim obteve-se 5 cenários correspondente aos tempos de retorno considerados, referentes ao ano de

2045. Os resultados obtidos são expostos em comparativo com o cenário de 2025 nas Figura 118 a Figura 122.



Figura 118 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 119 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 120 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 121 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 122 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Ribeirão das Mortes para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

Nos bairros mais afetados pela inundação do Ribeirão das Mortes é possível notar o espalhamento da mancha nas áreas urbanizadas, atingindo principalmente o bairro Faisqueira e a parte mais a jusante do bairro Cantagalo. A mancha de inundação inicial compreendia uma área de 0,96 m², a qual teve um acréscimo de 3,8% para a mancha correspondente a projeção do horizonte de projeto. É perceptível também a elevação da lâmina d'água em alguns pontos, o que confirma o aumento do escoamento superficial na região, exigindo uma maior atenção sobre a ocupação dessas áreas e mitigação desses efeitos nas áreas já ocupadas.

2.4.3 Bacia do Ribeirão Pantano

Assim como relatado nos tópicos acima, também foram conduzidas cinco simulações para bacia do Ribeirão Pantano, resultando nas representações das áreas inundadas para os períodos de retorno estabelecidos até o ano de 2045. O ribeirão é um dos afluentes do Rio Mandu e está em sua maior parte fora do perímetro urbano do município. Os resultados encontrados referentes ao ano de 2025 são apresentados, juntamente com as projeções para o cenário de expansão em 2045, para os tempos de retorno de 5 anos (Figura 123), 10 anos (Figura 124), 25 anos (Figura 125), 50 anos (Figura 126) e 100 anos (Figura 127).

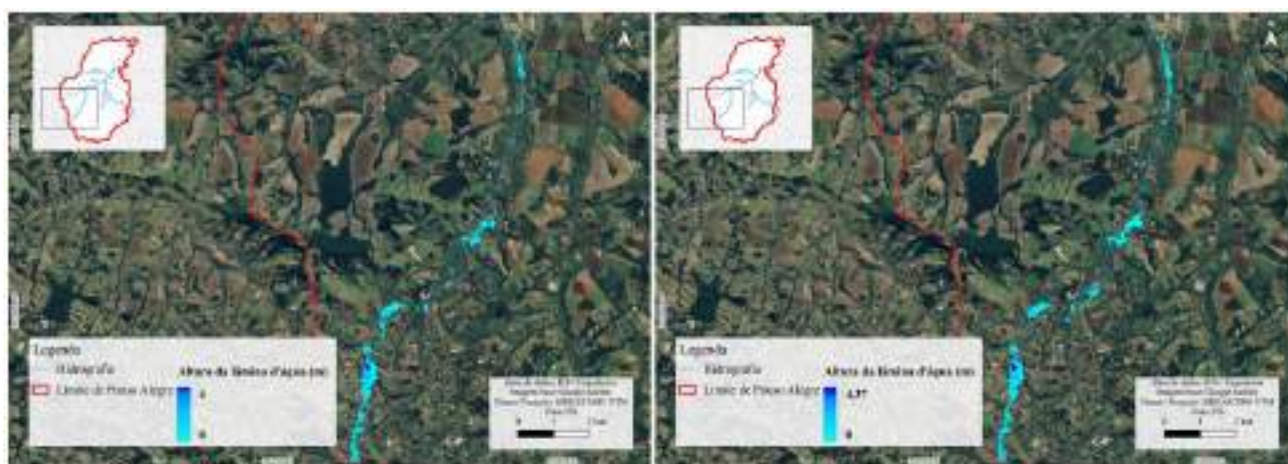


Figura 123 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

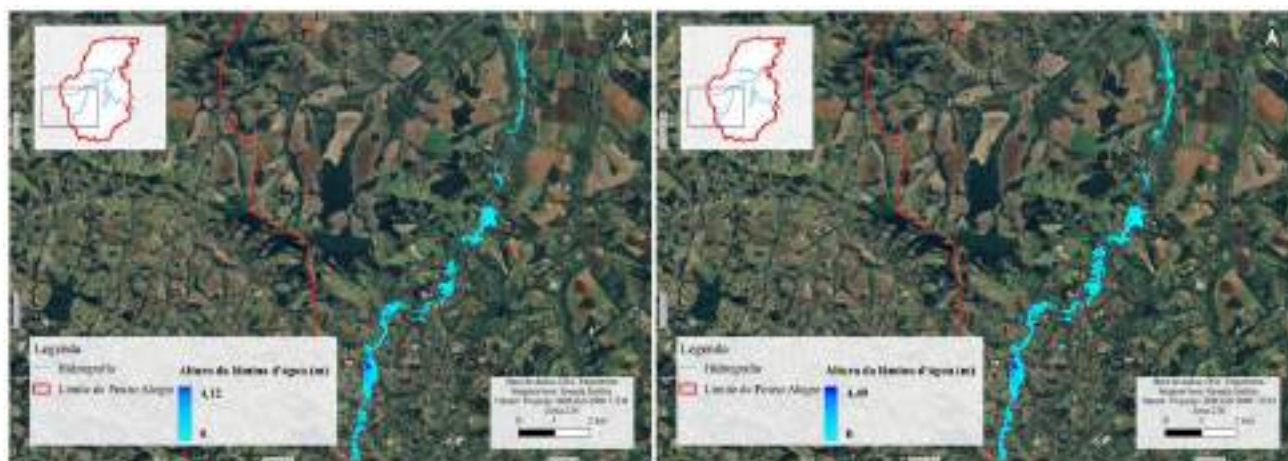


Figura 124 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

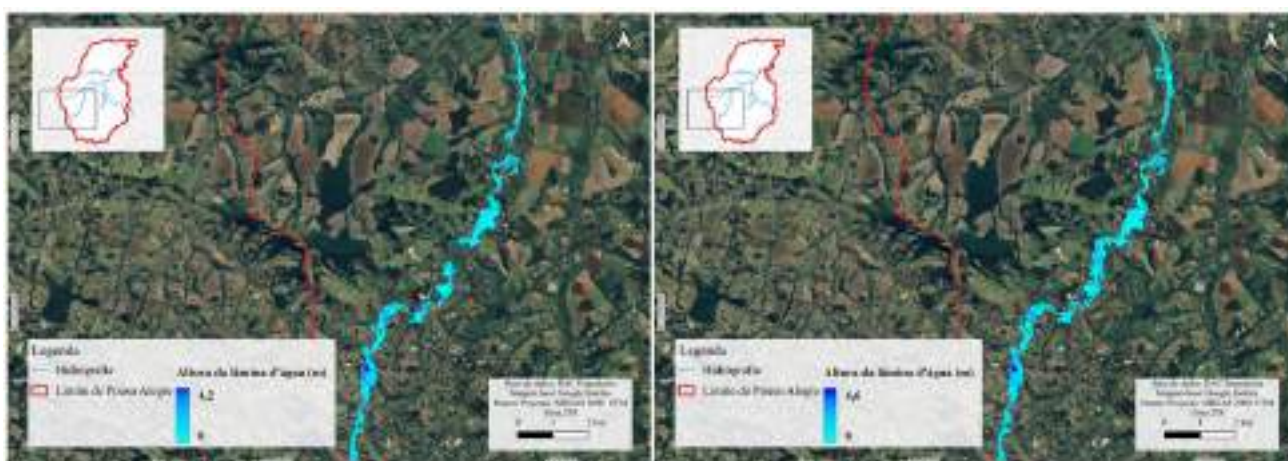


Figura 125 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

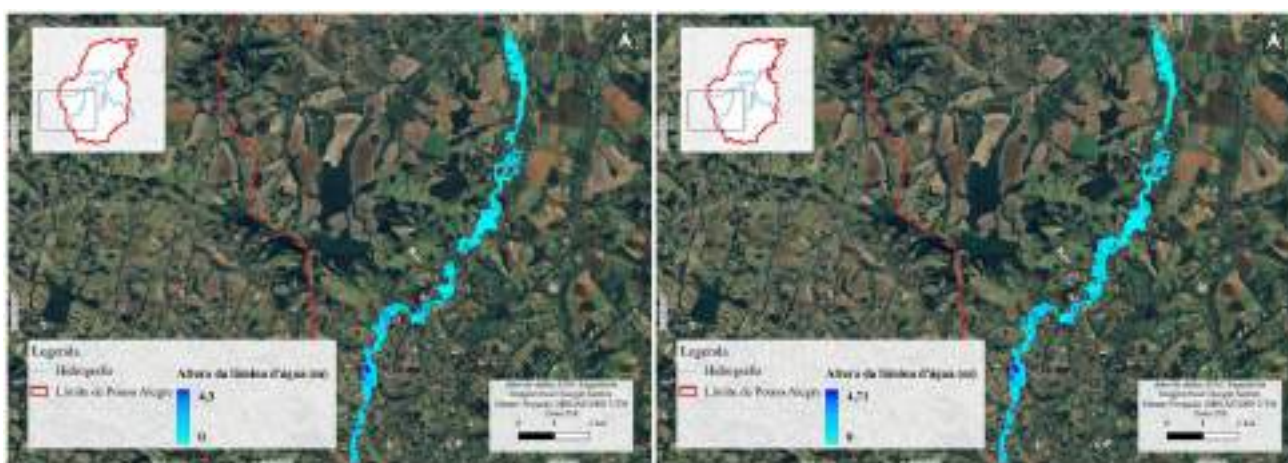


Figura 126 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

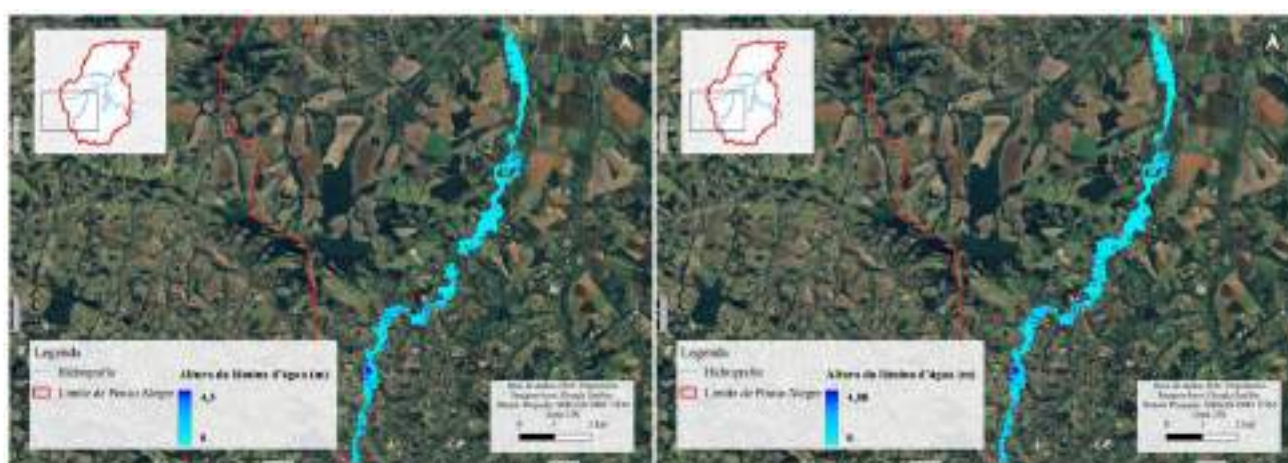


Figura 127 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Ribeirão Pantano para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

Nas regiões mais impactadas pelas inundações provenientes do Ribeirão Pantano, observa-se a expansão da área inundada nas áreas urbanizadas, especialmente afetando o

distrito São José do Pantano. A área inicialmente inundada abrangia 3,82 m², registrando um aumento de 1,15 % para a área inundada projetada para 2045 (TR100). Além disso, é notável o aumento do nível da água em determinados pontos, proveniente do aumento do escoamento superficial na localidade. É essencial ordenar o crescimento urbano na bacia, visto que é majoritariamente rural e com o mínimo de ocupação urbana, dado que as áreas inundáveis foram mapeadas pelo presente estudo.

2.4.4 Bacia Rio Mandu

O Rio Mandu é um dos principais afluentes do Rio Sapucaí-Mirim, sendo que seu exutório ocorre na área urbana de Pouso Alegre. Assim, é possível visualizar a evolução da vazão que afeta o município em momentos de cheia. A metodologia aplicada nesse tópico é a mesma já explicitada. Foram simulados os cenários futuros para os 5 tempos de recorrência considerados e comparados com o cenário atual modelado. O resultado das simulações é mostrado nas Figura 128 a Figura 132.

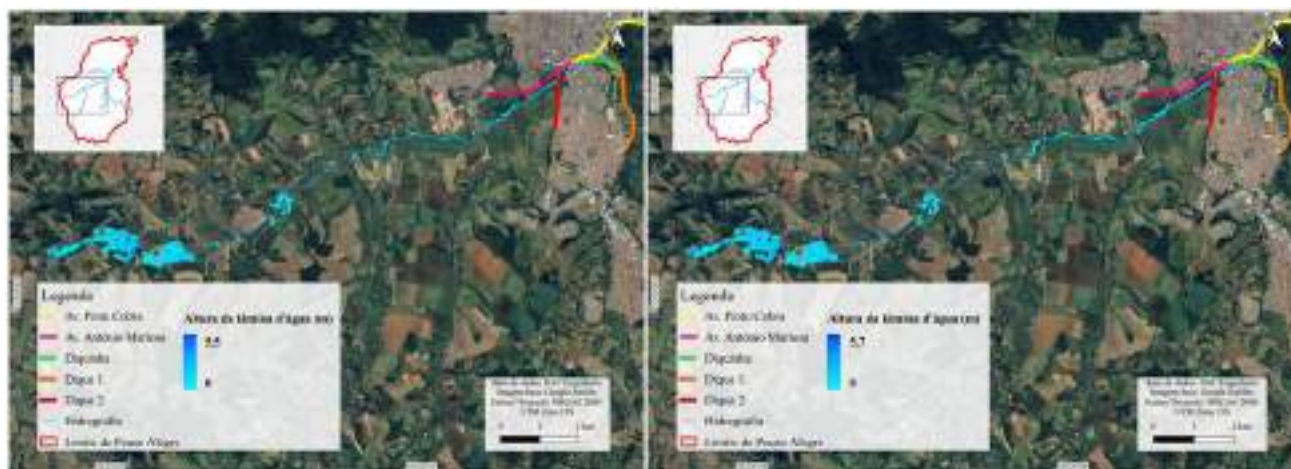


Figura 128 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

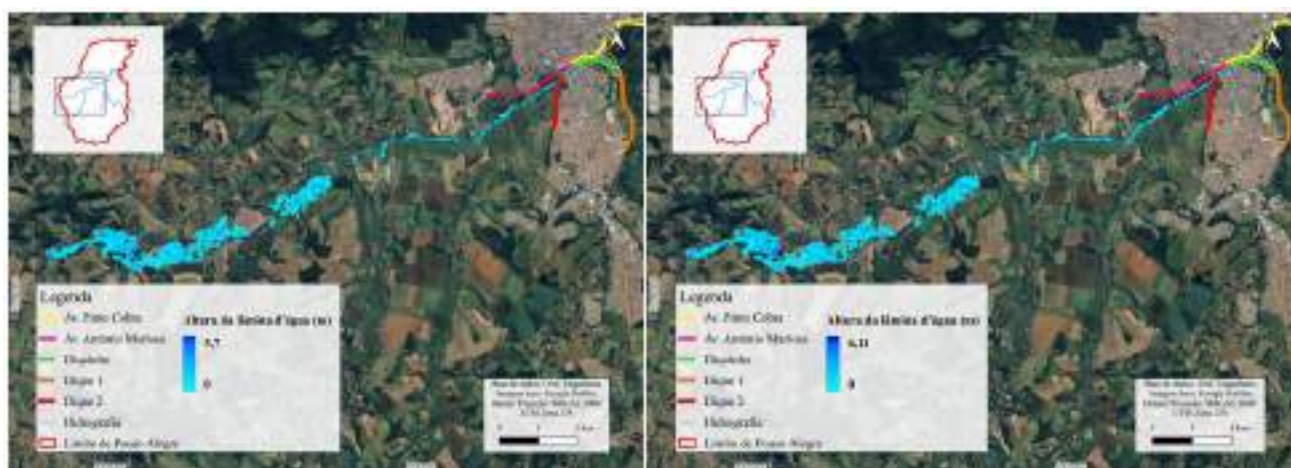


Figura 129 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente



Figura 130 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

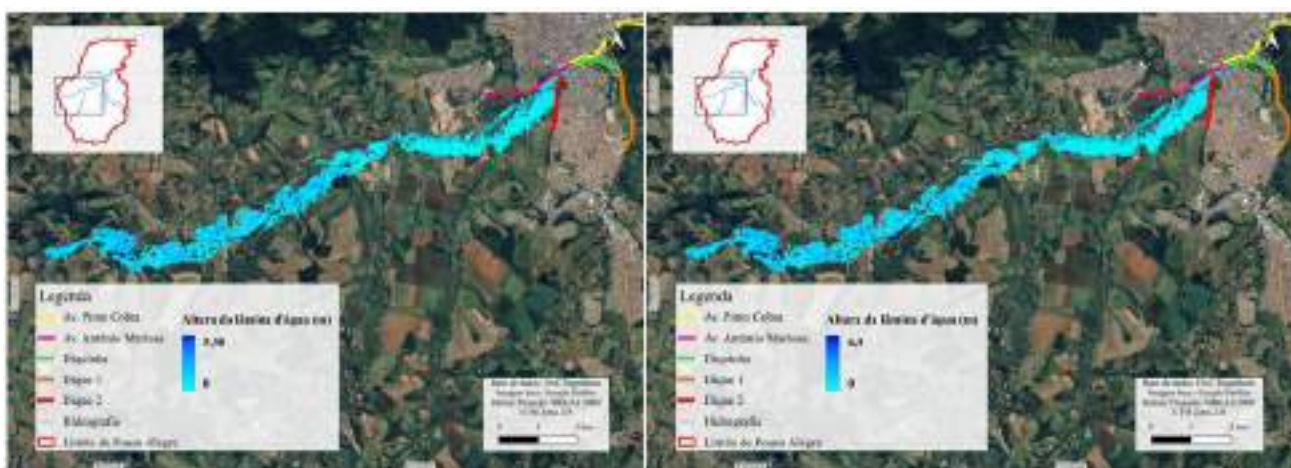


Figura 131 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

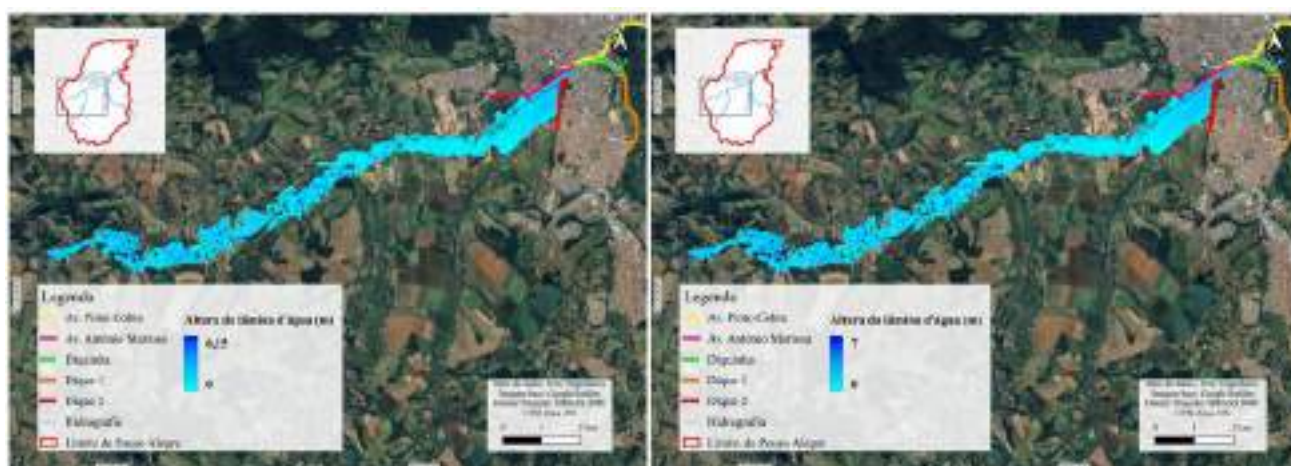


Figura 132 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

A área originalmente afetada pela inundação do Rio Mandu, referente ao ano de 2025, atinge 6,72 m², apresentando um aumento de 1,61% para a área inundada projetada para o ano de 2045. Adicionalmente, destaca-se o incremento no nível da água em pontos específicos, resultado do aumento do escoamento superficial na área. Entretanto, os diques já existentes na área urbana impedem que as áreas sejam afetadas pela inundação proveniente do Mandu, sendo que apenas uma região edificada em área de preservação permanente ainda é inundada pela cheia. A necessidade nessas áreas é apenas a fiscalização para que não ocorra a ocupação de áreas suscetíveis a cheias em cenários futuros.

2.4.5 Bacia Sapucaí-Mirim

O Rio Sapucaí-Mirim representa um dos principais afluentes do Rio Sapucaí, desembocando na área urbana de Pouso Alegre. Essa localização estratégica permite observar a variação do fluxo que impacta o município durante períodos de enchente. A abordagem metodológica empregada nesta análise segue os mesmos princípios previamente detalhados. Foram realizadas simulações para os cinco diferentes cenários, correspondente aos tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos, os quais foram então comparados com o cenário atual modelado. Os resultados dessas simulações estão documentados nas Figura 133 a Figura 137.

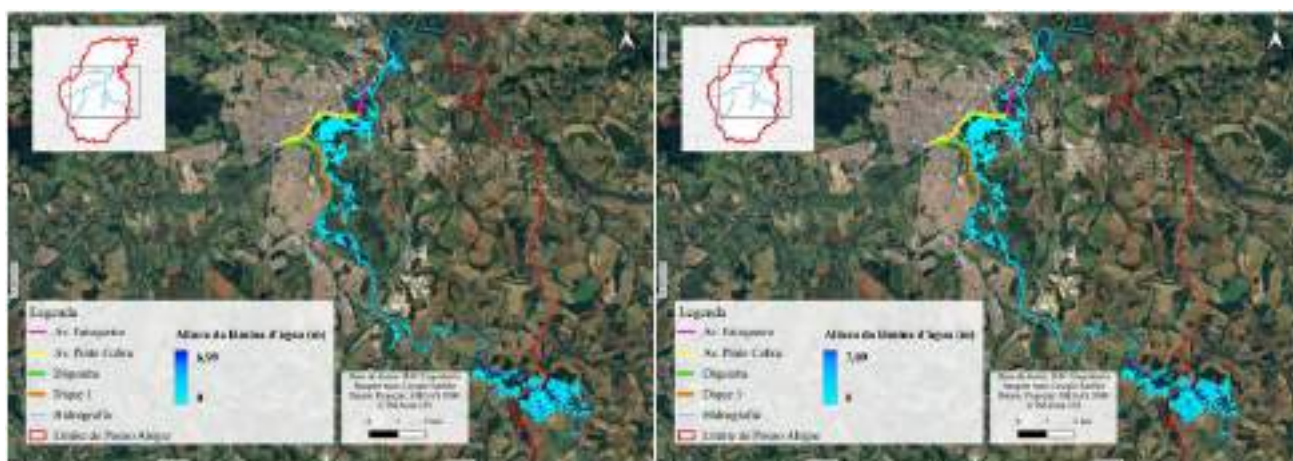


Figura 133 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

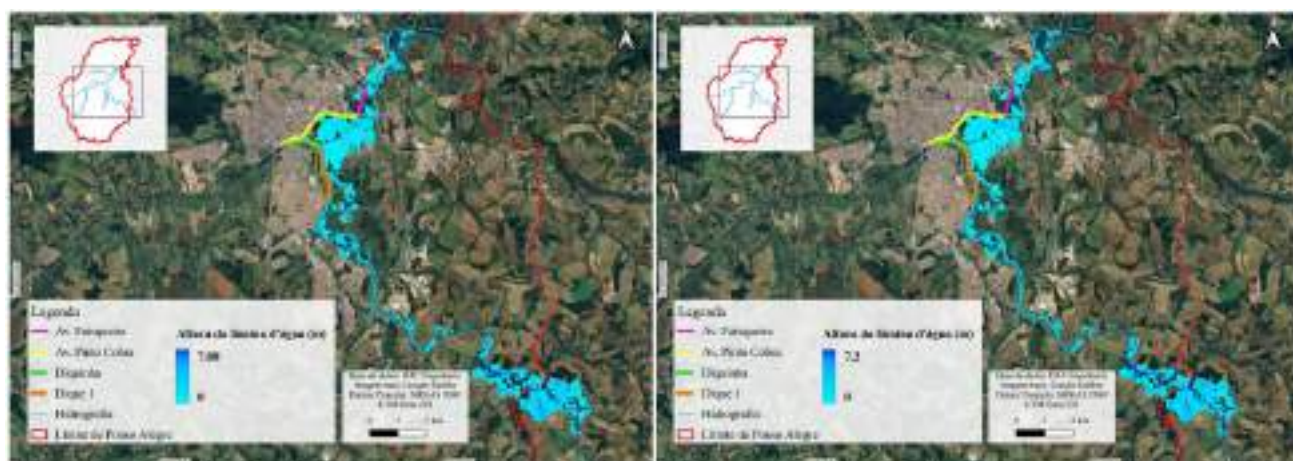


Figura 134 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

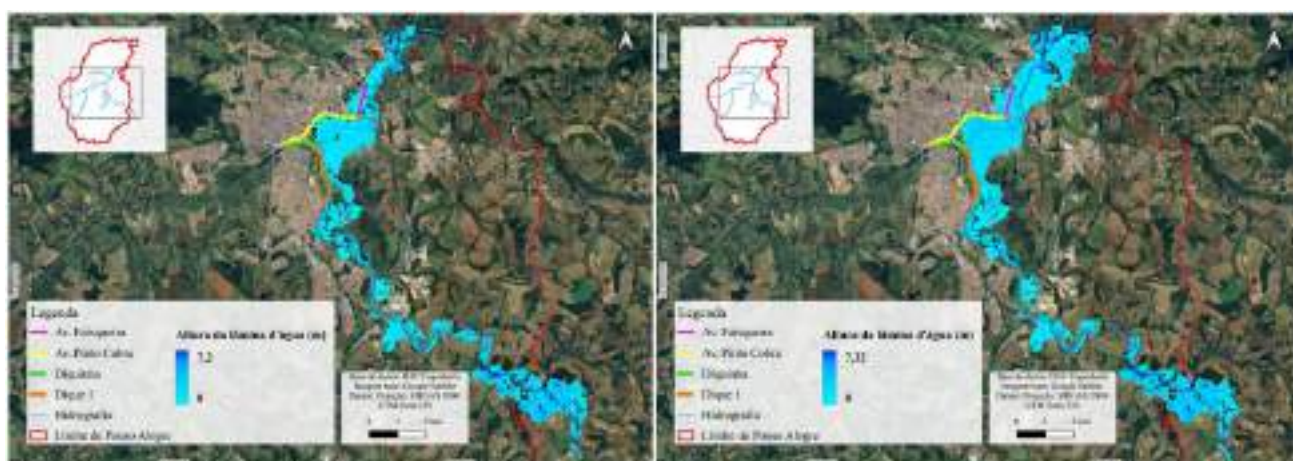


Figura 135 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

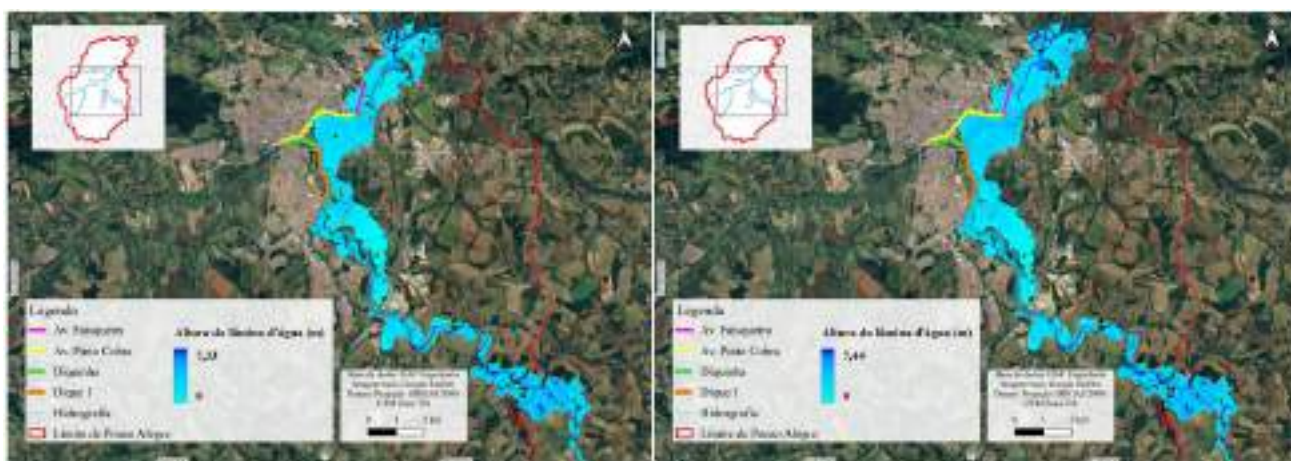


Figura 136 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

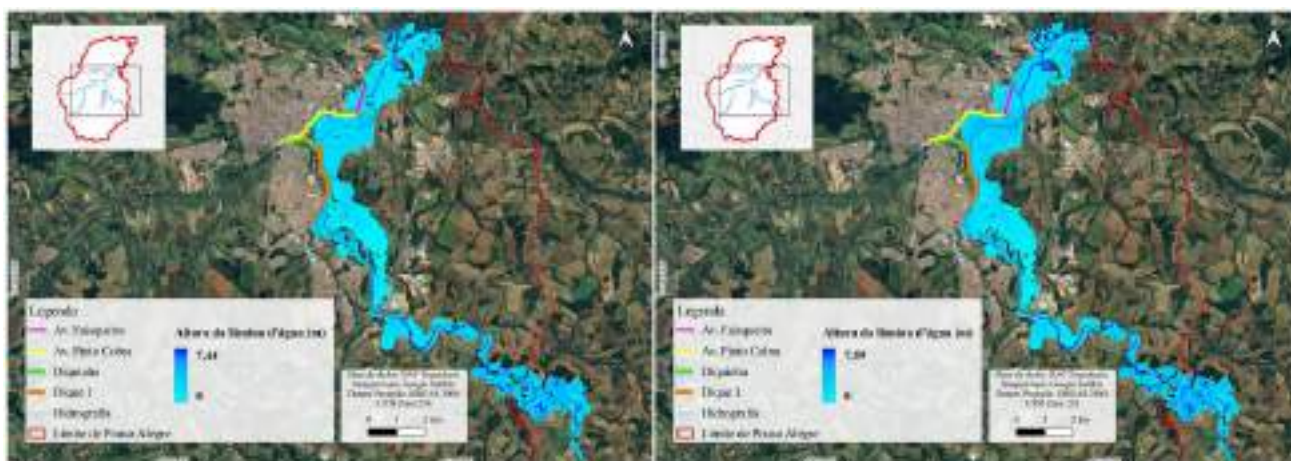


Figura 137 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

A extensão inicialmente afetada pela inundação do Rio Sapucaí-Mirim, registrada no ano de 2025, abrange uma área de 18,90 metros quadrados, demonstrando um acréscimo de 3,88% para a área inundada projetada até 2045. Além disso, é importante ressaltar o aumento do nível da água em locais específicos, consequência do incremento do escoamento superficial na região. No entanto, é válido mencionar que os diques já instalados na área urbana atuam como barreiras contra as inundações provenientes do Sapucaí-Mirim, protegendo as áreas circundantes. Entretanto existem áreas edificadas as margens do curso hídrico, referentes a área do Bairro Ipiranga e áreas que ainda não foram parceladas, mas já possuem nível de ocupação urbana, que estão suscetíveis a inundação. Nas áreas afetadas, a principal necessidade reside na fiscalização rigorosa para evitar futuras ocupações em locais propensos a inundações.

2.4.6 Bacia Sapucaí

O Rio Sapucaí margeia os limites do município, não sendo então um curso hídrico de influência direta nas inundações do município. A metodologia empregada neste contexto segue os mesmos princípios detalhados anteriormente. Foram conduzidas simulações dos cenários prospectivos para os cinco diferentes tempos de retornos determinados para esse estudo, os quais foram então comparados com o cenário atualmente modelado. Os resultados dessas simulações são apresentados nas Figura 138 a Figura 142.

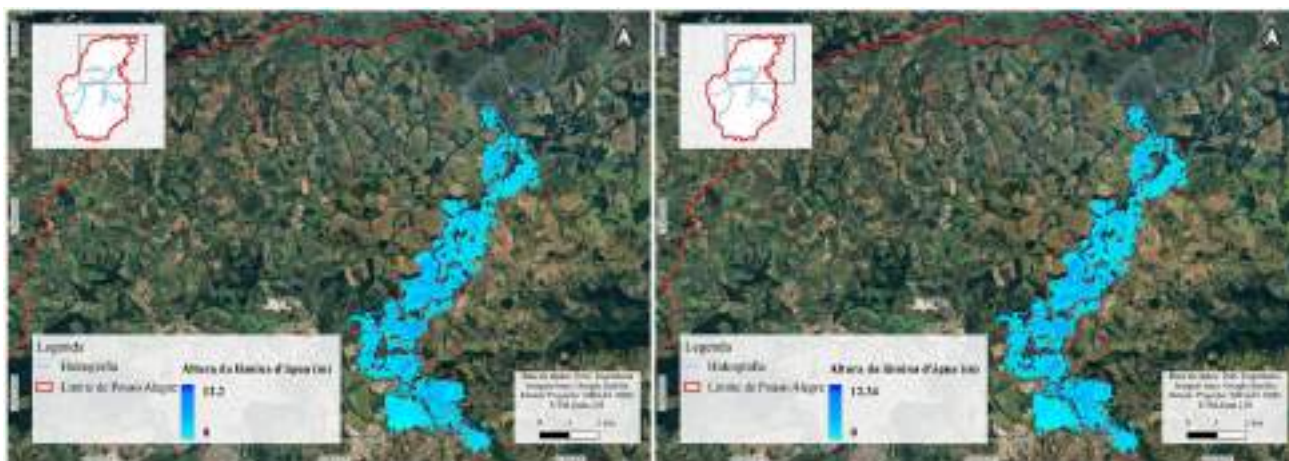


Figura 138 - Mancha de inundação para o TR 5 anos para o Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

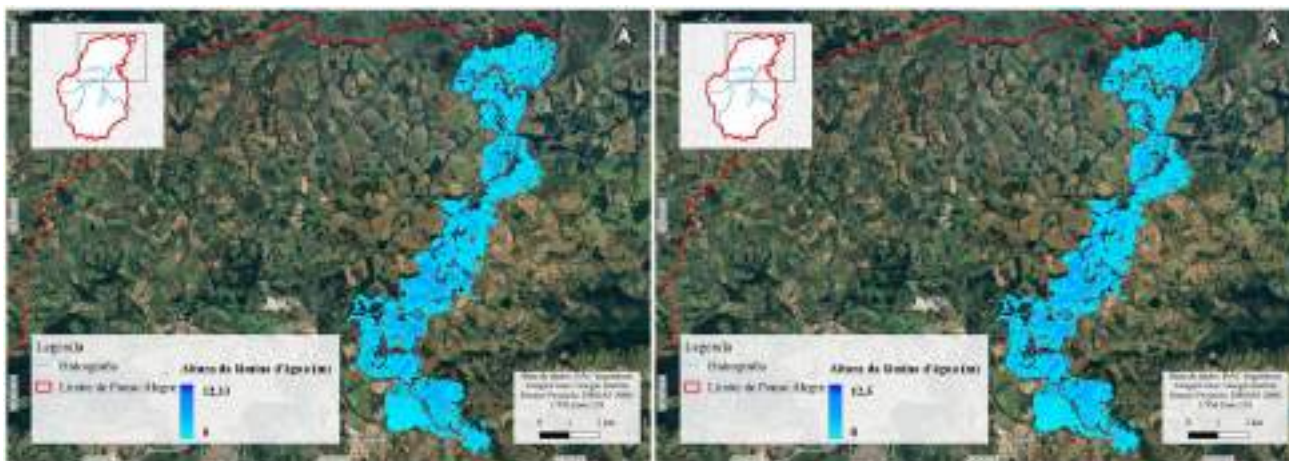


Figura 139 - Mancha de inundação para o TR 10 anos para o Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

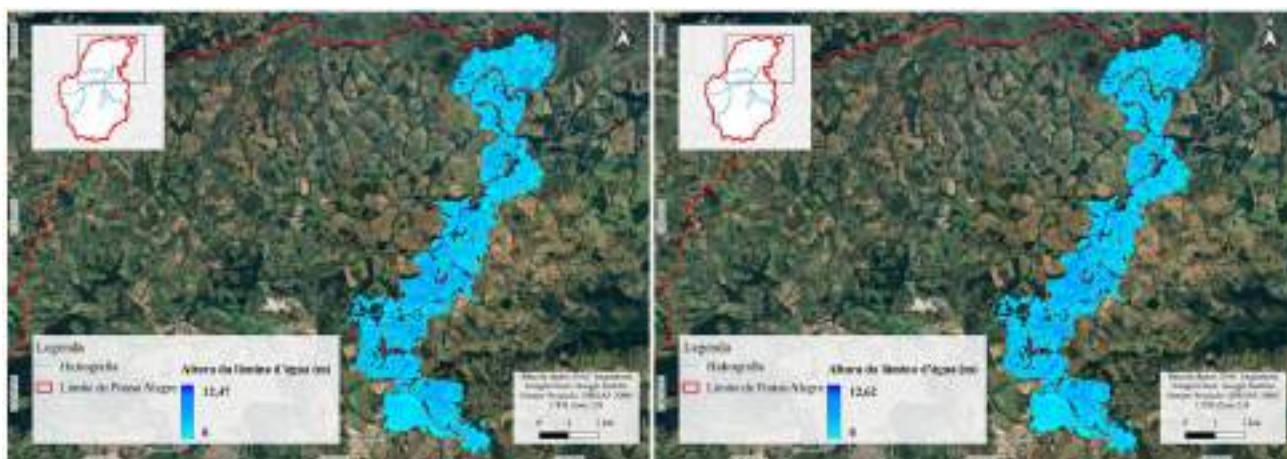


Figura 140 - Mancha de inundação para o TR 25 anos para o Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

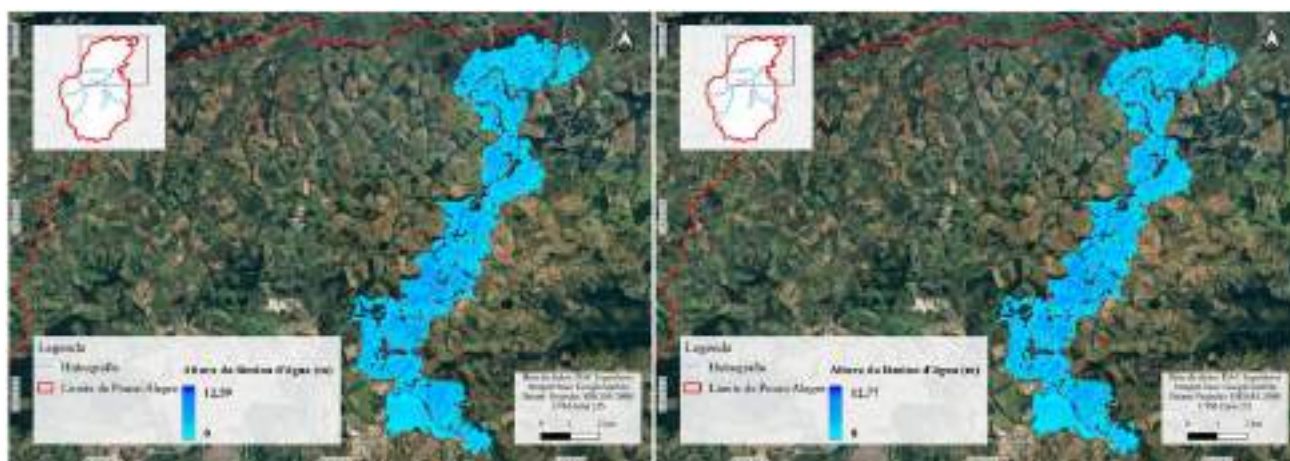


Figura 141 - Mancha de inundação para o TR 50 anos para o Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

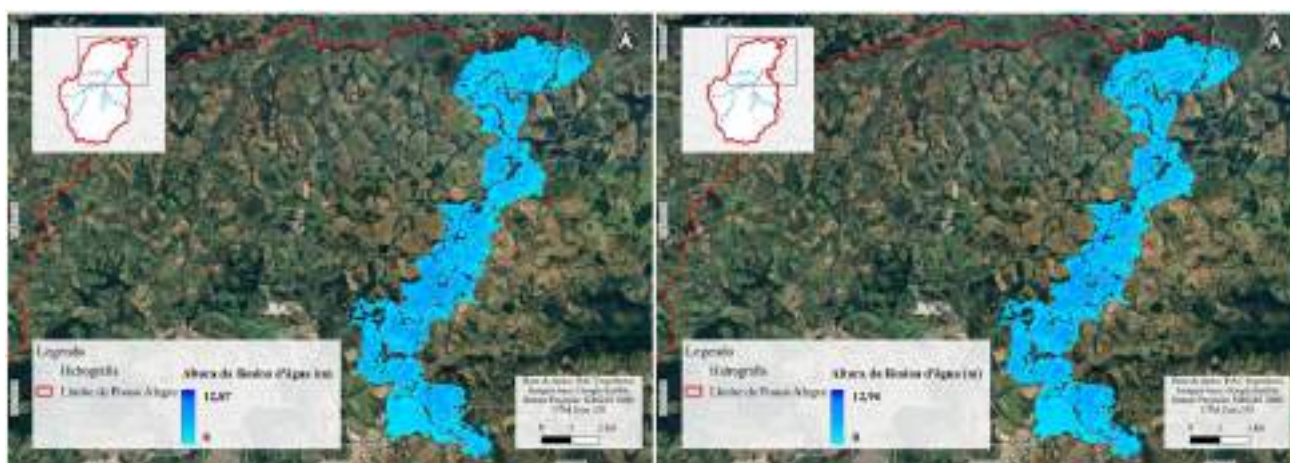


Figura 142 - Mancha de inundação para o TR 100 anos para o Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

A área originalmente afetada pela inundação do Rio Sapucaí, registrada no ano de 2025, abrange uma extensão de 27,85 m², representando um aumento de 3,0% para a área

inundada projetada até o ano de 2045. Apesar da maior parte do curso do rio não afetar diretamente a área urbana do município, uma pequena porção da região edificada em área de preservação permanente continua a ser afetada pela cheia, identificada como Jardim Fernandão, sendo sua ocupação dada por atividades industriais. Em áreas residenciais, apenas o Bairro Jardim Solar dos Quitas é afetado por inundações desde o cenário atual, sendo que a projeção futura da mancha aumenta a área afetada pela cheia. Nas áreas impactadas, a necessidade premente é uma fiscalização rigorosa para evitar a ocupação de áreas suscetíveis a inundações em cenários futuros.

3. ZONEAMENTO DAS ÁREAS DE INUNDAÇÃO

As inundações são eventos naturais que ocorrem quando os rios extravasam suas margens durante períodos de precipitação intensa, inundando vastas áreas adjacentes conhecidas como planícies de inundação. Essa ocorrência, embora parte do ciclo natural dos ecossistemas fluviais, representa um desafio significativo quando essas áreas são habitadas pela população. Em períodos de estiagem, quando o extravasamento do rio não ocorre, as comunidades tendem a ocupar essas áreas ribeirinhas para fins residenciais, agrícolas ou comerciais, aumentando assim a exposição ao risco de inundação.

O crescimento das áreas urbanas ao longo das margens dos rios, combinado com intervenções humanas nos cursos d'água, como a retificação dos rios, tem exacerbado a vulnerabilidade das comunidades ribeirinhas. Além disso, as mudanças climáticas globais têm desempenhado um papel significativo no aumento da frequência e severidade dos eventos de inundação ao longo das últimas décadas, alterando os padrões de precipitação e intensificando os fenômenos climáticos extremos. A fim de gerir os riscos dessas áreas de risco a inundação são aplicadas medidas estruturais, compreendidas por obras que permitem uma alteração da capacidade de escoamento dos volumes de cheia, e as medidas não-estruturais, que abrangem ações de mitigação de risco e prejuízos ocasionados pela inundação. O intuito das medidas não-estruturais é prevenir que as situações existentes se agravem num cenário futuro, porém não solucionam as situações já existentes (LARENTIS et al, 2020).

A implementação do zoneamento de áreas de inundação (ZAI) emerge como uma medida não-estrutural para atenuar os impactos adversos associados às inundações, através do estabelecimento de diretrizes para o uso do solo. Esta ferramenta fundamental já é amplamente utilizada no contexto do planejamento urbano na Europa e América do Norte, onde se tornou uma prática consolidada. Apesar de sua aplicação no Brasil ainda ser pouco utilizada (LARENTIS et al, 2020).

A fusão entre o mapeamento detalhado das áreas suscetíveis a inundações e um conjunto normativo que estabelece diretrizes para o uso e ocupação do solo dá origem ao conceito de zoneamento de áreas inundáveis, também conhecido como Zoneamento da Planície de Inundação (ZPI). O que abrange uma análise minuciosa e identificação das características das enchentes em diferentes segmentos da planície inundável, oferecendo,

portanto, uma base sólida para a formulação e implementação de políticas e regulamentações específicas. Estas medidas visam direcionar de forma adequada o desenvolvimento e a ocupação das áreas impactadas (FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY, 2019).

Conforme a metodologia de Laurentis et al (2020), adotada neste estudo para zoneamento se considera que uma planície de inundação é subdividida em três zonas distintas (Figura 143), cada uma com suas próprias características hidráulicas e diretrizes específicas de ocupação: Zona de Passagem da Cheia (ZPC) desempenha uma função crucial no escoamento das cheias, caracteriza-se por apresentar altas velocidades de fluxo e maiores profundidades de inundação. Nessa zona fica proibida qualquer tipo de ocupação que afete o nível da linha d'água; Zona de Risco de Inundação (ZRI) se encontra adjacente à ZPC, essa área apresenta um fluxo com menores velocidades e profundidades, entretanto é suscetível a inundações passíveis de danos. Sua ocupação é permitida desde que haja medidas que previnam e mitiguem as inundações, protegem de forma efetiva a população local e suas estruturas; Zona de Baixo Risco (ZBR) consiste em áreas que se encontram fora dos limites de inundação determinados, possuindo assim baixo risco a eventos de inundação.



Figura 143 – Composição das zonas no ZPI

Fonte: Larentis, 2020

É válido ressaltar que mesmo que essas áreas apresentem risco reduzido a eventos de inundação uma modificação nas características de uso e ocupação do solo ou uma falha nos sistemas de microdrenagem podem acarretar num cenário de alagamento ou inundação. Assim, é sempre imprescindível a análise do corpo técnico na implantação de novos empreendimentos que possam impactar de maneira negativa o sistema de drenagem.

Além das divisões definidas na metodologia utilizada, é possível definir mais uma zona nesse zoneamento, compreendo essa como Zona de Passagem de Cheia com Ocupação Consolidada (ZPCO), a qual se dá por uma ZPC, mas que se identifica ocupação urbana consolidada. A existência da ZPCO se dá visto que do aspecto hidráulico a obstrução na área já ocorreu na ZPC então deve-se levar em conta os mesmos parâmetros utilizados para a ZRI. A área de risco do ZPI é constituída então pela ZPC, ZRI e ZPCO.

Em cenários onde o ZPI já for considerado como um dos escopos do Plano Diretor Municipal, existe uma relevância significativa com relação a redução de áreas urbanas que exibem quadros ambientais vulneráveis. Sendo fundamental que as restrições aplicadas as zonas existentes neste plano sejam inseridas ao Plano Diretor Municipal (PDM), legislação responsável por regulamentar o uso e ocupação do território. Para isso, o PDM faz uso de uma variedade de instrumentos de planejamento, tais como a transferência do direito de construir, operações urbanas consorciadas e desapropriação com compensação em títulos da dívida pública. Além disso, podem ser aplicados incentivos como isenções de IPTU ou estímulos a usos de baixo impacto, como uma forma de minimizar os impactos financeiros para os proprietários de áreas sujeitas a restrições para novas construções. Esses instrumentos proporcionam alternativas viáveis para equilibrar as necessidades de desenvolvimento urbano com a preservação ambiental e a segurança da população em áreas propensas a inundações.

As recomendações quanto as restrições para as zonas indicadas são apresentadas na Tabela 10. É sugerido também que as zonas de expansão urbana não ocorram em Zonas de Passagem de Cheia e, no caso das áreas já consolidadas, as novas edificações tenham como contrapartida a construção de obras que mitiguem os efeitos das cheias. Já nas Zonas de Risco a Inundação é necessário um planejamento para ocupação dessas áreas, tendo em mente que terão que conviver com eventos de cheia. A sugestão técnica desse plano é que essas áreas não sejam ocupadas, sendo que nas áreas onde a ocupação já se consolidou sejam aplicadas medidas estruturais para o controle das inundações. Caso seja permitido a ocupação dessas áreas, deve ser estudado o impacto das alterações de uso do

solo através de estudos hidráulicos, de modo a prevenir um aumento dos impactos negativos.

Tabela 10 – Usos recomendados no Zoneamento de Planícies de Inundação

Zona de Identificação	Uso de solos recomendados
Zona de Passagem da Cheia	É imperativo que nesta região não sejam autorizadas novas edificações que causem obstrução ao livre fluxo de movimento. Entretanto, é importante considerar exceções para construções que demandem estar localizadas nesses espaços, como aquelas associadas a atividades portuárias. Por outro lado, estruturas que não interfiram no fluxo, como linhas de transmissão, canais hidráulicos, instalações esportivas e parques lineares podem ser permitidas.
Zona de Risco de Inundação	É fundamental adotar uma abordagem cautelosa na ocupação deste território, dando preferência a atividades que possam coexistir harmoniosamente com os eventos de inundação, minimizando potenciais danos e prejuízos. Embora seja possível realizar desenvolvimentos urbanos nesta área, é crucial respeitar a cota estimada para o nível de inundação de referência, além de implementar medidas eficazes para mitigar os riscos de falha dos sistemas de proteção contra inundações.
Zona de Passagem da Cheia com Ocupação Consolidada	Embora as propriedades hidráulicas durante cheias nesta área sejam comparáveis às da Zona de Passagem da Cheia (ZPC), a presença de uma ocupação urbana já estabelecida permite que esta região seja habitada, desde que sejam aplicadas as mesmas precauções observadas na Zona de Risco de Inundação (ZRI).

Fonte: Adaptado de Laurentis, 2020.

3.1 METODOLOGIA

Para construção do zoneamento da planície de inundação do município foram utilizadas simulações hidrológicas e hidráulicas elaboradas durante a execução dos relatórios do Produto 4 do presente estudo. A metodologia utilizada para construir as zonas pertencentes ao zoneamento se baseou no estudo conduzido por Larentis et al. (2020), sendo está adaptada e aplicada em todas as bacias hidrográficas objeto deste estudo. As manchas de inundação utilizadas como delimitação das áreas inundáveis foram obtidas por meio de modelagens computacionais realizadas no software HEC-RAS 6.4.1, tendo como base modelos digitais de elevação (MDE) dos referentes terrenos.

As imagens utilizadas para construção dos MDEs são provenientes de vôos de avião, que apresentam uma resolução de 0,3 metros, juntamente com as imagens provenientes do satélite Alos Palsar, no qual as imagens obtidas possuem resolução de 12,5 metros. O modelo de simulação compreendeu em uma modelagem 2D, considerando um regime de escoamento não permanente, no qual se empregou a equação da onda difusão em busca de maior estabilidade no modelo obtido para os meios de análise.

A etapa primordial na elaboração do zoneamento é a definição do tempo de retorno a ser considerado para a simulação das manchas. O estudo utilizado como base traz o valor de 100 anos como o que tem sido utilizado em outros países como o tempo de recorrência aceitável quando se trata de sistema de seguros contra cheia, sendo o valor a ser considerado para este estudo. A adoção desse valor significa em termos práticos que as ocupações nas áreas com risco a inundação terão uma probabilidade de 1% anualmente de ser afetadas por uma cheia, com base nos anos hidrológicos já observados.

Já para a determinação da zona de passagem de cheia é necessário considerar uma probabilidade maior de ocorrência, dado suas circunstâncias. Logo, o tempo de retorno adotado para essa delimitação foi o de 5 anos, visto seu papel hidráulico de escoar o volume de cheias. O zoneamento foi construído para todas as bacias, dando enfoque nas áreas mais urbanizadas de cada uma delas. Nos itens seguintes é apresentado o zoneamento estipulado para cada uma das bacias hidrográficas, assim como no Apêndice D, onde é possível visualizar os mapas em um maior detalhamento.

3.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO CRISTOVÃO E PATINHO

Os córregos do Patinho e São Cristóvão encontram-se na porção sul do município de Pouso Alegre. O córrego São Cristóvão é um afluente do córrego do Patinho, o qual tem seu exutório no rio Sapucaí-mirim. Os dois córregos margeiam a área urbana da cidade, o que ocasiona processo de cheia devido ao índice de urbanização da área, afetando a população local em eventos de extrema precipitação. A construção do zoneamento se baseou nas manchas de inundação já apresentadas, considerando o TR de 5 e 100 anos para delimitar o zoneamento, como já explicado na metodologia desse item. O zoneamento resultante para essa bacia hidrográfica é apresentado nas Figura 144 a Figura 146.

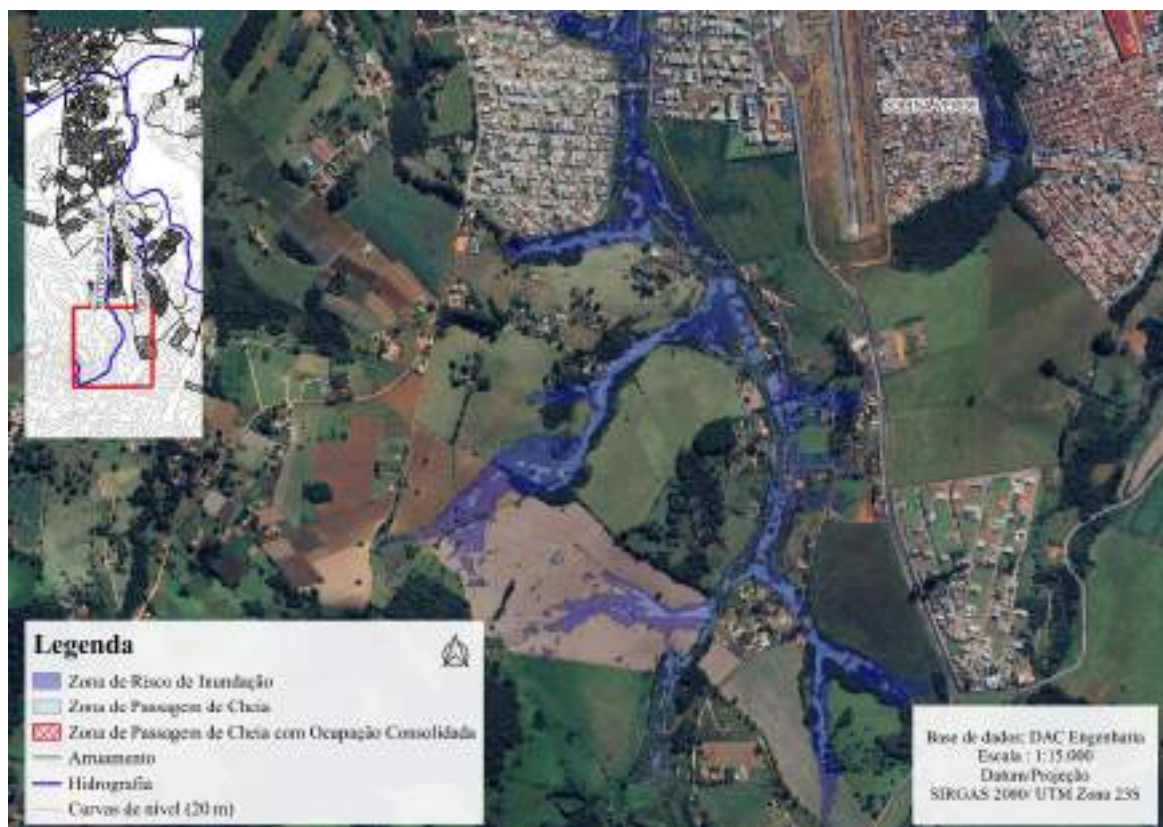


Figura 144 – Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 1 (Cór. Patinho)

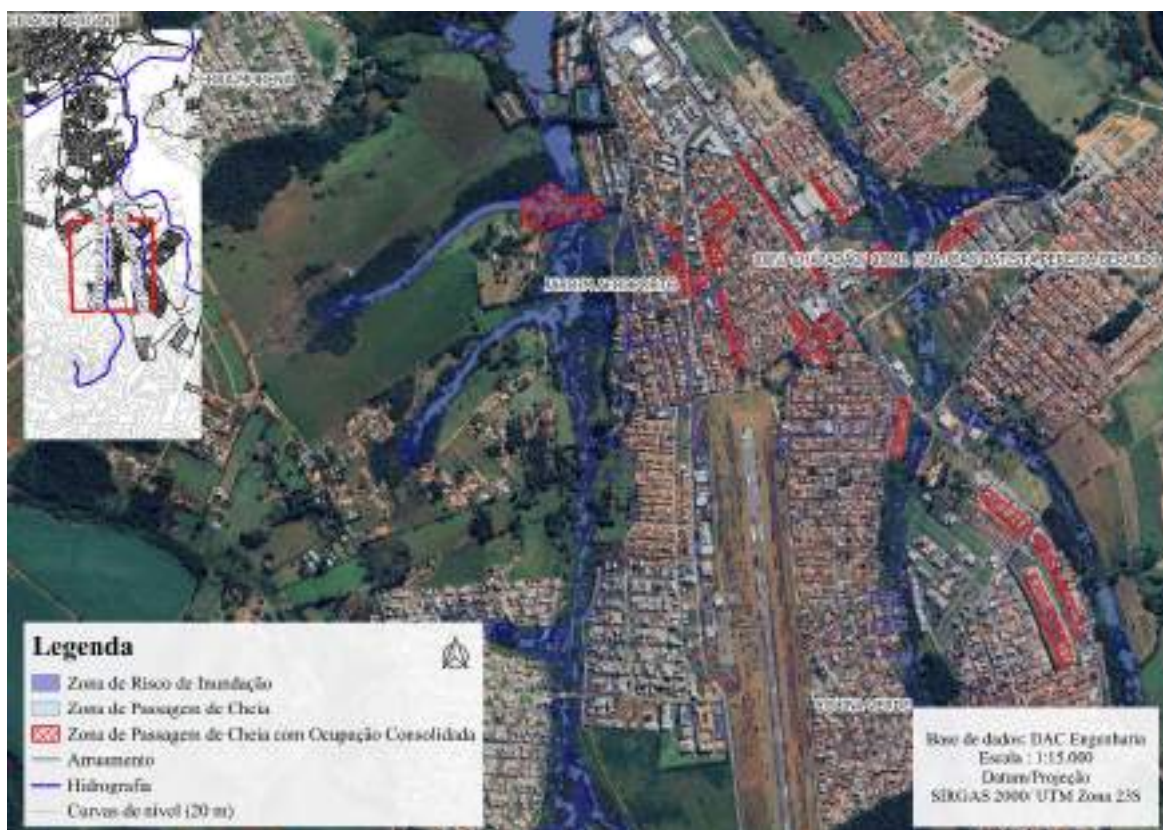


Figura 145 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 2 (Cór. Patinho)

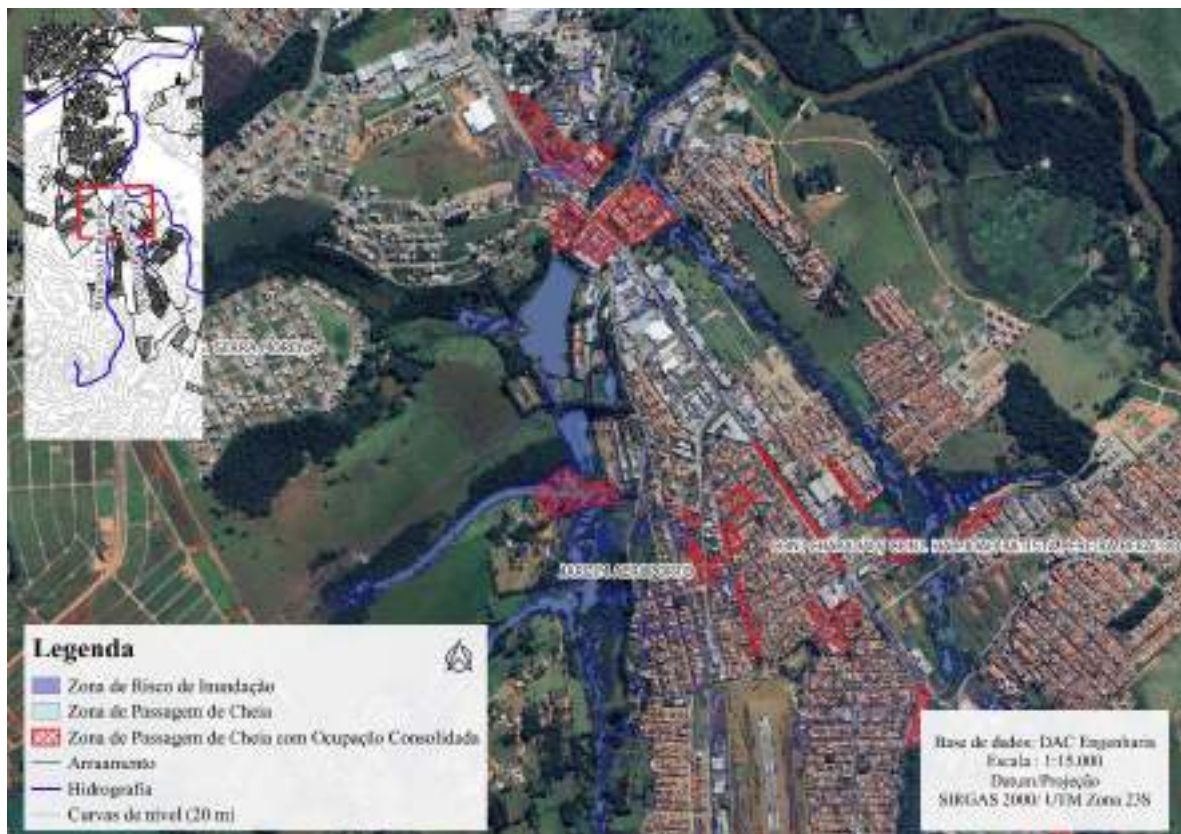


Figura 146 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 3 (Cór. Patinho)

É perceptível no zoneamento que bairros do município ocupam a áreas atingidas pela mancha de inundação, como é visto na Zona de Passagem de Cheia com Ocupação Consolidada, que ocupa áreas dos bairros Jardim Califórnia, Jardim Aeroporto e Conjunto Chapadão. Dado isso, deve ser considerado intervenções que possibilitem maior segurança para a população que ocupa essas áreas de risco. Além disso, na Figura 147 , é delimitada as áreas de APPs, que devem ser levadas em consideração visto a sua importância na manutenção da integridade dos cursos hídricos.



Figura 147 – ZPI com Área de Preservação Permanente (Cór. Patinho)

3.3 BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DA REMONTA

A localização do Córrego se dá as margens do perímetro urbano do município, tendo áreas urbanas consolidadas em suas proximidades. Essas áreas são diretamente afetadas em momentos de escoamento da cheia desse corpo hídrico. A construção do zoneamento se baseou nas manchas de inundação já apresentadas, considerando o TR de 5 e 100 anos para delimitar o zoneamento, como já explicado na metodologia desse item. O resultado do zoneamento proposta para nortear a ocupação das áreas dessa bacia é apresentado na Figura 148 e Figura 149.



Figura 148 – Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 1 (Cór. Remonta)



Figura 149 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 2 (Cór. Remonta)

É notável que a maior parte da zona de passagem da cheia não possui áreas urbanizadas, com exceção do bairro Yara, fazendo necessário a adoção de medidas que amenizem os efeitos da cheia na população local. Além das áreas suscetíveis as cheias devem ser consideradas as áreas de preservação permanente (Figura 150) juntamente com as áreas estabelecidas pelo ZPI. Visto que as margens dos corpos hídricos são estabelecidas como um dos parâmetros de APP, o Plano Diretor segue as diretrizes do Código Florestal para delimitação das mesmas. Dado isso, as APPs sobrepõem as áreas de ZPC, que como já citado em maior parte da bacia não possuem ocupação, o que faz com que a população sujeita a cheias seja reduzida.



Figura 150 – ZPI com Área de Preservação Permanente (Cór. Remonta)

3.4 BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO SÃO JUDAS TADEU

Nas Figura 151 e Figura 152 são apresentados os mapas referentes ao zoneamento da bacia hidrográfica do Córrego São Judas Tadeu, o qual se situa na porção noroeste do município, sendo uma afluente do Ribeirão da Mortes. O Córrego possui áreas residenciais estabelecidas nas suas proximidades, tendo margens edificadas a jusante, o que ocasiona problemas recorrentes já registrados. O planejamento do uso do solo foi desenvolvido com base na metodologia já apresentada.

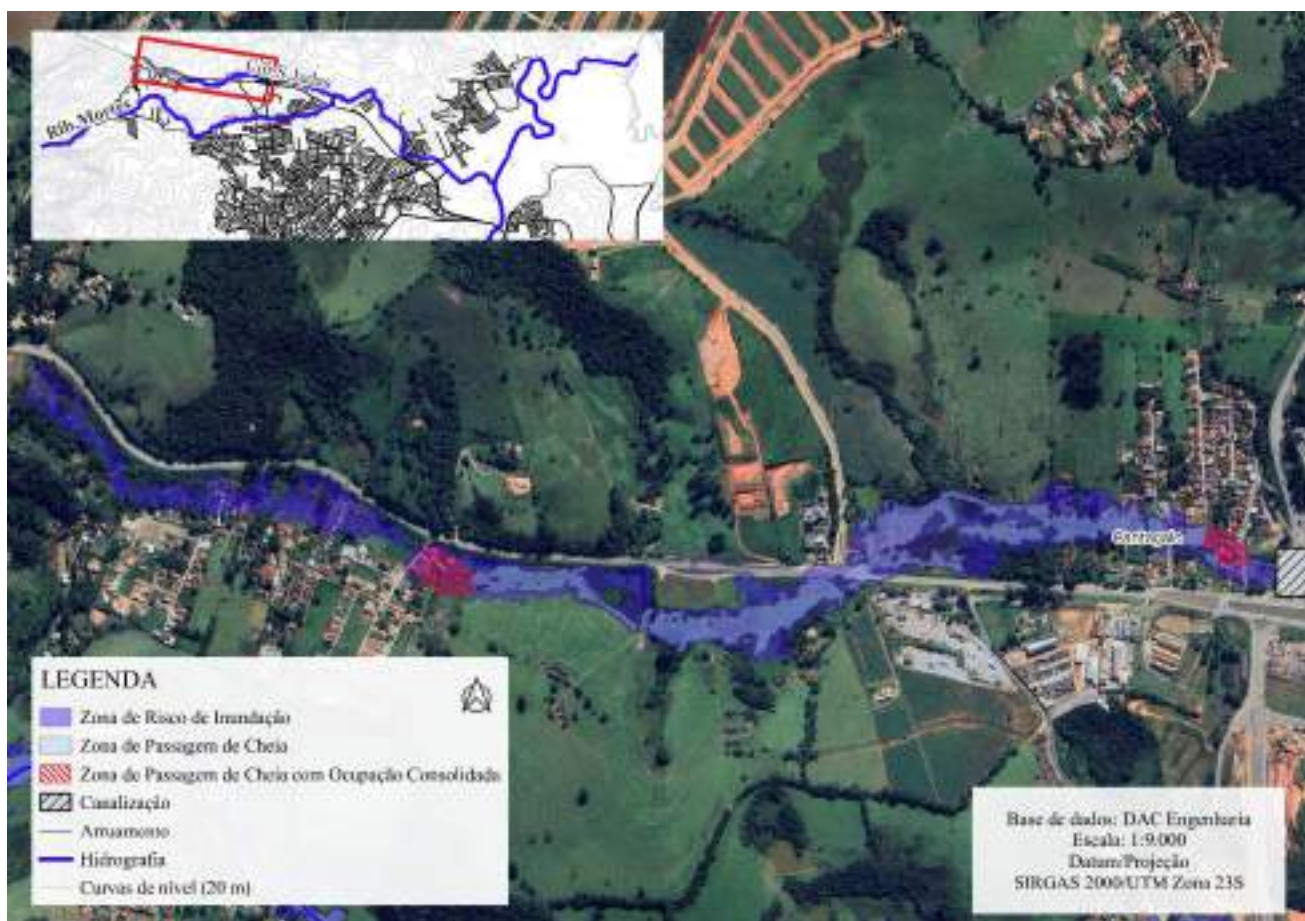


Figura 151 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 1 (Cór. São Judas Tadeu)

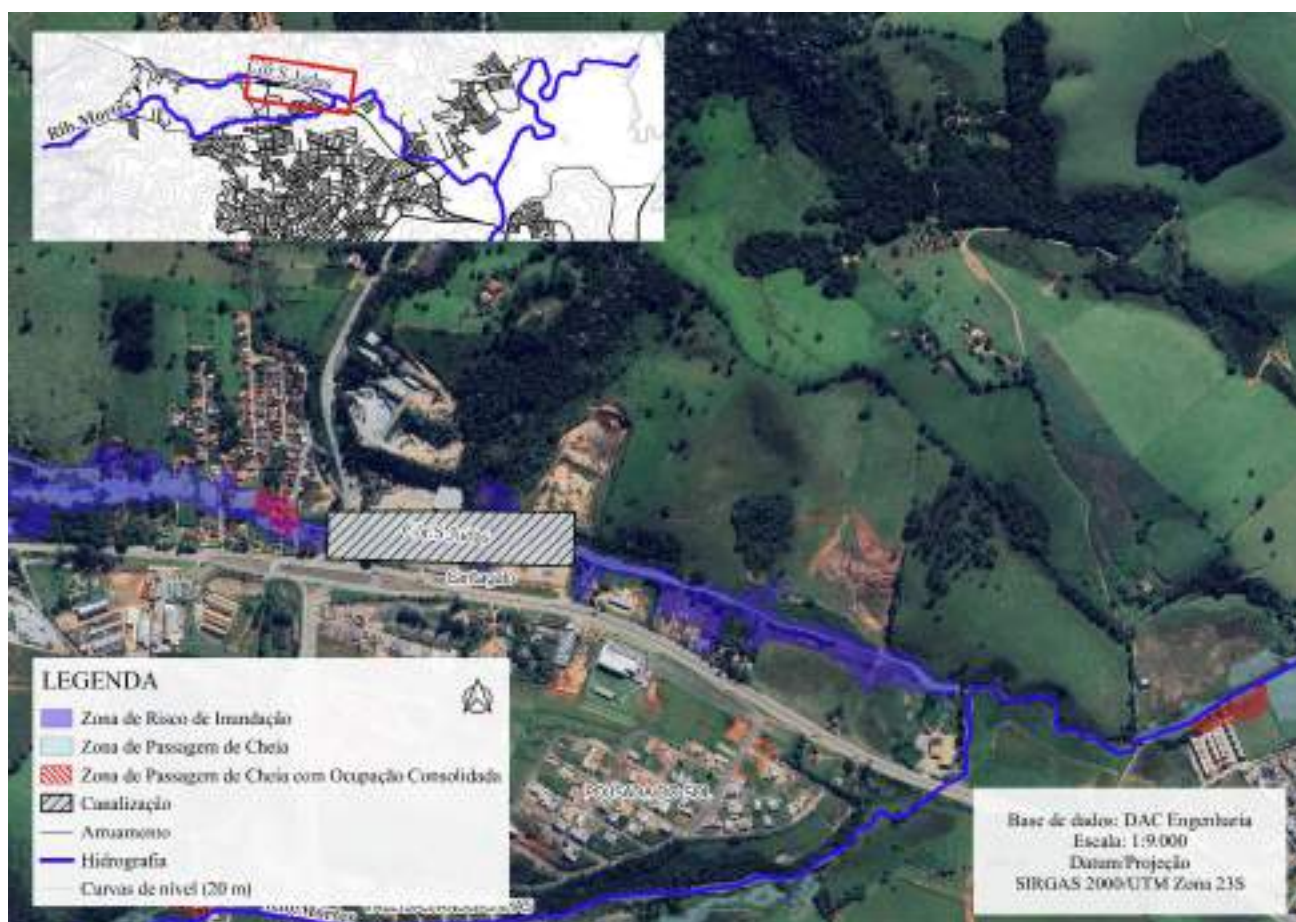


Figura 152 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 2 (Cór. São Judas Tadeu)

É evidente que a maior parte da região afetada pelas cheias não está urbanizada, com exceção de uma extensa área correspondente ao bairro São Judas Tadeu, no qual o córrego atravessa e tem suas margens edificadas. É imperativo adotar medidas que minimizem os impactos das cheias na população local. Além das áreas vulneráveis às cheias é crucial considerar as áreas de preservação permanente (conforme mostrado na Figura 153) juntamente com as zonas estabelecidas pelo Zoneamento de Proteção de Inundações (ZPI). Consequentemente, as APPs se sobrepõem às áreas do ZPI o que, como já mencionado, resulta em uma baixa ocupação, reduzindo assim a população vulnerável às cheias.



Figura 153 - ZPI com Área de Preservação Permanente (Cór. São Judas Tadeu)

3.5 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS MORTES

Assim como os corpos hídricos citados anteriormente, no Ribeirão das Mortes também foi aplicada a metodologia de zoneamento de planície de inundação. O ZPI sugerido para essa bacia é apresentado nas Figura 154 a Figura 156. O corpo hídrico possui desenvolvimento de áreas urbanas na maior parte da sua extensão, sendo primordial a consideração de um zoneamento que proteja a população já consolidada, assim como as áreas a serem expandidas.

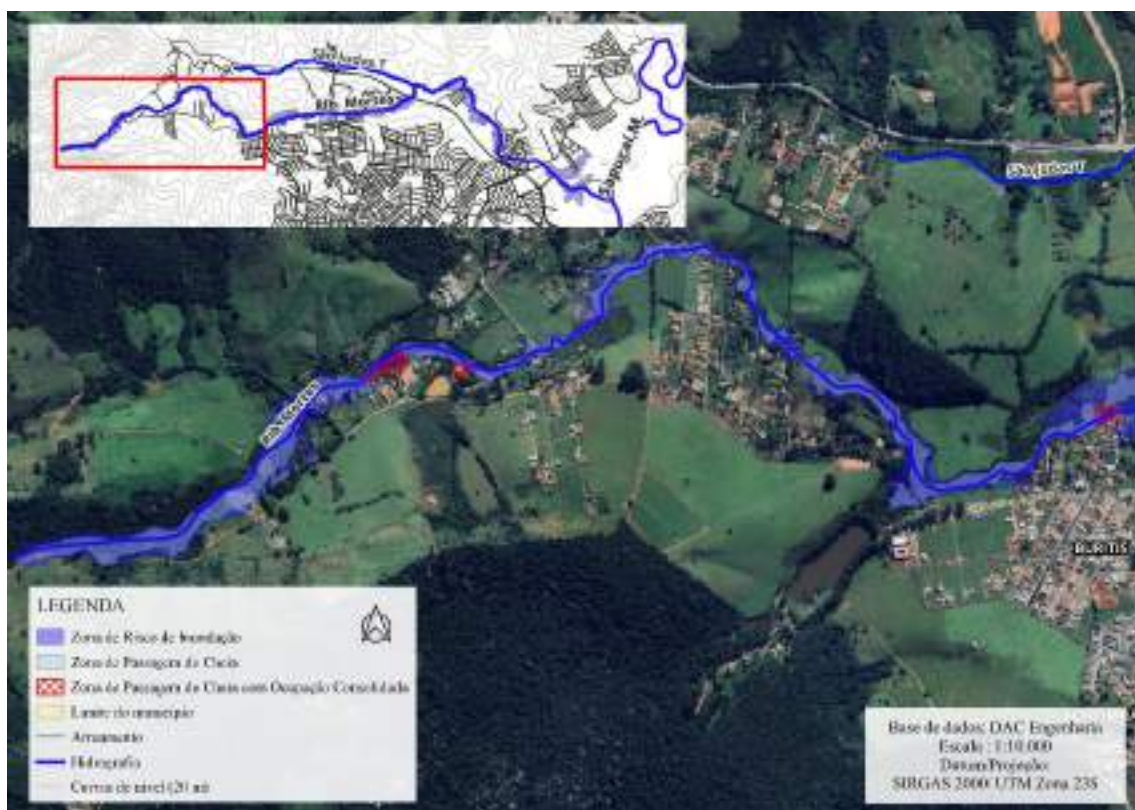


Figura 154 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 1 (Rib. Das Mortes)



Figura 155 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 2 (Rib. Das Mortes)



Figura 156 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 3 (Rib. Das Mortes)

Devido ao alto índice de urbanização dentro da área da bacia, grande parte das edificações se encontram dentro de Zona de Risco de Inundação, sendo primordial a implantação de obras que mitiguem os impactos da cheia nas áreas consolidadas e que as novas edificações já considerem esses efeitos nas áreas de acordo com o zoneamento sugerido. Além do que já foi considerado no zoneamento, é fundamental levar em conta não apenas as áreas suscetíveis a inundações, mas também as áreas de preservação permanente (APPs) (Figura 157) e as zonas definidas pelo Zoneamento de Proteção de Inundações (ZPI). Como resultado, as APPs se superpõem às áreas do ZPI, levando, como já observado em casos anteriores, a uma ocupação geralmente reduzida em grande parte da bacia, o que diminui a população vulnerável às inundações.



Figura 157 - ZPI com Área de Preservação Permanente (Rib. Das Mortes)

3.6 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO PANTANO

Com a maioria de sua área de drenagem fora perímetro urbano do município o Ribeirão Pantano possui áreas urbanas consolidadas apenas na região do distrito São José do Pantano e na sua foz no Rio Mandu, nas proximidades da MG-290. A elaboração do zoneamento teve como base as áreas inundáveis previamente identificadas, utilizando os períodos de retorno de 5 e 100 anos para sua delimitação, conforme detalhado na metodologia desta seção. Na Figura 158 a Figura 160 são apresentados os resultados do zoneamento proposto para orientar a ocupação das áreas dentro dessa bacia.

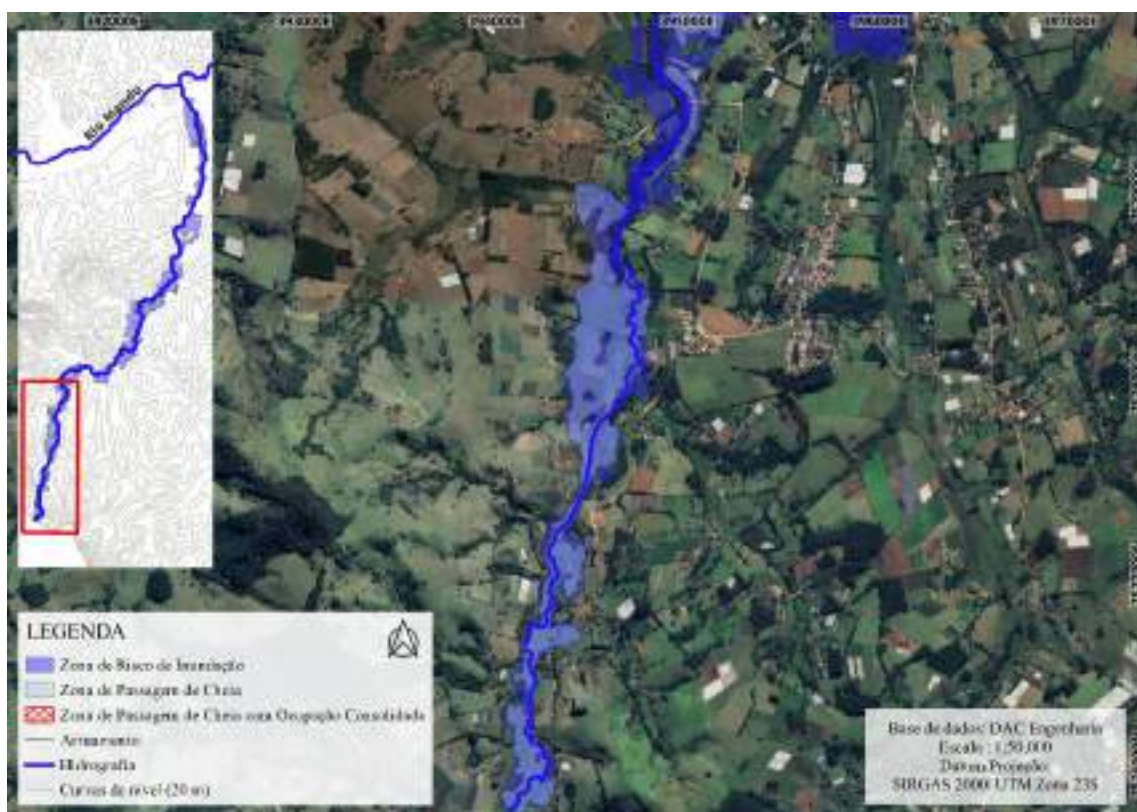


Figura 158 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 1 (Rib. Pantano)



Figura 159 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 2 (Rib. Pantano)

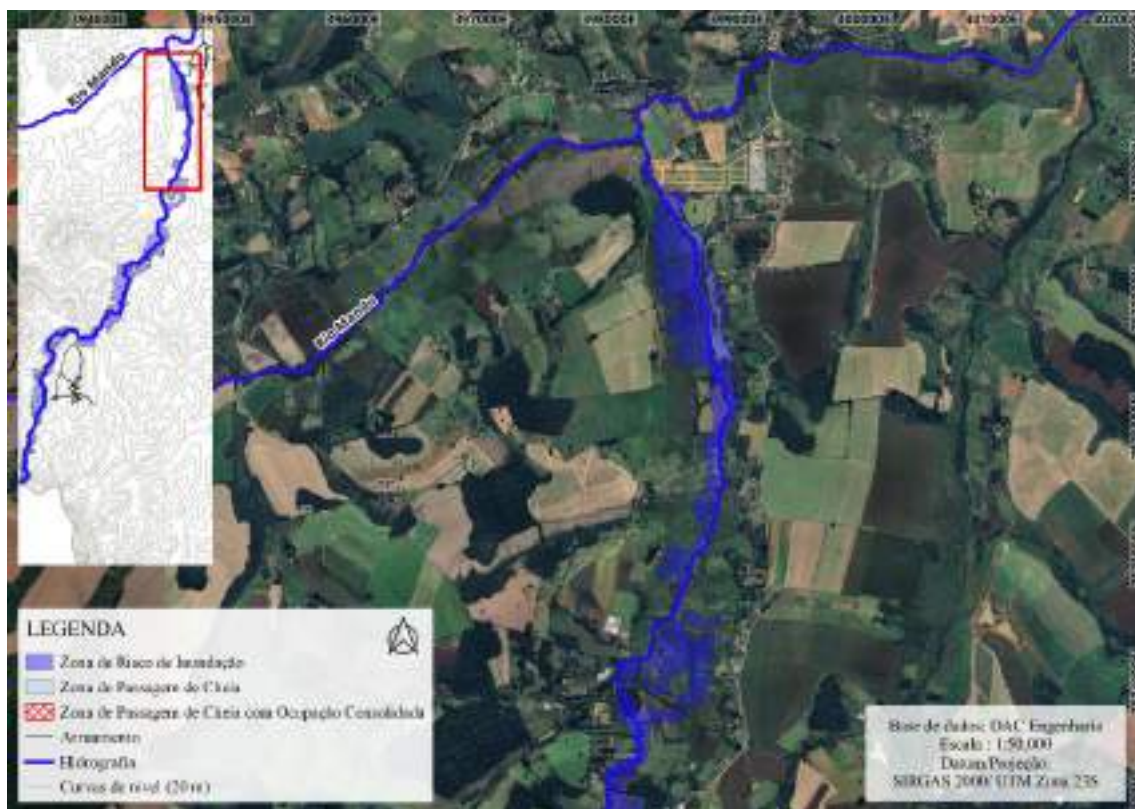


Figura 160 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 3 (Rib. Pantano)

É notável que a maior parte da região atingida pelas enchentes permanece sem urbanização, exceto a área que corresponde ao distrito já mencionado, onde o córrego atravessa e suas margens estão ocupadas por edificações. É crucial adotar medidas para mitigar os impactos das enchentes na comunidade local. Além das áreas suscetíveis às enchentes, é fundamental considerar as áreas de preservação permanente (conforme ilustrado na Figura 161), juntamente com as zonas estabelecidas pelo Zoneamento de Proteção contra Inundações (ZPI). Como resultado, as áreas de preservação permanente se sobrepõem às áreas do ZPI, o que, como já destacado anteriormente, leva a uma baixa ocupação na maior parte da bacia, reduzindo assim a população vulnerável às enchentes.

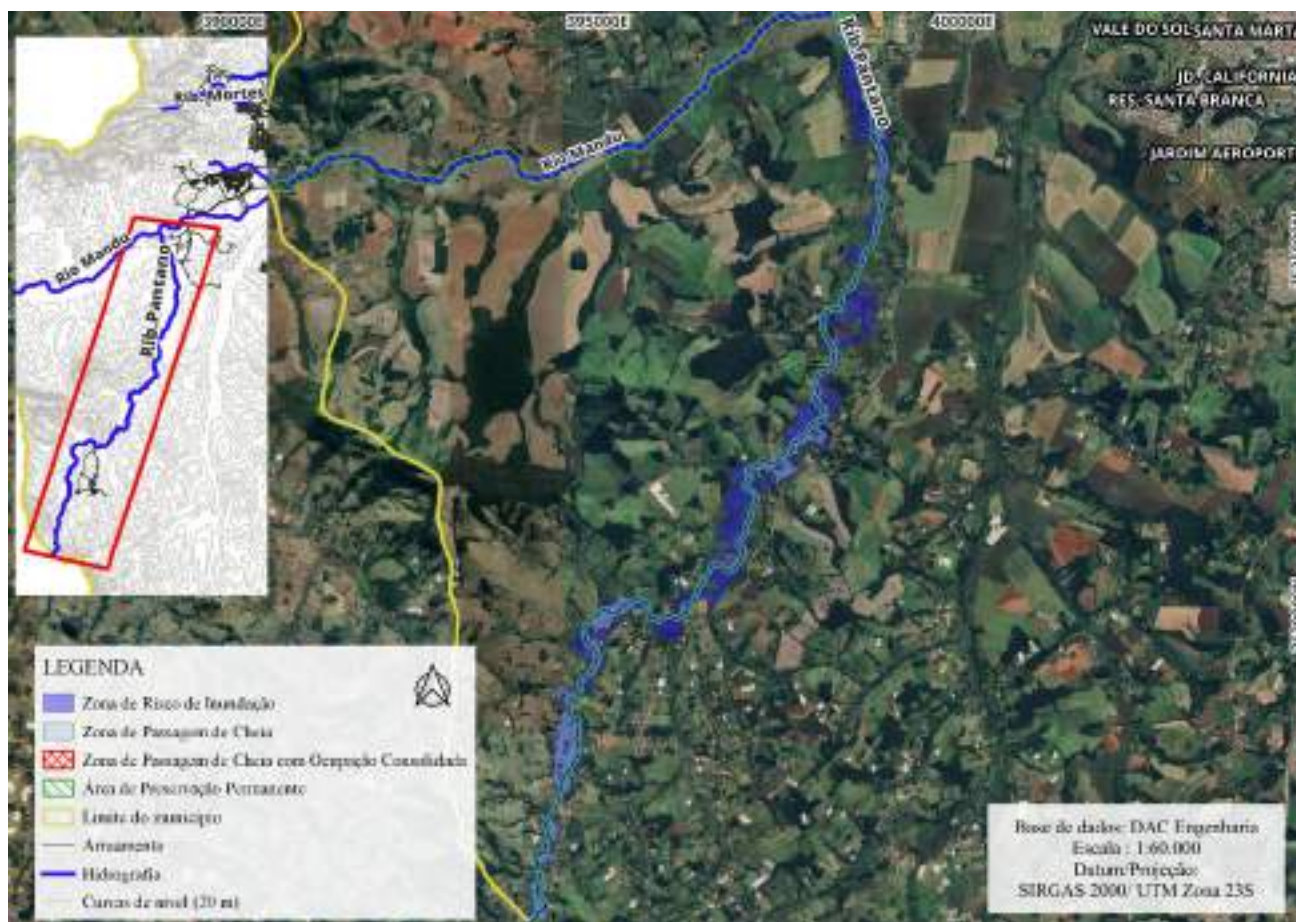


Figura 161 - ZPI com Área de Preservação Permanente (Rib. Pantano)

3.7 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MANDU

O zoneamento da bacia hidrográfica do Rio Mandu é apresentado pelas Figura 162 e Figura 163, situando-se na porção sudoeste do município como um afluente do Rio Sapucaí-Mirim. Próximo as suas margens, o Rio abriga áreas residenciais estabelecidas, com construções ao longo de sua jusante. O planejamento do uso do solo foi concebido com base na metodologia previamente exposta.

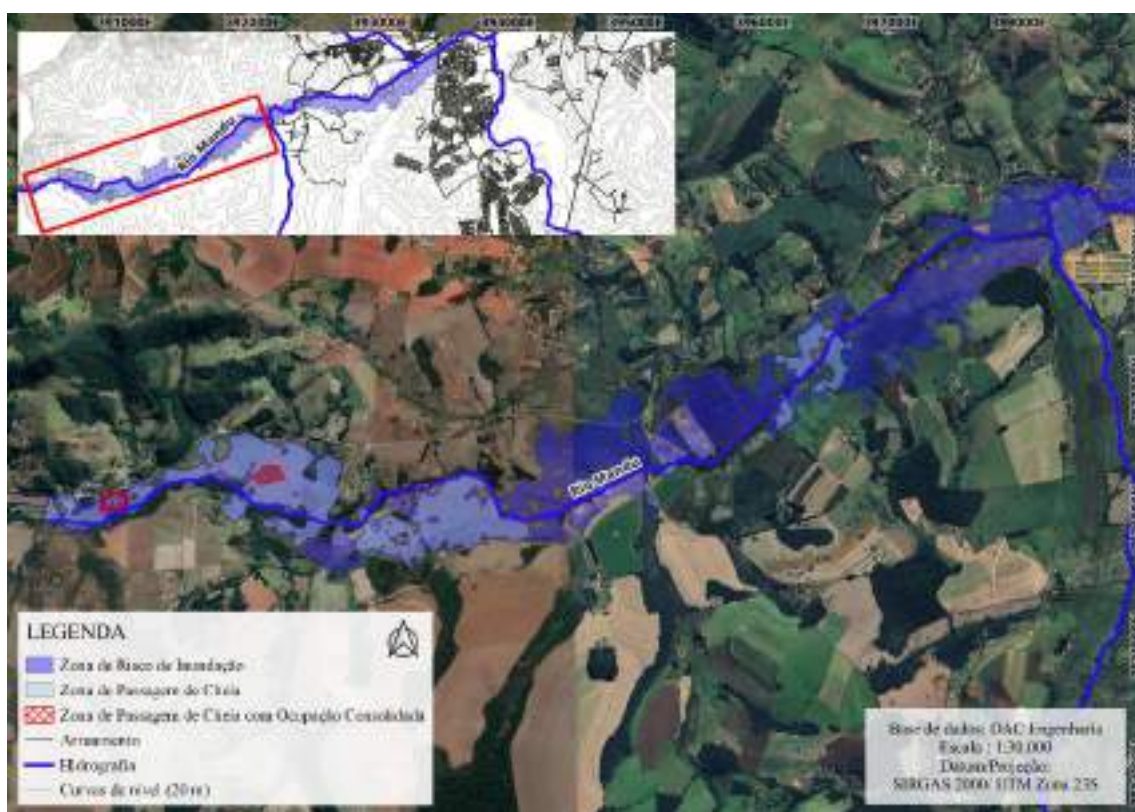


Figura 162 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 1 (Rio Mandu)



Figura 163 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 2 (Rio Mandu)

A maior extensão afetada pela inundação permanece desprovida de urbanização ou já possui algum tipo de medida que impede que as áreas urbanas sejam afetadas pelas inundações. Além das regiões suscetíveis às inundações, é de suma importância considerar as áreas de preservação permanente (conforme demonstrado na Figura 164), em conjunto com as zonas demarcadas pelo Zoneamento de Proteção contra Inundações (ZPI). Uma vez que as margens dos corpos d'água são estabelecidas como um dos critérios de Área de Preservação Permanente (APP), o Plano Diretor adere às orientações do Código Florestal para sua demarcação. Como consequência, as áreas de preservação permanente se sobrepõem às áreas do ZPI, o que, como mencionado previamente, resulta em uma ocupação mínima na maior parte das áreas de risco, reduzindo, dessa forma, a população exposta às inundações.

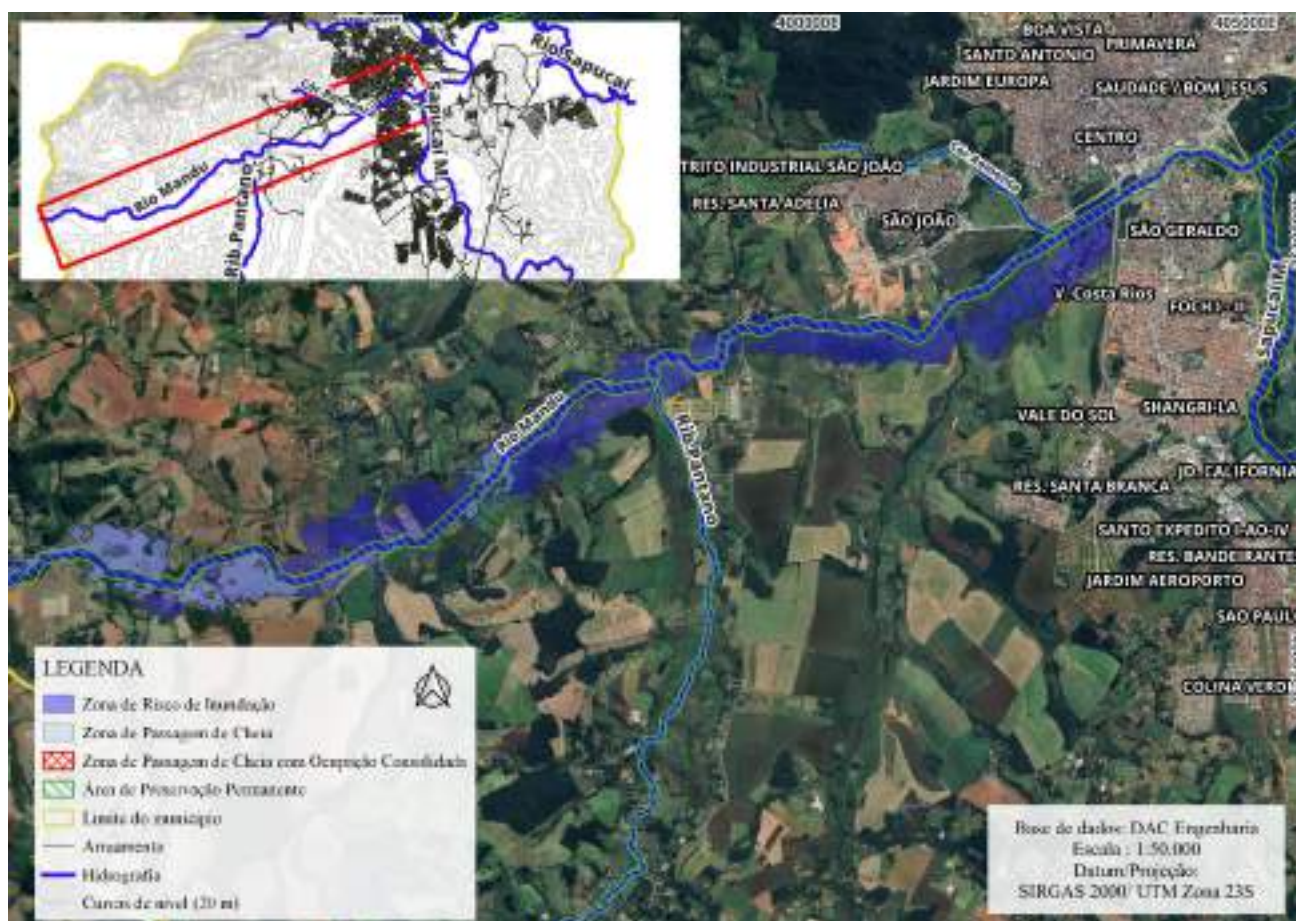


Figura 164 - ZPI com Área de Preservação Permanente (Rio Mandu)

3.8 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SAPUCAÍ-MIRIM

Da mesma forma que nos corpos d'água mencionados anteriormente, também foi empregada a metodologia de zoneamento da planície de inundação no caso do Rio Sapucaí-

Mirim. O ZPI proposto para essa bacia é ilustrado nas Figura 165 e Figura 166. Este curso d'água é acompanhado por áreas urbanas ao longo da maior parte de sua extensão dentro do município, destacando a importância de um zoneamento que proteja tanto a população já estabelecida quanto as áreas destinadas à expansão.



Figura 165 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 1 (Rio Sapucaí-Mirim)



Figura 166 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 2 (Rio Sapucaí-Mirim)

A implementação de medidas para mitigar os impactos das inundações sobre a comunidade local torna-se uma necessidade imperativa, dado que a maior parte da área afetada pelas inundações permanece sem urbanização, com exceção de uma área urbanizada correspondente ao Bairro Ipiranga e uma área que não foi parcelada. Além das regiões suscetíveis a inundações, é de suma importância considerar as áreas de preservação permanente, conforme evidenciado nas Figura 167 e Figura 168, em conjunto com as áreas demarcadas pelo Zoneamento de Proteção contra Inundações (ZPI). Como resultado, as áreas de preservação permanente se sobrepõem às áreas do ZPI, o que, como mencionado anteriormente, resulta em uma ocupação mínima na maior parte da bacia, reduzindo assim a população exposta às inundações.

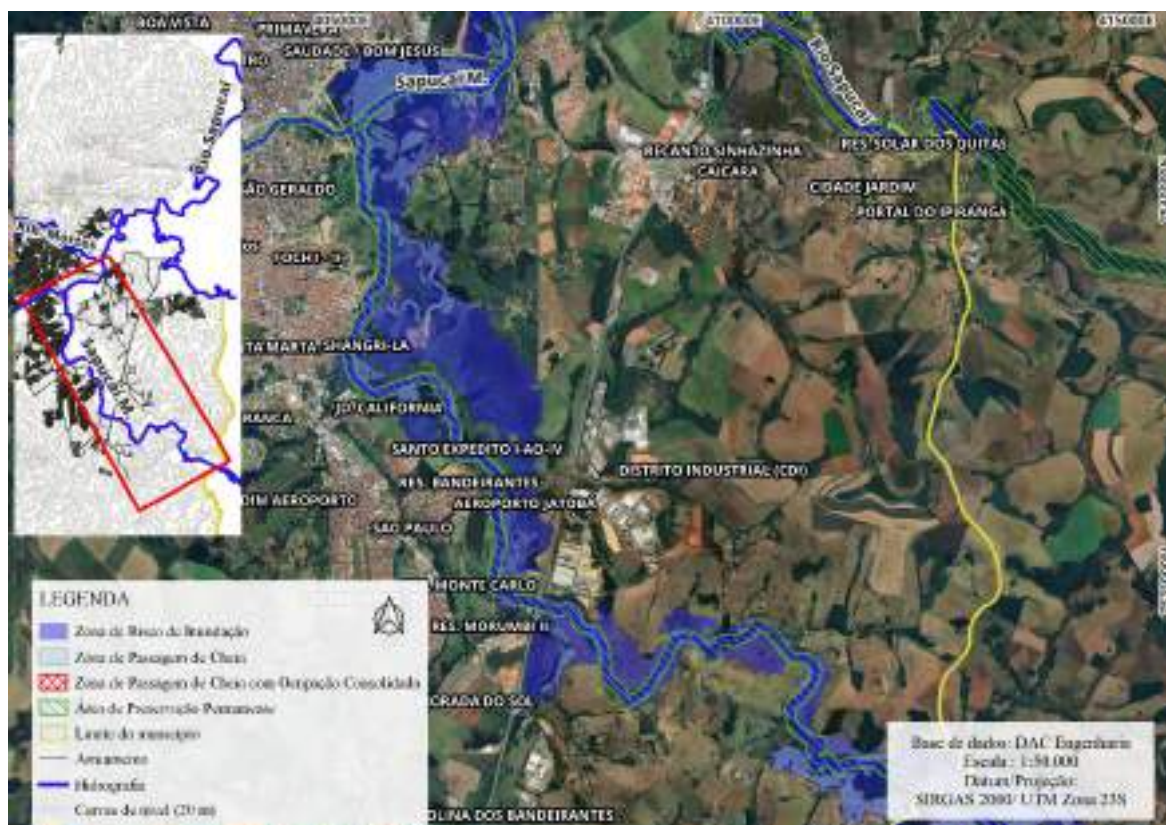


Figura 167 - ZPI com Área de Preservação Permanente Trecho 1 (Rio Sapucaí-Mirim)



Figura 168 - ZPI com Área de Preservação Permanente Trecho 2 (Rio Sapucaí-Mirim)

3.9 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SAPUCAÍ

Nas Figura 169 e Figura 170 são apresentados os mapas do zoneamento construído para o Rio Sapucaí. O zoneamento seguiu a metodologia já apresentada nas áreas anteriores, levando em consideração a mancha de inundação do TR 5 anos para delimitação da ZPC e a mancha de inundação do TR 100 anos para delimitar a ZRI.

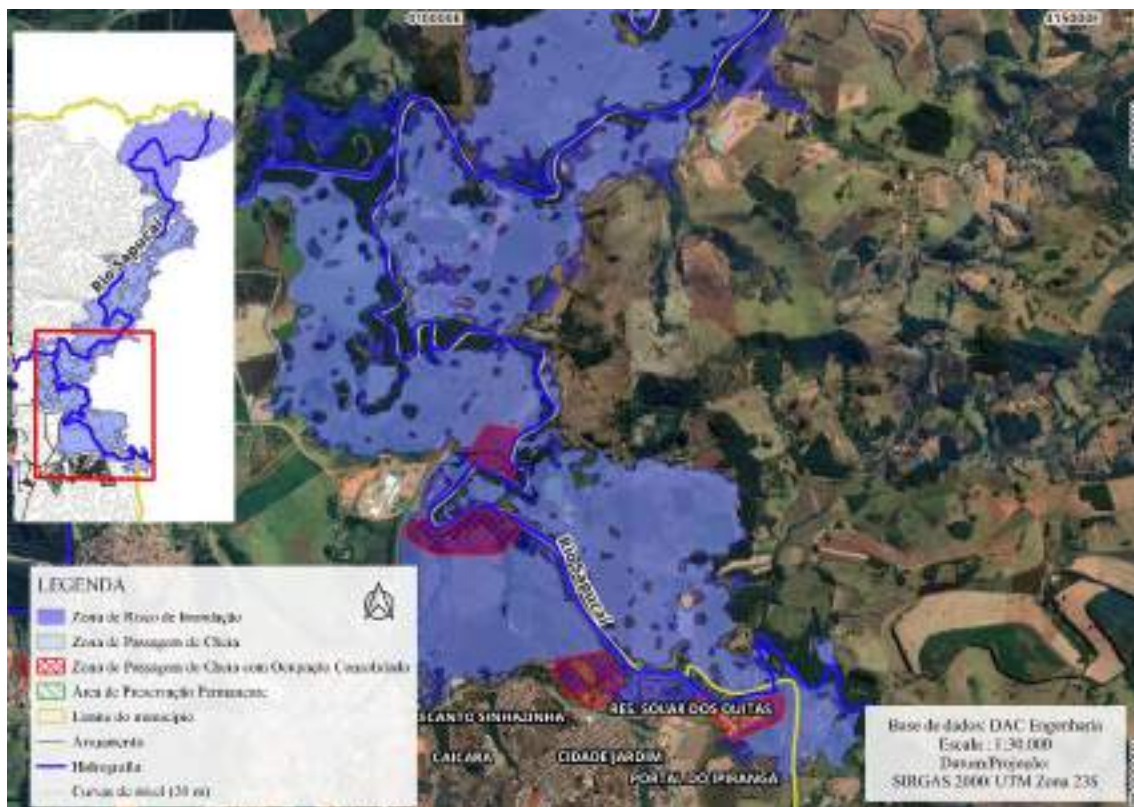


Figura 169 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 1 (Rio Sapucaí)

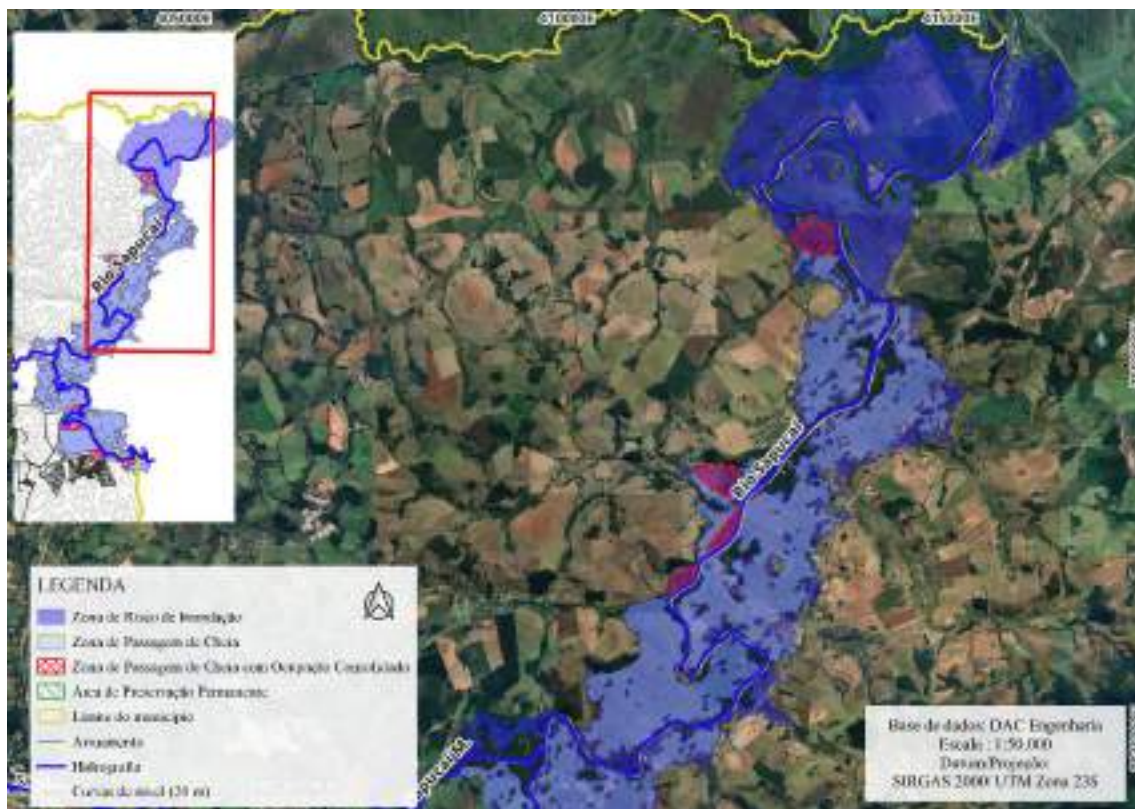


Figura 170 - Zoneamento de Planície de Inundação no Trecho 2 (Rio Sapucaí)

A área do município que é afetada pela passagem de cheia do Rio Sapucaí localiza-se distante das áreas mais urbanizadas de Pouso Alegre. Sendo assim, são isolados os pontos onde a cheia desse rio causa impactos na população. Visto que as margens dos corpos hídricos são estabelecidas como um dos parâmetros de Área de Preservação Permanente (APP), além das áreas suscetíveis às cheias, estas também devem ser consideradas. Dado isso na Figura 171 é apresentado a delimitação das APP juntamente com as áreas estabelecidas pelo Zoneamento de Proteção contra Inundações (ZPI).

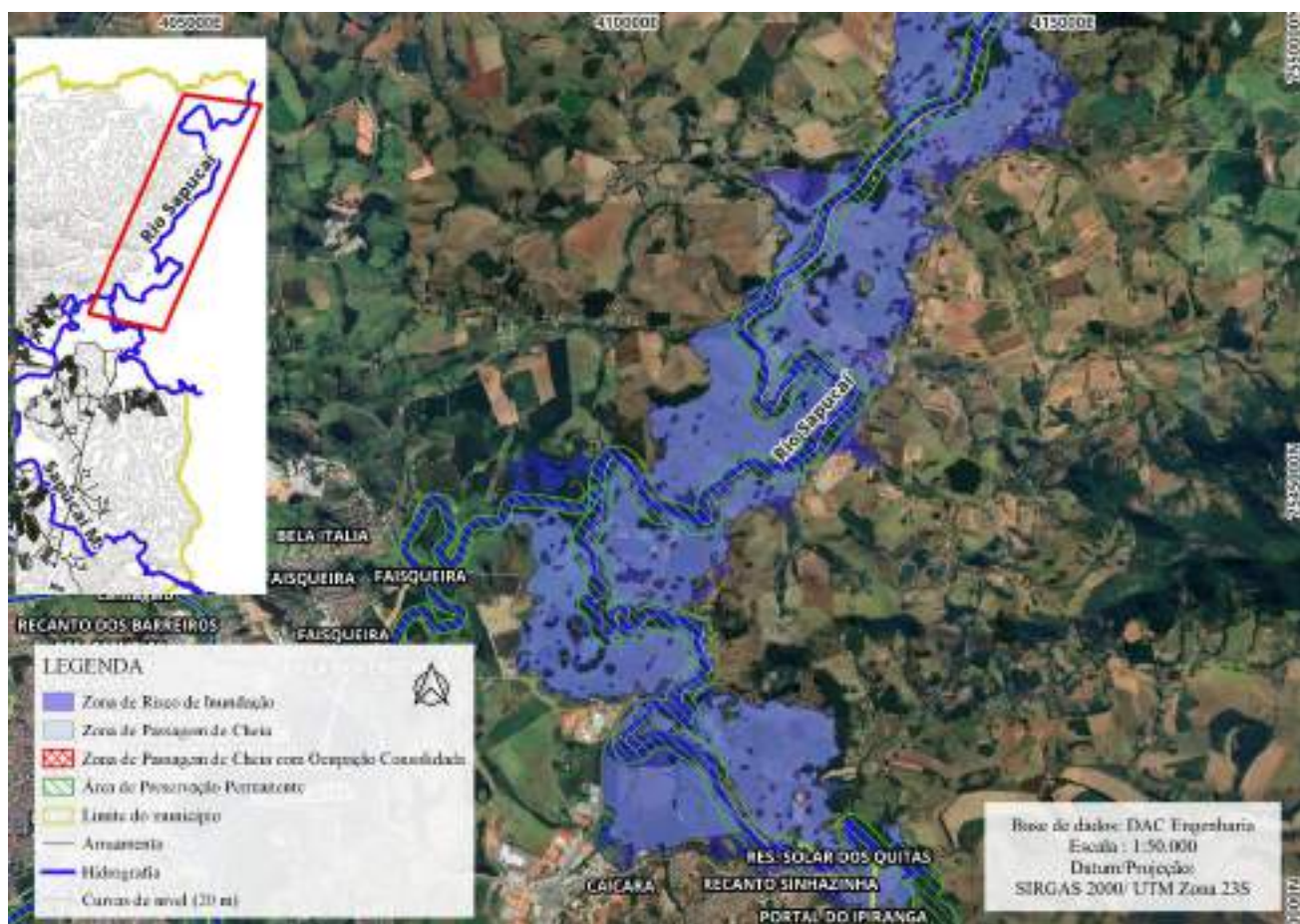


Figura 171 - ZPI com Área de Preservação Permanente (Rio Sapucaí)

4. AVALIAÇÃO DOS CUSTOS DE FUTURAS INUNDAÇÕES

As inundações e os alagamentos decorrentes das fortes chuvas em regiões povoadas acabam gerando danos em diversas esferas diferentes, prejudicando a qualidade de vida da população. O impacto abordado neste capítulo se refere as perdas financeiras ocasionadas pelas cheias na cidade de Pouso Alegre, utilizando a metodologia desenvolvida no projeto realizado em 2021 para a região metropolitana da Grande Vitória (PDAU-RMGV (2021) produto P4.2, tomo IV (Levantamento dos prejuízos e ônus causados à população e à administração pública).

4.1 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS DE ANÁLISE

Visando uma apresentação mais precisa dos possíveis danos futuros, os cálculos serão realizados para cinco épocas diferentes, sendo: atual (utilizando o ano de 2025 como ano zero), imediato (2028), curto (2033), médio (2037) e longo (2045). Representado o nível dos impactos causados por diferentes eventos pluviais, foram utilizados os tempos de retorno de 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Associando os períodos com os tempos de retorno, obtemos então os diferentes cenários a ser calculados, apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Diferentes cenários divididos em época e TR.

Ano / TR	5	10	25	50	100
2025	C1	C6	C11	C16	C21
2028	C2	C7	C12	C17	C22
2033	C3	C8	C13	C18	C23
2037	C4	C9	C14	C19	C24
2045	C5	C10	C15	C20	C25

Fonte: Adaptado de PDAU-RMGV (2021)

4.2 PREMISSAS ADOTADAS NOS CÁLCULOS

Os resultados apresentados neste tópico se baseiam em premissas bibliográficas, entregando então valores teóricos no assunto, logo, o estudo possui limitações em seus dados, muitas vezes extrapolados para se adaptar a situação, podendo apresentar variações de até 20% (PDAU-RMGV, 2021). Vale ressaltar que o objetivo do estudo é comparar

diversos cenários que podem ser observados na cidade de Pouso Alegre, utilizando uma metodologia capaz de entregar um estudo satisfatório.

Para entender melhor os prejuízos socioeconômicos que podem ser causados em situações de desastres, o PDAU-RMGV (2021) compilou uma série de dados de Cançado (2009) e Green, Parker, & Tunstall (2000), dividindo os prejuízos entre tangíveis e intangíveis (Figura 172).



Figura 172 - Prejuízos tangíveis e intangíveis.

Essa separação se faz necessária pois o estudo de valoração abrange apenas os prejuízos tangíveis. Além disso, os danos podem ser classificados em diretos e indiretos (Figura 173), ambos sendo considerados nos cálculos.



Figura 173 - Prejuízos diretos e indiretos.

Os tipos de prejuízos e sua consideração no presente estudo são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Prejuízos Socioeconômicos.

Tipo de prejuízo	Grau de tangibilidade	Considerações no presente estudo de valoração
Prejuízos diretos		
Dano a edifícios públicos e privados: Avarias ou perdas na estrutura de edificações.	Tangível	Sim

Tipo de prejuízo	Grau de tangibilidade	Considerações no presente estudo de valoração
Prejuízos diretos		
Dano ao conteúdo de edifícios públicos e privados: Relativo ao mobiliário, instalações e bens do interior dos edifícios.	Tangível	Sim
Dano a veículos: Avarias ou perdas de veículos.	Tangível	Sim
Dano e destruição de infraestrutura: Os danos à infraestrutura em função das benfeitorias existentes nas áreas potencialmente atingidas.	Tangível	Sim
Realocação temporária da população afetada: gastos referentes à criação de abrigos temporários, aluguel de imóveis etc.	Tangível	Sim
Perda de vidas humanas (óbitos). Ainda que a literatura apresente formas de valorar a perda de vidas, optou-se por não atribuir valor a vidas humanas na presente estimativa, considerando-se que o valor da vida humana é um tema polêmico com grande divergência de opiniões, metodologias controversas, elevado grau de incerteza e levanta questões éticas e morais, pois muitos consideram impossível definir um valor para a vida.	Intangível	Não
Dano ao patrimônio cultural: Objetos de valor sentimental, bens arqueológicos, de valor histórico.	Intangível	Não
Danos a obras de arte especiais, como pontes e ferrovias.	Tangível	Não
Saúde e segurança		
Stress psicológico: Efeito relativo a estresse e angústia de uma experiência de inundação.	Intangível	Não
Ferimentos: Ferimentos físicos das pessoas envolvidas.	Tangível	Sim
Demais efeitos sobre a saúde (custos de saúde): Efeito relativo à degradação da saúde coletiva relativo a condições sanitárias inadequadas.	Intangível	Não
Ações emergenciais de segurança: Ações e recursos necessários ao controle efetivo da emergência, de forma a agilizar a neutralização e extinção da ocorrência minimizando os impactos e prejuízos causados.	Tangível	Sim

Tipo de prejuízo	Grau de tangibilidade	Considerações no presente estudo de valoração
Prejuízos diretos		
Medidas de defesa civil: Custo dos serviços de atendimento à emergência, como polícia, defesa civil, corpo de bombeiros, setores da administração pública ligada à assistência social e educação, serviços de ambulância e voluntários. Medidas permanentes que visam evitar, prevenir ou minimizar as consequências dos eventos desastrosos e a socorrer e assistir as populações atingidas, preservando seu moral, limitando os riscos de perdas materiais e restabelecendo o bem-estar social.	Tangível	Sim
Prejuízos indiretos		
Trauma (psicológico): Efeito relativo a estresse e angústia de uma experiência de um evento de inundação.	Intangível	Não
Doenças mentais: Efeito relativo a estresse e angústia de uma experiência de um evento de inundação.	Intangível	Não
Invalidez: Incapacidade física ou mental permanente que impossibilita o exercício de atividade profissional, sendo justificativa para a aposentadoria.	Intangível	Não
Efeitos econômicos regionais (perda de produção, inflação): Impactos da redução da produção na economia brasileira e regional. Considerado não significativo para os cenários hipotéticos de análise considerando que teria curta duração e o dano causado seria recuperado rapidamente. Não haveria perdas de empregos, queda do nível de produção ou interrupção de rota de transporte por tempo significativo.	Tangível	Não
Redução da arrecadação fiscal: Em virtude da perda de produção causada pela interrupção da operação dos setores de atividade econômica.	Tangível	Não
Perda de produção em empresas fora da área afetada: Perda de produção induzidas em empresas fora da área afetada por problemas com fornecedores impactados.	Tangível	Não

Fonte: Adaptado de PDAU-RMGV (2021).

4.3 VALORAÇÃO DE PREJUÍZOS POR ESFERA

Os tópicos apresentados neste item têm por finalidade a explicação dos métodos utilizados para o cálculo dos prejuízos causados a cada esfera em questão. Essas metodologias se fazem necessárias por conta da complexidade e diferenças das esferas abordadas, buscando uma maior precisão nos resultados apresentados.

4.3.1 Cruzamento das manchas de inundação com a área artificial

O cruzamento entre as manchas de inundação e as áreas artificiais projetadas para os diferentes cenários foi realizado em ambiente QGIS, onde utilizou-se da ferramenta “Unir” para atribuir os valores de altura de lâmina d’água para cada um dos locais atingidos pelas inundações.

A cenarização foi considerada uma vez que os arquivos vetoriais de área artificial foram desenhados para cada um dos anos de projeção (2025, 2028, 2033, 2037 e 2045), sendo associado à sua respectiva simulação hidráulica. De modo a facilitar a compreensão desse cruzamento de informações, na Figura 174 e Figura 175 pode ser observado o processo de associação da mancha de inundação do córrego da Remonta com sua respectiva área artificial.

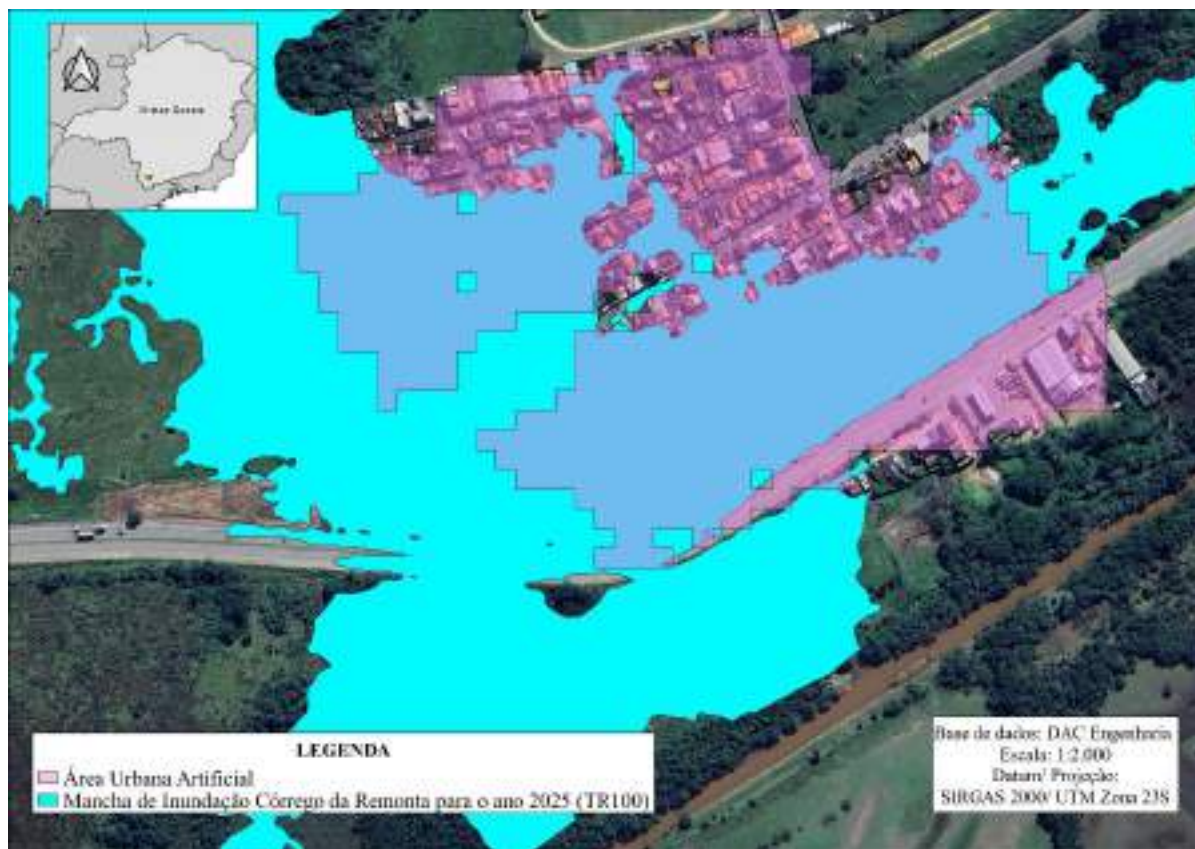


Figura 174 – Área artificial de 2025 e mancha de inundação do Córrego da Remonta (TR 100)



Figura 175 – Cruzamento entre a área artificial de 2025 e a mancha de inundação do Córrego da Remonta (TR 100)

4.3.2 Danos as edificações e seus conteúdos

Sendo um dos alvos mais impactados nas inundações e alagamentos, as edificações e seus conteúdos representam a primeira esfera analisada para o cálculo dos prejuízos financeiros para a população de Pouso Alegre. Para a realização desta metodologia, é necessário a aquisição dos dados socioeconômicos da população para cruzar com os dados das áreas afetadas nos casos de desastre. Essa metodologia empregada tem como base o Plano Diretor de Águas Urbanas da Região Metropolitana da Grande Vitória ES (PDAU-RMGV, 2021).

Os dados socioeconômicos utilizados foram adquiridos pelo portal do IBGE, referente ao censo realizado no ano de 2022. As informações são divididas em setores censitários, zonas da cidade que apresentam as mesmas características sociais, facilitando assim a identificação das áreas urbanas e rurais da cidade. As delimitações dos setores atualizados em 2021 pelo IBGE foram baixadas e tratados utilizando o *software* QGIS, obtendo as informações necessárias.

Em seguida, os dados foram baixados no formato de planilhas csv. do IBGE, utilizando o número “3152501” como código do município. Esse arquivo contém os códigos do país do município e da espécie de cada edificação, além das suas coordenadas cartesianas e o nível de geocodificação. Para auxiliar no tratamento dos dados obtidos, a plataforma do IBGE também disponibiliza o arquivo “Dicionario_Coordenadas_Censo2022.xls”, que permite a utilização da fórmula “=EXT.TEXTO(texto;núm_inicial;núm_caract)” para a separação dos códigos e coordenadas (Tabela 13).

Tabela 13 – Descrição dos códigos de cada ponto

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	CATEGORIAS
COD_UF	Código da UF	-
COD_MUN	Código do município	-
COD_ESPECIE	Espécie de endereço	1=Domicílio particular 2=Domicílio coletivo 3=Estabelecimento agropecuário 4=Estabelecimento de ensino 5=Estabelecimento de saúde 6=Estabelecimento de outras finalidades 7=Edificação em construção 8=Estabelecimento religioso

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	CATEGORIAS
LATITUDE	Latitude da Coordenada de Localização da Espécie do Endereço	-
LONGITUDE	Longitude da Coordenada de Localização da Espécie do Endereço	-
NV_GEO_COORD	Nível de geocodificação	1=Endereço - coordenada original do Censo 2022 2=Endereço - coordenada modificada (apartamentos em um mesmo número no logradouro*) 3=Endereço - coordenada estimada (endereços originalmente sem coordenadas ou coordenadas inválidas**) 4=Face de quadra 5=Localidade 6=Setor censitário

Fonte: IBGE, 2022

As coordenadas das edificações e a identificação da sua categoria foram obtidas sendo divididas apenas em domicílio e estabelecimento, facilitando o tratamento dos dados no QGIS. Além da delimitação dos setores, o arquivo baixado em .kmz também apresenta uma separação em grupos de setores que apresentam características semelhantes, sendo divididas em 9 Situações. No entanto, para a realização dos cálculos e análises cada setor censitário foi definido apenas entre urbano (situação 1 a 3) e rural (situação 5 até 9). Com todos os dados inclusos no QGIS, foi possível definir a quantidade de domicílios e empreendimentos de cada setor, além da sua caracterização.

Além disso, é necessário a caracterização dos danos de acordo com as classes de renda do país, definidas através da multiplicação do salário mínimo atual (Tabela 14). Vale ressaltar que as edificações foram identificadas como classe B, como feito pelo PDAU-RMGV (2021).

Tabela 14 – Critérios de divisão de Classe Socioeconômica.

Classe Socioeconômica	Faixa de Renda	Renda média domiciliar mensal (R\$)	
		Limite Inferior	Limite Superior
A	Maior que 20 SM	28.240,00	-
B	10 a 20 SM	14.120,00	28.240,00
C	4 a 10 SM	5.648,00	14.120,00
D	2 a 4 SM	2.824,00	5.648,00
E	0 a 2 SM	-	2.604,00

Fonte: Adaptada do PDAU-RMGV (2021).

A metodologia para obtenção da valoração dos danos das edificações já localizadas (Tabela 15), se baseia na definição do tamanho, em metros quadrados, das construções de cada classe socioeconômica definidas pela NBR 12.721/2006, multiplicada pelo custo em reais por cada metro quadrado em questão, apresentado como Custo Unitário Básico (CUB) pelo Sindicato da Indústria da Construção Civil (Sinduscon).

Tabela 15 – Valores de construção

Classe	Padrão Construtivo	Categoria NBR 12.721	Área Base (m²)	Custo Unitário Básico (R\$/m²)	Valor da Construção (R\$)
A	Alto	R1-A	224,82	3.264,18	733.852,95
B	Normal	R1-N	106,44	2.611,40	277.957,42
C	Baixo	R1-B	58,64	2.196,69	128.813,90
D/E	Popular	RP1Q	39,56	2.218,91	87.780,08

Fonte: ABNT NBR 12.721 (2006) e Sinduscon (2024)

Além dos danos a estrutura, é necessário levar em consideração a valoração do conteúdo existente em cada edificação analisada (Tabela 16). Para isso, foi utilizado como base dos valores uma adaptação do trabalho Cançado (2009) apresentado pelo PDAU-RMGV (2021), onde é definido os custos dos conteúdos de acordo com cada classe socioeconômica. A adaptação dos valores foi feita através do IPCA referente ao mês de dezembro de 2023.

Tabela 16 – Valores de conteúdo

Classe	Valor do Conteúdo – 2022 (R\$)	Valor do conteúdo novo – 2023 (R\$)
A	106.472,00	129.691,92
B	44.698,00	54.445,95
C	13.779,00	16.783,99
D/E	10.878,00	13.250,33

Fonte: Adaptado de PDAU-RMGV (2021)

O próximo passo agora é entender quanto das construções e conteúdo são danificados conforme a lâmina d'água sobe no local. Utilizado as porcentagens trazidas por Machado (2005) e adaptada pelo PDAU-RMGV (2021), é possível chegar aos resultados apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Percentual da construção e conteúdo danificado de acordo altura da lâmina d'água.

Altura da lâmina d'água (m)	Percentual de danos a construção	Percentual de danos ao conteúdo
0	0,0%	0,0%
1	10,0%	50,0%
2	10,0%	65,0%
3	12,5%	73,3%
4	12,5%	80,0%
5	15,0%	85,0%
6	15,0%	90,0%
7	17,5%	92,5%
8	17,5%	95,0%
9	20,0%	97,5%

Fonte: Adaptado de PDAU-RMGV (2021) e Machado (2005)

Com os dados devidamente tratados foi possível calcular os prejuízos associados aos danos as edificações e seus conteúdos, cujo os resultados estão expostos a seguir, da Figura 176 a Figura 184.

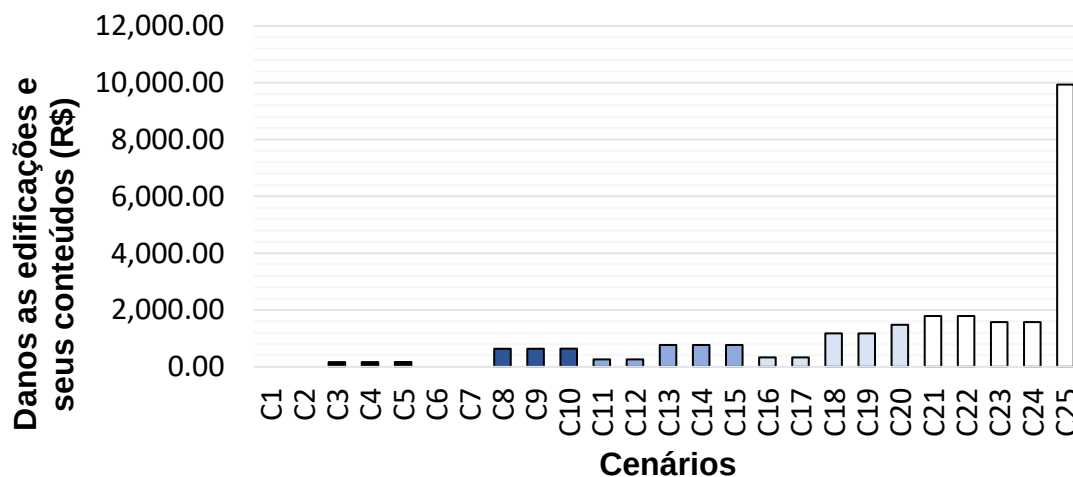


Figura 176 - Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Córrego São Cristóvão

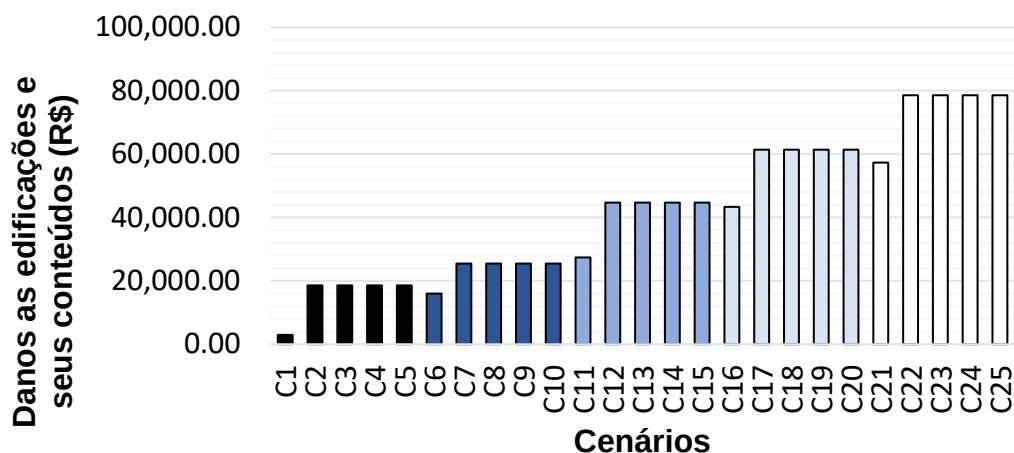


Figura 177 – Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Córrego São Judas Tadeu

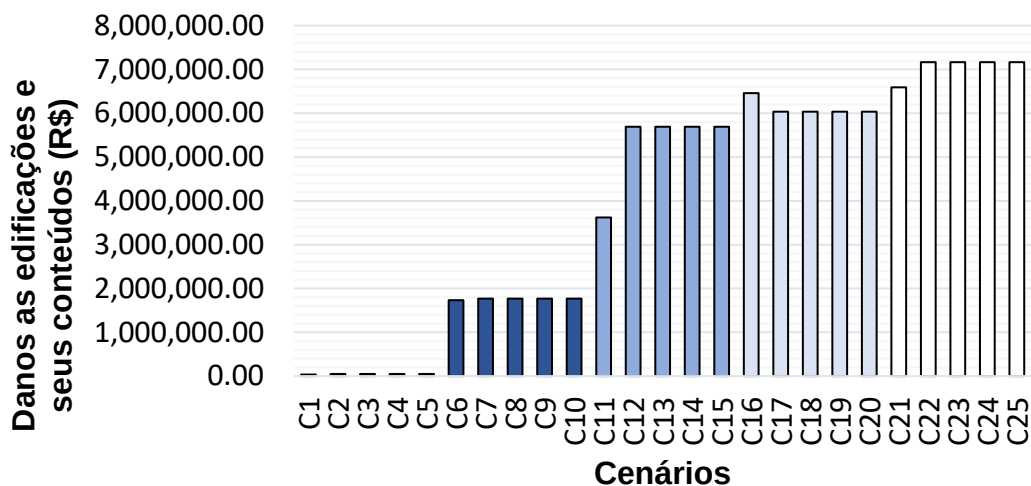


Figura 178 – Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Córrego da Remonta

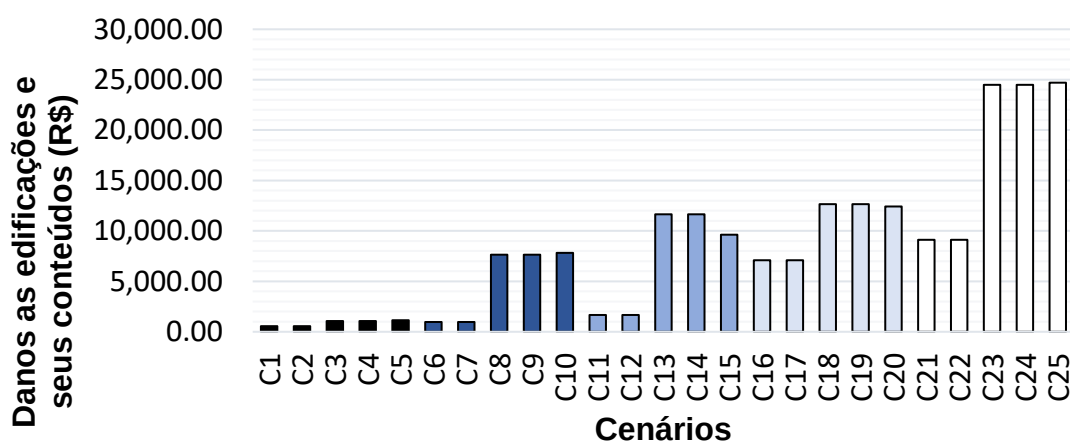


Figura 179 - Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Córrego do Patinho

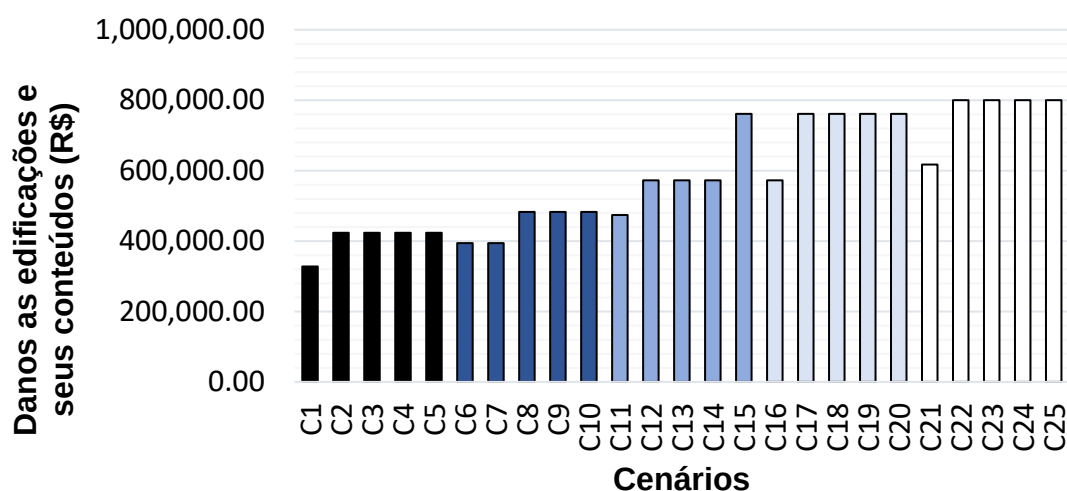


Figura 180 – Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Ribeirão das Morte

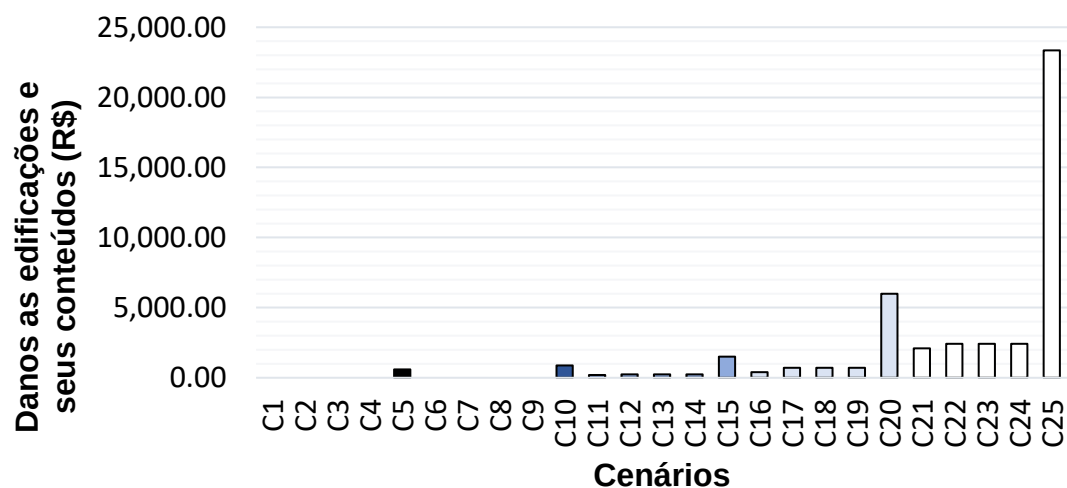


Figura 181 – Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Ribeirão Pantano

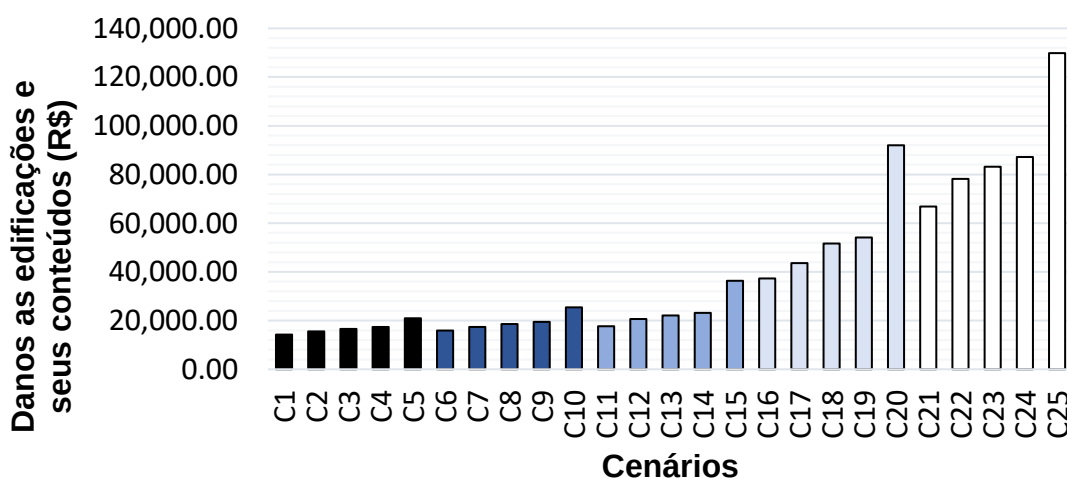


Figura 182 – Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Rio Mandu

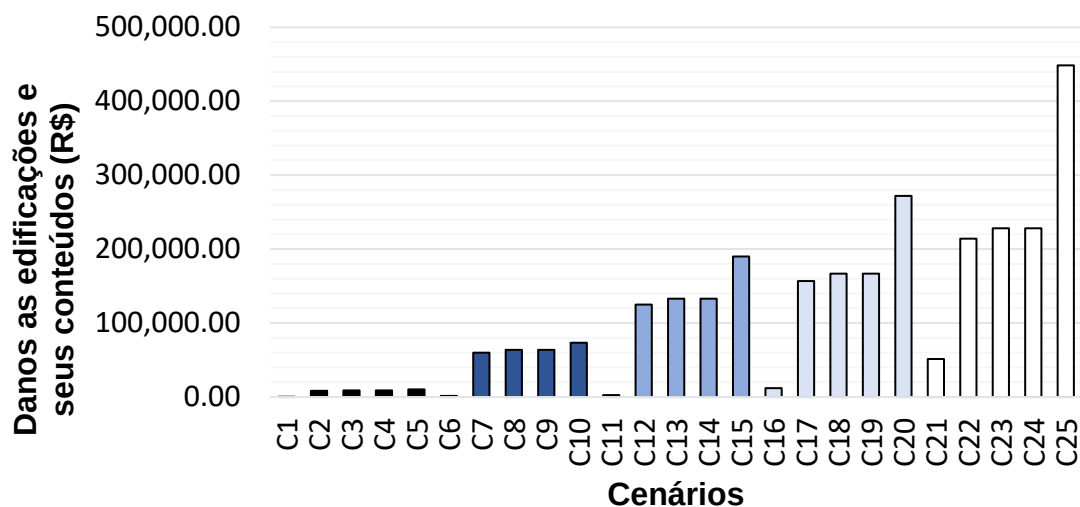


Figura 183 - Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Rio Sapucaí Mirim

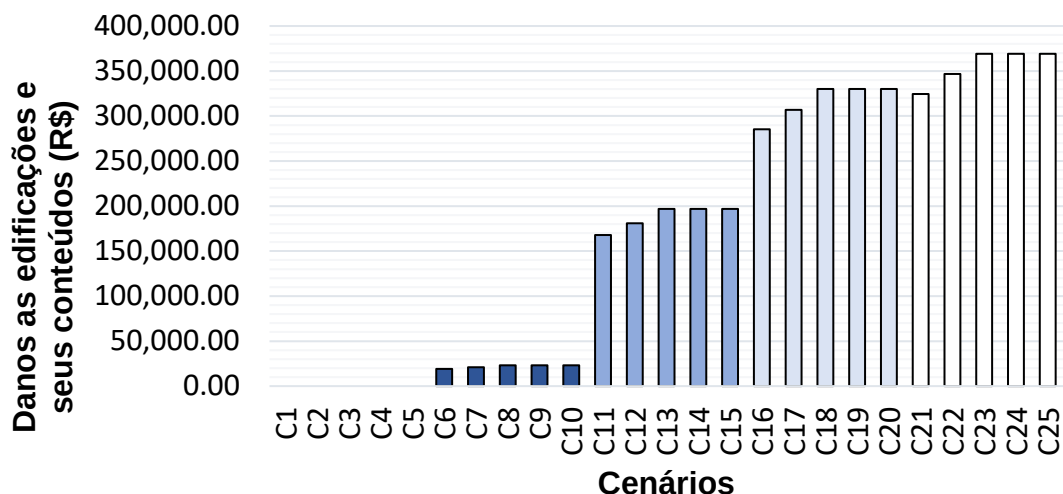


Figura 184 – Valoração dos danos a edificação e seu conteúdo por cenário, para a BH do Rio Sapucaí

A partir das figuras apresentadas fica evidente que com o passar dos anos os custos com os danos as edificações e seus conteúdos aumentam gradativamente, isso se deve ao aumento da malha urbana calculada além da população da cidade, apresentando uma maior interferência da extensão das manchas hidráulicas, das alturas das lâminas d'água e a alteração dos valores dos CNs de cada bacia em questão.

A bacia mais afetada é a do Córrego da Remonta (Figura 178), chegando a valores maiores de 7 milhões de reais nas situações mais críticas. Esses valores elevados se devem ao fato de que, mesmo a BH não possuindo uma grande extensão geográfica, ela possui a maior área urbana afetada pelas manchas. Já a BH do Ribeirão Pantano (Figura 181) tem

uma grande extensão geográfica, mas se tratando de uma área rural e pouco povoada, apresenta os menores danos as edificações e seus conteúdos.

4.3.3 Danos aos veículos

A valoração dos danos causados aos veículos da população é calculada seguindo uma série de etapas de coleta e análise de dados a fim de obter resultados mais precisos. A primeira etapa consiste na obtenção da frota municipal de veículos disponível no site do IBGE Cidades (2022), que apresenta a quantidade de cada tipo de veículo presente na cidade de Pouso Alegre. Contudo, esses valores representam veículos tanto de pessoas jurídicas quanto de pessoas físicas, sendo necessário essa separação para equiparar apenas os veículos pertencentes a pessoas físicas. A Figura 185 ilustra as porcentagens recomendadas por Fenabrave (2020) apud PDAU-RMGV (2021), utilizadas para separar a frota veicular da cidade.

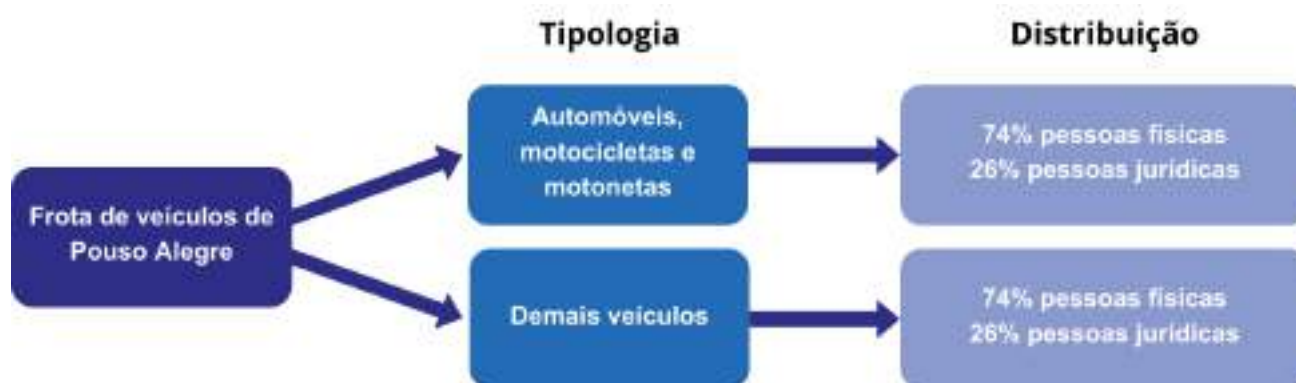


Figura 185 - Distribuição da frota de veículos.

Após reunir as informações, foi possível adaptar o número original de veículos subtraindo aqueles pertencentes as pessoas jurídicas, obtendo os valores apresentados na Tabela 18. Também foi possível estimar a quantidade de veículos por domicílio, calculado dividindo o número de veículos pela quantidade de domicílios da cidade.

Tabela 18 – Inventário de veículos de Pouso Alegre

Tipologia	Total	Percentual Aplicado	Nº Veículos	Quantidade de veículos por domicílio
Automóvel	57.414	74%	42.486	0,5888534
Caminhão	3.302	59%	1.948	0,0270014
Caminhão trator	553	59%	326	0,0045220
Caminhonete	8.898	59%	5.250	0,0727616
Camioneta	3.786	59%	2.234	0,0309592
Ciclomotor	539	59%	318	0,0044076

Tipologia	Total	Percentual Aplicado	Nº Veículos	Quantidade de veículos por domicílio
Micro-ônibus	361	59%	213	0,0029520
Motocicleta	12.276	74%	12.784	0,1771873
Motoneta	3.289	74%	2.434	0,0337329
Ônibus	594	59%	350	0,0048573
Reboque	1.680	59%	991	0,0137379
Semirreboque	631	59%	372	0,0051599
Sidecar	2	59%	1	0,0000164
Trator de rodas	32	59%	19	0,0002617
Triciclo	38	59%	22	0,0003107
Utilitário	1.323	59%	781	0,0108186
Outros	17	59%	10	0,0001390

Fonte: IBGE (2021) e Fenabrev (2020) apud PDAU-RMGV (2021)

Com os dados das quantidades coletados, o próximo passo é apresentar os valores a serem calculados de cada tipo de veículo. Como o automóvel é o mais adquirido pela população, seus valores serão os principais na metodologia utilizada para quantificar os danos, logo, para obter os custos médios dos automóveis referentes a cada classe socioeconômica, foram utilizados os valores de Cançado (2009) ajustados pelo PDAU-RMGV (2021), que foram multiplicados pelo IPCA para obter os custos atuais (Tabela 19).

Tabela 19 - Valores típicos de automóveis por classe socioeconômica

Classe	Valor dos Automóveis - (set/2021) (R\$)	Novo Valor - (dez/2023) (R\$)
A	92.319,00	106.415,28
B	58.635,00	67.588,04
C	36.791,00	42.408,65
D/E	17.602,00	20.289,67

Fonte: Adaptado de PDAU-RMGV (2021)

Com os valores reajustados, é necessário calcular o real custo médio por automóvel por domicílio para cada classe socioeconômica (Tabela 20), multiplicando o valor atualizado com a quantidade média de automóveis por domicílio da cidade.

Tabela 20 – Valores médios dos automóveis por classe, por domicílio

Classe	Valor médio dos automóveis por classe, por domicílio (R\$)
A	62.663,00
B	39.799,44
C	24.972,48
D/E	11.947,64

Em seguida, os mesmos cálculos foram realizados para os demais tipos de veículos, utilizando os valores fornecidos pela FIPE (2021) adaptados pelo PDAU-RMGV (2021), além de valores coletados no site Caminhões e Carretas (2022). Afim de facilitar as próximas etapas, cada valor também foi multiplicado pelas quantidades médias de cada tipo de veículo por domicílio, apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 – Valores médios dos veículos atualizados, por domicílio

Tipologia	Valor do veículo - (out/2022) (R\$)	Novo Valor - (dez/2023) (R\$)	Valor por domicílio (R\$)
Caminhão	133.012,15	141.425,29	3.818,68
Caminhão trator	288.540,14	306.790,57	1.387,32
Caminhonete	86.755,83	92.243,22	6.711,76
Camioneta	81.021,90	86.146,61	2.667,03
Ciclomotor	7.040,00	7.485,29	32,99
Micro-ônibus	105.705,68	112.391,66	331,78
Motocicleta	7.536,54	8.013,23	1.419,84
Motoneta	5.872,42	6.243,86	210,62
Ônibus	144.626,12	153.773,85	746,93
Reboque	100.000,00	106.325,09	1.460,68
Semirreboque	150.000,00	159.487,64	822,94
Sidecar	3.800,00	4.040,35	0,07
Trator de rodas	250.000,00	265.812,73	69,56
Triciclo	25.000,00	26.581,27	8,26
Utilitário	45.007,69	47.854,47	517,72
Outros	-	-	-

Fonte: FIPE (2021) apud PDAU-RMGV (2021) e Caminhões e Carretas (2022)

Seguindo a metodologia, utiliza-se a fórmula que compacta os valores dos automóveis por classe, com os valores típicos por domicílio de todas as outras tipologias. Essa Equação 1 permite uma análise mais precisa, pois mesmo as quantidades dos demais veículos serem baixas, faz-se necessários inclui-los no cálculo dos danos a cidade.

$$V_{VT} = V_{AE} + (V_{D1} * N_{D1} + V_{D2} * N_{D2} \dots + N_{Dn} * N_{Dn}) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

V_{VT} : Valor do veículo típico (por classe econômica, por domicílio);

V_{AE} : Valor do veículo automóvel (por classe econômica);

V_{Dn} : Valor dos demais veículos (por tipo de veículo);

N_{Dn} : Número de demais veículos por domicílio (por tipo de veículo).

A Tabela 22 apresenta os resultados encontrados para os valores do veículo típico para cada classe socioeconômica da cidade de Pouso Alegre.

Tabela 22 – Valor do veículo típico por classe socioeconômica.

Classe	Valor do veículo típico (R\$)
A	82.869,18
B	60.005,62
C	45.178,66
D/E	32.153,82

A porcentagem de dano causado aos veículos de acordo com a altura da lâmina d'água se baseia também em Cançado (2009), tendo seus valores adaptados visualmente pelo PDAU-RMGE (2021). A Tabela 23 mostra que o dano cresce gradativamente até a altura de 1 metro, onde há a perda total do veículo.

Tabela 23 – Porcentagem de dano ao veículo pela altura da inundação

Altura da inundação (m)	% de dano ao veículo
0,1	0%
0,2	0%
0,3	0%
0,4	2%
0,6	3%
0,7	34%
0,8	39%
0,9	48%
1,0	100%
1,2	100%
1,5	100%

Fonte: Cançado (2009) apud PDAU-RMGV (2021)

Dessa maneira, foi possível realizar a valoração dos prejuízos aos veículos de Pouso Alegre, conforme apresentado a seguir, da Figura 186 a Figura 194.

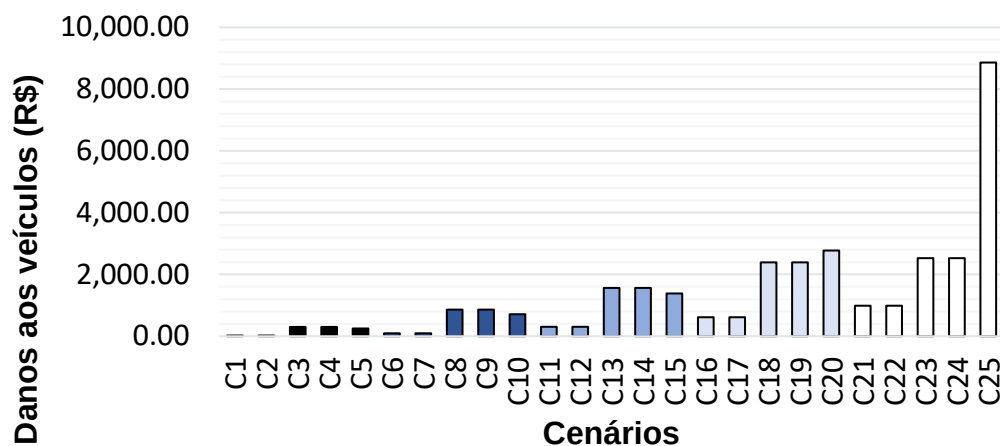


Figura 186 - Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Córrego São Cristóvão

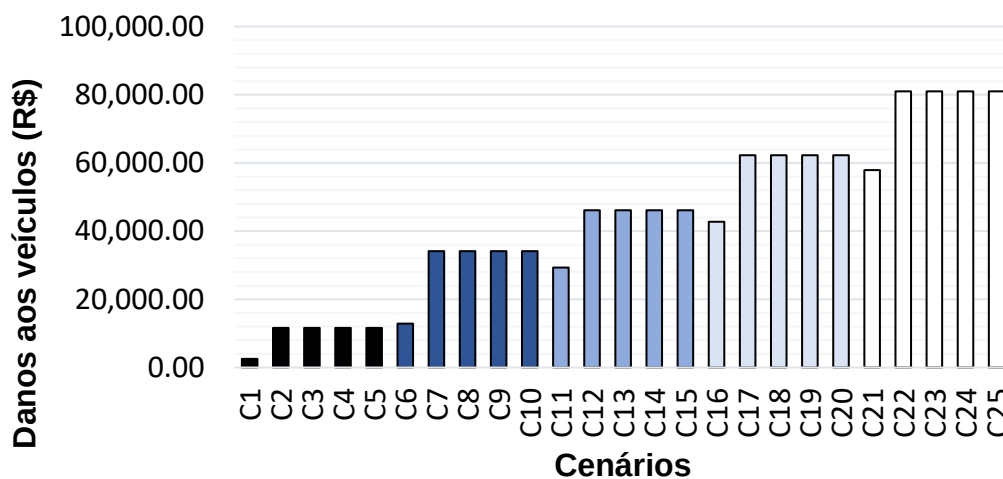


Figura 187 – Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Córrego São Judas Tadeu

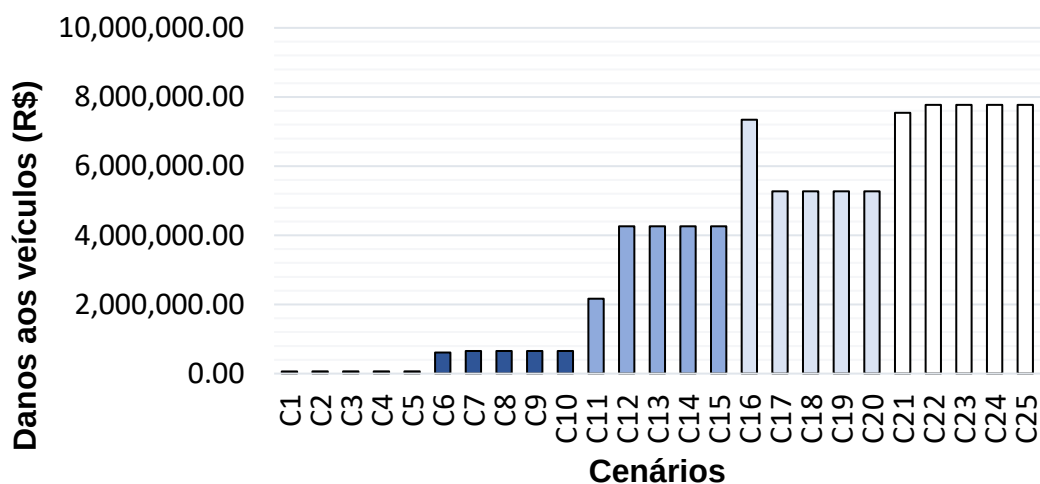


Figura 188 – Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Córrego da Remonta

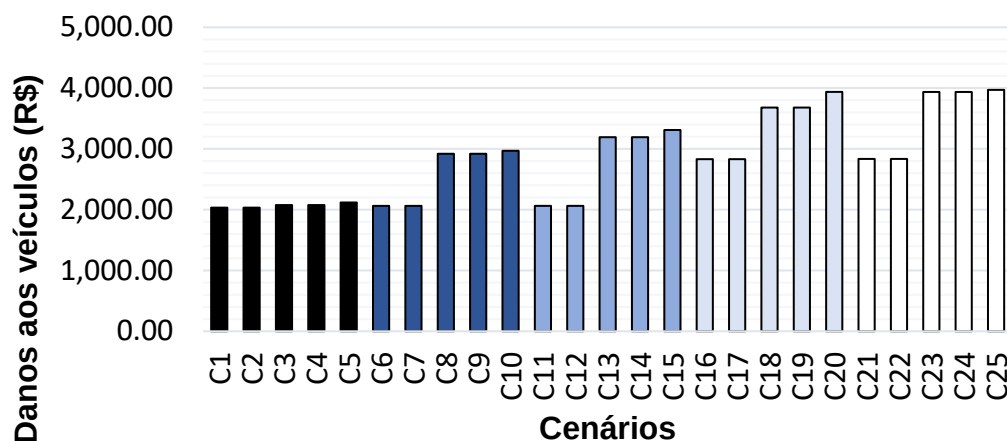


Figura 189 - Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Córrego do Patinho

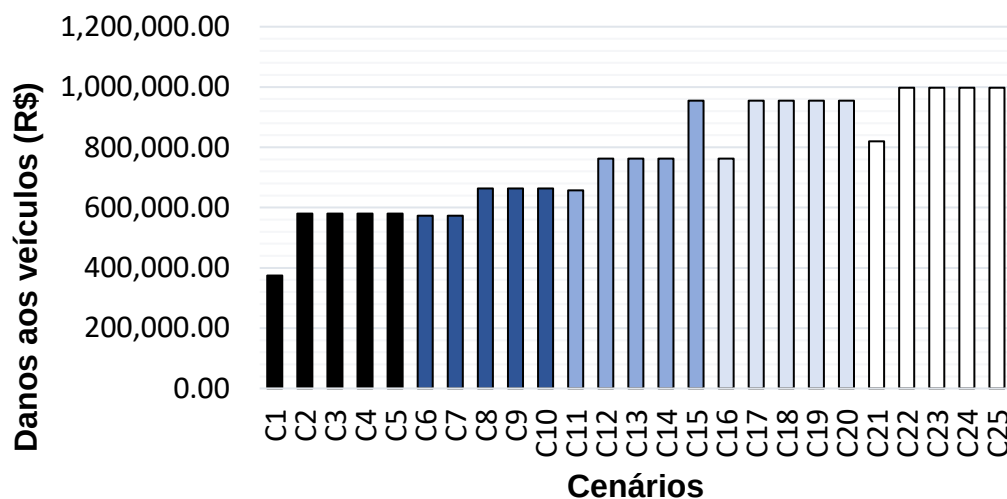


Figura 190 – Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Ribeirão das Mortes

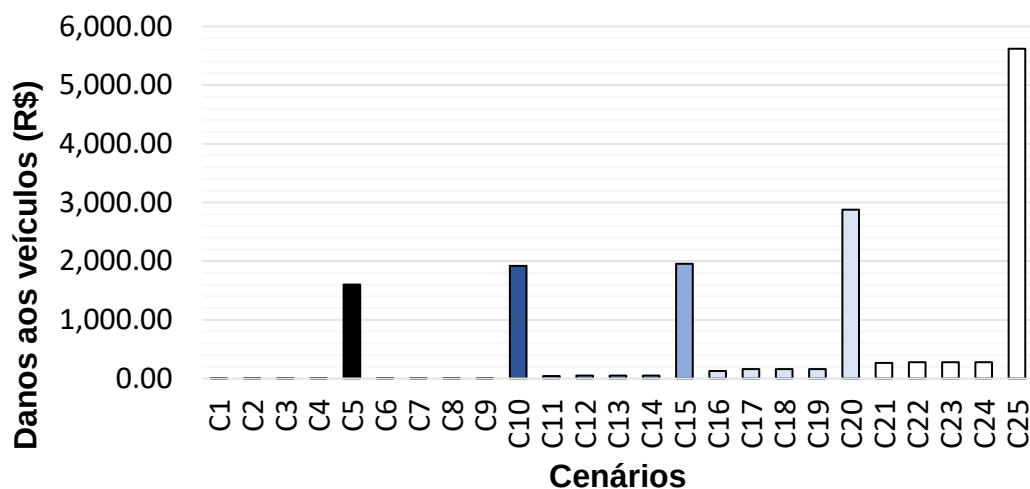


Figura 191 – Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Ribeirão Pantano

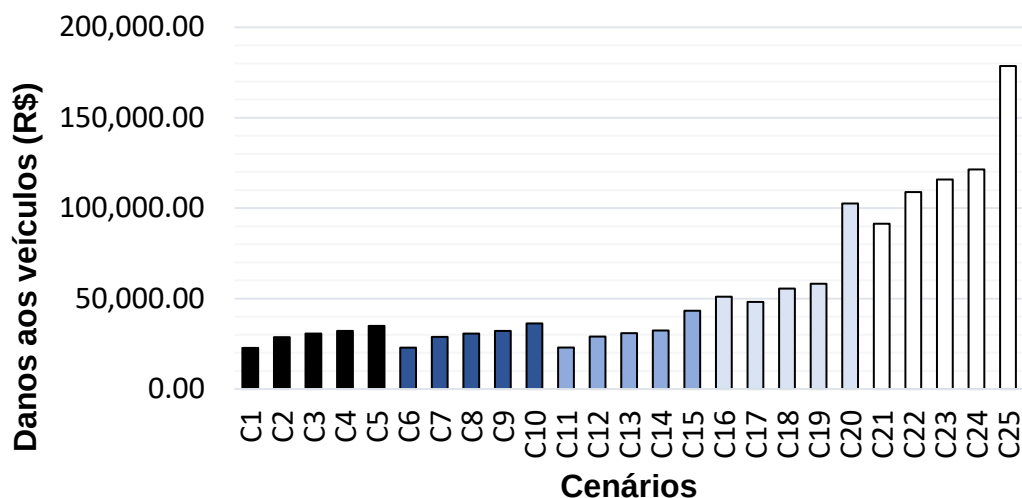


Figura 192 – Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Rio Mandu

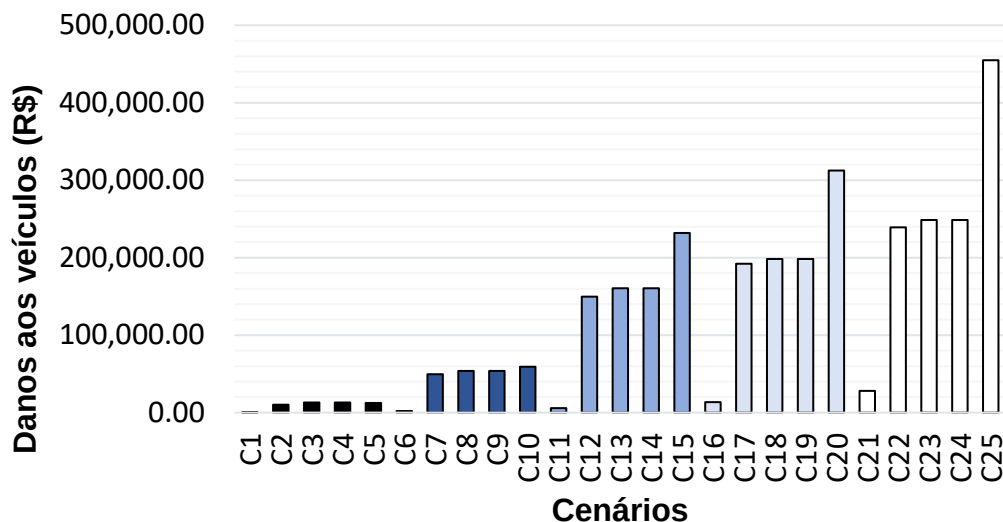


Figura 193 – Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Rio Sapucaí-Mirim

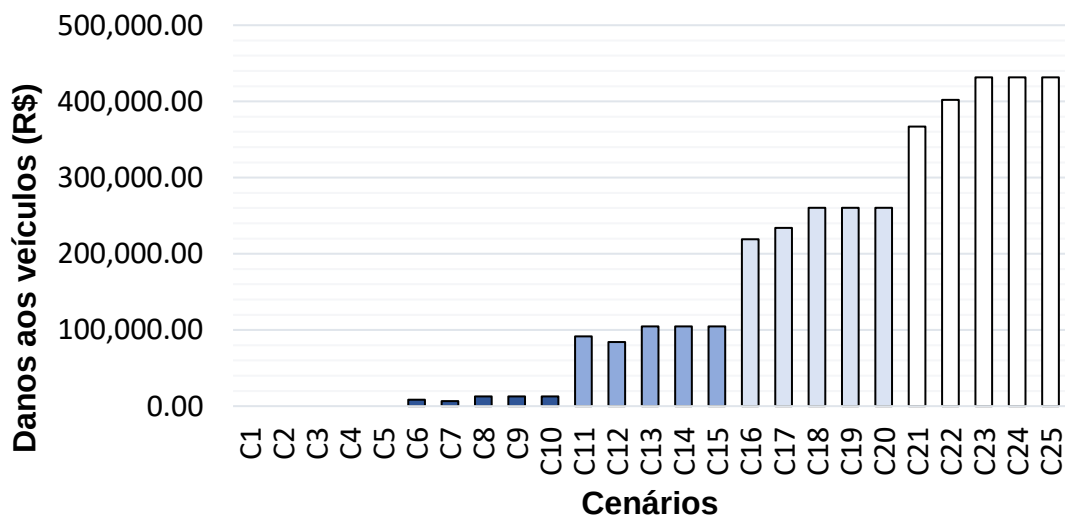


Figura 194 – Valoração dos danos aos veículos por cenário, para a BH do Rio Sapucaí

Assim como apresentado nos casos das edificações, os danos aos veículos de cada bacia seguem as mesmas características de aumento, tendo o Córrego da Remonta se destacando novamente como a mais afetada se destacando como a mais afetada e o Ribeirão Pantano como a menos prejudicada. A constância dos valores vista principalmente nas bacias do Córrego São Judas Tadeu e Ribeirão das Mortes, podem ser explicadas pela ausência de mudanças significativas na malha urbana das bacias.

4.3.4 Danos a infraestrutura básica

Diante de casos de inundações e alagamentos, os equipamentos e as construções públicas também são afetadas causando diversos empecilhos para a população local, logo, é necessário também englobar essa infraestrutura pública básica, que consiste em redes de distribuição de água, eletricidade e telefonia, equipamentos públicos, sistemas de drenagem pluvial e coleta de esgotos, ruas e praças e demais itens que estão sujeitos aos danos causados pelos alagamentos e inundações.

Segundo dados coletados pelo Banco Mundial em casos reais de inundações em alguns estados brasileiros, os custos causados pelos danos a infraestrutura básica variam entre 12,5% e 30% do custo total. Visando apresentar resultados mais conscientes dos riscos, será utilizado 30% do valor total dos danos causados nas esferas citadas anteriormente. A seguir, da Figura 195 a Figura 203, podem ser visualizados os mapas de valoração dos danos ligados à infraestrutura básica.

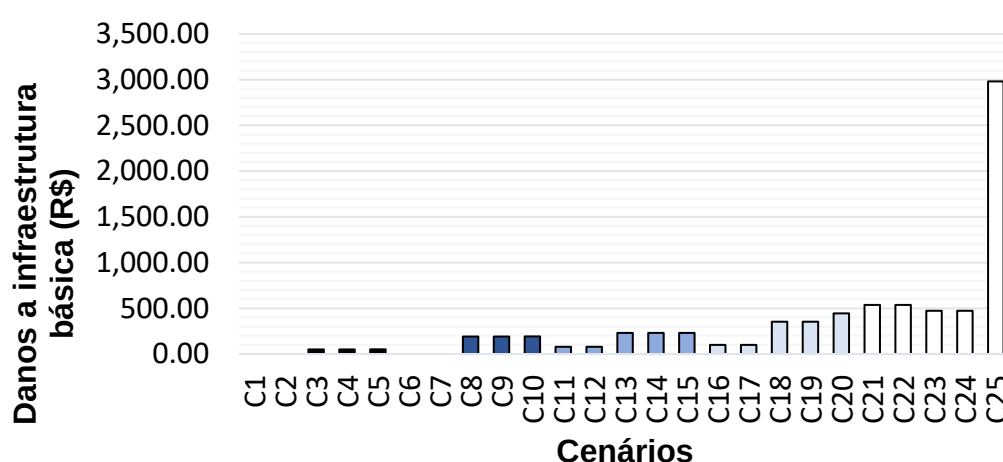


Figura 195 - Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Córrego São Cristóvão

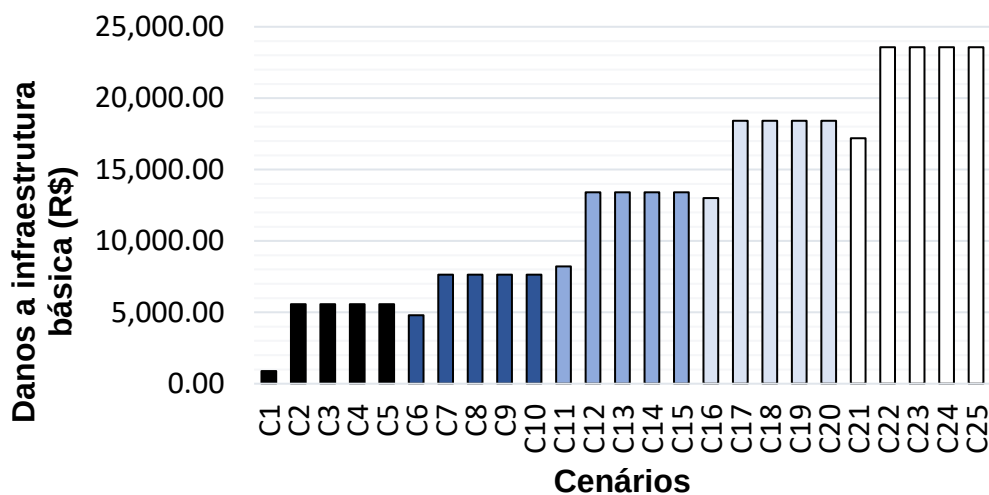


Figura 196 – Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Córrego São Judas Tadeu

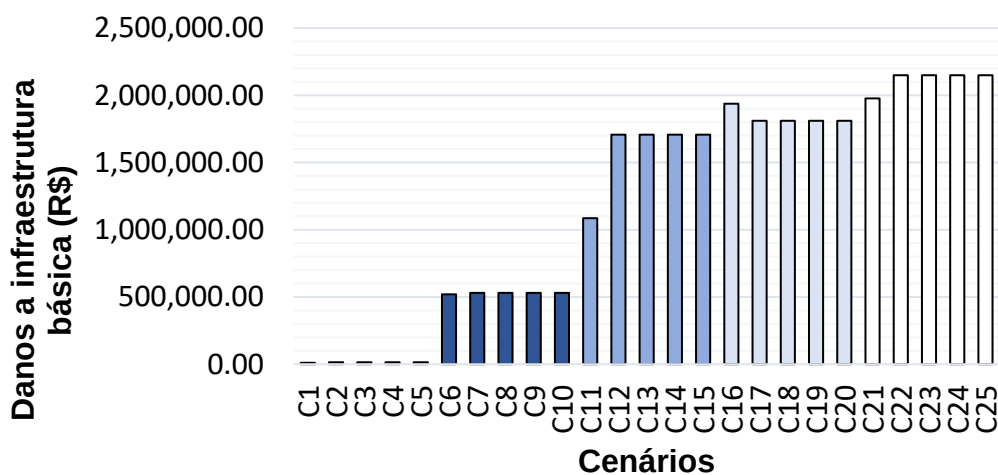


Figura 197 – Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Córrego da Remonta

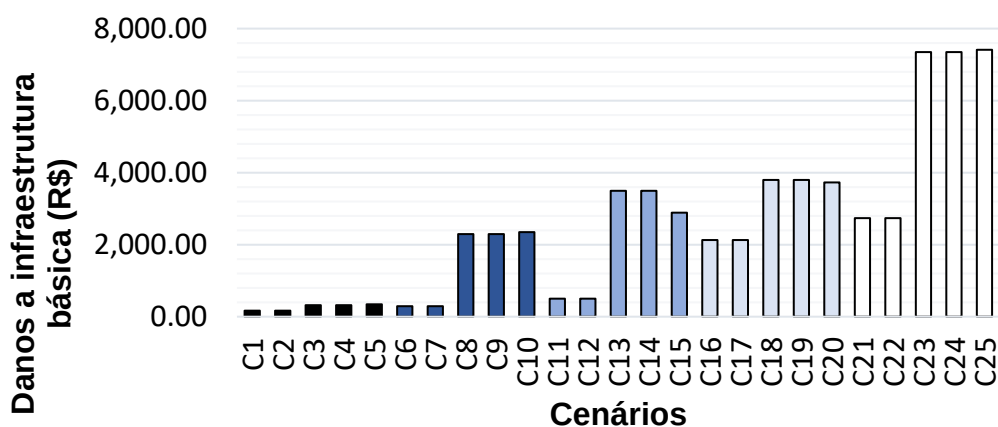


Figura 198 - Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Córrego do Patinho

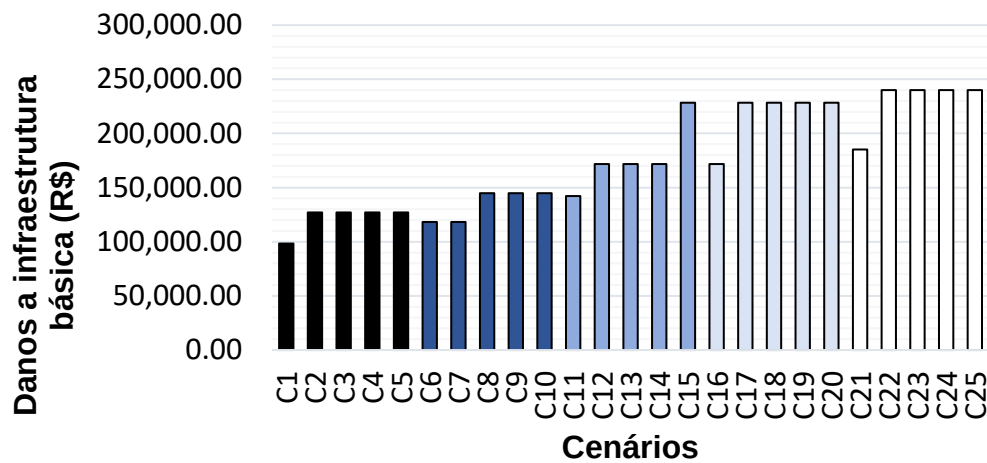


Figura 199 – Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Ribeirão das Mortes

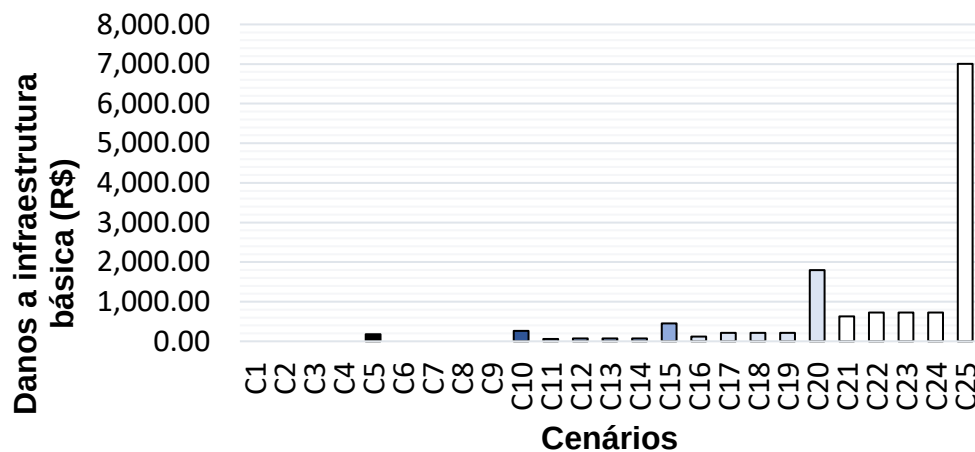


Figura 200 – Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Ribeirão Pantano

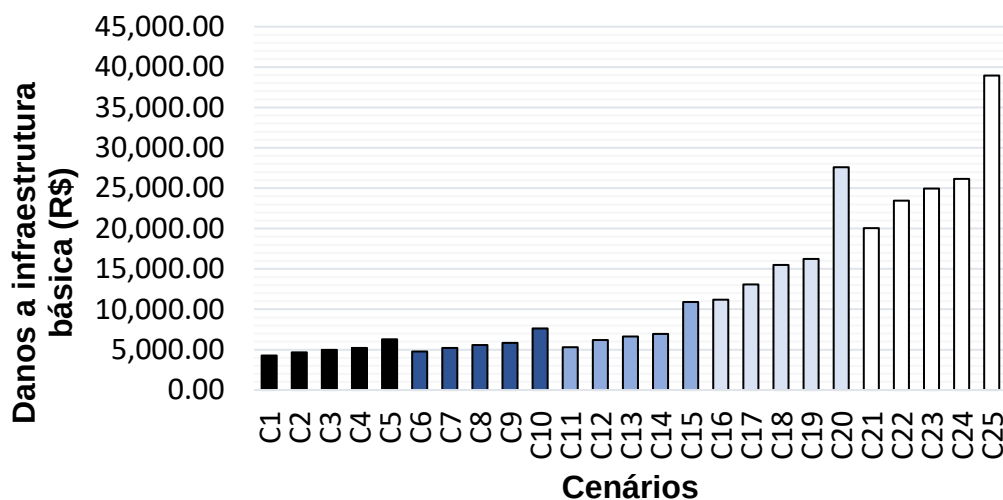


Figura 201 – Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Rio Mandu

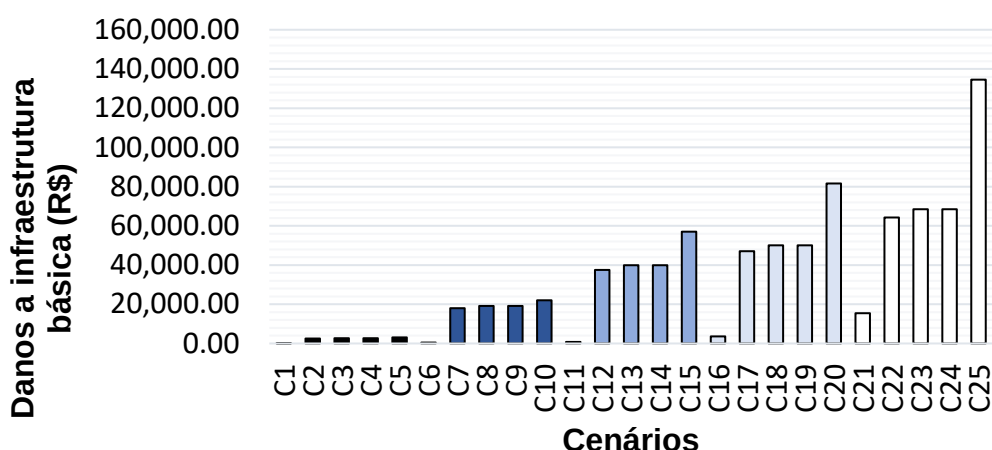


Figura 202 – Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Rio Sapucaí-Mirim

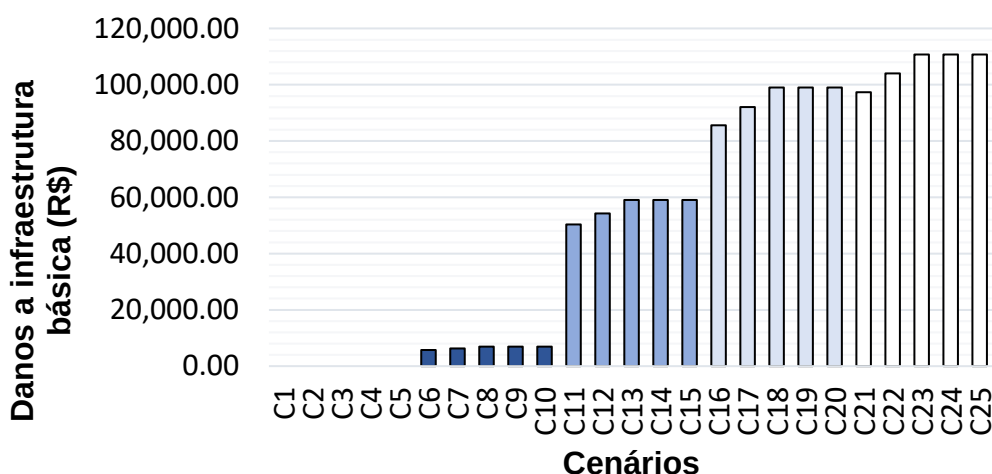


Figura 203 – Valoração dos danos a infraestrutura básica por cenário, para a BH do Rio Sapucaí

Conforme apresentado nos itens anteriores, os danos causados a infraestrutura básica também seguem as mesmas características em seu aumento.

4.3.5 Realocação temporária da população afetada

Em alguns casos, as cheias podem deixar diversas moradias desabitáveis por conta dos riscos que oferecem a população, sendo necessário auxílio do Estado de acordo com o Artigo 6º da Constituição Federal que apresenta como direitos sociais "[...] a educação, a saúde, a alimentação, o trabalho, a moradia, o lazer, a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade e à infância, a assistência aos desamparados, na forma desta Constituição."

O Ministério Público do Paraná ainda apresenta como dever do Poder Público a garantia do direito à moradia e assistência aos desamparados em três momentos, a curto prazo, onde é disponibilizado o abrigo em abrigos públicos; médio prazo, onde ocorre a saída dos indivíduos com o pagamento de alugueis sociais; e longo prazo, onde deve ser entregue a moradia definitiva para os afetados.

O Aluguel Social se trata de um auxílio financeiro mensal disponibilizado para famílias desabrigadas em decorrência de situações de emergência. O PDAU-RMGV (2021) adota um valor de aluguel social igual a R\$ 500,00 que, convertidos pela taxa IPCA para o ano de 2023, equivale a R\$ 609,04, valor utilizado para a valoração do presente item.

Utilizando a metodologia do PDAU-RMGV (2021), os custos da realocação temporária da população são calculados através da Equação 2. Buscando resultados mais precisos com os casos extremos, o tempo de auxílio do aluguel social será de 12 meses.

$$C_{RP} = AS * FPA * T_{AS} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

C_{RP} : Custos associados à realocação temporária da população afetada;

AS : Custo mensal do aluguel social;

FPA : Número de famílias/domicílios potencialmente afetadas;

T_{AS} : Número de meses de aluguel social.

Os valores associados a realocação temporária da população estão expostos nos gráficos da Figura 204 a Figura 212.

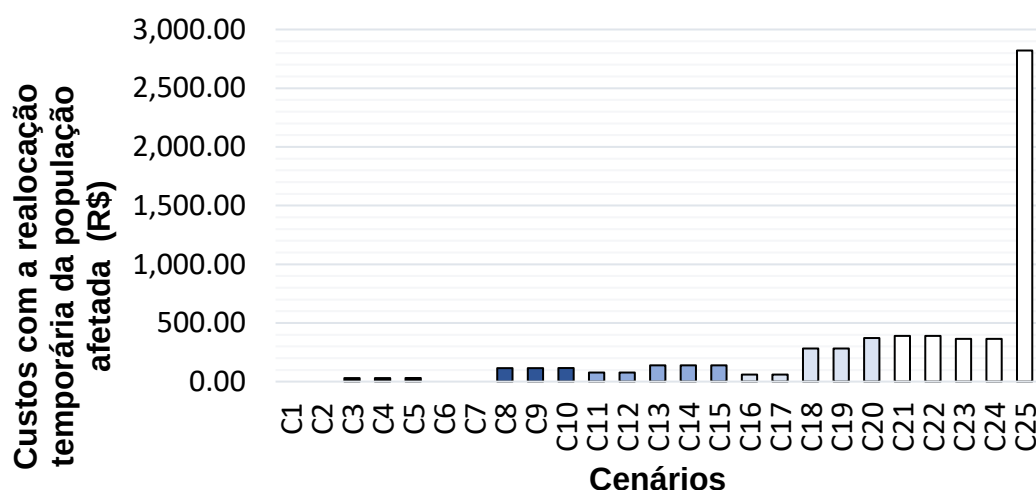


Figura 204 - Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Córrego São Cristóvão

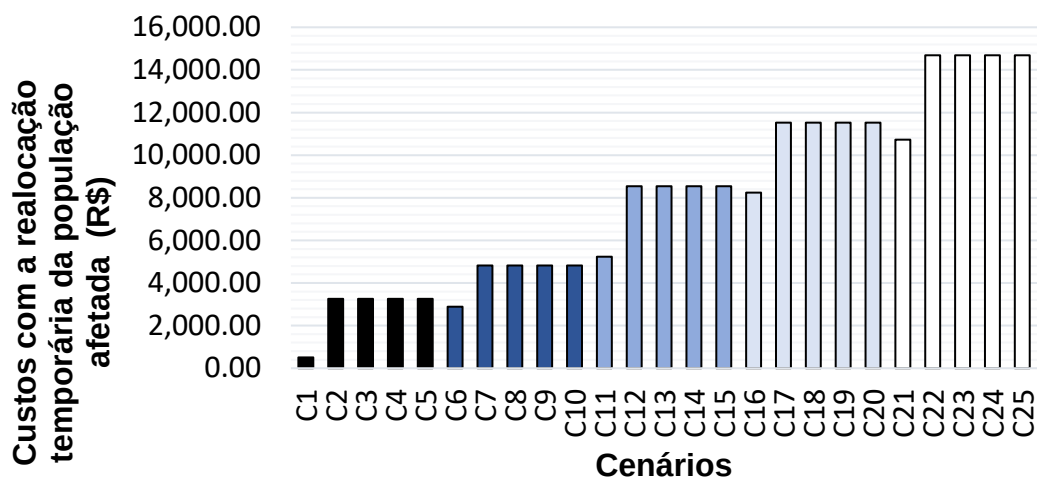


Figura 205 – Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Córrego São Judas Tadeu

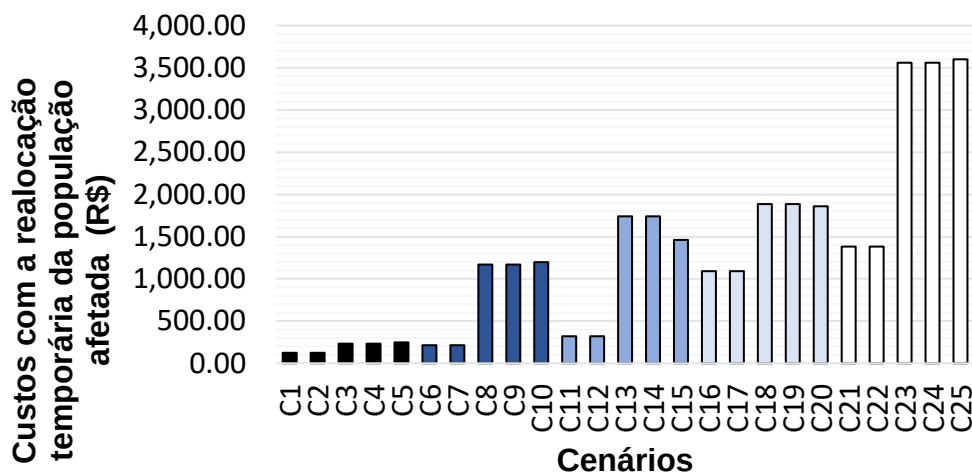


Figura 206 - Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Córrego do Patinho

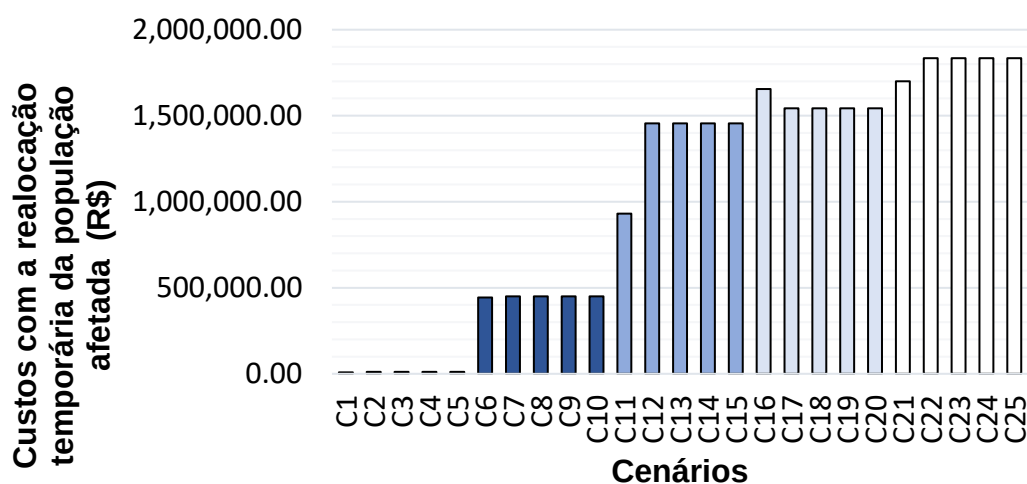


Figura 207 – Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Córrego da Remonta

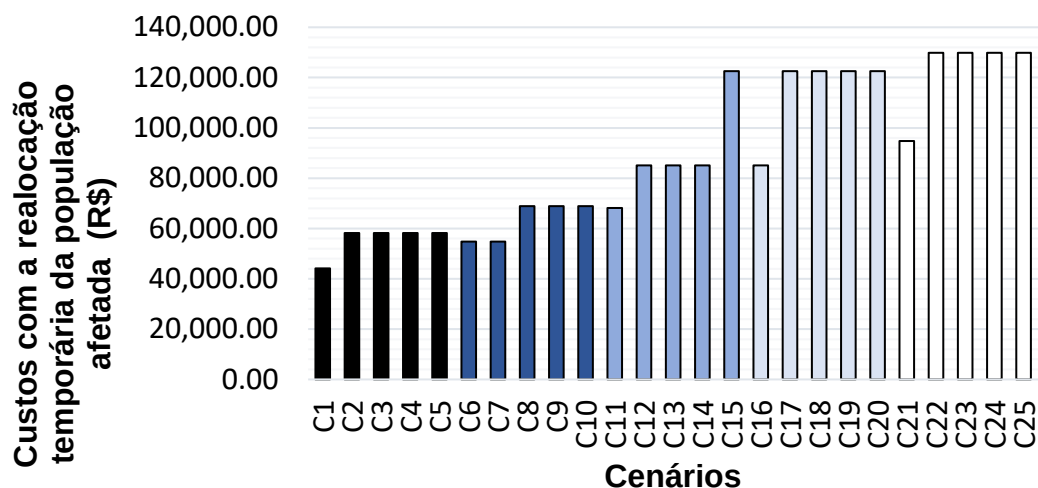


Figura 208 – Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Ribeirão das Mortes

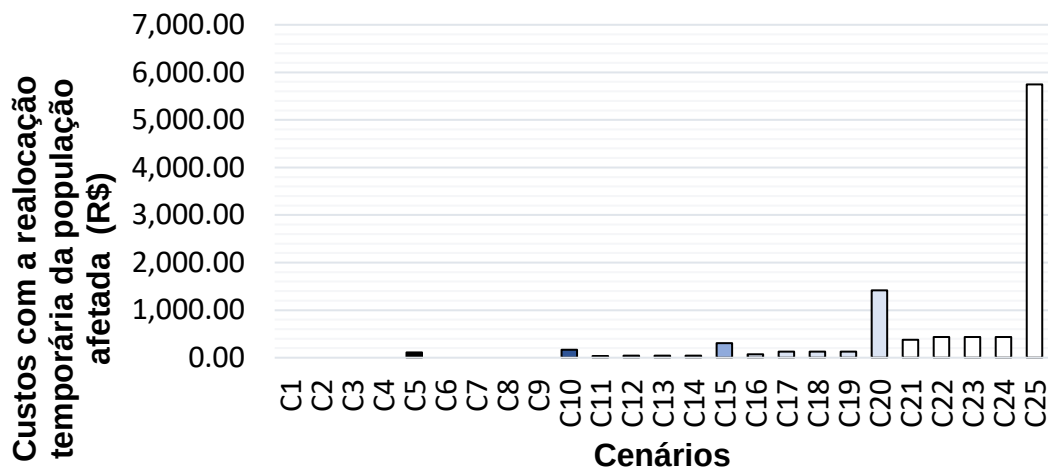


Figura 209 – Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Ribeirão Pantano

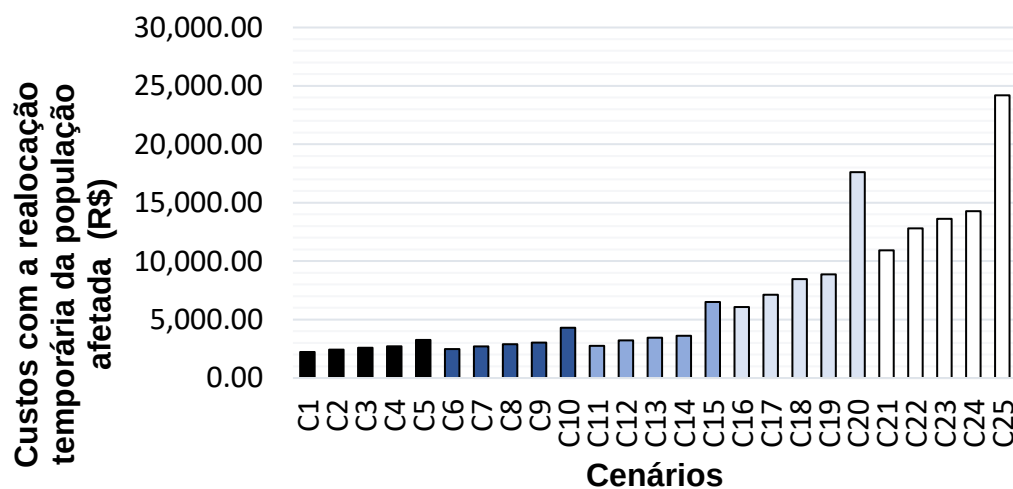


Figura 210 – Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Rio Mandu

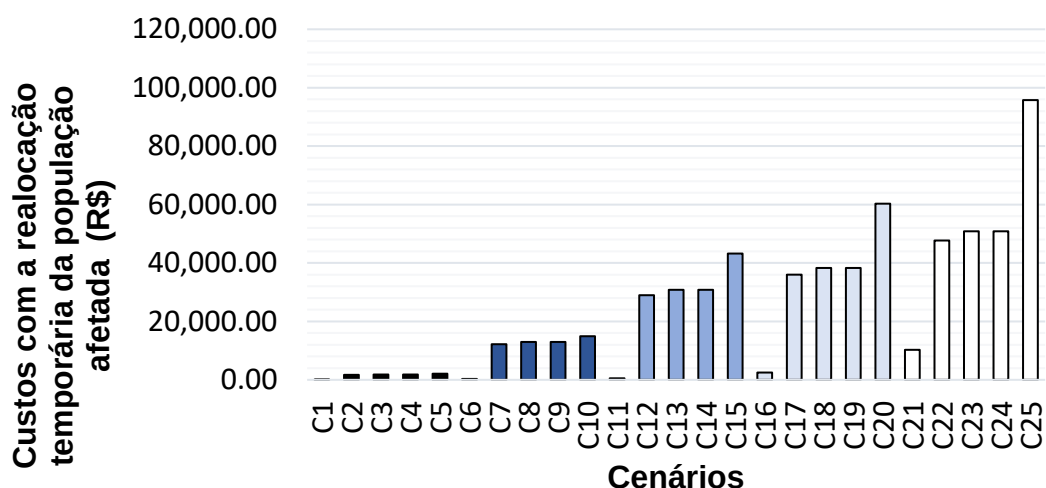


Figura 211 – Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Rio Sapucaí-Mirim

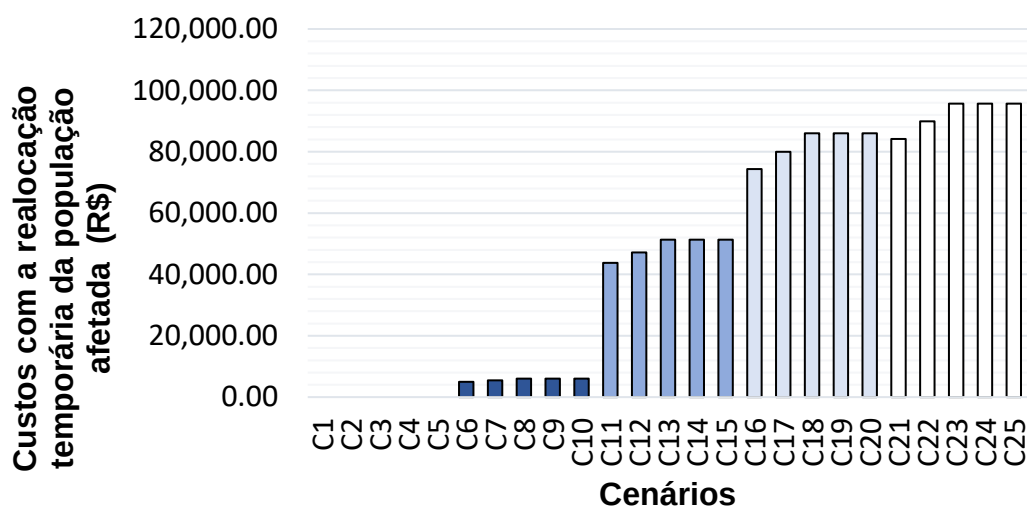


Figura 212 – Valoração dos danos associados a realocação temporária da população afetada por cenário, para a BH do Rio Sapucaí

Novamente as bacias apresentaram os mesmos padrões dos itens anteriores.

4.3.6 Serviços de saúde e emergência

Os danos aos serviços de saúde e emergência são considerados indiretos e abrangentes, mas oferecem impactos diretamente ligados a qualidade de vida das pessoas. Cançado (2009) comenta que basicamente os serviços de emergência são a polícia, os bombeiros, a defesa civil, os serviços de ambulância, as divisões da administração pública ligadas à assistência social e educação, os engenheiros e os voluntários, como a Cruz Vermelha, o Lions Club e outras organizações não governamentais.

Dentre as esferas calculadas, essa apresenta uma das maiores complexidades para realizar a valoração de maneira eficaz, pois se tratam de serviços diferentes e em vários aspectos. Assim, será utilizado os dados do Banco Mundial relacionados a eventos ocorridos em cidades diferentes, adaptado do PDAU-RMGV (2021) apresentada na Tabela 24.

Tabela 24 - Custos associados aos serviços de saúde e de emergência, por evento

Evento	Perdas e danos ao setor da saúde (dez/2020) (R\$)	Perdas e danos ao setor da saúde (dez/2023) (R\$)	População afetada	Fator (R\$/hab.)
Inundações bruscas em Santa Catarina	300.169.596,00	370.568.177,92	1.462.596	253,36
Inundações bruscas em Alagoas	105.933.212,00	130.777.659,95	269.651	484,99
Inundações bruscas em Pernambuco	261.056.997,00	322.282.526,28	740.001	435,52
Inundações e deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro	19.447.449,00	24.008.446,68	304.562	78,83
Média				313,17

Fonte: Banco Mundial (2012)

O próximo passo trata-se de, através da Equação 3, calcular os custos associados aos serviços de saúde e de emergência, conforme PDAU-RMGV (2021).

$$C_{SSE} = \frac{VM_{CSSE-BM}}{P_{BM}} * P_{PA} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

C_{SSE} : Custos associados aos serviços de saúde e de emergência;

$VM_{CSSE-BM}$: Valor médio dos custos associados aos serviços de saúde e de emergência nos eventos de inundação (Banco Mundial);

P_{BM} : População total afetada nos eventos de inundação (Banco Mundial);

P_{PA} : Número de famílias/domicílios potencialmente afetadas.

A seguir, da Figura 213 a Figura 221, são apresentados os resultados referentes aos danos ligados aos serviços de saúde e emergência.

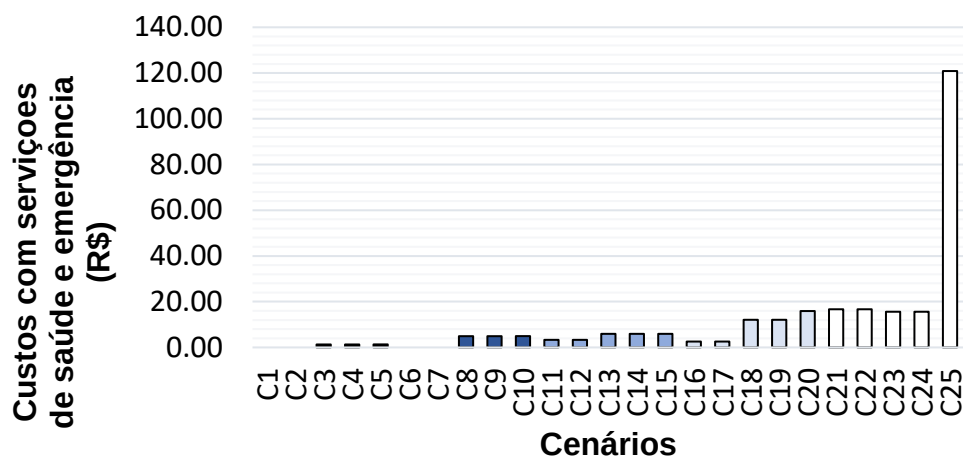


Figura 213 - Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Córrego São Cristóvão

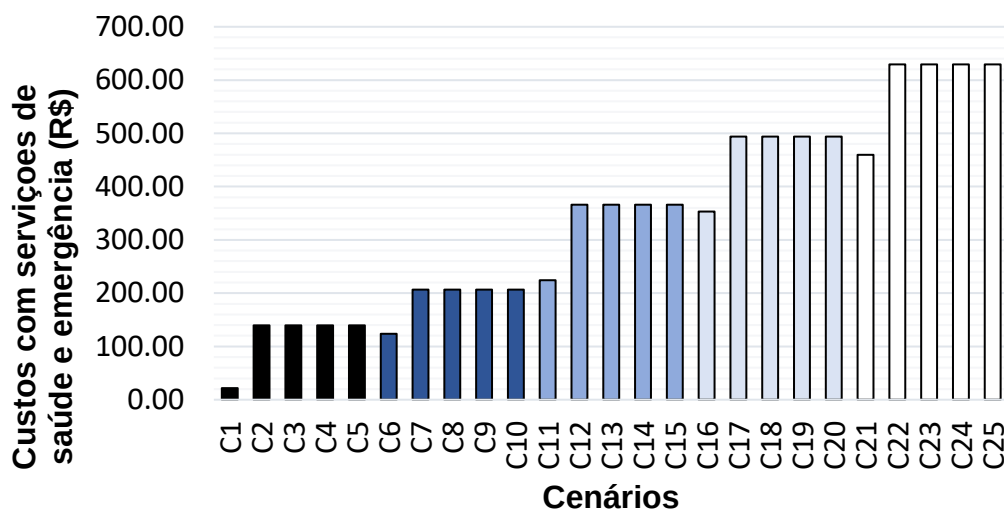


Figura 214 - Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Córrego São Judas Tadeu

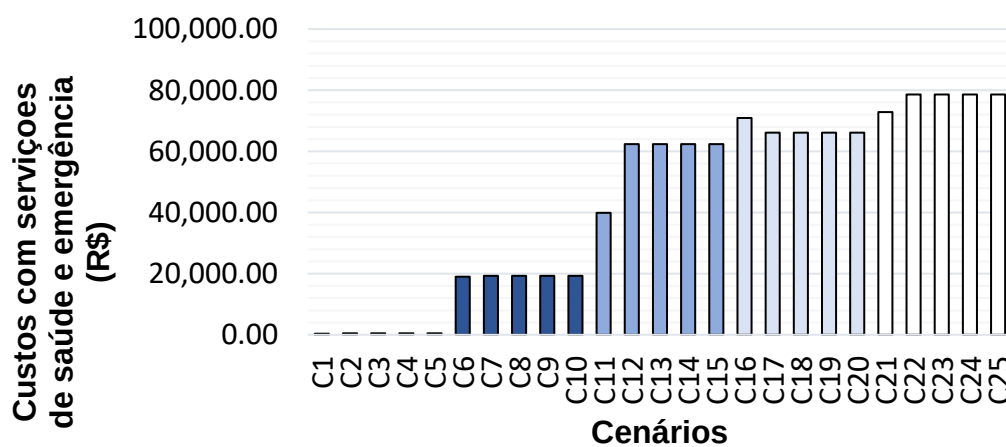


Figura 215 - Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Córrego da Remonta

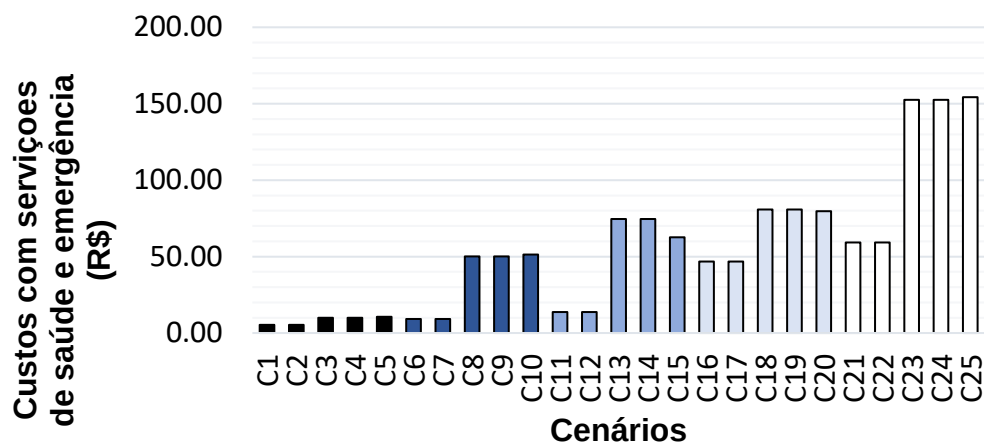


Figura 216 - Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Córrego do Patinho

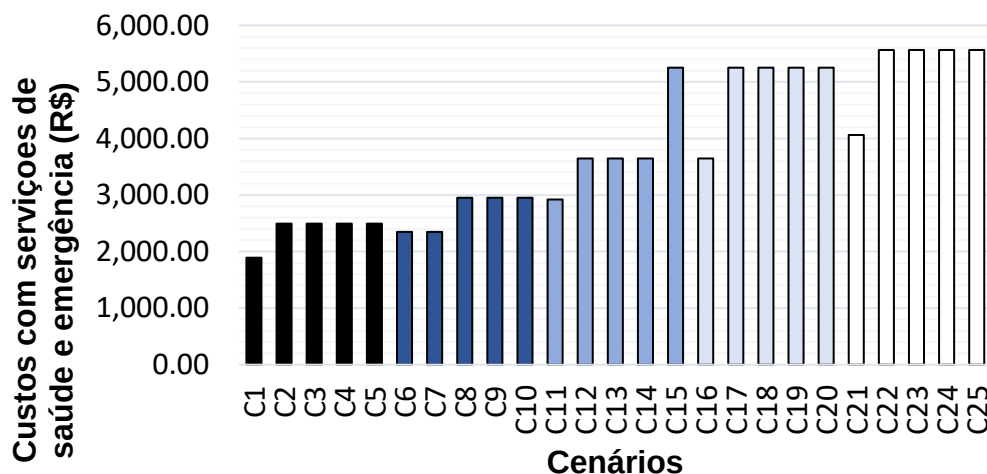


Figura 217 - Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Ribeirão das Morte

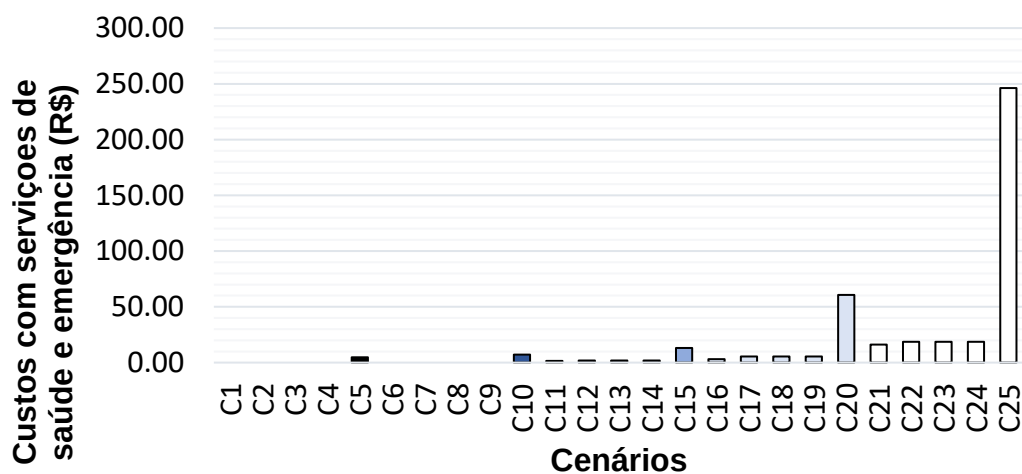


Figura 218 - Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Ribeirão Pantano

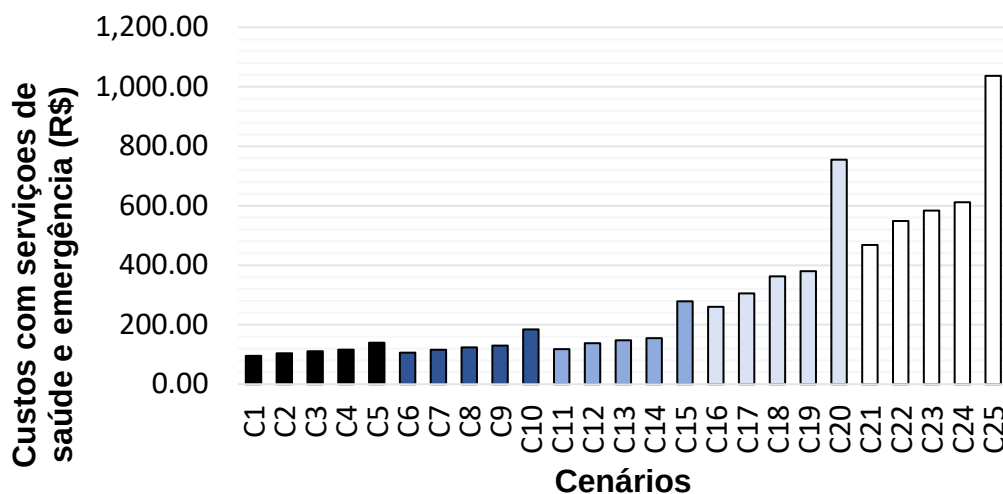


Figura 219 – Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Rio Mandu

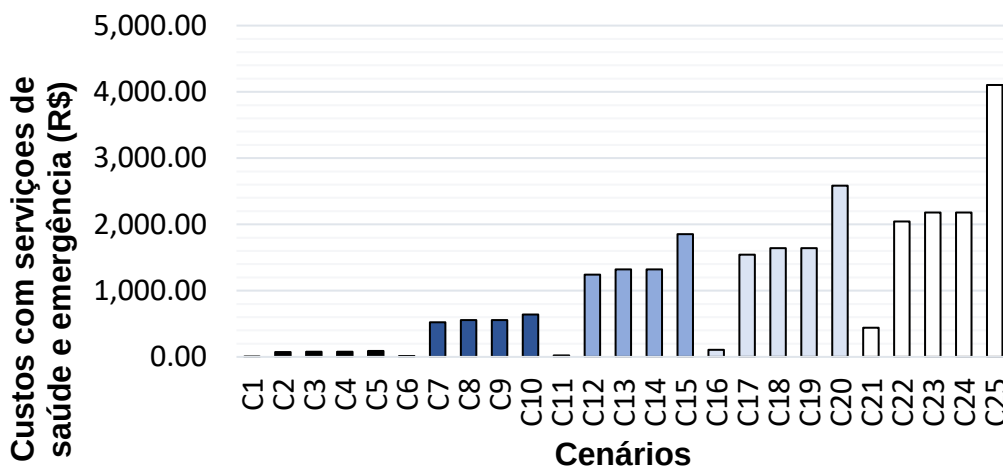


Figura 220 – Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Rio Sapucaí-Mirim

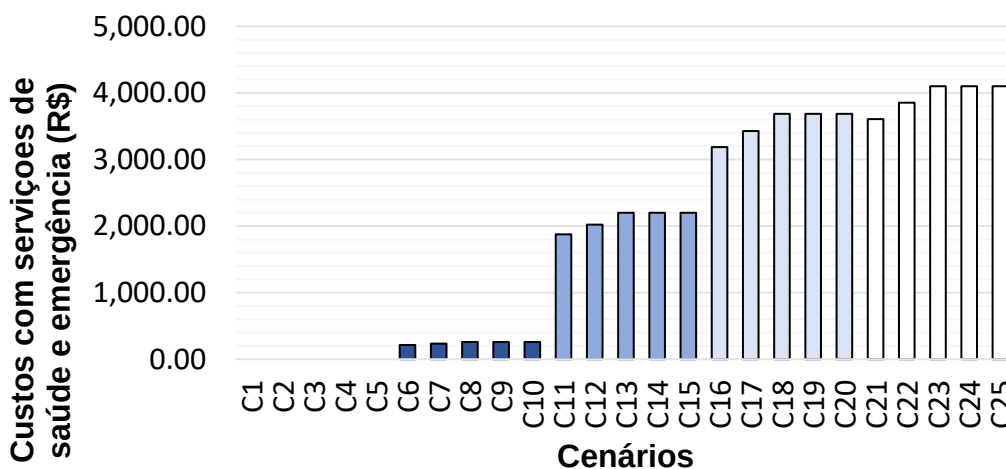


Figura 221 – Valoração dos danos associados aos serviços de saúde e emergência por cenário, para a BH do Rio Sapucaí

4.3.7 Compilação total por esfera

De modo a tornar a visualização dos danos mais dinâmica elaborou-se gráficos ilustrativos do comparativo entre as esferas conforme apresentado a seguir, da Figura 222 a Figura 270.

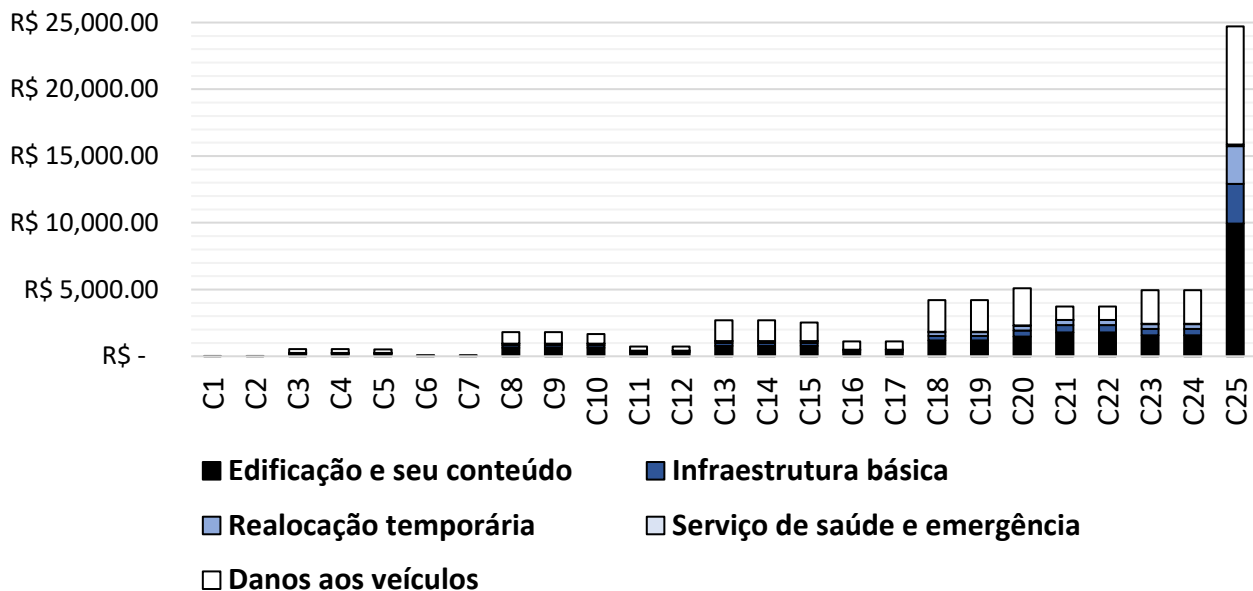


Figura 222 - Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Córrego São Cristóvão

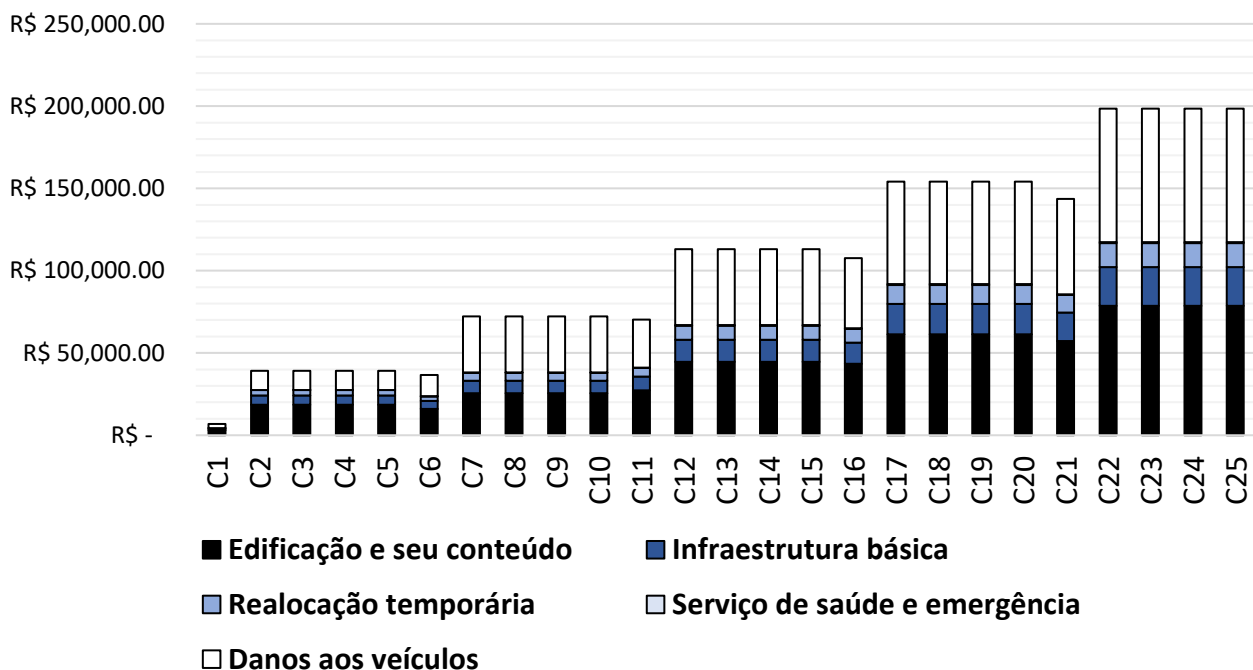


Figura 223 - Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Córrego São Judas Tadeu

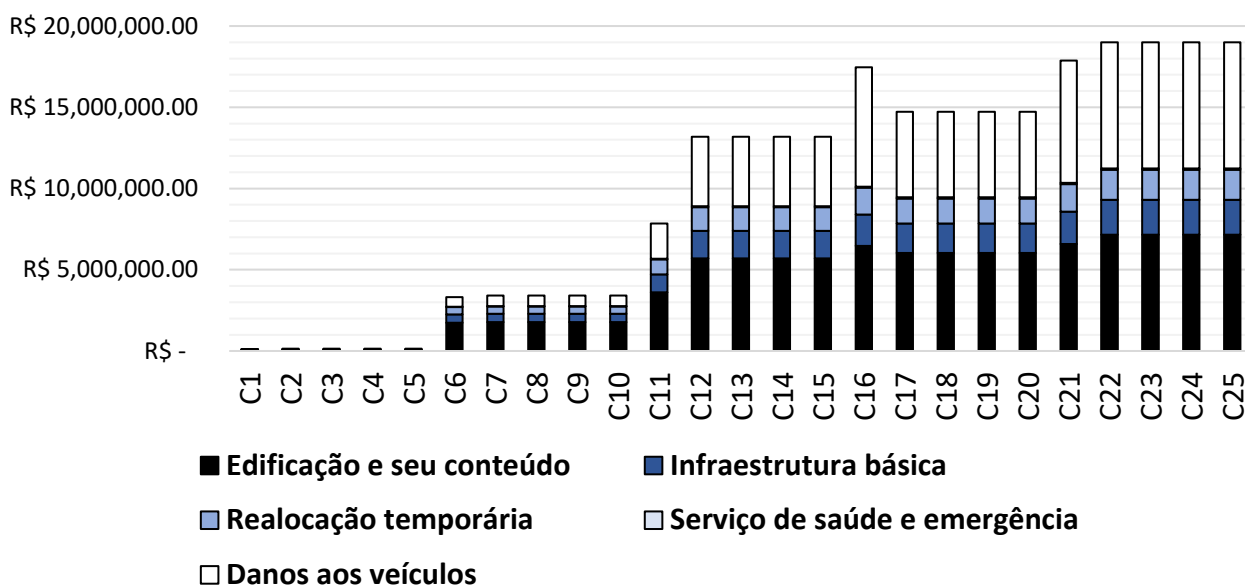


Figura 224 – Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Córrego da Remonta

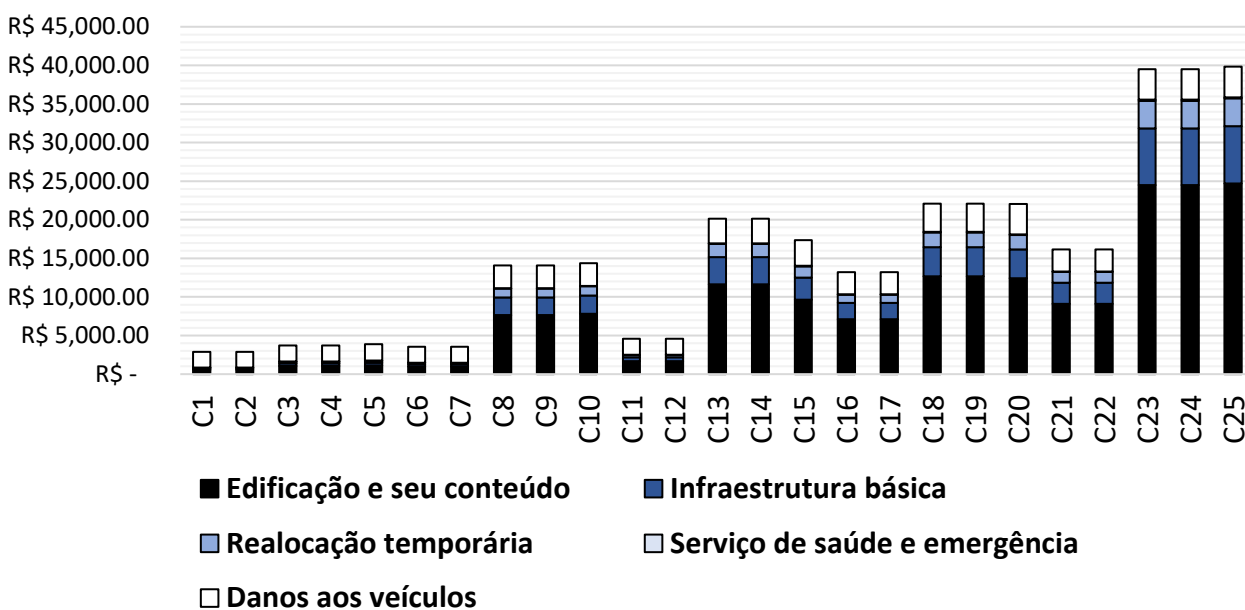


Figura 225 – Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Córrego do Patinho

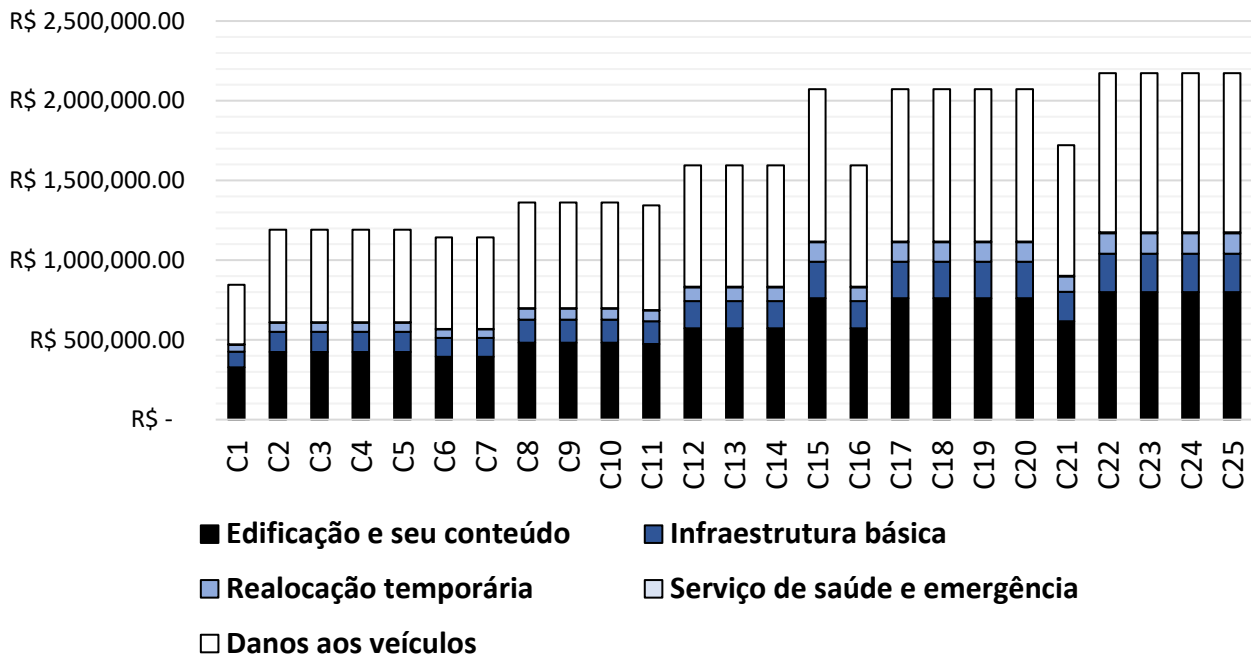


Figura 226 – Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Ribeirão das Mortes

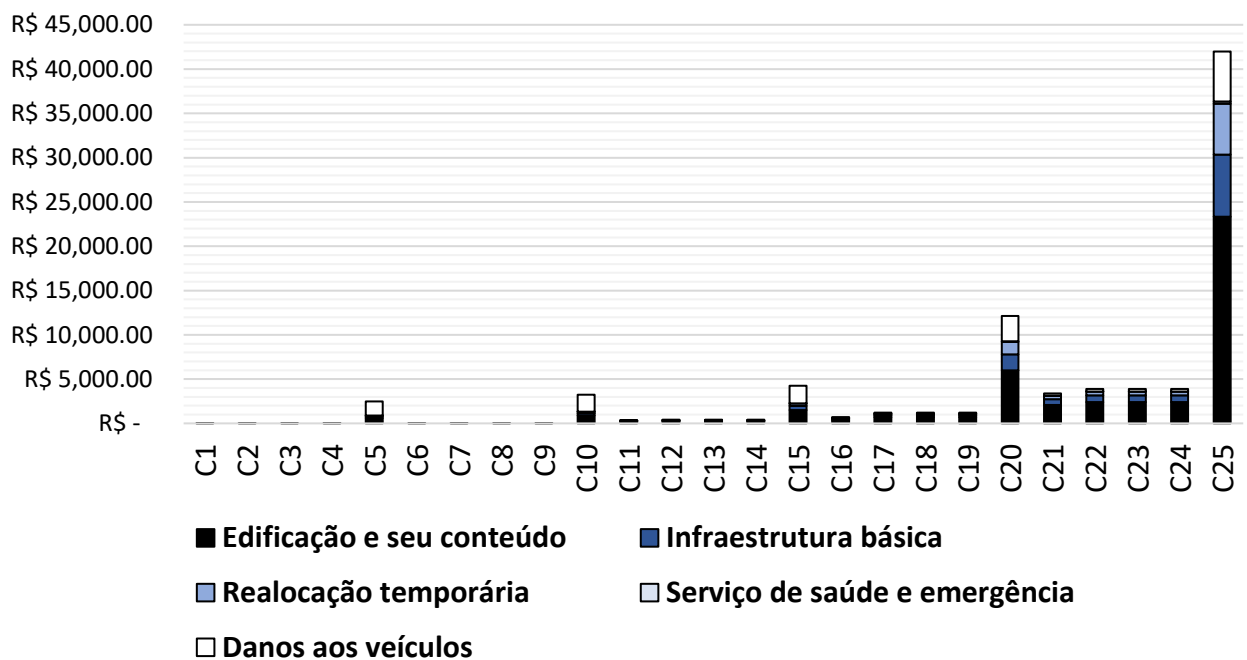


Figura 227 – Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Ribeirão Pantano

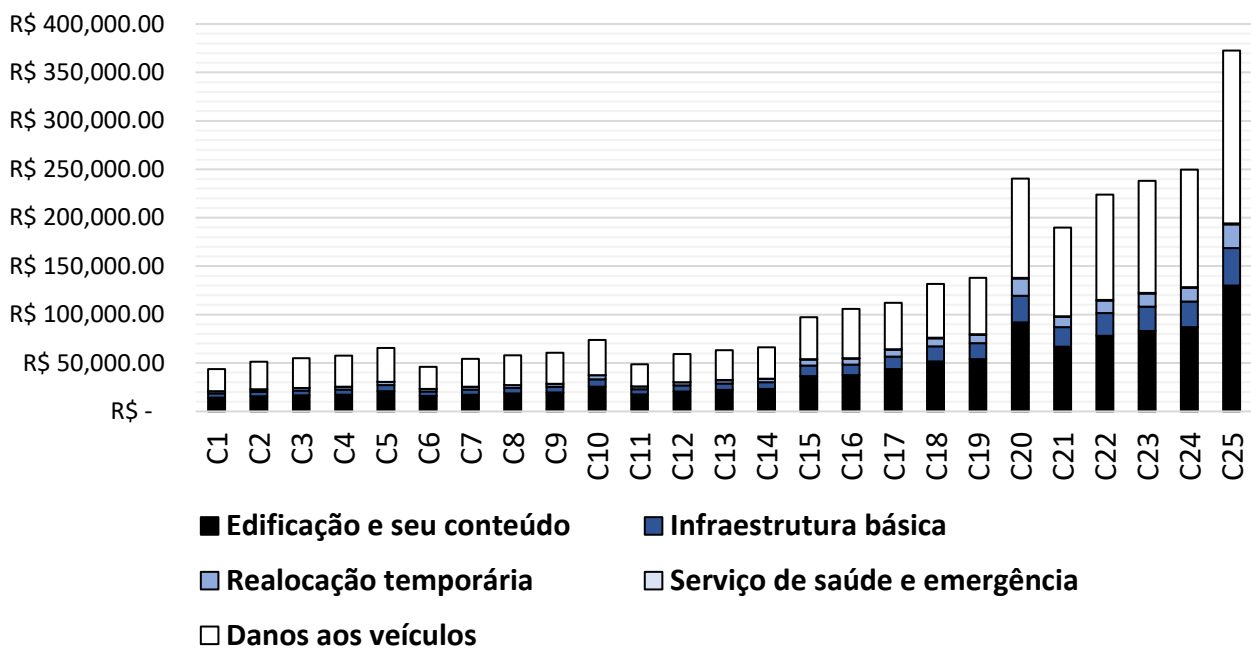


Figura 228 – Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Rio Mandu

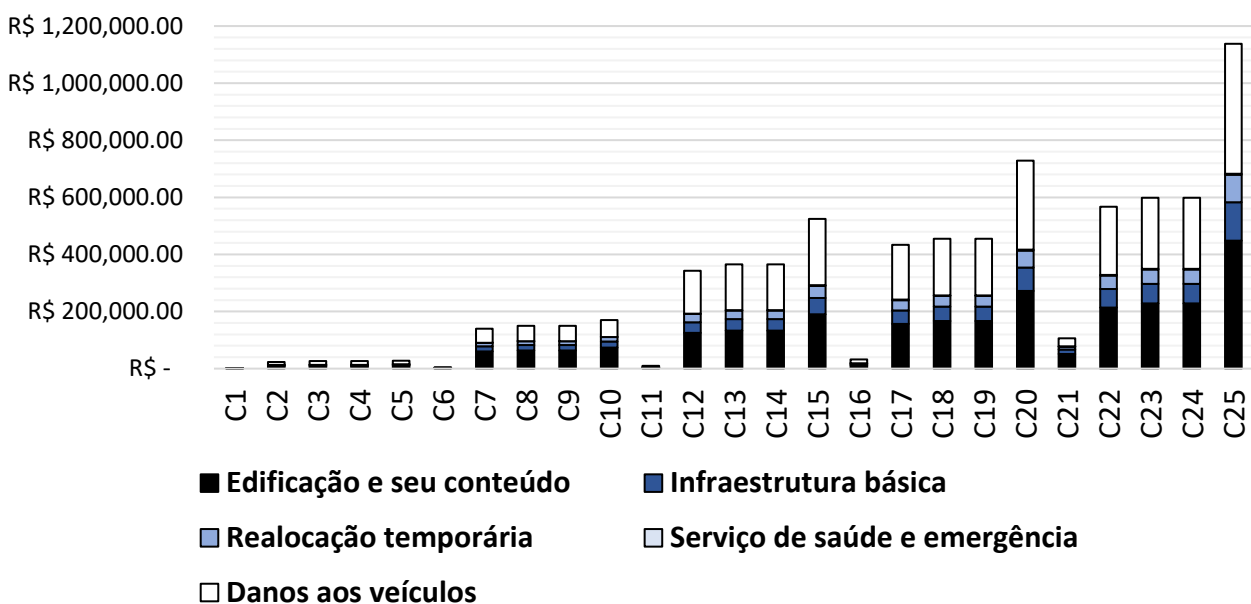


Figura 229 – Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Rio Sapucaí-Mirim

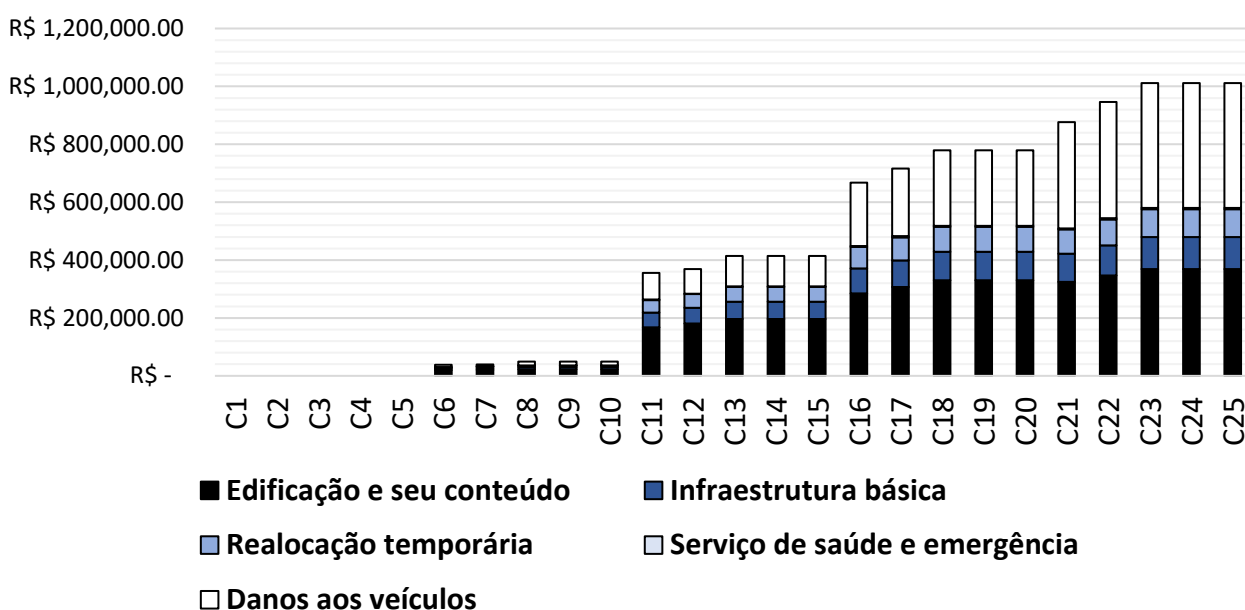


Figura 230 – Comparação dos valores associados a cada prejuízo, para a BH do Rio Sapucaí

Como observado os danos mais relevantes para o município são aqueles relacionados com os veículos e as edificações e seus conteúdos. Já os menos relevantes são os custos relacionados aos prejuízos com os serviços de saúde e emergência. Conforme apresentado nos itens separadamente, a bacia do Córrego da Remonta se mostrou a mais impactada pelos eventos de inundações, chegando num total de aproximadamente 19 milhões de reais, dado o já mencionado problema de inundação no bairro Yara.

É importante ressaltar a eficiência dos diques existentes na cidade, visto que mantem a área urbana a salvo de inundações provenientes de grandes corpos hídricos, como o Rio Mandu e o Rio Sapucaí-Mirim. Ainda assim os valores encontrados evidenciam a importância da implementação de novas medidas de contenção das cheias que assolam o município de Pouso Alegre, pois nos casos mais extremos calculados os custos foram de aproximadamente 24 milhões de reais.

Além disso, ao analisar os setores censitários afetados foi possível constatar que a maioria dos domicílios que sofrem com as inundações dos cursos d'água pertencem à classe socioeconômica mais baixa analisada neste produto (classe D). Este fato ressalta ainda mais a importância de se preparar para eventos extremos, pois a população mais afetada não possui condições financeiras de lidar com as perdas.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12.721: Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios**. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

BARENDRECHT, M.H., VIGLIONE, A., BLÖSCHL, G. (2017). **A dynamic framework for flood risk**. *Water Security*, 1, 3-11. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2017.02.001>

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 3 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm

BRASIL. **Lei nº 14.285, de 29 de novembro de 2021**. Altera as Leis nos 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, 11.952, de 25 de junho de 2009, que dispõe sobre regularização fundiária em terras da União, e 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, para dispor sobre as áreas de preservação permanente no entorno de cursos d'água em áreas urbanas consolidadas. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2021/Lei/L14285.htm

Caminhões e Carretas. **Valor de Reboques e Semirreboques**. Curitiba, PA, 2022.

Cançado, Vanessa Lucena. **Consequências econômicas das inundações e vulnerabilidade: Desenvolvimento de metodologia para avaliação do impacto nos domicílios e na cidade**. 2009. 417 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2009.

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN. **Inundação**. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/inundacao/>. Acesso em 12 março 2024.

Consórcio Tetra Tech – Concremat. **Plano Diretor de Águas Urbanas da Região Metropolitana da Grande Vitória (PDAU-RMGV)**. Contrato 0006/2020, 2021.

FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY (2019). **Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping: Floodway Analysis and Mapping**. Recuperado em 15 de fevereiro de 2020, de https://www.fema.gov/media-library-data/1578062957793-0274cb6a7a3801a07a3db7916e64e80d/FloodwayAnalysis_and_Mapping_Nov_2019.pdf

Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas – Fipe. **Indicadores**. Disponível em: <https://veiculos.fipe.org.br/>. Acesso em 12 de março de 2024.

Green, C., Parker, D., & Tunstall, S. (Nov de 2000). **Assessment of Flood Control and Management Options**. World Commission on Dams (WCD), p. 165

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **IBGE Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>. Acesso em 12 de março de 2024.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Downloads**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html?caminho=Cadastro_Nacional_de_Enderecos_para_Fins_Estatisticos/Censo_Demografico_2022/Coordenadas_enderecos/Municipio. Acesso em 11 de março de 2024.

LARENTIS, D. G., NOGARE, M., TUCCI, C. E. M., POHLMANN, P. (2020). **Procedimentos e critérios para zoneamento de planícies de inundação em áreas urbanas**. Revista de Gestão de Água da América Latina, 17, e13. <https://doi.org/10.21168/reg.v17e13>.

Machado, M. L. (2005). **Curvas de Danos de Inundação versus profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia – estudo de caso bacia do rio Sapucaí, Itajubá – MG**. Tese de Doutorado, p. 217.

MENDES, THIAGO AUGUSTO ET AL. **Uso do modelo HEC-RAS com base em informações de LiDAR para avaliação de inundações urbanas**. Engenharia Sanitaria e Ambiental [online]. 2022, v. 27, n. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-415220200276>>

REZENDE, D. A.; ULTRAMARI, C. Plano diretor e planejamento estratégico municipal: introdução teóricoconceitual. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-76122007000200005>. Acesso em 01 de abril de 2024

SINDUSCON - Sindicato da Indústria da Construção Civil. **Custos Unitários Básicos de Construção**. Minas Gerais, jan. 2024.

TRENTIN, G.; FREITAS, M. I. C. **Modelagem dinâmica espacial urbana: modelo de autômato celular simulação de cenários para o município de Americana - SP**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 62, n. 1, p. 291-305, 2010.

TUCCI, C. E. M.; BERTON, J. C. (org.). **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

APÊNDICE A

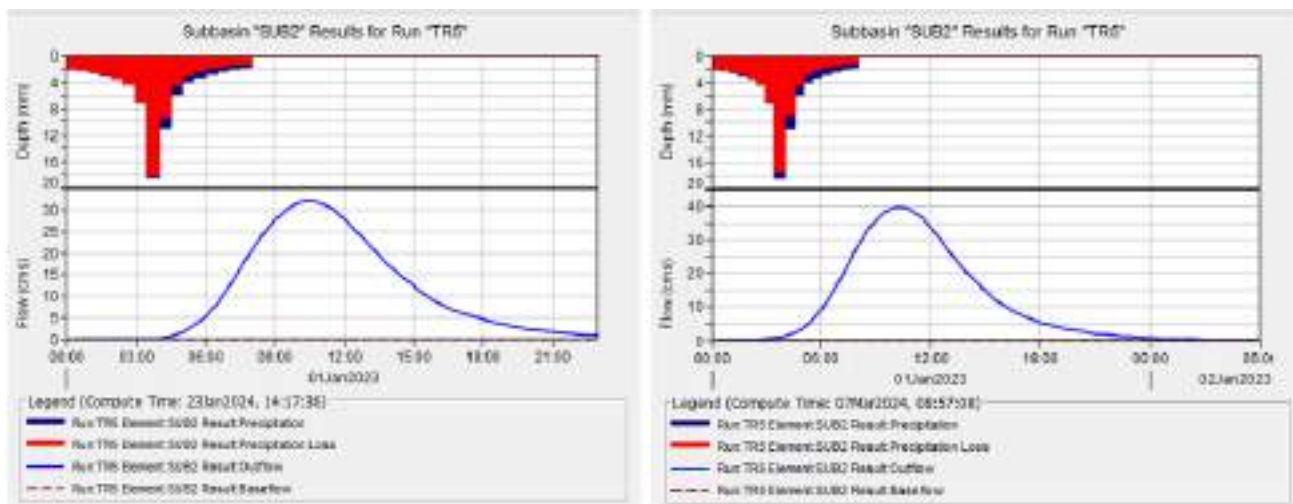


Figura 231 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 5 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

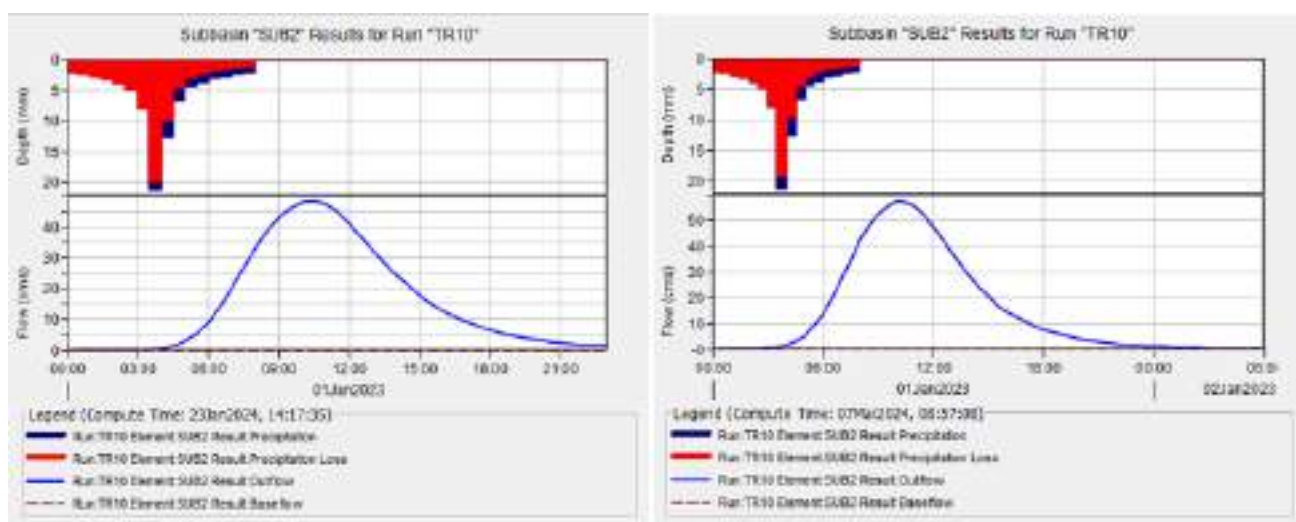


Figura 232 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 10 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

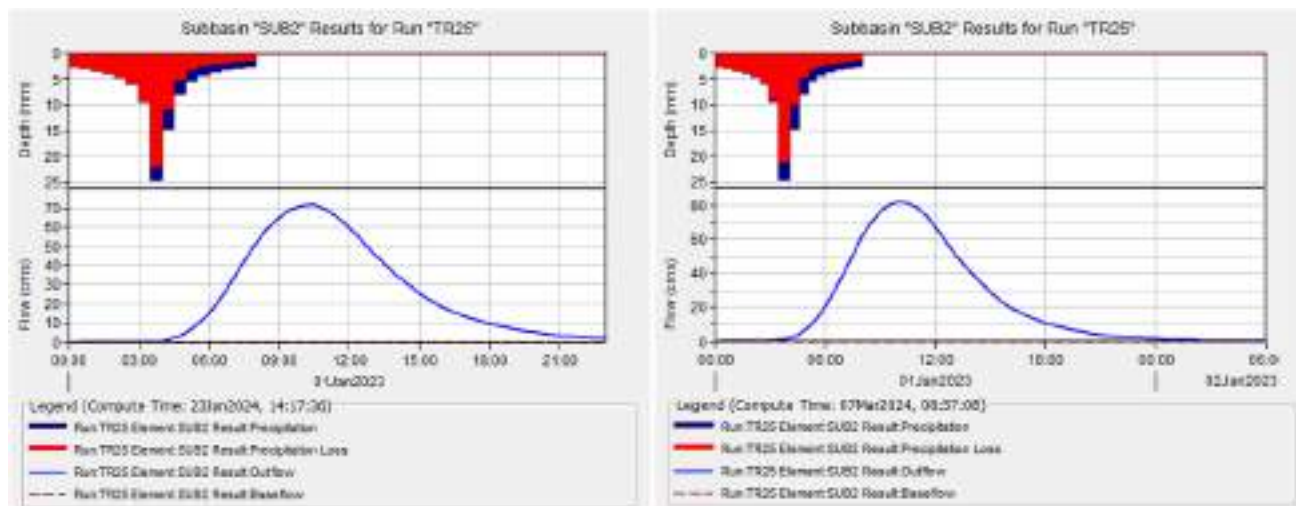


Figura 233 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 25 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

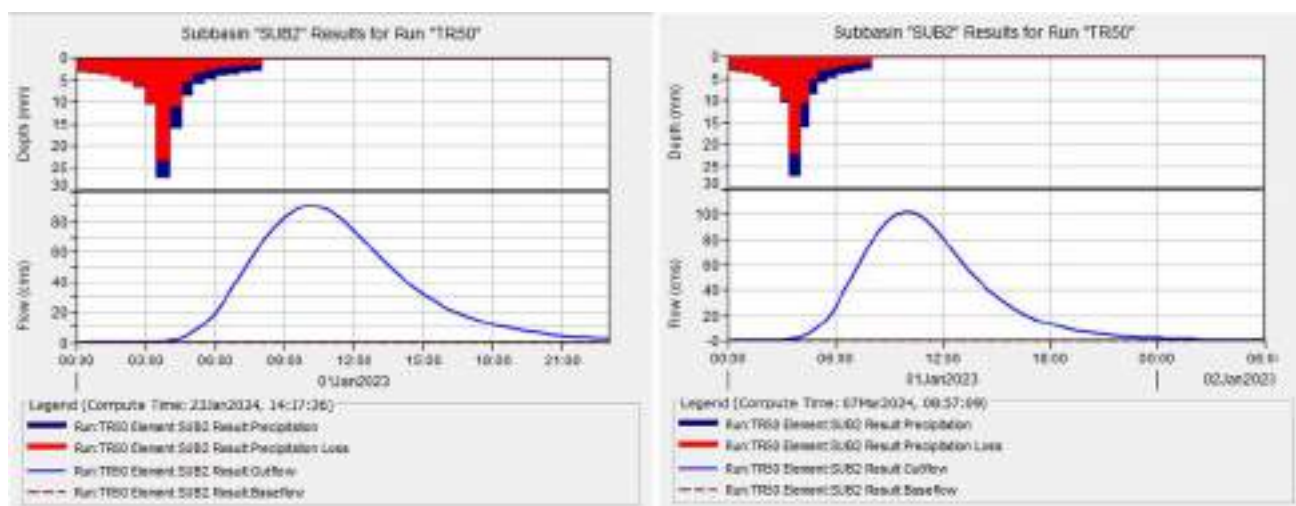


Figura 234 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 50 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

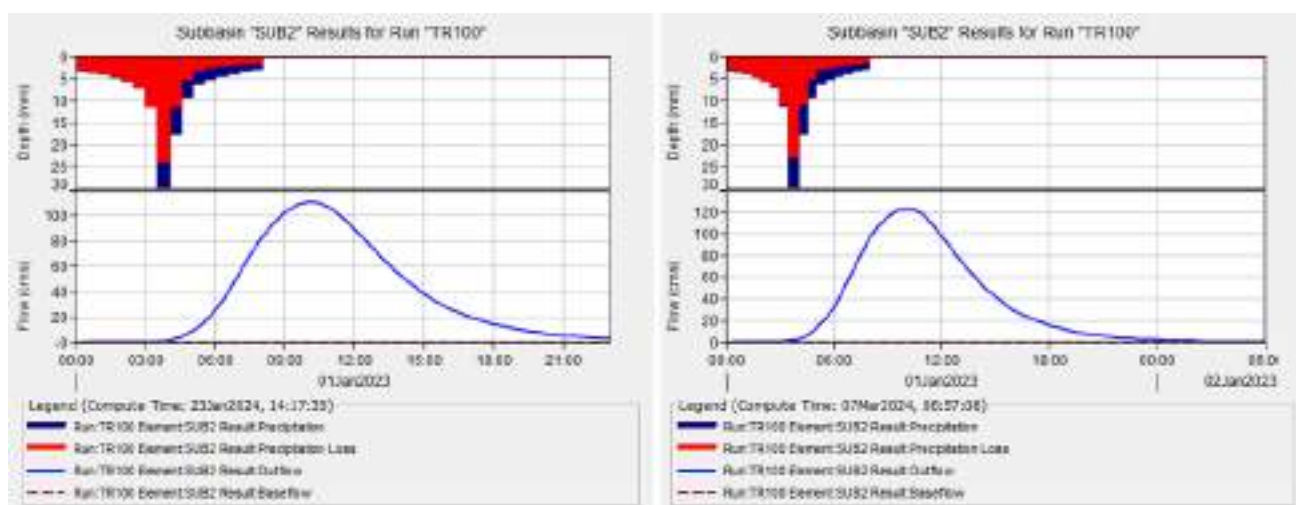


Figura 235 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 100 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

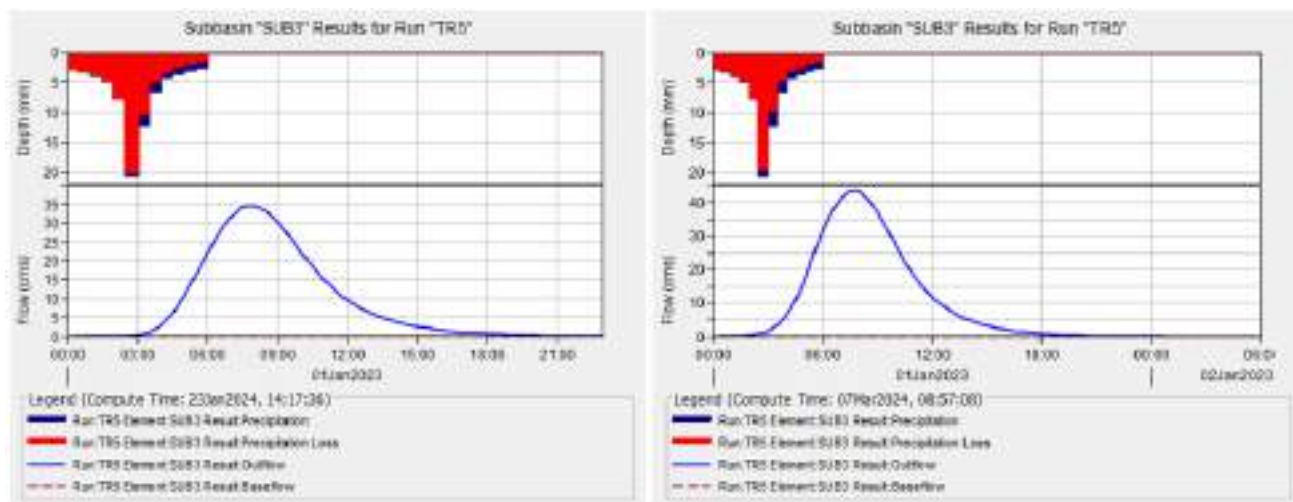


Figura 236 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 5 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

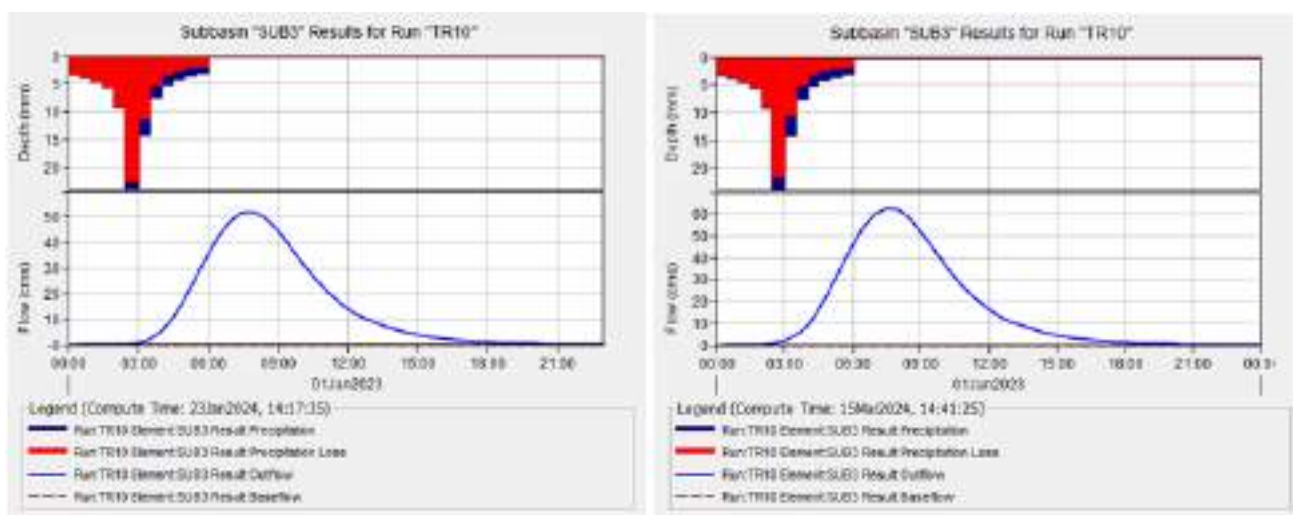


Figura 237 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 10 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

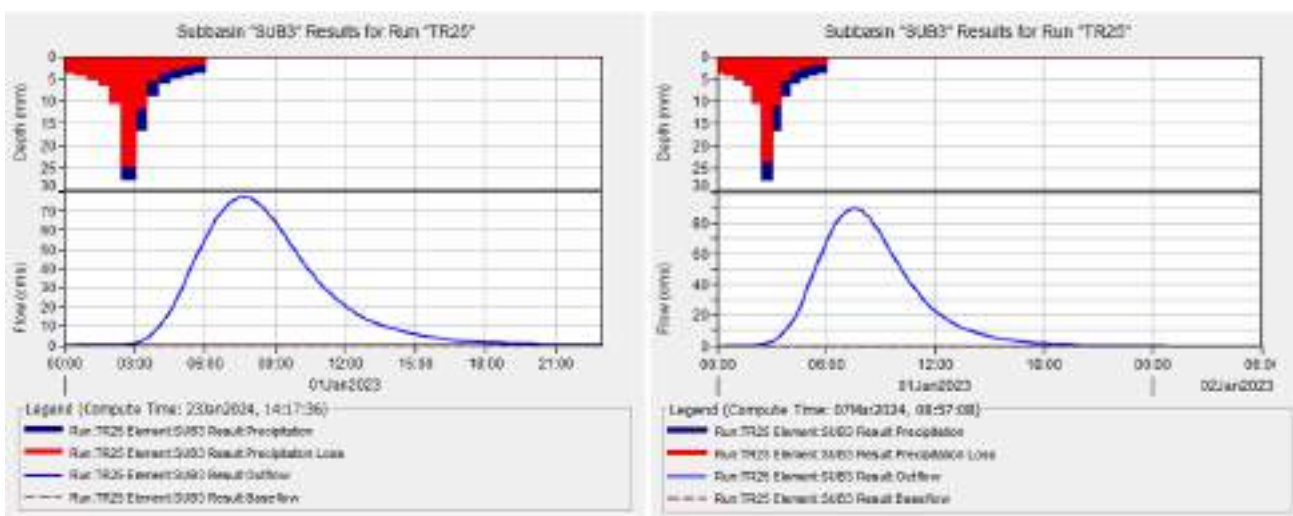


Figura 238 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 25 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

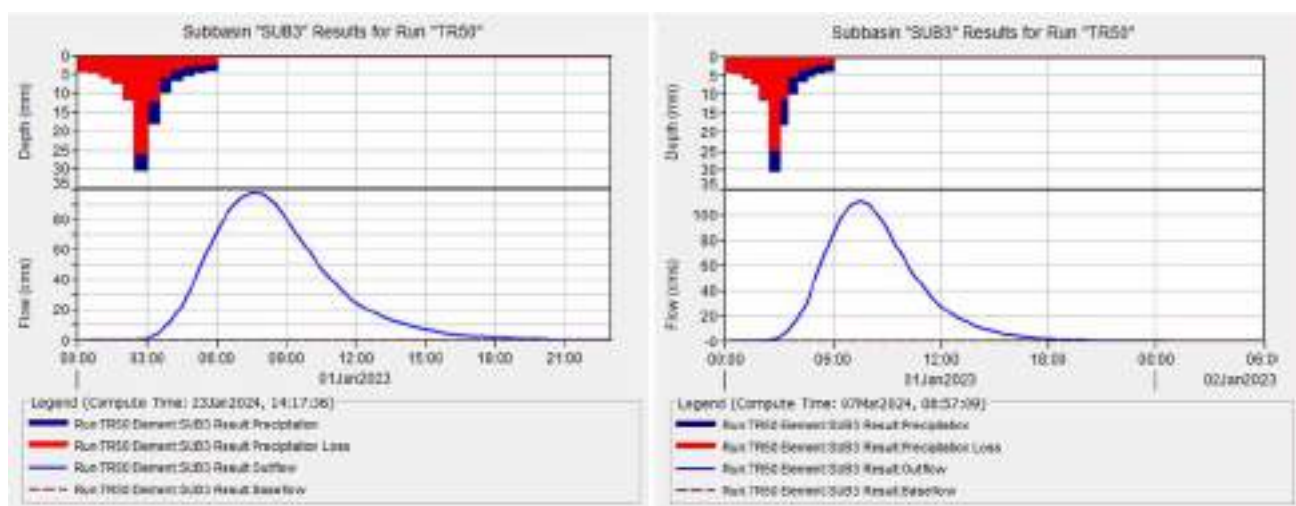


Figura 239 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 50 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

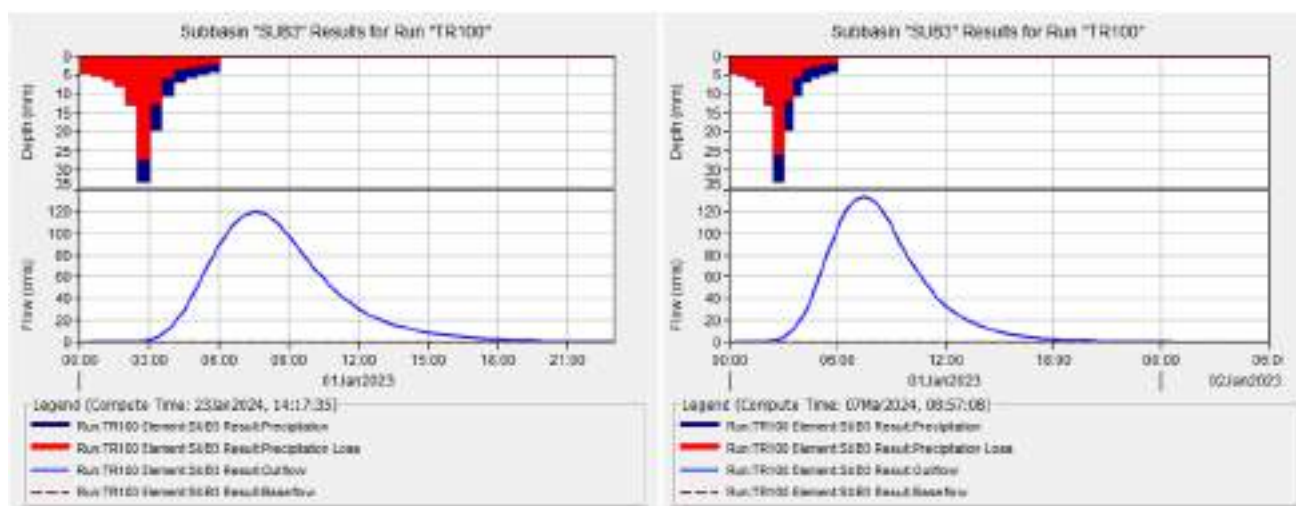


Figura 240 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 100 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

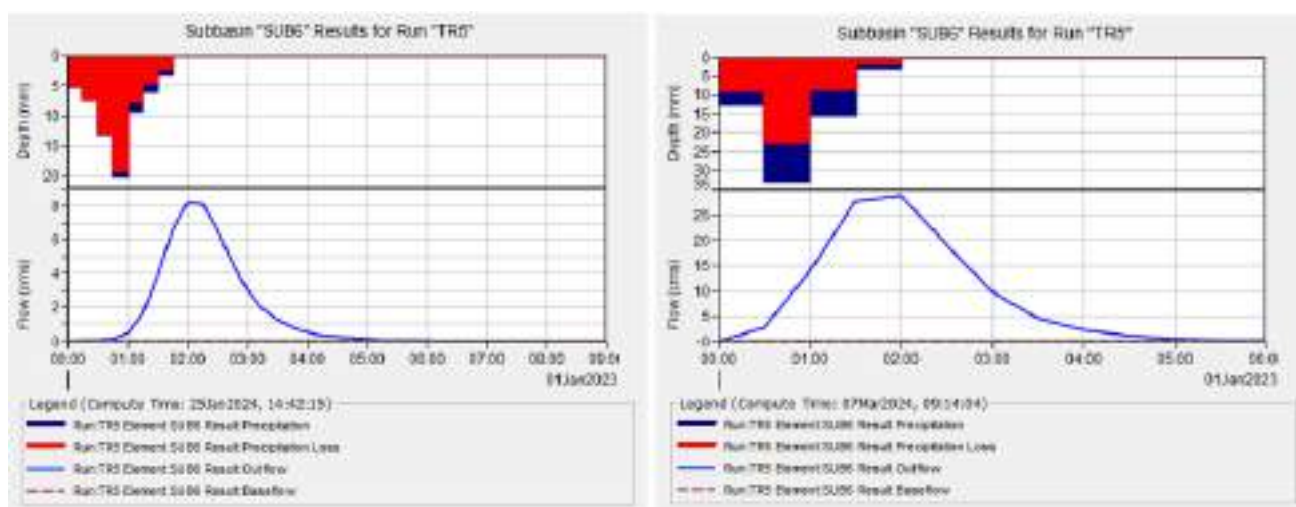


Figura 241 - Hidrograma de projeto da SUB6 para o TR 5 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

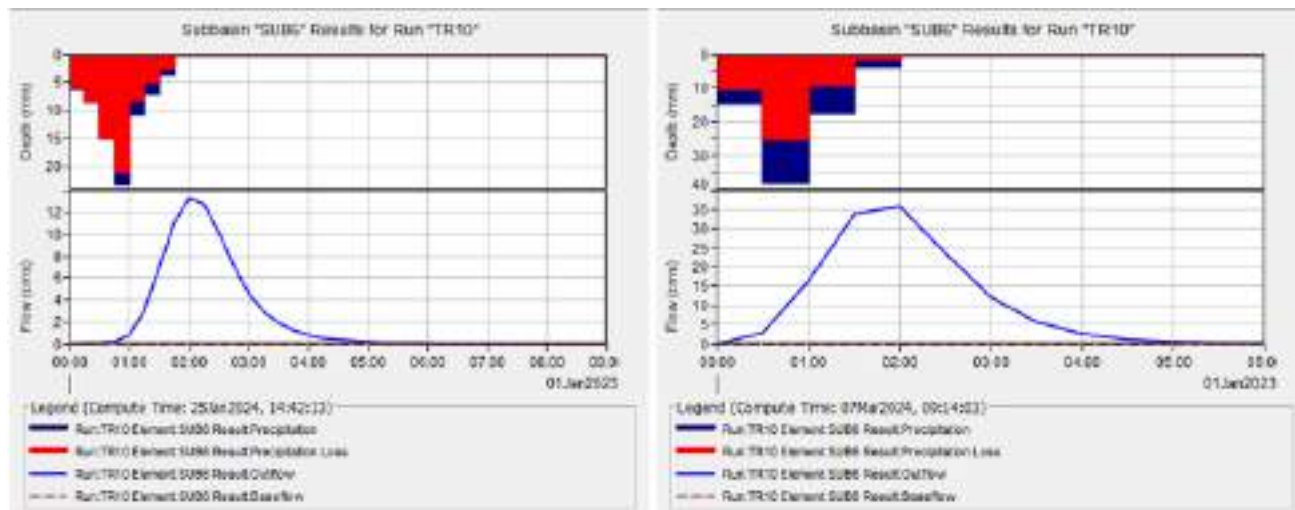


Figura 242 - Hidrograma de projeto da SUB6 para o TR 10 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

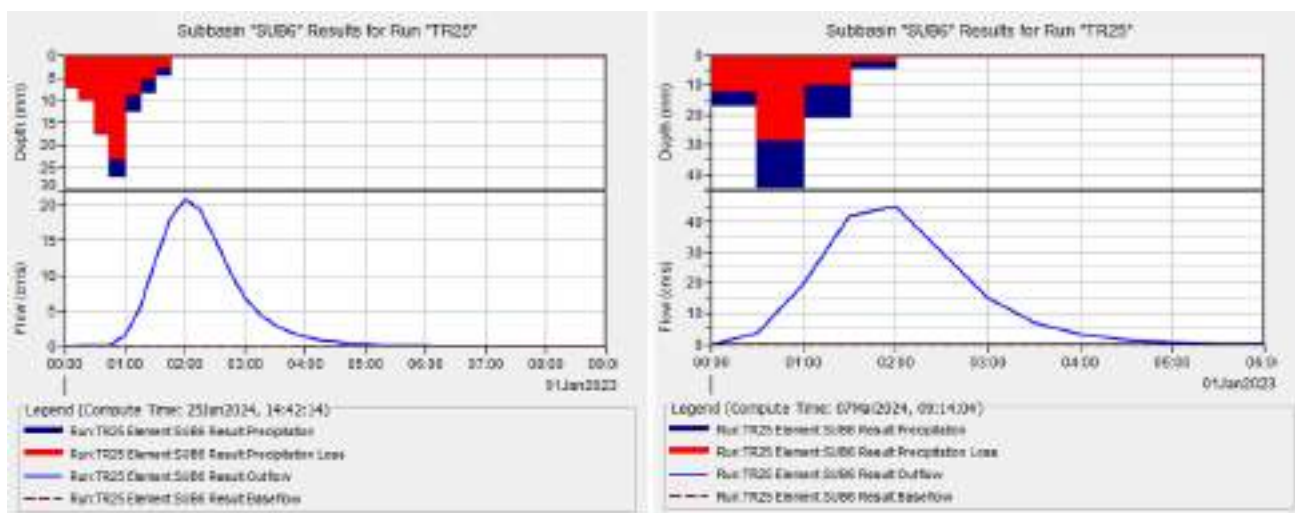


Figura 243 - Hidrograma de projeto da SUB6 para o TR 25 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

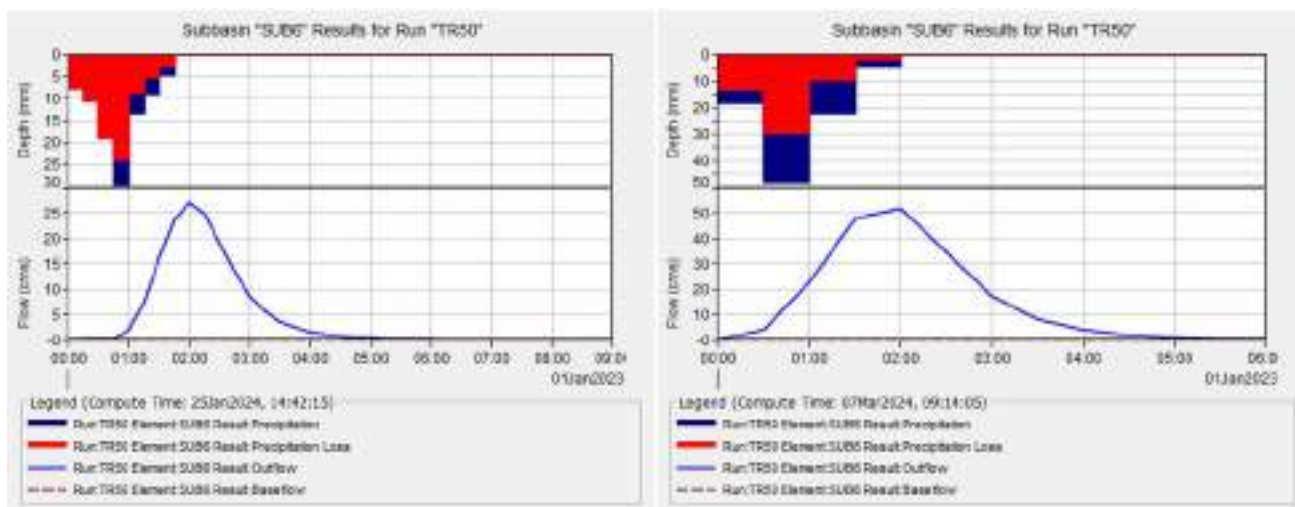


Figura 244 - Hidrograma de projeto da SUB6 para o TR 50 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

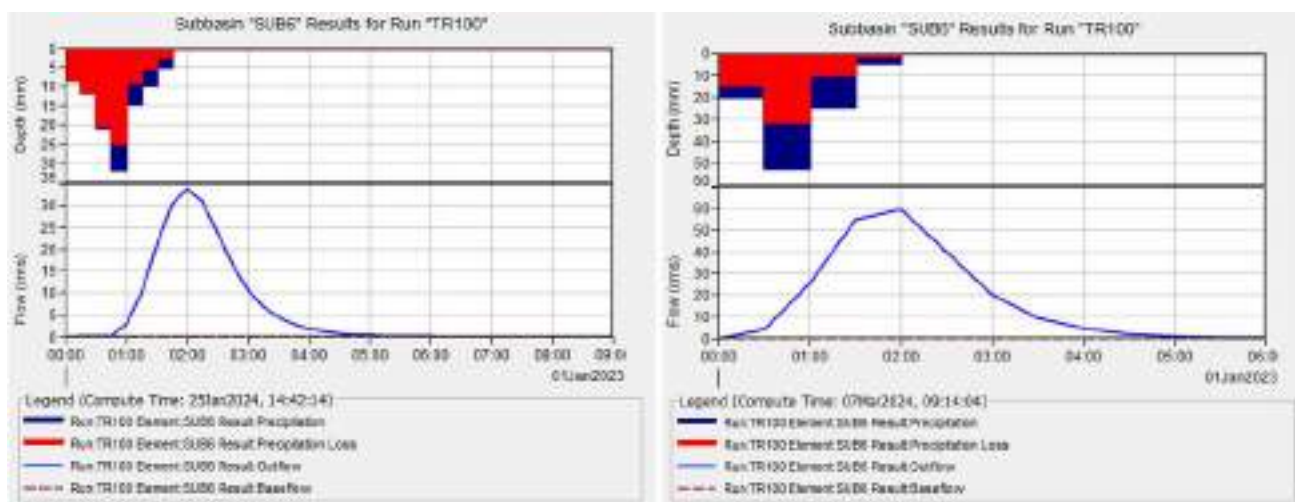


Figura 245 - Hidrograma de projeto da SUB6 para o TR 100 anos para bacia do Rio Mandu para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

APÊNDICE B

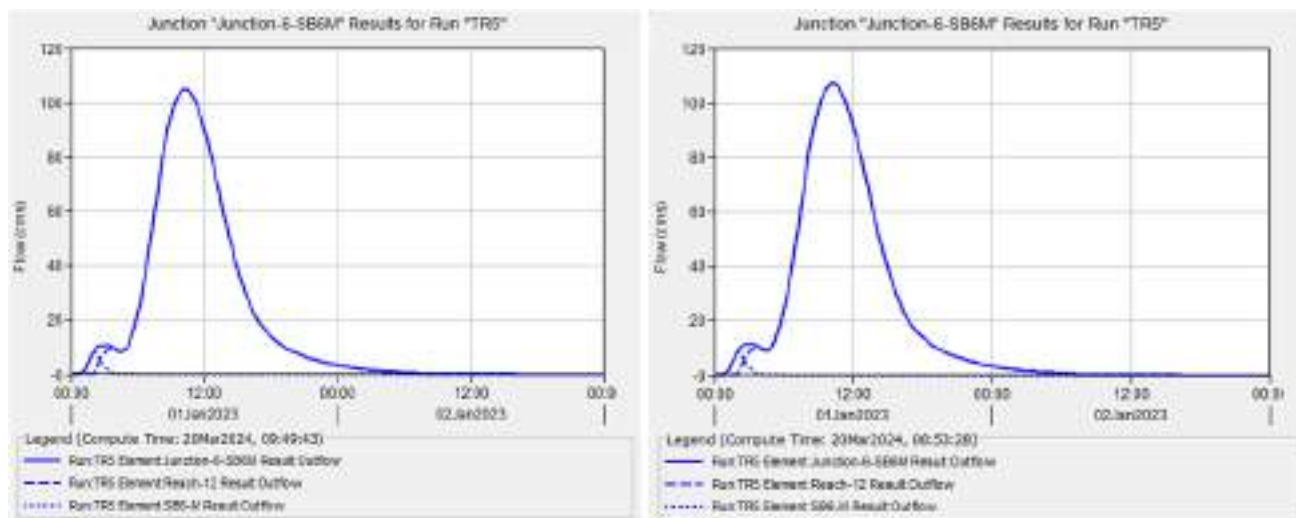


Figura 246 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 5 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

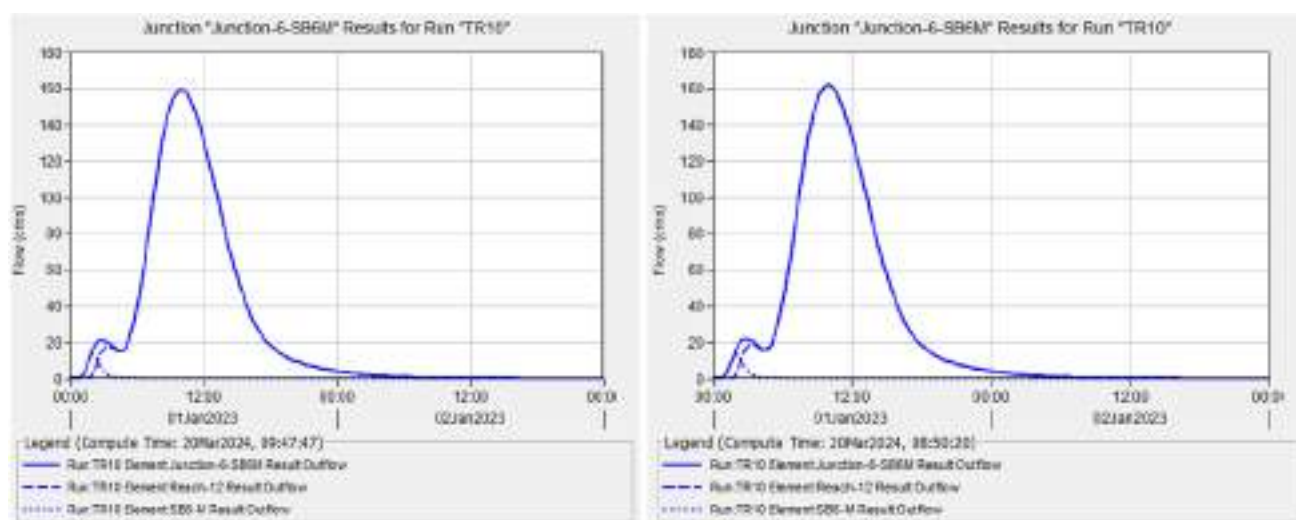


Figura 247 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 10 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

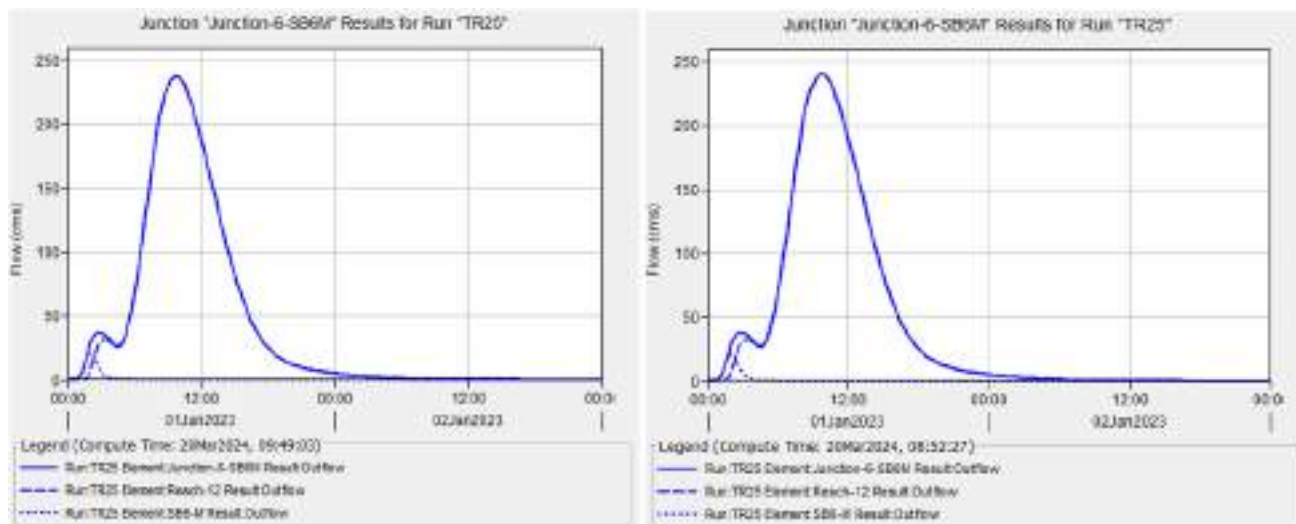


Figura 248 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 25 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

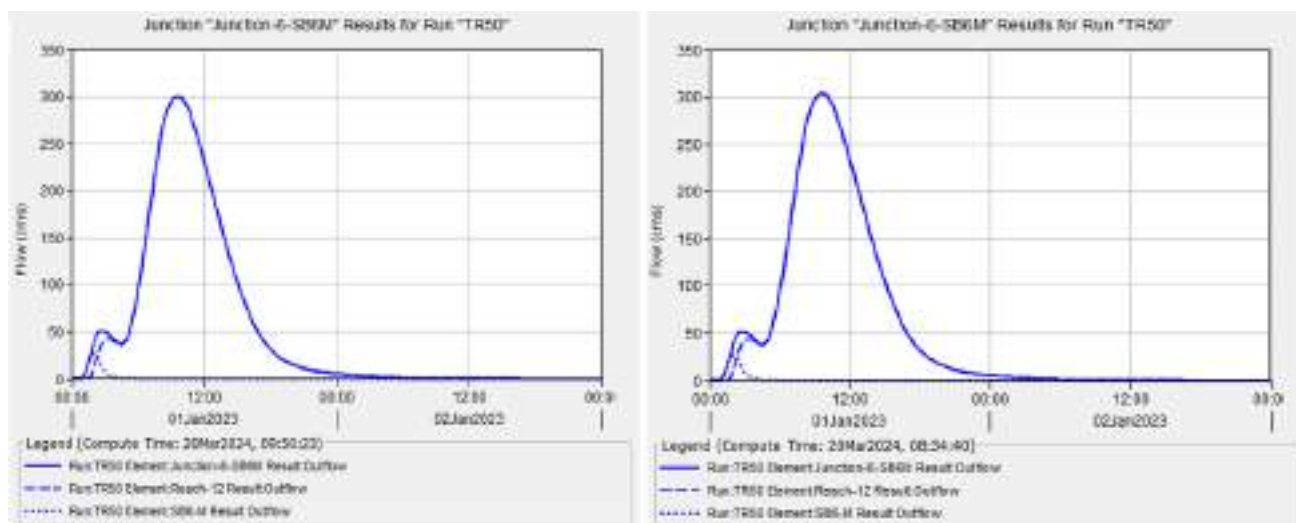


Figura 249 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 50 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

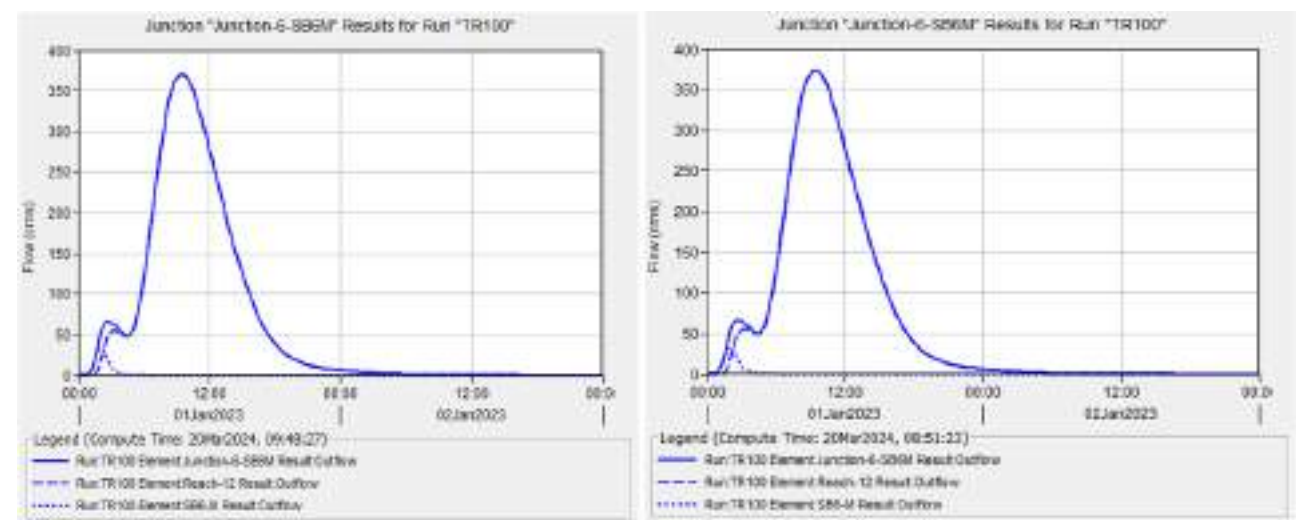


Figura 250 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 100 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

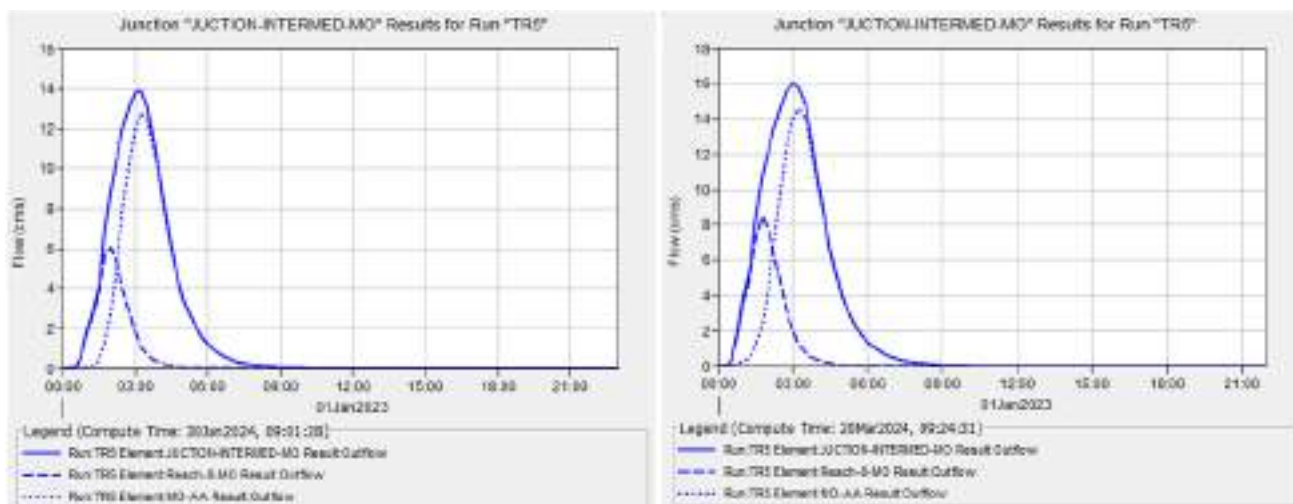


Figura 251 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 5 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

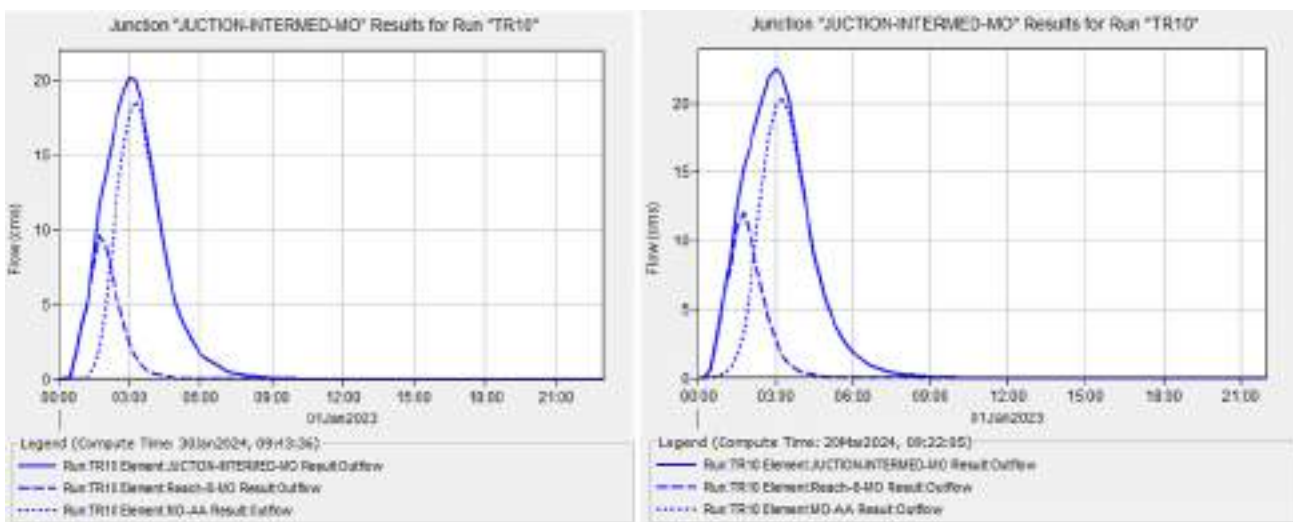


Figura 252 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 10 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

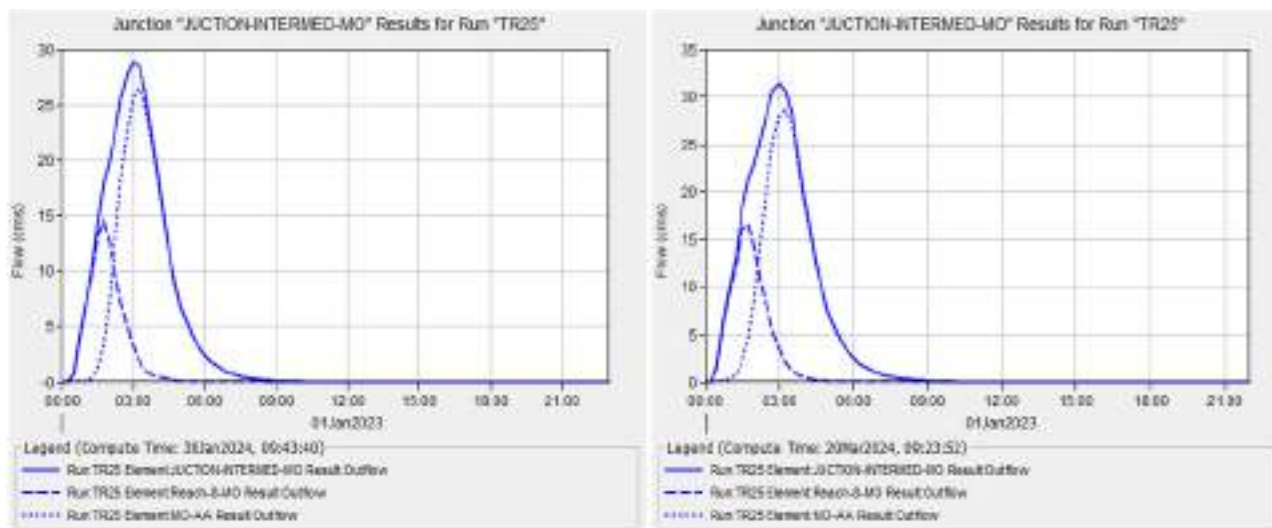


Figura 253 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 25 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

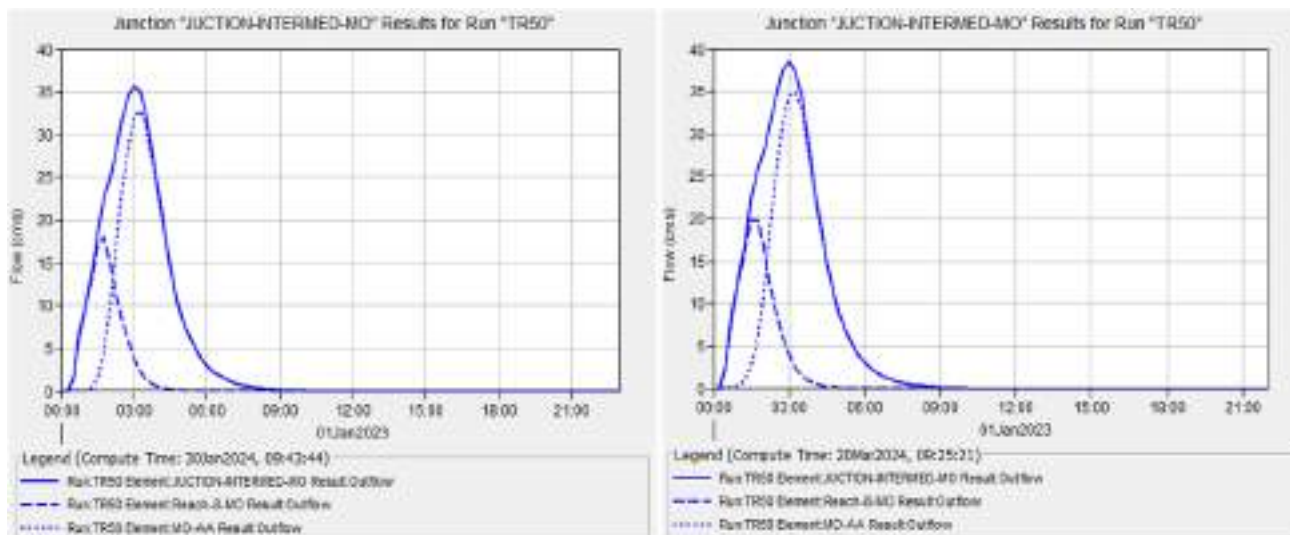


Figura 254 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 50 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

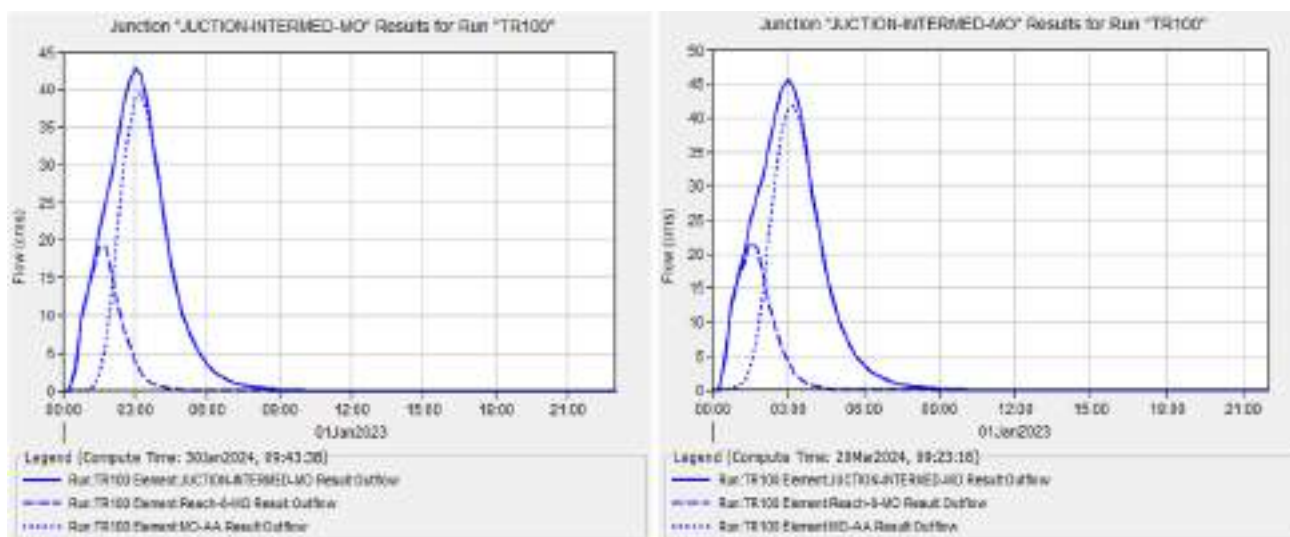


Figura 255 - Hidrograma de projeto da SUB2 para o TR 100 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

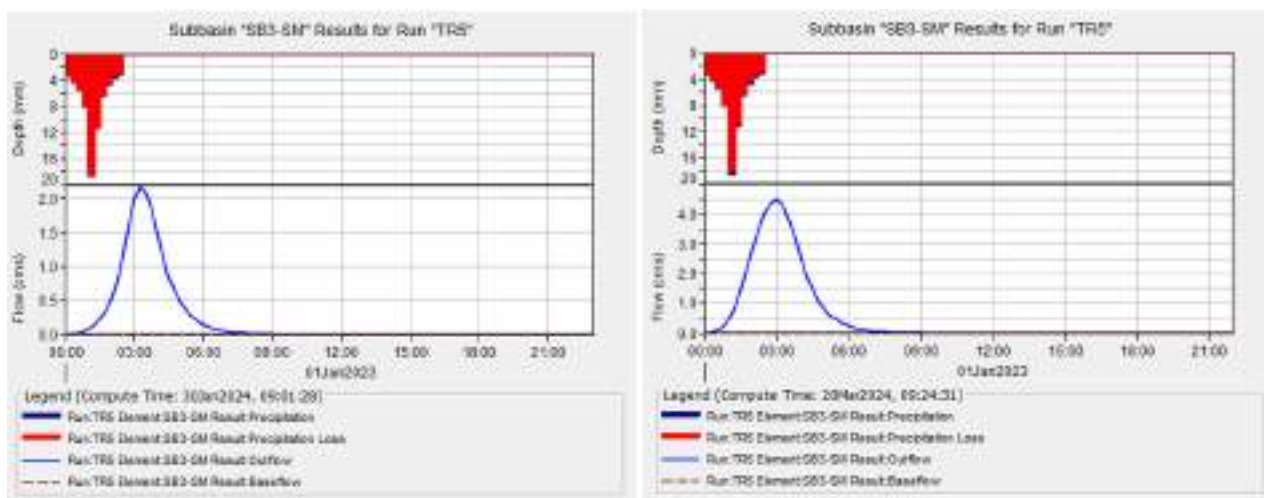


Figura 256 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 5 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

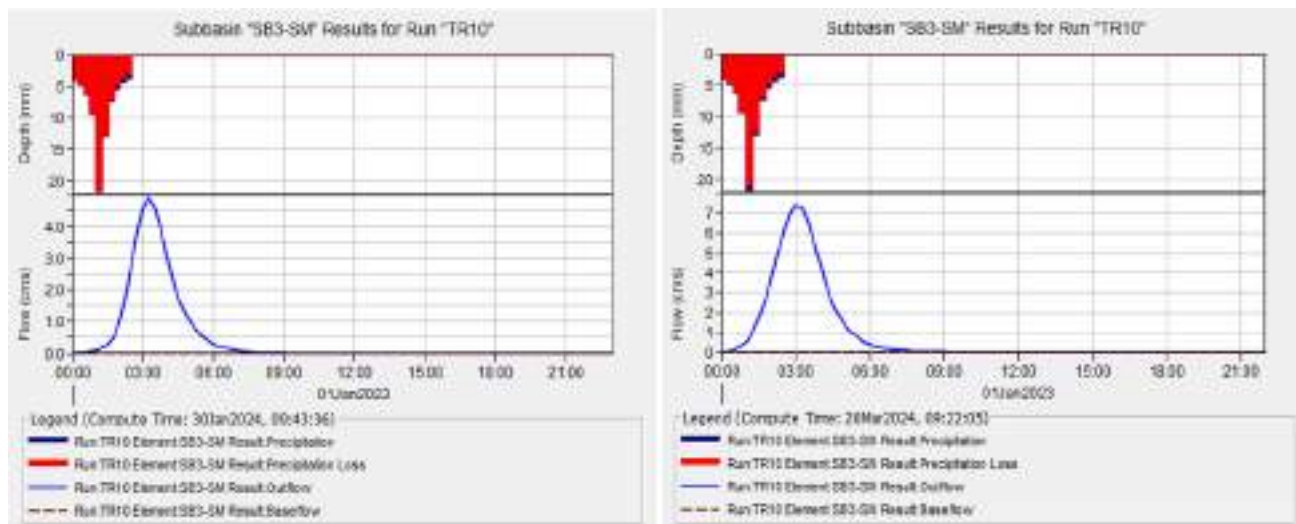


Figura 257 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 10 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

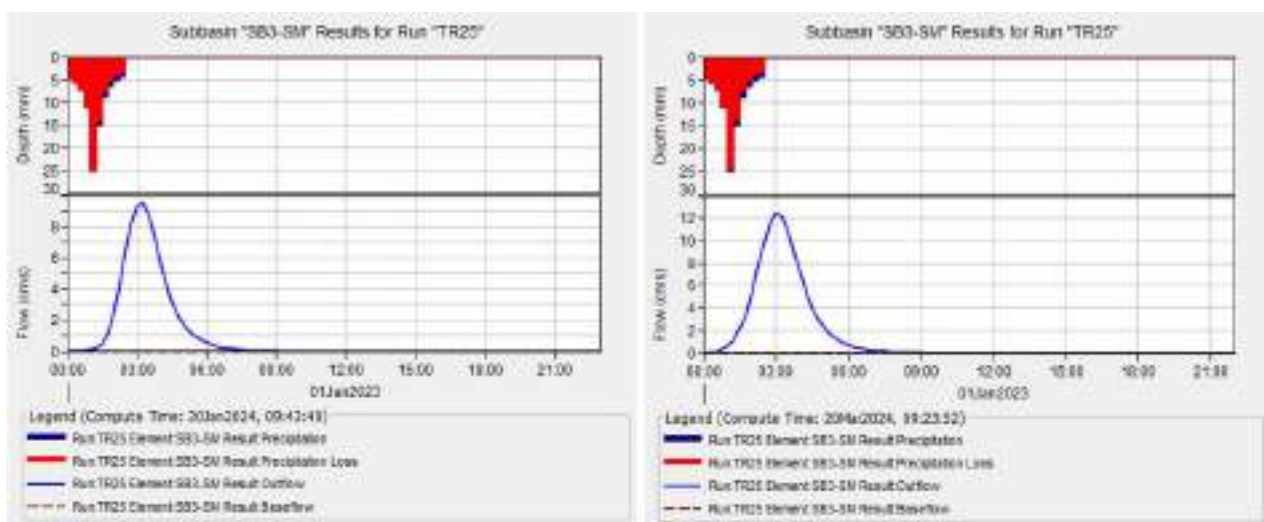


Figura 258 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 25 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

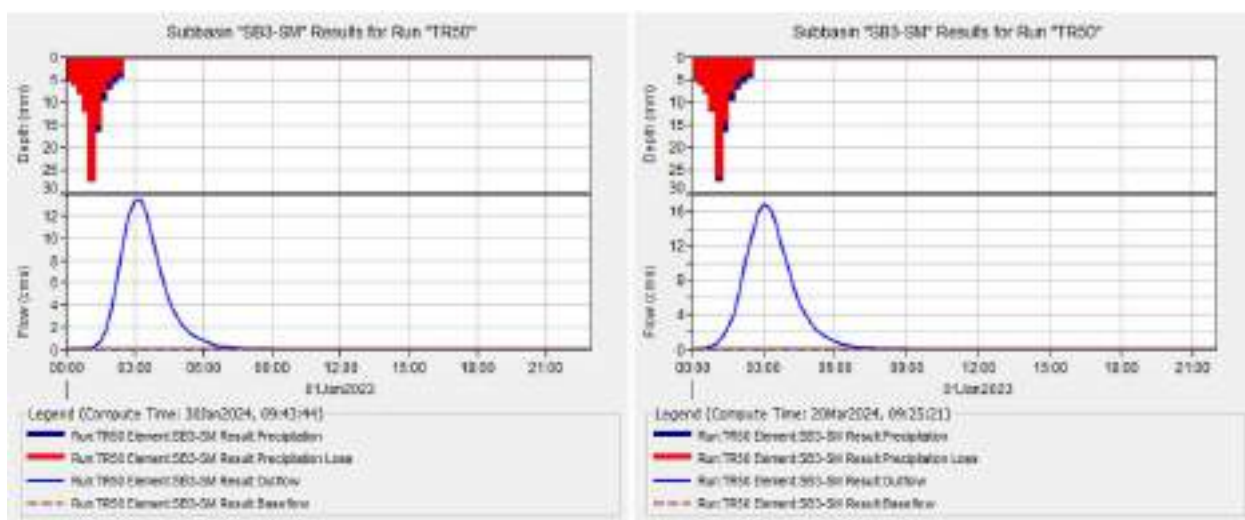


Figura 259 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 50 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

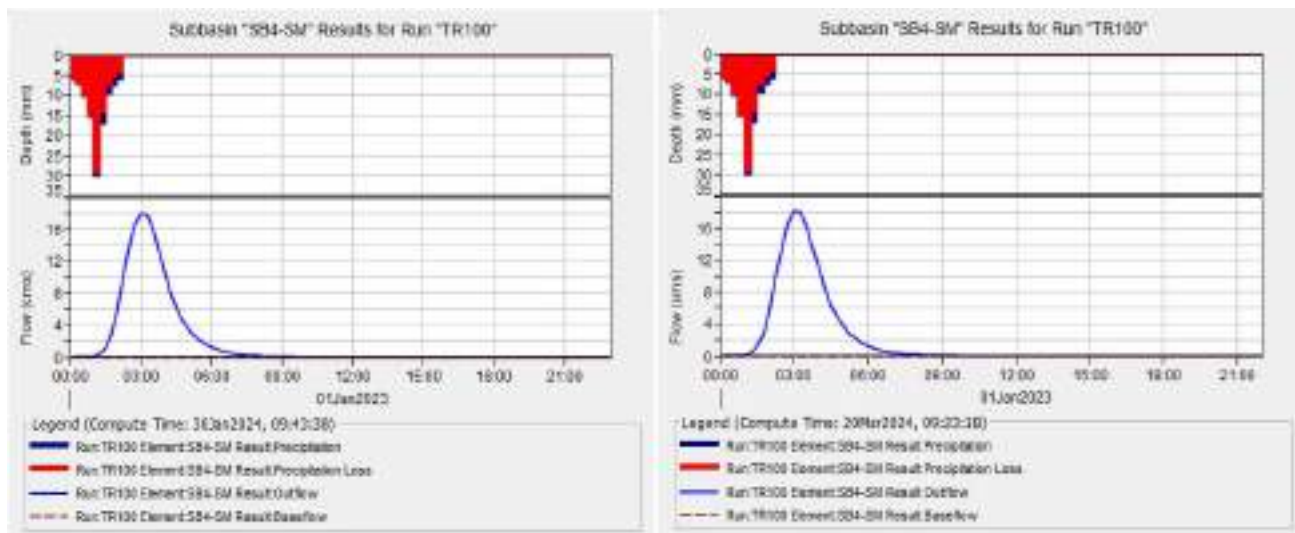


Figura 260 - Hidrograma de projeto da SUB3 para o TR 100 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

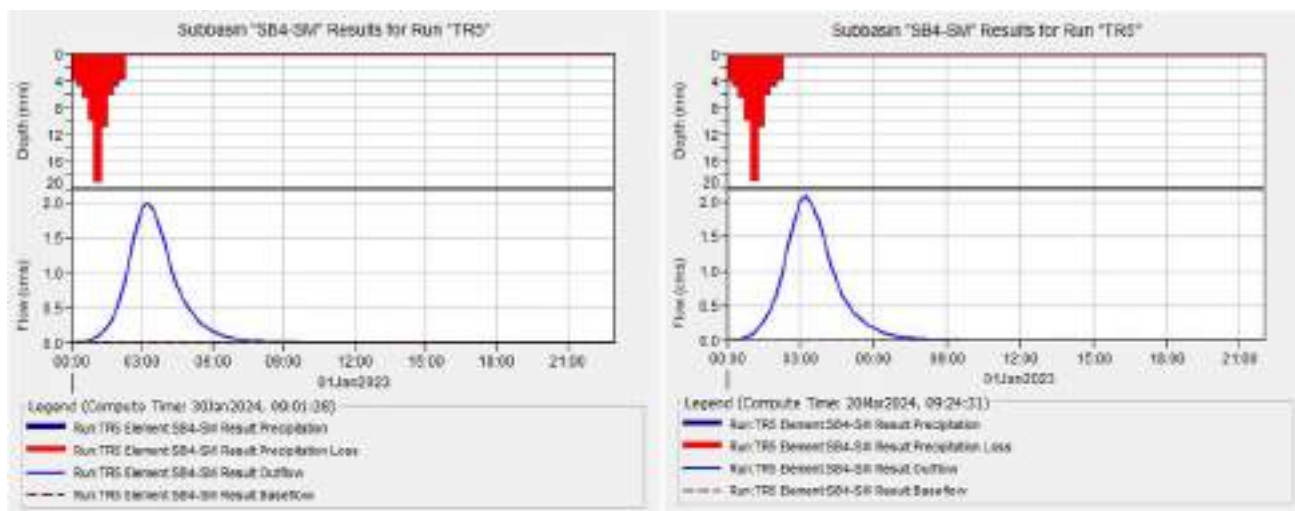


Figura 261 - Hidrograma de projeto da SUB4 para o TR 5 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

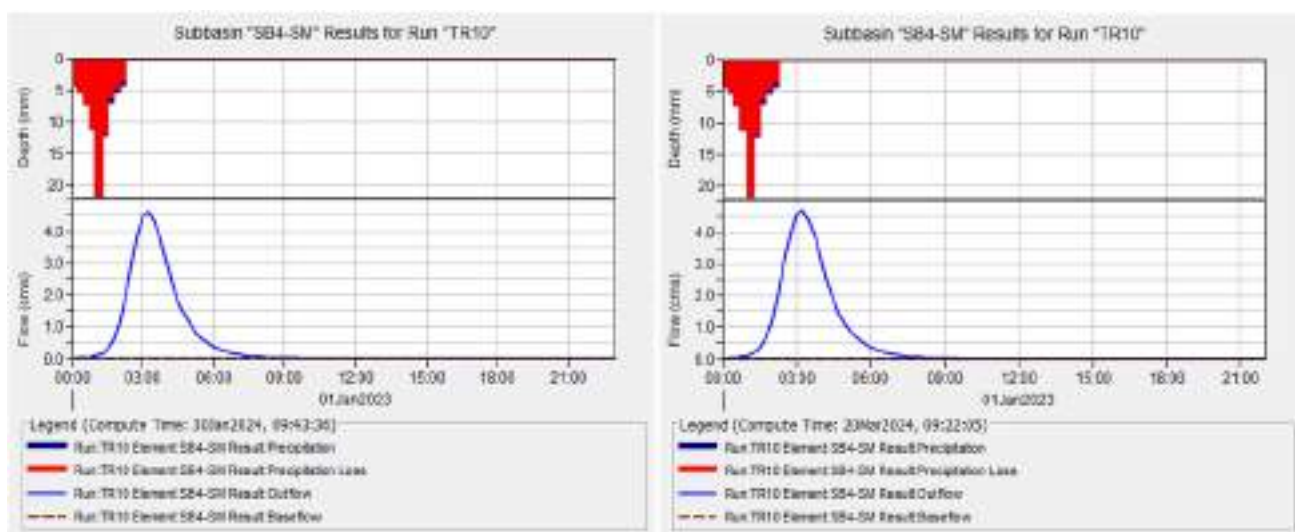


Figura 262 - Hidrograma de projeto da SUB4 para o TR 10 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

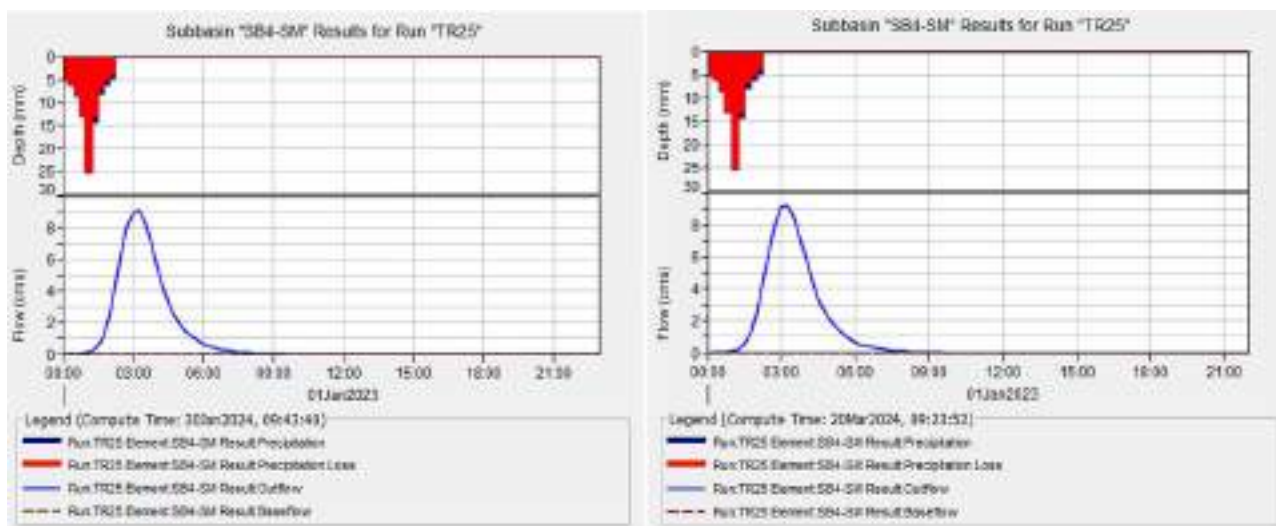


Figura 263 - Hidrograma de projeto da SUB4 para o TR 25 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

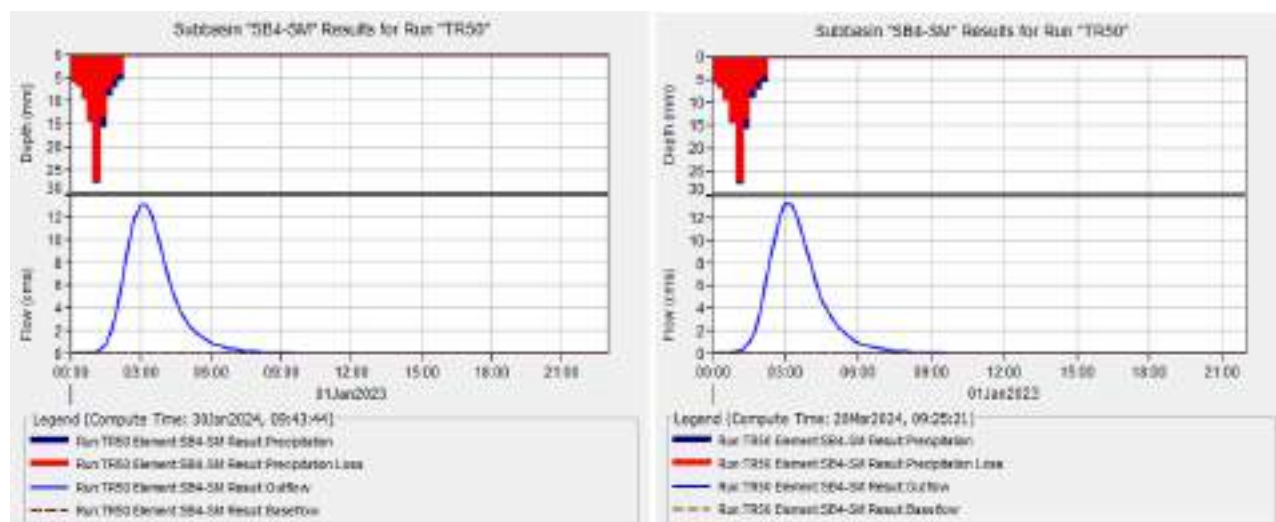


Figura 264 - Hidrograma de projeto da SUB4 para o TR 50 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

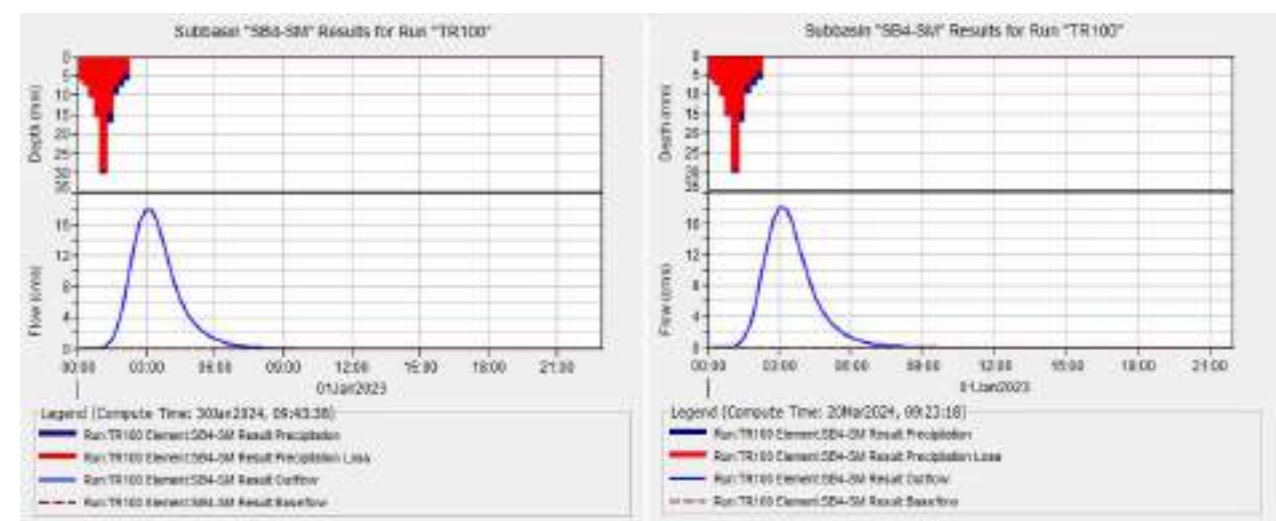


Figura 265 - Hidrograma de projeto da SUB4 para o TR 100 anos para bacia do Rio Sapucaí-Mirim para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

APÊNDICE C

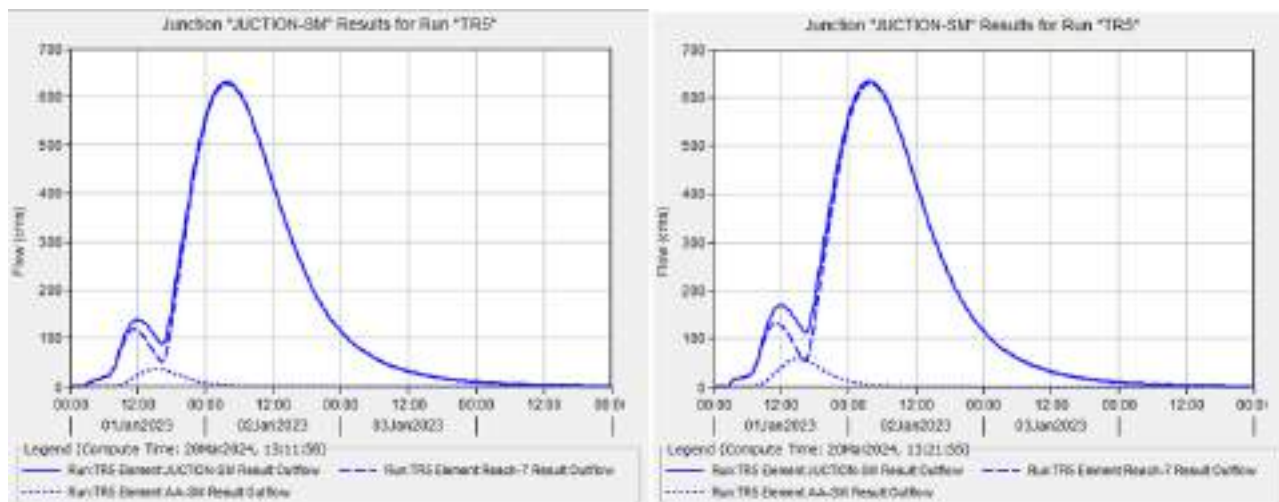


Figura 266 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 5 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

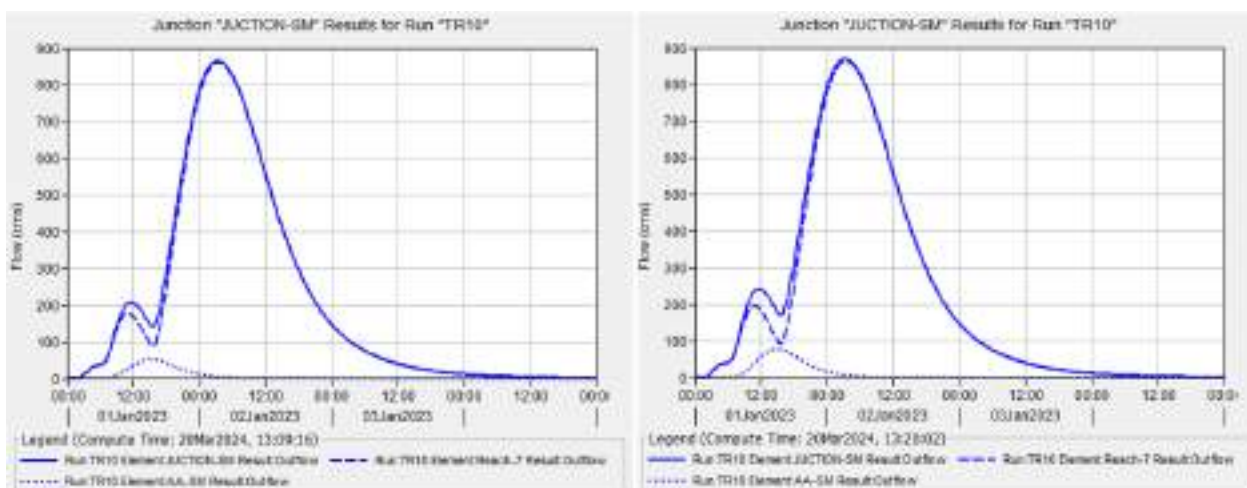


Figura 267 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 10 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

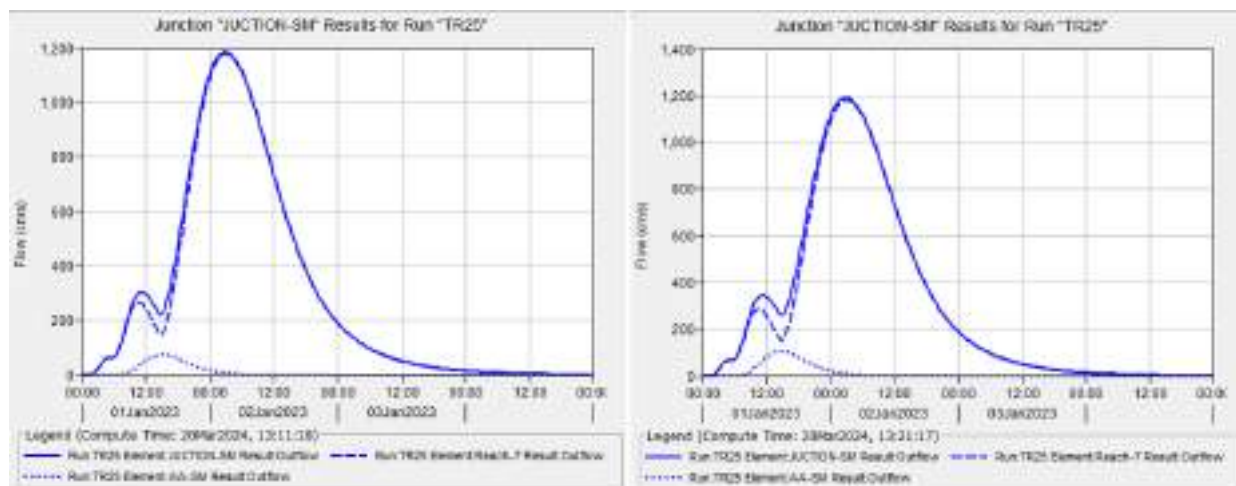


Figura 268 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 25 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

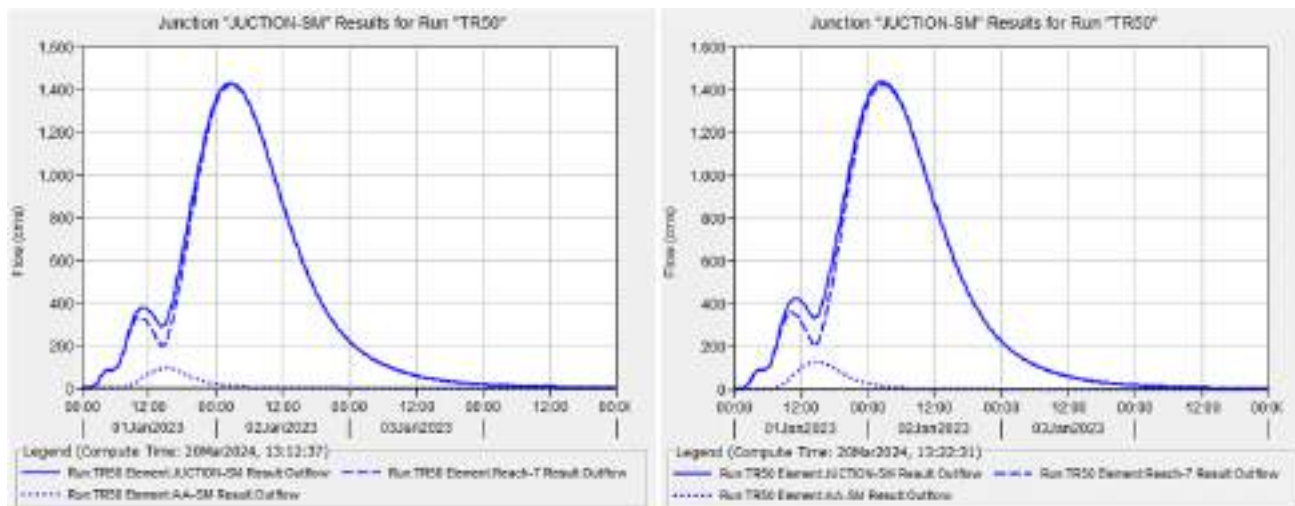


Figura 269 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 50 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente

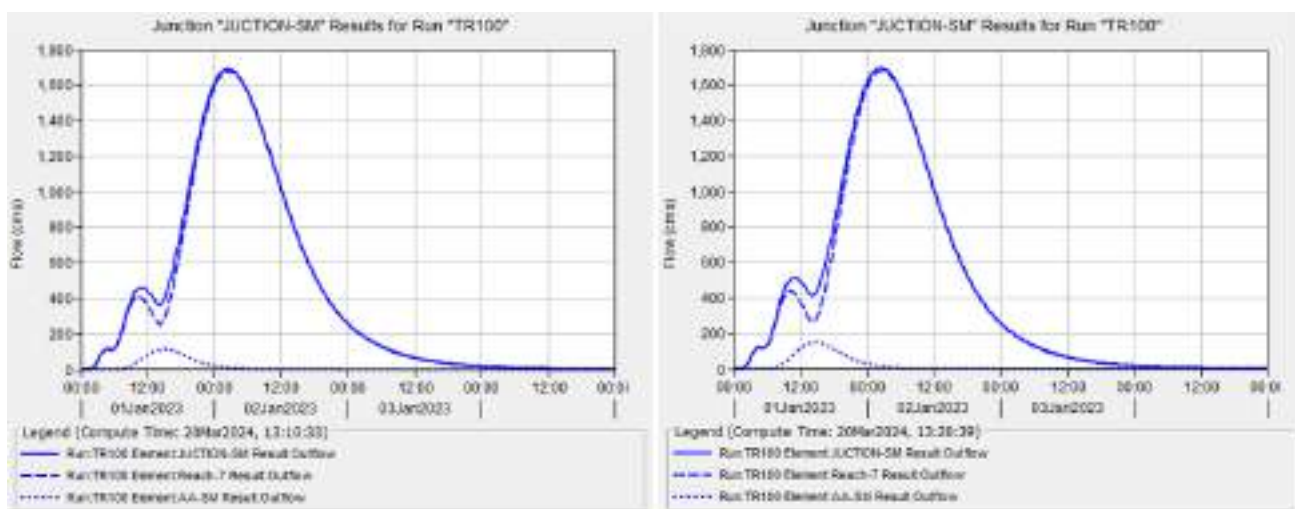


Figura 270 - Hidrograma de projeto da SUB1 para o TR 100 anos para bacia do Rio Sapucaí para os anos de 2025 e 2045, respectivamente