



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE  
FEDERAL DE RONDÔNIA

**KARINE LUNA CAVALHEIRO FÉLIX**

**ANÁLISE DOS FATORES CONTRIBUINTES PARA  
INUNDAÇÕES URBANAS:  
Estudo de caso do município de Ji-Paraná-RO**

Ji-Paraná  
2021

**PROFÁGUA - MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE  
NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE  
RECURSOS HÍDRICOS**



*Campus Ji-Paraná*

**KARINE LUNA CAVALHEIRO**

**ANÁLISE DOS FATORES CONTRIBUINTES PARA  
INUNDAÇÕES URBANAS:  
Estudo de caso do município de Ji-Paraná-RO**

Dissertação apresentada ao PROFÁGUA – Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Área de concentração: e governança de recursos hídricos.

Linha de pesquisa: hídrica e usos múltiplos da água.

Orientadora: Dr.<sup>a</sup> Nara Luisa Reis de Andrade

Co-orientadora: Dr.<sup>a</sup> Ana Cristina Strava Correa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Fundação Universidade Federal de Rondônia  
Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

---

C377a Cavalheiro, Karine Luna.

Análise dos fatores contribuintes para inundações urbanas.: estudo de caso do município de Ji-Paraná-RO / Karine Luna Cavalheiro. -- , RO, 2022.

214 f.

Orientador(a): Prof.<sup>a</sup> Dra. Nara Luisa Reis de Andrade

Coorientador(a): Prof.<sup>a</sup> Dra. Ana Cristina Strava Correa.

Dissertação (Profágua) - Fundação Universidade Federal de Rondônia

1.Segurança hídrica. 2.Áreas de risco. 3.Gestão integrada.  
4.Planejamento urbano. 5.ODS 13 e 15. I. Andrade, Nara Luisa Reis de. II.  
Título.

CDU 628 (811.1)



MINISTERIO DA EDUCAÇÃO  
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM REDE NACIONAL EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

CERTIFICADO

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**Título da Dissertação:** ANÁLISE DOS FATORES CONTRIBUINTES PARA INUNDAÇÕES URBANAS: Estudo de caso do município de Ji-Paraná-RO

**Autor(a):** Karine Luna Cavalheiro

**Orientador(a):** Nara Luisa Reis de Andrade

**Co-orientador(a):** Ana Cristina Santos Strava Correa

A presente dissertação foi aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS, área de concentração: Regulação e governança de recursos hídricos, pela Comissão examinadora:

Profa. Dra. Nara Luisa Reis de Andrade - Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Orientador(a);

Profa. Dra. Luciana Sanches - Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), Membro interno (ProfÁgua);

Profa. Dra. Tatiana dos Santos Malheiros, UNIR, Membro Externo.

Ji-Paraná-RO, datado eletronicamente.

**NARA LUISA REIS DE ANDRADE**

Assinado eletronicamente



Documento assinado eletronicamente por **NARA LUISA REIS DE ANDRADE**, **Coordenador(a), Substituto**, em 05/01/2022, às 19:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **luciana sanches**, **Usuário Externo**, em 06/01/2022, às 13:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **TATIANA DOS SANTOS MALHEIROS**, **Docente**, em 25/01/2022, às 12:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.unir.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.unir.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0856245** e o código CRC **B3ACFEBB**.



Dedico este trabalho a meu pai, Wanir Cavaleiro (*in memoriam*), e a minha mãe, Carmem Lucia da Silva Luna, que, como verdadeiros mestres, me ensinaram sobre o amor sem nunca terem precisado explica-lo. A eles minha eterna gratidão.

V

## AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, que me sustentou em meio aos desafios durante a realização deste trabalho.

À minha família, que se mantém ao meu lado e vibra com cada uma das minhas conquistas. Isso inclui minha querida mãe, Carmem Lucia da Silva Luna, que se dedicou muito para que hoje eu pudesse realizar este sonho; meu padrasto Edson Luiz Ferreira de Farias que generosamente também sempre me apoiou; minha irmã Kamilla Luna Cavaleiro, por acreditar em mim e ser sempre uma companheira nos momentos difíceis; ao meu irmão Luiz Gustavo Moraes de Farias, por todo amor e por me inspirar ser uma pessoa melhor; meu marido Rogério Dantas Félix, por todo amor e cuidado ao longo dos últimos 13 anos; meu pai Wanir Cavaleiro (in memoriam) que muito me ensinou, eterna é a saudade, e os demais amigos e familiares que dedicaram um pouco de si para apoiar a nossa família até aqui.

Ao Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM) pelo apoio técnico científico aportado.

Ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE nº 2717/2015. Ao *campus* Ji-Paraná da Fundação Universidade Federal de Rondônia.

“A natureza não se domina, senão obedecendo-lhe”

Francis Bacon.

## RESUMO

Os eventos hidrometeorológicos extremos em uma bacia hidrográfica podem propiciar inundações ou enchentes, agravados pela mudança do uso e cobertura do solo, o que pode vir a gerar perdas humanas e econômicas, exigindo medidas de controle e prevenção por parte dos gestores. Neste sentido, o presente estudo objetivou analisar os fatores da dinâmica espacial e temporal que influenciam na ocorrência de inundações no perímetro urbano e contribuir para a gestão da bacia hidrográfica no que tange ao controle de ocupação do solo e ao enfrentamento de eventos críticos no município de Ji-Paraná, pertencente à bacia do rio Machado, localizada na porção leste do estado de Rondônia, em uma das regiões com maiores taxas de desmatamento na Amazônia. Para tal, foram realizadas análises da série histórica de precipitação no município e de vazão do rio, análises morfométricas da bacia de drenagem, e, posteriormente, os dados foram confrontados com o diagnóstico do uso e cobertura do solo e da vulnerabilidade da população aos eventos. Assim, foi definido como evento de inundação aqueles que superaram o tempo de recorrência de 2 anos, o que corresponde ao nível superior a 10,61 m, neste sentido, dentre a série histórica de 1978 a 2019, em 21 anos ocorreram eventos de inundação. Foi detectada a intensificação dos eventos, onde o diagnóstico aponta relação com o desmatamento da bacia hidrográfica e a falta de estratégias de proteção do solo ao longo do tempo. Em conformidade com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), mais especificadamente os de número 13 e 15, metas 13.1, 13.3 e 15.3, relativos à resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais, este estudo resultou em mapas do município de Ji-Paraná por classificação de perigo, vulnerabilidade e risco aos eventos de inundação, um material cartográfico expressivo para se preponderar sobre a segurança hídrica de maneira holística. Ainda foram propostas medidas de prevenção e controle dos eventos, a fim de minimizar as perdas ambientais e materiais trazendo luz sobre a problemática.

**Palavras-chave:** Segurança hídrica, áreas de risco, gestão integrada, planejamento urbano, ODS 13 e 15.

## ABSTRACT

Extreme hydrometeorological events in a hydrographic basin can lead to floods, aggravated by the change in land use and coverage, which can generate human losses and promote, requiring control and prevention measures on the part of managers. In this sense, the present study aimed to analyze the factors of spatial and temporal dynamics that influence the occurrence of floods in the urban perimeter and to contribute to the management of the watershed with regard to the control of land occupation and the confrontation of necessary events in the municipality. of Ji-Paraná, belonging to the Machado river basin, located in the eastern portion of the state of Rondônia, in one of the regions with the highest deforestation rates in the Amazon. To this end, analyzes of the historical series of exclusion in the municipality and river flow, morphometric analyzes of the drainage basin were carried out, and, subsequently, the data were compared with the diagnosis of land use and land cover and the population's vulnerability to events. Thus, it was defined as a flood event that which exceeds the recurrence time of 2 years, which corresponds to a level greater than 10.61 m, in this sense, among the historical series from 1978 to 2019, in 21 years there were flood events. The intensification of flood events was detected, where the diagnosis points to a relationship with deforestation in the hydrographic basin and the lack of soil protection protection over time. In accordance with the Sustainable Development Goals (SDGs), more specifically numbers 13 and 15, goals 13.1, 13.3 and 15.3, relating to resilience and adaptability to risks related to climate and natural disasters, this study results in maps from the municipality of Ji-Paraná by classification of hazard, vulnerability and risk to flood events, an expressive cartographic material to take precedence over water security in a holistic way. There were also proposals for prevention and control of events, in order to minimize environmental and material losses, bringing light to the problem.

**Keywords:** Water security, risk areas, integrated management, urban planning, SDG 13 and 15.

## RESUMEN

Los eventos hidrometeorológicos extremos en una cuenca hidrográfica pueden derivar en inundaciones, agravadas por el cambio de uso y cobertura del suelo, que pueden generar pérdidas humanas y promover, requiriendo medidas de control y prevención por parte de los gestores. En este sentido, el presente estudio tuvo como objetivo analizar los factores de dinámica espacial y temporal que influyen en la ocurrencia de inundaciones en el perímetro urbano y contribuir al manejo de la cuenca en lo que respecta al control de la ocupación del suelo y el enfrentamiento de eventos críticos en el municipio de Ji-Paraná, perteneciente a la cuenca del río Machado, ubicado en la porción oriental del estado de Rondônia, en una de las regiones con mayores tasas de deforestación de la Amazonía. Para ello, se realizaron análisis de la serie histórica de precipitación en el municipio y caudal fluvial, análisis morfométricos de la cuenca hidrográfica y, posteriormente, se compararon los datos con el diagnóstico de uso y cobertura del suelo y la vulnerabilidad de la población a eventos. Así, se definió como evento de inundación el que excede el tiempo de recurrencia de 2 años, lo que corresponde a un nivel superior a 10,61 m, en este sentido, entre las series históricas de 1978 a 2019, en 21 años hubo eventos de inundación. Se detectó la intensificación de los eventos, donde el diagnóstico apunta a una relación con la deforestación en la cuenca hidrográfica y la falta de protección del suelo a lo largo del tiempo. De acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), más específicamente los números 13 y 15, metas 13.1, 13.3 y 15.3, relativas a la resiliencia y adaptabilidad a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales, este estudio da como resultado mapas del municipio de Ji-Paraná por clasificación de peligro, vulnerabilidad y riesgo a eventos de inundaciones, un material cartográfico expresivo que prima sobre la seguridad hídrica de manera integral. También se presentaron propuestas de prevención y control de eventos, con el fin de minimizar las pérdidas ambientales y materiales, aclarando el problema.

**Palavras-chave:** seguridad hídrica, áreas de riesgo, gestión integral, urbanismo, ODS 13 y 15.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE QUADROS</b>	<b>XVI</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b>	<b>XVII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b>	<b>4</b>
2.1 O PROCESSO DE INUNDAÇÃO URBANA E SUA GESTÃO	4
2.1.1 Escoamento Superficial	5
2.1.2 Fatores Intervenientes no Processo de Inundação	6
2.1.3 A problemática da Inundação Urbana	11
2.1.4 Região hidrográfica Amazônica e os episódios de elevações dos rios	14
2.2 GERENCIAMENTO DE ÁREAS DE RISCO	16
2.3 INSTRUMENTOS LEGAIS E RESPONSABILIDADES QUANTO A GESTÃO	19
2.3.1 Enquadramento legal e institucional da gestão de áreas de risco	20
2.3.2 Conjunto de medidas a serem aplicadas na gestão de áreas de risco	25
2.3.3 Plano Diretor de Drenagem Urbana	32
2.3.4 Mapeamento das áreas de risco	34
2.3.5 Previsão de cheias	36
<b>3 MATERIAL E MÉTODO</b>	<b>39</b>
3.1 ÁREA DE ESTUDO	39
3.1.1 Geodiversidade	42
3.1.2 Clima	43
3.1.3 Ocupação urbana	43
3.1.4 Discussão atual pertinente às inundações	44
3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA	49
3.2.1 Roteiro metodológico para análise e mapeamento das áreas de risco	51
3.2.2 Técnicas de coleta de informações referenciadas	55
3.2.3 Obtenção e compilação de dados hidrológicos	56
3.2.4 Análises estatísticas dos dados hidrológicos	58
3.2.5 Definição da inundação para Ji-Paraná-RO	60
3.2.6 Dados de sensoriamento remoto	62
3.2.6.1 Caracterização da bacia hidrográfica	62
3.2.6.2 Uso e cobertura da terra	62
	XI

<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>64</b>
4.1	INVESTIGAÇÕES HIDROMETEOROLÓGICAS	64
4.1.1	A singularidade do rio Machado	64
4.1.2	Resgate histórico das inundações em Ji-Paraná-RO	69
4.1.2.1	Inundações em Ji-Paraná no ano de 2019	90
4.1.2.2	Análise integrada do histórico de inundações em Ji-Paraná	96
4.1.3	Caracterização da precipitação	98
4.1.4	Eventos extremos de precipitação	108
4.1.4.1	Precipitações contribuintes às inundações ocorridas no ano de 2019	113
4.2	DIAGNÓSTICO DA BACIA DE DRENAGEM	116
4.2.1	Análise morfométrica	116
4.2.2	Análise temporal do uso e cobertura da terra	121
4.2.3	Áreas urbanas impactadas pela inundação	128
4.3	CORRELAÇÕES DAS INVESTIGAÇÕES E DIAGNÓSTICOS COM OS FENÔMENOS DE INUNDAÇÕES	136
4.4	GERENCIAMENTO DAS ÁREAS DE RISCO EM JI-PARANÁ-RO	137
4.4.1	Medidas mitigadoras para áreas de Risco Muito Alto	139
4.4.2	Medidas mitigadoras para áreas de Risco Alto	139
4.4.3	Sugestões de medidas mitigadoras para a bacia de drenagem	141
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>143</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>145</b>
	<b>APÊNDICE - PRODUTO</b>	<b>169</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Características dos leitos dos rios. ....	12
<b>Figura 2</b> – Principais prejuízos causados pelas inundações em áreas urbanas.....	13
<b>Figura 3</b> – Etapas para o gerenciamento de áreas de risco a inundações. ....	18
<b>Figura 4</b> – Três vertentes para a gestão dos eventos hidrológicos de inundação. ....	19
<b>Figura 5</b> – Princípios para o controle do impacto da urbanização. ....	31
<b>Figura 6</b> – Localização da área urbana do município de Ji-Paraná-RO. ....	39
<b>Figura 7</b> – Bacias hidrográficas do Estado de Rondônia.....	40
<b>Figura 8</b> – Unidades hidrográficas de gestão do Estado de Rondônia. ....	41
<b>Figura 9</b> – Crescimento populacional de Ji-Paraná no período de 1996 a 2019. ....	44
<b>Figura 10</b> – Rio Machado quanto a vulnerabilidade a inundações em Ji-Paraná-RO.....	46
<b>Figura 11</b> – Delimitação das zonas de risco de inundação na cidade de Ji-Paraná-RO. ....	47
<b>Figura 12</b> – Mapa de risco geológico a inundação da cidade de Ji-Paraná-RO. ....	48
<b>Figura 13</b> – Fluxograma metodológico desta pesquisa. ....	50
<b>Figura 14</b> – Níveis das classes de risco. ....	54
<b>Figura 15</b> – Fluxograma da análise dos dados fluviométricos da estação 15560000.....	61
<b>Figura 16</b> – Gráfico com cotas máximas, de permanência de 10%, média (50%), de permanência de 90%, e cotas mínimas para cada dia do ano do Rio Machado em Ji-Paraná-RO, conforme série histórica de 1978 a 2019 da estação 15560000.....	65
<b>Figura 17</b> – Comportamento do nível do Rio Machado ao longo de 1986 e 2014 em comparação às cotas máximas, de permanência de 10%, média (50%), de permanência de 90%, e cotas mínimas para cada dia do ano da série histórica, estação 15560000. ....	68
<b>Figura 18</b> – Rompimento da Rodovia Federal BR-364 na ponte sobre o Rio Machado, área atual de Ji-Paraná-RO, entre os anos de 1975 e 1976. ....	69
<b>Figura 19</b> – Cotas ocorridas no ano de 1978 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período. ....	70
<b>Figura 20</b> – Avenida Brasil, no 2º Distrito de Ji-Paraná-RO, inundada em 1986.....	71
<b>Figura 21</b> – Cotas ocorridas no ano de 1986 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período. ....	72
<b>Figura 22</b> – Cotas ocorridas nos anos de 1987 e 1989 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação as cotas da série histórica para o mesmo período. ....	73
<b>Figura 23</b> – Rua inundada no 2º distrito de Ji-Paraná-RO em 1989. ....	74
<b>Figura 24</b> – Avenida Transcontinental, no 2º Distrito de Ji-Paraná-RO, inundada em 1990..	75
<b>Figura 25</b> – Cotas ocorridas no ano de 1990 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período. ....	75
<b>Figura 26</b> – Cotas ocorridas nos anos de 1991, 1993 e 1996 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período.....	76
<b>Figura 27</b> – Cotas históricas do Rio Machado em relação ao ano de 1997 em Ji-Paraná-RO.	77

<b>Figura 28</b> – Cotas históricas do Rio Machado em relação ao ano de 2001 em Ji-Paraná-RO.	78
<b>Figura 29</b> – Cotas ocorridas no ano de 2003 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação as cotas da série histórica para o mesmo período. ....	79
<b>Figura 30</b> – Cotas ocorridas nos anos de 2004 e 2005 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período. ....	80
<b>Figura 31</b> – Cotas ocorridas no ano de 2006 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período. ....	81
<b>Figura 32</b> – Avenida Transcontinental, 2º distrito de Ji-Paraná-RO, em fevereiro 2009.....	82
<b>Figura 33</b> – Cotas históricas do Rio Machado em relação ao ano de 2009 em Ji-Paraná-RO.	83
<b>Figura 34</b> – Famílias atingidas pela inundação em Ji-Paraná no mês de fevereiro de 2010. ..	83
<b>Figura 35</b> – Cotas ocorridas nos anos de 2010 e 2012 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período. ....	84
<b>Figura 36</b> – Ponte sobre o Rio Machado em Ji-Paraná-RO em fevereiro de 2014. ....	85
<b>Figura 37</b> – Bairro Casa Preta atingido pela inundação em fevereiro de 2014 em Ji-Paraná-RO.....	86
<b>Figura 38</b> – Bairro Duque de Caxias atingido pela inundação em fevereiro de 2014 em Ji-Paraná-RO. ....	86
<b>Figura 39</b> – Rua Martins Costa, no bairro Jotão, em Ji-Paraná-RO após precipitação no dia 31 de março de 2014.....	87
<b>Figura 40</b> – Cotas ocorridas no ano de 2014 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período. ....	88
<b>Figura 41</b> – Cotas ocorridas nos anos de 2015 e 2016 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação da série histórica para o mesmo período. ....	89
<b>Figura 42</b> – Córrego Dois de abril na travessia da Rua Clóvis Arrais em janeiro (A) e fevereiro (B) de 2019 em Ji-Paraná-RO. ....	90
<b>Figura 43</b> – Vista área do rio Machado com áreas justafluviais inundadas no ano de 2019 em Ji-Paraná-RO. ....	91
<b>Figura 44</b> – Cotas ocorridas no ano de 2019 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período. ....	92
<b>Figura 45</b> – Distribuição espacial dos bairros atingidos por inundações no ano de 2019.....	95
<b>Figura 46</b> – Ocorrência das cotas máximas anuais por mês ao longo da série histórica (1978 a 2019) em Ji-Paraná, estação 15560000. ....	96
<b>Figura 47</b> – Acumulados anuais de precipitação pluviométrica (mm) de 1976 a 1990. ....	99
<b>Figura 48</b> – Acumulados anuais de precipitação pluviométrica (mm) de 1991 a 2005. ....	99
<b>Figura 49</b> – Acumulados anuais de precipitação pluviométrica (mm) de 2006 a 2019. ....	100
<b>Figura 50</b> – Dias com chuva para os anos de 1976 a 1990.....	101
<b>Figura 51</b> – Dias com chuva para os anos de 1991 a 2005.....	101
<b>Figura 52</b> – Dias com chuva para os anos de 2006 a 2019.....	102
<b>Figura 53</b> – Médias mensais de precipitação na UHG Alto e Médio Rio Machado (mm). ..	103
<b>Figura 54</b> – Médias mensais a partir dos anos de 2008 a 2010, de 2012 e de 2015 a 2018. ..	104

<b>Figura 55</b> – Curva de Permanência dos acumulados diários de precipitação (mm) em Ji-Paraná-RO, com base na série de dados de 2006 a 2019, estação 15560000.....	108
<b>Figura 56</b> – Rua 22 de Novembro, em Ji-Paraná-RO, inundada em 28 de dezembro de 2013. ....	109
<b>Figura 57</b> – Precipitação ocorrida em 15 de janeiro de 2016 na estação 1556000 em Ji-Paraná. ....	110
<b>Figura 58</b> – Rua 22 de Novembro, próxima a Av. Marechal, alagada em 15/01/2016.....	111
<b>Figura 59</b> – Ruas de Ji-Paraná em 15 de janeiro de 2016. ....	111
<b>Figura 60</b> – Precipitação ocorrida em 15 de janeiro de 2016 na estação 1556000 em Ji-Paraná. ....	112
<b>Figura 61</b> – Precipitação acumulada diária durante o mês de fevereiro de 2019.....	114
<b>Figura 62</b> – Distribuição do evento em 22/02/2019 com acumulados por hora.....	115
<b>Figura 63</b> – Distribuição do evento em 22/02/2019 com acumulados em 15 minutos. ....	115
<b>Figura 64</b> – Perfil longitudinal do rio Machado. ....	118
<b>Figura 65</b> – Carta hipsométrica da bacia de drenagem em estudo. ....	119
<b>Figura 66</b> – Mapa de uso e cobertura da terra para os anos de 1985 e 1990.....	123
<b>Figura 67</b> – Mapa de uso e cobertura da terra para os anos de 1995 e 2000.....	124
<b>Figura 68</b> – Mapa de uso e cobertura da terra para os anos de 2005 e 2010.....	125
<b>Figura 69</b> – Mapa de uso e cobertura da terra para os anos de 2015 e 2019.....	126
<b>Figura 70</b> - Zonas inundáveis na área urbana de Ji-Paraná-RO. ....	129
<b>Figura 71</b> – Vulnerabilidade dos setores censitários de Ji-Paraná-RO.....	131
<b>Figura 72</b> - Áreas de risco a inundação na área urbana de Ji-Paraná-RO. ....	134
<b>Figura 73</b> – Etapas macro para o gerenciamento de áreas de risco. ....	138

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Descrição dos parâmetros morfométricos. ....	7
<b>Quadro 2</b> – Comparativo entre os conceitos de canalização e reservação em sistemas de drenagem superficial.....	29
<b>Quadro 3</b> – Comparação entre os aspectos da água no meio urbano. ....	31
<b>Quadro 4</b> – Itens básicos para elaboração do Plano Diretor de Drenagem Urbana. ....	33
<b>Quadro 5</b> – Descrição dos indicadores socioeconômicos adotados para mensurar a vulnerabilidade à desastres naturais. ....	53
<b>Quadro 6</b> – Correlação dos indicadores de vulnerabilidade.....	54
<b>Quadro 7</b> – Graus de risco segundo arranjo entre os cenários hidrológicos, vulnerabilidade das residências e a periculosidade do fenômeno. ....	55
<b>Quadro 8</b> – Referências documentais e legais utilizadas para análise dos eventos de inundações. ....	56
<b>Quadro 9</b> – Dados hidrometeorológicos utilizados nas análises de precipitação na bacia hidrográfica e nível do rio Machado.....	57
<b>Quadro 10</b> – Classificação dos níveis do rio Machado em Ji-Paraná-RO. ....	128
<b>Quadro 11</b> – Classes de risco identificadas na área urbana de Ji-Paraná-RO.....	133

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Tempo de recorrência, probabilidade e variável reduzida da distribuição de Gumbel para as respectivas cotas na régua fluviométrica do Rio Machado em Ji-Paraná/RO, estação 1556000. ....	66
<b>Tabela 2</b> – Cota mínima, média e máxima (com cotas de inundação em negrito) e proporção de dados disponíveis por ano, estação 1556000. ....	67
<b>Tabela 3</b> – Resumo do cadastro de residentes em área de inundação da COMPDEC. ....	93
<b>Tabela 4</b> – Distribuição das cotas máximas anuais por mês a cada década em Ji-Paraná, ao longo da série histórica (1978 a 2019), estação 15560000. ....	96
<b>Tabela 5</b> – Cotas máximas anuais registradas no rio Machado em Ji-Paraná , estação 15560000. ....	97
<b>Tabela 6</b> – Médias mensais, desvio padrão, coeficiente de variação e extremos de precipitação em Ji-Paraná-RO. ....	105
<b>Tabela 7</b> – Médias mensais, desvio padrão, coeficiente de variação e extremos de precipitação em Pimenta Bueno-RO. ....	106
<b>Tabela 8</b> – Médias mensais, desvio padrão, coeficiente de variação e extremos de precipitação em Chupinguaia-RO. ....	107
<b>Tabela 9</b> – Valores da curva de permanência das precipitações (mm) em Ji-Paraná-RO. ....	108
<b>Tabela 10</b> – Classificação dos eventos de precipitação acumuladas em 24 horas. ....	109
<b>Tabela 11</b> – Caracterização morfométrica da bacia do rio Ji-Paraná, Unidades Hidrográficas de Gestão (UHG) Alto e Médio Rio Machado situada no Estado de Rondônia. ....	117
<b>Tabela 12</b> – Uso e cobertura da terra do ano de 1985 a 2000. ....	121
<b>Tabela 13</b> – Uso e cobertura da terra do ano de 2005 a 2019. ....	122
<b>Tabela 14</b> – Setores censitários de alta vulnerabilidade a inundações em Ji-Paraná. ....	132
<b>Tabela 15</b> – Setores em risco a inundações de nível muito alto e alto em Ji-Paraná. ....	135

# 1 INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos está intrinsecamente associada à segurança da oferta sustentável de água para o abastecimento humano e para as atividades produtivas, à prevenção da poluição aquática e da transmissão de doenças de veiculação hídrica, e ao enfrentamento de eventos críticos de secas e cheias e a redução dos riscos associados, isto é, tem como um dos objetivos garantir a segurança hídrica (BRASIL, 1997; INTERÁGUAS, 2013; UN-WATER; 2013).

A garantia da segurança hídrica se faz essencialmente por meio do emprego da hidrologia, ciência que estuda a água e suas relações de maneira interdisciplinar. Com base nos registros dessa interação é possível entender melhor os processos e criar representações matemáticas para extrapolação de situações futuras com embasamento técnico (TUCCI, 2013a).

Devido à evolução da ocupação humana por meio da urbanização e o aumento das demandas por água, o estudo da hidrologia tem exigido novos e constantes melhoramentos para fundamentar os projetos de engenharia e possibilitar a gestão sustentável dos recursos hídricos. Segundo Carvalho, Mello e Silva (2007) pode-se citar a aplicação da hidrologia em projetos de: produção de energia hidrelétrica, abastecimento de água, navegação, controle da poluição e qualidade da água, e no controle de enchentes e inundações.

A urbanização é um processo mundial, porém se apresenta de diversas formas. Segundo Pereira (2016), na América Latina, esse processo tem ocorrido com grande segregação e desigualdade social, processos potencializados pela histórica construção de capital por meio de processos de exploração e expropriação de pessoas vulneráveis e pela atual manipulação dos investimentos imobiliários. Dessa forma, a sociedade tem experimentado adversidades relacionadas com a concentração de pessoas em pequenas áreas, a marginalização socioespacial e problemas de infraestrutura. Segundo Tucci (2006b), o espaço urbano se apresenta deficiente de sistema de transporte e saneamento, com ar e água poluídos, e com a ocorrência de inundações e secas.

As inundações apresentam-se como problemáticas quando as áreas justafluviais se encontram ocupadas. Isso ocorre historicamente pela necessária interação da população com os corpos hídricos e atualmente pela omissão da administração pública em controlar a urbanização e

garantir a justiça espacial. Vale lembrar que legislação brasileira já dispõe das orientações para tal nas Leis Federais nº 6.766/79 (Parcelamento do Solo Urbano), nº 10.257/2001 (Estatuto da Cidade) e nº 12.651/2012 (Código Florestal) (AMARAL; RIBEIRO, 2009; CANHOLI, 2014).

Em geral, no Brasil, as cidades modernas não têm atingido seu objetivo de garantir o bem-estar social de seus habitantes, conforme preceitua a Constituição Federal em seu artigo 182, pois além das condições hidrometeorológicas naturais das bacias hidrográficas que propiciam a ocorrência de inundações, Tucci e Collischonn (1998) explicam que o desenvolvimento urbano brasileiro tem aumentado a frequência com que elas ocorrem, em parte, porque a própria urbanização interfere no equilíbrio do ciclo hidrológico local.

Portanto o uso e a ocupação inadequada do solo, junto com a falta planejamento dos municípios, têm causado prejuízos para os que residem na área urbana, tornando-se também um problema social, visto que a ocupação ribeirinha afetada é composta, em sua grande maioria, por populações de menor poder aquisitivo (TUCCI, 2013b).

Devido à falta de estudos e de planejamento adequado, os fenômenos de inundação têm se constituído como verdadeiro desastre natural, pois tem se caracterizado cada vez mais como um evento da natureza de alta intensidade, que causa grandes impactos na sociedade, agravado ou não pela atividade humana (SILVA; NISHIJIMA, 2011).

Atualmente no Brasil cerca de 84% da população ocupa os espaços urbanos (IBGE, 2010), em vista disso políticas públicas eficientes devem incluir em suas estratégias medidas de gestão de enchentes e inundações, preocupação esta que tem se ganhado espaço na gestão nacional, como um dos objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), onde Brasil (1997) estabelece que haja “a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais” sendo incluído em 2017 que se deve “incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais”. Para gerir esse processo no Brasil é necessária a ampliação de pesquisas com foco nas características específicas de cada bacia de drenagem.

Neste contexto, pode-se citar a cidade de Ji-Paraná, no estado de Rondônia, onde o crescimento vem se estabelecendo sem o controle adequado, estando o rio Machado (ou Ji-Paraná), referente ao trecho nos limites da área urbana, classificado em 2014 no Atlas de Vulnerabilidade a Inundações de pela Agência Nacional de Águas (ANA) como de “alta vulnerabilidade” a inundações fluviais. Esta classificação é dada somente para rios que ocasionam alto impacto ou médio impacto com alta frequência (ANA, 2014). Observa-se ainda episódios de alagamentos e inundações urbanas localizadas, noticiados pela mídia, como é o caso da microbacia do Igarapé Dois de Abril.

Conforme aponta Canholi (2014), a frequência e a gravidade das inundações nas cidades, tem exigido soluções estruturais e não estruturais, conhecimento dos fenômenos climáticos, ambientais, hidrológicos e hidráulicos, como também, dos componentes sociais com relação à habitação, saúde, saneamento, e demais aspectos, para o gerenciamento eficaz.

Tendo em vista a importância da gestão dos fenômenos extremos, esta pesquisa objetiva analisar os fatores da dinâmica espacial e temporal que influenciam na ocorrência de inundações no perímetro urbano de Ji-Paraná-RO, visando gerar mapas de risco, propor ações mitigadoras e de prevenção, contribuindo assim com a gestão da bacia hidrográfica no que tange ao controle de ocupação do solo e ao enfrentamento de eventos críticos. Para tal, os objetivos específicos são:

- a) Avaliar o comportamento hidrológico local com base em séries históricas de precipitação e do nível do rio;
- b) Caracterizar a bacia de drenagem por meio da morfometria e do uso e cobertura do solo ao longo do tempo;
- c) Identificar e mapear as áreas inundáveis e respectivos riscos associados;
- d) Contribuir para com a segurança hídrica em relação ao enfrentamento de eventos críticos por meio de proposição de medidas mitigadoras relacionadas a mapa de risco da área em estudo, sistematizados em forma de Guia para ser disponibilizado à sociedade.



## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 O Processo de Inundação Urbana e sua Gestão**

O Brasil é um dos países mais atingidos por desastres naturais (secas e cheias), de acordo com a análise do Banco de Dados de Eventos de Emergência (EM-DAT), chegando a estar em 2º lugar entre os países com os maiores números de vítimas no ano de 2014, apresentando 27 milhões de pessoas afetadas, neste ano principalmente pela seca. Já no ano de 2008, o Brasil esteve em 10º lugar entre os países atingidos por desastres hidrológicos (inundações, enchentes e movimentos de massa), apresentando 1,8 milhões de pessoas afetadas (TOMINAGA, 2009, GUHA-SAPIR; HOYOIS; BELOW, 2015).

Vale salientar que os valores são certamente maiores, visto que o EM-DAT contabiliza apenas fenômenos que apresentem a ocorrência de pelo menos um dos seguintes critérios: 10 ou mais óbitos; 100 ou mais pessoas afetadas; declaração de estado de emergência; pedido de auxílio internacional (TOMINAGA, 2009). Logo os pequenos e médios eventos não foram registrados.

Na Amazônia, as inundações sazonais fazem parte da história dos rios e dos núcleos urbanos marginais, logo a população é familiarizada com as cheias e as vazantes anuais, porém tendem a enfrentar adversidades nos episódios extremos de inundação e seca (SOUZA; ALMEIDA, 2010; CENSIPAM, 2020b).

Neste tópico, será apresentado a discussão da literatura pertinente, que qualifica a problemática das inundações, estando sua ocorrência associada às condições morfométricas da bacia hidrográfica, à eventos extremos de precipitação, à fatores antrópicos e ao planejamento e controle o uso e ocupação do solo.

O primeiro alicerce abordado é o escoamento superficial, o subsistema do ciclo hidrológico no qual ocorrem os eventos de cheias.

Nas argumentações seguintes, são delimitadas as principais relações de causa e efeito dos fenômenos de inundações, motivação do atual trabalho de pesquisa. Nesse sentido, estudam-se

fatores contribuintes e a relação com as consequências por meio de experiências anteriores, a fim de trazer o embasamento para prevenir a ocorrências de novos episódios.

Após saber-se onde, como e por que, são discutidos os principais métodos de gestão desses fenômenos que possibilitam a atuação na prevenção e/ou mitigação dos danos.

### **2.1.1 Escoamento Superficial**

A água da precipitação é armazenada de diversas formas nas fases do ciclo hidrológico. Uma parte é retida pelas copas das vegetações, na sequência, a parte não retida atinge o solo. Dependendo das características da superfície, a água poderá infiltrar e seguirá de forma subterrânea, lenta e contínua, atuando como reservatório natural e como escoamento de base para rios perenes. A água que não infiltra escoará rapidamente no solo em direção ao sistema de drenagem, gerando o denominado escoamento superficial direto. Assim, a água em uma bacia de drenagem, se distribui das partes mais elevadas (montante) para as partes mais baixas (jusante) perpassando por canais artificiais, reservatórios, lagos, rios e oceanos (NETTO; AVELAR, 2007; PINHEIRO, 2007; COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

Para a engenharia hidrológica, o escoamento superficial da água é a área de maior interesse para sua análise, visto que, segundo Guimarães (2017b), este é o componente mais significativo do escoamento durante os períodos de precipitação intensa. Para seu estudo se utiliza do conceito de bacia hidrográfica como unidade territorial, em conformidade com o proposto na Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

Em uma das inúmeras definições encontradas na literatura, Collischonn e Dornelles (2015, p. 21), definem a bacia hidrográfica como “a área de captação natural dos fluxos de água originados a partir da precipitação, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, denominado exutório”. Segundo os autores, a delimitação dessa área é dada pelo relevo, onde os pontos mais altos, denominados divisores de águas superficiais, apartam a direção do escoamento.

Um das ferramentas para os estudos do deflúvio (escoamento superficial da água) é o hidrograma, a representação gráfica da variação vazão de um corpo hídrico, numa determinada seção, em função do tempo.

A parcela da precipitação que se transforma em escoamento superficial é denominada de chuva efetiva, sendo a responsável pelo aumento rápido da vazão de um curso d'água durante e após uma precipitação (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

O hidrograma constitui-se como uma característica própria da bacia, para uma dada duração de precipitação, refletindo as condições do deflúvio, o que possibilita antever o desenvolvimento da onda de cheia (STUDART, 2006), ou seja, um método de definir a resposta da bacia relacionando-os diretamente às precipitações, porém análises em torno dos demais fatores que contribuem para geração do escoamento superficial, auxiliam uma melhor compreensão das causas dos fenômenos das inundações, fundamentando a tomada de decisão em torno da problemática.

### **2.1.2 Fatores Intervenientes no Processo de Inundação**

As inundações ocorrem quando a precipitação efetiva que alcança o rio é maior que a capacidade da seção de sua calha, afetando áreas ribeirinhas. As enchentes, por sua vez, caracterizam-se pela elevação do nível d'água de maneira extrema, entretanto sem transbordar o curso d'água. Similarmente há o termo “cheia”, utilizado para se referir aos acréscimos de vazão de menor importância (STUDART, 2006; BRASIL; IPT, 2007).

Diversos são os fatores que interferem na resposta da bacia de drenagem a um evento de precipitação e contribuem para as inundações. Conforme Guimarães (2017b), os aspectos intervenientes principais são climáticos e fisiográficos.

A análise das características físicas paisagem, é realizada por meio da morfometria, que utiliza de indicadores, tais como fator de forma e a densidade de drenagem, para elaboração de diagnósticos (PINTO et al., 2016). Os principais parâmetros são descritos no Quadro 1.

**Quadro 1 – Descrição dos parâmetros morfométricos.**

<b>Parâmetro</b>	<b>Descrição</b>
Área da bacia hidrográfica (A)	É a área em projeção horizontal delimitada por seus divisores de água (km <sup>2</sup> ). Importante para definir a potencialidade hídrica.
Perímetro (P)	Extensão da linha divisora de água que demarca a bacia (km).
Amplitude altimétrica (Aa)	A diferença entre o ponto mais alto e o mais baixo, diretamente relacionada com a velocidade de escoamento.
Comprimento da drenagem principal (L)	Definido como o mais longo caminho que a água pode percorrer na bacia hidrográfica (km).
Comprimento vetorial do eixo principal (Lv)	A distância em linha reta entre a nascente e a foz ou ponto de interesse do canal principal (km).
Maior comprimento longitudinal (Lt)	A distância entre a foz (ou ponto de interesse) até o ponto mais longínquo na área da bacia.
Comprimento total das drenagens	Somatória dos comprimentos de cada curso d'água da bacia (km).
Índice de Sinuosidade (Is)	É a relação entre o comprimento da drenagem principal (L) e a distância vetorial do canal (Lv). Este índice expressa a velocidade de escoamento, quanto maior, menor é a velocidade.
Perfil longitudinal do curso d'água.	Metodologia habitual para a análise do comportamento da altitude e comprimento do rio, ao relacioná-los em um gráfico.
Declividade média do curso d'água (S)	Obtém-se dividindo a diferença total de elevação do leito pela extensão horizontal do curso de água. Quanto maior for este declive maior será a velocidade de escoamento.
Declive média da bacia	Atualmente determinado por meio de ferramentas SIG que possibilitam a obtenção do Modelo Digital do Terreno (MDT).
Carta hipsométrica	Representação gráfica das classes de altitudes do terreno, distribuídas pelas áreas que elas ocupam na bacia.
Coefficiente de compacidade (Kc)	Também denominado de índice de Gravelius, relaciona a forma da bacia com um círculo. É calculado pela multiplicação de 0,28 ao perímetro da bacia dividido pela raiz de sua área. Quanto maior for Kc, menos compacta é a bacia e menor será a tendência a cheia.
Fator de forma (Kf)	Relação entre a largura média da bacia (km) e o comprimento de seu eixo (km). Obtida pela divisão da área (km <sup>2</sup> ) pelo comprimento do eixo da bacia (km) ao quadrado. Quanto maior o Kf, mais alongada é a bacia.
Índice de circularidade (IC)	É a razão entre a área da bacia (km) e o perímetro ao quadrado (km) multiplicado por 12,57, tendendo a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular, que indica mais rápida resposta frente às precipitações.
Tempo de concentração (Tc)	Definido como o tempo que a precipitação leva da região mais remota da bacia até o exutório.
Densidade de drenagem (Dd)	É um coeficiente determinado pelo somatório dos comprimentos (L) dos corpos hídricos dividido pela área da bacia (A). Auxilia na identificação das características do solo, pois há uma tendência de que solos menos permeáveis, e com rochas do subsolo menos porosas, que conseqüentemente geram maior escoamento superficial, apresentem a densidade da drenagem mais alta.

Fonte: Carvalho, Mello e Silva (2007); Collischonn e Dornelles (2015); Guimarães (2017a); Pinto et al. (2016).

Portanto, as características que proporcionam maiores escoamentos e maiores velocidades de escoamento, contribuem para que a bacia hidrográfica seja naturalmente mais suscetível à inundação.

Conjuntamente, as características do solo (vegetação e geologia), são fatores relevantes na geração do deflúvio, ao interferirem na capacidade de infiltração pela dimensão e distribuição dos poros do solo e da sua estabilidade. A vegetação tem como efeito interceptar parte da água precipitada, retardar o escoamento superficial, proteger o solo da erosão e torná-lo mais permeável por causa das raízes. As condições geológicas do solo, vão apresentar sua estrutura, com a capacidade natural de infiltração de água e constituição das reservas subterrâneas (GUIMARÃES, 2017b).

Eventos de precipitação refletirão na bacia hidrográfica de maneira distinta a depender também de suas próprias características, as quais são: forma, intensidade, duração e distribuição, no tempo e no espaço (GUIMARÃES, 2017b).

Nessa lógica, as chuvas mais intensas tendem a gerar mais escoamento e hidrogramas com picos mais pronunciados. Sabendo-se que a velocidade de escoamento é variável, logo a resposta de cada bacia dependerá também do local em que a chuva efetiva é gerada (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015). Ainda, quanto maior a duração da precipitação menor a capacidade de infiltração e consequentemente maior o escoamento superficial ao longo do evento (GUIMARÃES, 2017b).

A aleatoriedade das precipitações depende dos processos climáticos locais e regionais. As mais intensas atingem áreas localizadas, e costumam ser dos tipos convectivas e orográficas, enquanto as precipitações frontais atuam sobre grandes áreas, provocando as maiores inundações dos grandes rios (TUCCI, 2006).

Segundo Bertoni e Tucci (2015), a precipitação máxima é aquela cujo evento extremo possui duração, distribuição temporal e espacial, que ocorre de forma crítica em uma área ou bacia hidrográfica, podendo causar erosão do solo, inundações, danificar obras hidráulicas, entre outros.

A determinação da frequência de eventos de precipitações intensas é alcançada com a análise dos valores máximos diários das precipitações (MELLO E SILVA, 2013). Segundo Garcez e Alvares (1988) cada região tem sua própria característica hidrológica, portanto deve-se analisar a série histórica local para sua melhor compreensão dos eventos e seus impactos.

As inundações, por sua vez, além de estarem relacionados aos eventos extremos e as características naturais da bacia hidrográfica citadas anteriormente, têm sido intensificadas pelas modificações antrópicas (TUCCI; COLLISCHONN, 1998).

A urbanização desordenada tem provocado a redução da capacidade de retenção natural dos deflúvios, logo houve uma maior demanda dos sistemas de drenagem e de novos locais de alocação dessa água. As metodologias que passaram a ser utilizadas nos projetos de engenharia baseavam-se em aumentar a velocidade de escoamento com obras de canalização e assim transferir essa vazão para jusante. Porém, ao diminuir o tempo de concentração houve o aumento da vazão de pico, o que ocasionou inundações em áreas que antes não inundavam (CANHOLI, 2014).

Diversos autores explicam que três processos urbanísticos afetam diretamente:

- I. Impermeabilização das superfícies, aumentando assim o escoamento superficial e reduzindo o tempo de pico da vazão;
- II. Desmatamento, que desprotege a superfície propiciando a produção de sedimentos e diminuição das taxas de infiltração de água no solo.
- III. As canalizações e retificações dos cursos d'água, que eliminam os meandros e como consequência aumentam a velocidade da água (TUCCI; COLLISCHONN, 1998; PINHEIRO, 2007; AMARAL; RIBERIO, 2009; ROGÉRIO; DEUS; NUNES, 2011).

Isto posto, as enchentes e inundações têm sido mais frequentes não só pelo aumento da vazão, mas também, pela redução de capacidade de escoamento provocado pelo assoreamento da drenagem natural e pela concentração do fluxo da água em pouco tempo provocada pela retificação do escoamento e pela impermeabilização da bacia hidrográfica.

Adicionalmente, a forma desordenada em que a infraestrutura urbana é implantada também tem ampliado a frequência e a magnitude das inundações. Dentre elas, Toledo (2017) cita: construção de pontes e taludes de estradas que obstruem o escoamento; a redução de seção do escoamento de canais por aterros; e a deposição e obstrução de rios, canais e condutos por lixo.

Vale salientar que a urbanização produz um aumento significativo na frequência das inundações de cheias pequenas e médias, pois nas grandes cheias, a capacidade de saturação do solo e o armazenamento são atingidos, diminuindo o impacto das modificações antrópicas (TUCCI, 2006b).

Na história das políticas públicas nota-se como padrão que as precauções aos desastres naturais somente são tomadas após atingir centenas de pessoas e causar uma mobilização da sociedade (POTT; ESTRELA, 2017). Neste contexto, Tucci (1999, 2006b), aponta algumas razões que agravam a problemática:

- A falta de conhecimento sobre controle de enchentes e inundações por parte dos planejadores urbanos;
- Desorganização, a níveis federal e estadual, a respeito do gerenciamento dos diferentes aspectos da água no meio urbano;
- A ausência de interesse de prevenção, pois quando ocorrem as inundações, os recursos são fornecidos a fundo perdido;
- Escassez de informação técnica sobre o assunto a nível de graduação na Engenharia;
- A falta de orientação e entendimento por parte população perante a temática, que dessa maneira prioriza junto ao administrador público obras hidráulicas e não medidas preventivas;
- A priorização de projetos localizados, sem uma visão da bacia hidrográfica.

Esta última tem gerado grande prejuízo público, pois as soluções de caráter localizado, baseado apenas na eficiência hidráulica dos condutos, nem sempre resolvem o problema. Comumente, a ampliação de canais reduz o prejuízo das áreas afetadas próximas, mas faz com que haja uma

transferência de vazões, agravando a situação a jusante, pois a área de várzea suprimida pela urbanização será requerida posteriormente (SOUZA, 2013; CONHOLI, 2014)

Vale salientar que o cenário dos projetos brasileiros tem se apresentado como um verdadeiro paradoxo, pois no Brasil, um país subdesenvolvido, tem-se priorizado a execução de medidas economicamente onerosas, enquanto os países desenvolvidos buscam prevenir os problemas com medidas não estruturais mantendo as condições naturais da bacia, sendo economicamente mais viável e sustentável (TUCCI, 2006b).

Apesar de haver grande avanço acadêmico de técnicas mais integradoras, sustentadas na definição de bacia hidrográfica e nos impactos da urbanização, ainda não houve a difusão desse conhecimento na prática, como também afirmou Souza (2013).

### **2.1.3 A problemática da Inundação Urbana**

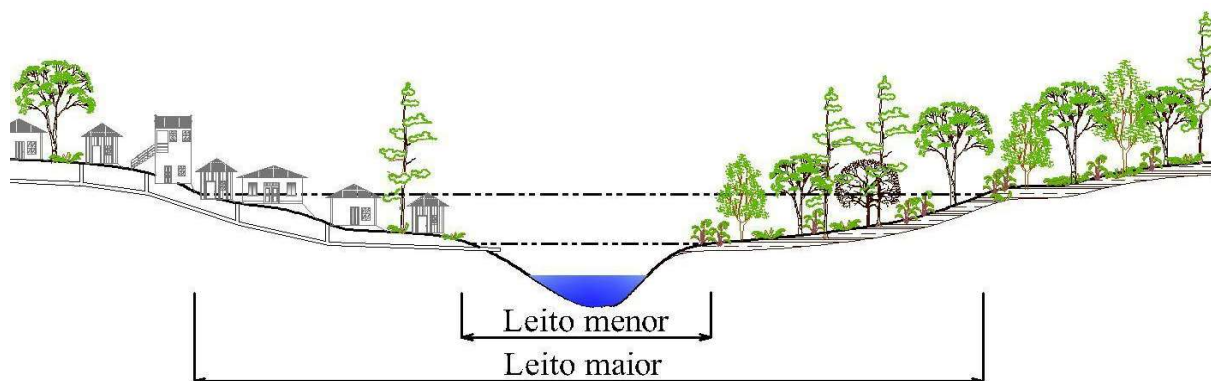
A inundação urbana é um fenômeno tão antigo quanto as cidades, apresentando diversos fatores que influenciam para sua ocorrência (TUCCI; BERTONI 2003).

Visando uma melhor compreensão da inundação urbana, Tucci (2006b, 2012) classifica fenômenos de cheias segundo suas causas. Segundo o autor, podem ocorrer isoladamente ou combinados, como sendo: inundações de áreas ribeirinhas, ditas como naturais que ocorrem no leito maior dos rios, conforme a Figura 1, que ocorrem principalmente em bacias de grande e médio porte ( $> 500 \text{ km}^2$ ); e as resultantes da urbanização, causadas principalmente pela impermeabilização, canalização e obstrução do escoamento, que ocorrem de preferência em pequenas bacias urbanas (1 a  $100 \text{ km}^2$ , com exceção às grandes metrópoles).

Em conformidade ao ilustrado pela Figura 1, os rios geralmente apresentam o leito menor, onde o escoamento atua na maior parte do tempo, limitado pelo risco de 1,5 a 2 anos; e o leito maior, também denominado de área de várzea ou planície de inundação (TUCCI, 2006b; AMARAL; RIBEIRO, 2009).



**Figura 1** – Características dos leitos dos rios.



Fonte: Adaptado de Tucci (2006).

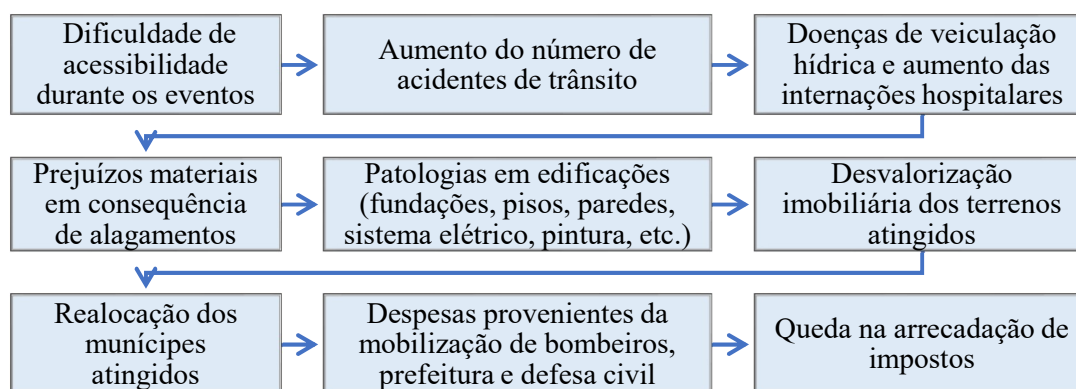
O leito maior atinge grandes áreas nos cursos médio e baixo do rio, pois esses trechos apresentam menor declividade e maior incidência de áreas planas, o que também costuma ser mais propício à ocupação humana (TUCCI, 2006b). Logo, a gravidade dos impactos dependerá do quanto e como as áreas inundáveis estejam ocupadas (PAULA et al., 2014).

Quando a ocupação de áreas de risco se dá por habitações, as principais causas foram: a não delimitação das áreas de várzeas nos planos diretores de desenvolvimento; a falsa sensação de segurança em ocupar aquele espaço, pela sequência de anos sem enchentes; e pela invasão de áreas ribeirinhas restringidas nas legislações (TUCCI, 2006b, 2012).

A ocupação das áreas de várzea é ainda potencializada por processos de urbanização característicos na América Latina que, conforme Pereira (2016), privam e marginalizam as populações mais vulneráveis. O autor ainda acrescenta que interesses financeiros e investimentos imobiliários movidos pela necessidade de criar espaços valiosos em detrimento de áreas desvalorizadas, atuam como forças manipuladoras do espaço, consolidando a segregação urbana.

Com a alocação de pessoas em áreas justafluviais, os problemas são mais significativos, visto que as enchentes e inundações representam um risco à vida desses habitantes e causam inúmeros prejuízos materiais, tanto às pessoas atingidas, quanto à administração pública (TUCCI, 2013b). Os prejuízos mais comuns estão sintetizados na Figura 2.

**Figura 2** – Principais prejuízos causados pelas inundações em áreas urbanas.



Fonte: Adaptado de Silva (2006).

Conclui-se que as perdas socioeconômicas nos casos de inundações são significativas, afetando comumente os setores habitacionais, mas também os setores de educação e cultura, de saúde, de energia elétrica, de saneamento, de transporte, do comércio e indústria e o de turismo, ou seja, toda a economia local (CORSI; AZEVEDO; GRAMANI, 2012).

Em acréscimo, Freitas e Ximenes (2012) descrevem as consequências ambientais das enchentes e inundações, sendo elas:

- i. A deterioração do sistema e de fontes alternativas de abastecimento de água, dos serviços de esgotamento sanitário e da coleta e disposição de lixo;
- ii. A contaminação química e biológica dos alimentos e da água para consumo humano;
- iii. A alteração nos ciclos ecológicos e nas formas de exposições ambientais dos humanos.

Ainda segundo os autores, nas fases subsequentes a enchentes e inundações, a saúde da população é afetada com o aumento da ocorrência de doenças potencialmente epidêmicas, e de doenças psicológicas, como estados de estresse pós-traumático, insônia, ansiedade e depressão.

Desta forma, os fenômenos de inundações e enchentes, constituem-se em desastres naturais quando as áreas justafluviais se encontram intensamente ocupadas (GOERL; KOBİYAMA; PELLERIN, 2012).

Esses impactos continuarão produzindo um ambiente degradado, e em diferentes pontos do país, as cenas de enchentes e inundações continuarão sendo associadas a danos materiais e humanos, visto que os processos urbanísticos que intensificam os fenômenos infelizmente não estão sendo contidos, e o Brasil ainda se apresenta falho no que tange o planejamento adequado para enfrentá-los (TUCCI, 2006a; ROGÉRIO; DEUS; NUNES, 2011).

Segundo Maffra e Mazzola (2007) foi observado que no Brasil há uma forte conexão entre a degradação de áreas frágeis, potencializada pelo desmatamento e pela ocupação irregular, e a magnitude dos desastres naturais e o aumento da vulnerabilidade humana.

Apesar da população alocada em áreas propensas à inundação ser particularmente vulnerável aos eventos extremos, a capacidade das pessoas e das sociedades de se adaptarem e de enfrentarem tais situações se apresentam de maneiras variadas (FRANZ, 2011). Portanto é possível a melhora do cenário por meio do gerenciamento das áreas de risco atuando sobre os impactos ocasionados por enchentes e inundações, bem como, em sua prevenção, favorecendo que a sociedade conviva com os processos naturais (ROGÉRIO; DEUS; NUNES, 2011).

#### **2.1.4 Região hidrográfica Amazônica e os episódios de elevações dos rios**

A região Amazônica, considerada como uma das regiões com os maiores índices pluviométricos mundiais, é compreendida em grande parte pela bacia do rio Amazonas, a maior bacia hidrográfica do planeta, que abrange seis países: Brasil, Peru, Bolívia, Equador, Colômbia e Venezuela (RAIO, 2013; CENSIPAM, 2020b). No Brasil, conta com uma extensa rede hidrográfica, com grande disponibilidade hídrica, abrangendo sete Estados: Acre, Amazonas, Rondônia, Roraima, Amapá, Pará e Mato Grosso, sendo os principais tributários do rio Amazonas pela margem direita os rios Javari, Jutaí, Juruá, Purus, Madeira, Tapajós e Xingu (ANA, 2013).

A região é englobada na área territorial da Amazônia Legal, que politicamente:

é composta por 52 municípios de Rondônia, 22 municípios do Acre, 62 do Amazonas, 15 de Roraima, 144 do Pará, 16 do Amapá, 139 do Tocantins, 141 do Mato Grosso, bem como, por 181 Municípios do Estado do Maranhão

situados ao oeste do Meridiano 44°, dos quais, 21 deles, estão parcialmente integrados à Amazônia Legal (IBGE, 2019).

Em outras palavras, abrange a Região Norte e parte da Região Nordeste e Centro-Oeste do país, possuindo uma superfície aproximada de 5.015.067,749 km<sup>2</sup>, cerca de 58,9% do território brasileiro (IBGE, 2019). Foi instituída com vistas à promoção de seu desenvolvimento regional, visto que em sua história, sempre prevaleceu sobre o desenvolvimento econômico a preocupação de garantir o domínio sobre a área da Amazônia, na qual a ocupação ocorreu em fases ligadas a demandas externas seguidos de períodos de estagnação (BECKER, 2005).

Povoada sobre o pensamento de que a economia se desenvolve com base na incorporação de terra e recursos naturais continuamente, com crescimento linear e infinito (BECKER, 2005), o equilíbrio do ciclo hidrológico nas bacias hidrográficas na Amazônia tem sido impactado com a antropização do seu espaço, como apontado por Silva Dias, Cohen e Gandú (2005).

Em 1970 a Amazônia Legal abrigava 7,3 milhões de habitantes, chegando em 2010 a 23,5 milhões. A distribuição é irregular entre os estados, porém sempre concentrada nas capitais, das quais se destacam Manaus (com 2,1 milhões) e Belém (1,48 milhões) (MARANHÃO, 2019).

Os rios tiveram um papel fundamental para o desenvolvimento da ocupação da bacia hidrográfica do Amazonas, e ainda são essenciais ao transporte na região (CENCIPAM, 2020b).

Tradicionalmente a ocupação ocorria ao longo da rede fluvial, porém os eixos rodoviários construídos na década de 70 e 80: a BR-153 (Belém-Brasília); BR-230 (Transamazônica); BR-364 (Cuiabá-Porto Velho); BR-163 (Cuiabá-Santarém); e BR-174 (Manaus-Boa Vista) reestruturaram a ocupação demográfica, tornando-a predominantemente urbana e com o estabelecimento ao longo das rodovias (MARANHÃO, 2019).

Devido ao regime de chuva regional são característicos os episódios anuais de elevação do nível dos rios, resultante do somatório das precipitações de toda a bacia de drenagem, e, em algumas bacias, da contribuição do degelo anual andino (PIEDADE et al., 2000; BARROS et al. 2014).

As cheias dos rios representam um papel na dinâmica natural das bacias, a exemplo, o processo de deposição sedimentar, que aumenta os diques marginais; também o processo natural de fertilização do solo, pela decantação de materiais presentes nas águas de inundação, dentro outros (SOUZA; ALMEIDA, 2010).

Portanto, as inundações sazonais fazem parte da história dos rios amazônicos e dos núcleos urbanos marginais, que apesar de adaptados a vivenciar todos os anos as cheias e as vazantes, tendem a enfrentar adversidades nos episódios extremos de inundação e seca (SOUZA; ALMEIDA, 2010; CENSIPAM, 2020b).

Juntamente com os fatores que contribuem para ocorrência de eventos extremos, cada bacia deve ser analisada para fundamentar as ações e intervenções no domínio da gestão dos recursos hídricos, pois as características dentro de uma mesma bacia em alguns trechos ou sub-bacias apresentam particularidades (ÁGUAS DO BRASIL, 2019), que se traduz em consequências distintas em cada caso.

O uso das técnicas de processamento de dados hidrológicos exige uma extensa base de informações (série histórica), porém na região Amazônica, tem-se uma carência em seu monitoramento, tanto pelo número de pontos existentes que não atendem à demanda em termos de distribuição geográfica, quanto pelas falhas apresentadas nos dados. Segundo Bernini et al. (2013, p. 02), “vários são os fatores que contribuem para este problema, desde imensas regiões cujo acesso é restrito, perpassando pela falta de planejamento por parte do setor público em regiões urbanizadas da Amazônia”.

Diante do exposto, o estudo do ciclo hidrológico e das características de cada bacia hidrográfica torna-se uma importante ferramenta de gestão pública.

## **2.2 Gerenciamento de Áreas de Risco**

Dada à dificuldade de controlar os episódios de inundações, com o objetivo de diminuir os danos e número de pessoas afetadas, as ações preventivas e mitigadoras precisam se tornar mais eficientes e exequíveis. Para isso, o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC) afirma que os aspectos relacionados aos impactos da mudança do clima, tais como os eventos extremos,

devem ser inseridos em planos de gestão pública, para que seja possível o aumento da capacidade de adaptação, e assim evitar os fortes impactos e principalmente um alto índice de óbitos (PBMC, 2013).

Segundo o IPCC (2001) a capacidade de adaptação é definida como sendo a “habilidade de um sistema de ajustar-se à mudança climática (inclusive à variabilidade do clima e seus extremos) para conter possíveis danos, aproveitando-se as oportunidades ou lidando-se com as consequências”. Por esse ângulo, há diversas ações que podem maximizar a capacidade de adaptação diante dos riscos.

O risco pode ser definido, segundo Santos e Cladeyro (2007, p. 18), como a estimativa dos “danos ou prejuízos potenciais, provenientes de um desastre, expressos em probabilidade estatística de ocorrência e de intensidade ou grandeza das consequências previstas”. Usualmente, risco também é definido em função do conjunto do perigo e da vulnerabilidade (KOBİYAMA et al., 2006; GOERL; KOBİYAMA; PELLERIN, 2012).

Vulnerabilidade por Pelling (2003, p. 5) é um dado que “indica a exposição ao risco e a incapacidade de evitar ou absorver possíveis danos”, sendo dividida, segundo Goerl, Kobiyama e Pellerin (2012), em três tipos: física (relacionada às construções), social (relacionada ao sistema social, econômico e político) e humana (união entre a física e a social)”.

No que diz respeito ao termo perigo, de acordo com Goerl, Kobiyama e Pellerin (2012, p. 85) é definido pela *International Strategy for Disaster Reduction* (2004) como “evento físico, fenômeno ou atividade humana potencialmente danosa, que pode causar mortes, danos às propriedades, distúrbios sociais e econômicos ou degradação ambiental”.

No ambiente urbano, as áreas de risco a enchente e inundação são caracterizadas pelos terrenos marginais a cursos d’água no raio de alcance do processo que se encontram ocupados por núcleos habitacionais suscetíveis ao impacto direto, e consequentemente sujeitos a danos à integridade física e material (BRASIL; IPT, 2007).

Desta forma, com o objetivo de gerenciar as áreas de risco é primordial identificar o perigo e mensurar a vulnerabilidade para o embasamento das medidas a serem implantadas pela gestão de maneira que aumentem a capacidade de adaptação da comunidade e assim minimize os impactos.

Dentre as medidas que devem ser inseridas nas estratégias de gestão pública, autores variados citam que as principais são: o zoneamento do território baseado na avaliação da susceptibilidade e do risco; medidas de controle de ocupação do solo; e medidas de redução da vulnerabilidade (TUCCI, 2002; OLIVEIRA et al., 2004).

De maneira análoga, o Decreto Federal Nº 7.257, de 04 de agosto de 2010, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil, define como ações de prevenção aquelas “destinadas a reduzir a ocorrência e a intensidade de desastres, por meio da identificação, mapeamento e monitoramento de riscos, ameaças e vulnerabilidades locais” (BRASIL, 2010).

Com o objetivo de possibilitar o controle e a prevenção, o Ministério das Cidades em conjunto com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), sintetizam o que seria o gerenciamento de áreas de risco a inundações em cinco etapas de desenvolvimento, elencadas na Figura 3.

**Figura 3** – Etapas para o gerenciamento de áreas de risco a inundações.



Fonte: Adaptado de Brasil e IPT (2007).

Inicialmente deve-se identificar a tipologia dos processos, como eles ocorrem e quais são seus condicionantes naturais e/ou antrópicos e assim, caracterizar os processos. Em seguida, deve-se determinar quais são as áreas de risco com suas respectivas classificações, que geralmente são apresentadas sob a forma de mapas (BRASIL; IPT, 2007).

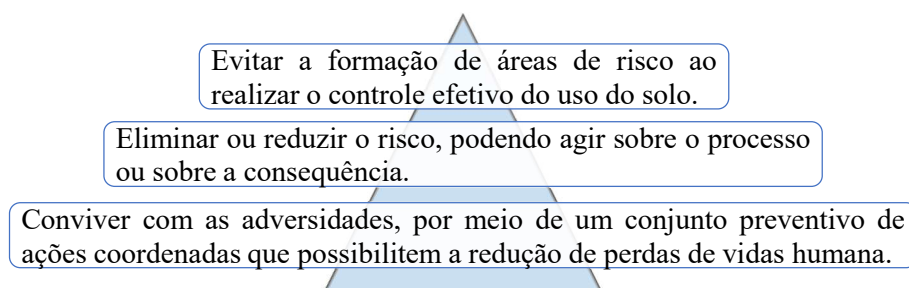
Ao delimitar as áreas sujeitas às inundações em função do risco, é possível, por exemplo, instituir um zoneamento com leis próprias de uso e ocupação do solo e padrões construtivos (como instalação de dispositivos especiais) e desapropriar áreas de risco (CANHOLI, 2014).

Após a caracterização do processo e o mapeamento da área é possível correlacionar com o monitoramento dos parâmetros hidrometeorológicos e prever a ocorrência do processo ou estipular estatisticamente a frequência. Ao saber como, onde e quando o processo poderá ocorrer, devem ser definidas as ações a serem tomadas para mitigação dos impactos, como o estabelecimento de seguro enchente e a criação de um sistema de previsão e alerta. Por fim, deve-se estabelecer os responsáveis pelas implementações das ações preventivas e mitigadoras (BRASIL; IPT, 2007; CANHOLI, 2014).

### **2.3 Instrumentos Legais e Responsabilidades Quanto a Gestão**

Levando em consideração os impactos desastrosos causados pelas inundações e que há diversos fatores que contribuem para o avanço e a perpetuação do número de pessoas vivendo em áreas ameaçadas, as ações para controle dos riscos hidrológicos e a prevenção de acidentes se apresentam em três vertentes diferentes, segundo Brasil e IPT (2007), ilustradas na Figura 4.

**Figura 4** – Três vertentes para a gestão dos eventos hidrológicos de inundação.



Fonte: Elaborado pela Autora (2020).

O ideal é evitar a formação de áreas de risco, porém muitos municípios já consolidaram a ocupação de maneira inadequada, tornando obrigatório que a escolha de ações seja sobre o processo ou em último caso, ações de contingência para conviver com as adversidades. Apesar



de serem três linhas distintas, cada caso exigirá um conjunto de medidas que poderá englobar ou não todas as vertentes.

Os principais meios de implantar o controle de eventos de cheia são a Legislação Municipal, Estadual e Federal; o Plano Diretor de Drenagem Urbano; o Manual de Drenagem, e o Sistema de Alerta e Previsão (SAP). O Plano Diretor de Drenagem visa estabelecer as linhas principais locais, ficando apoiado no controle feito pelas legislações, enquanto o manual é orientativo sobre um sistema já implantado e o SAP irá atuar nos locais afetados pelo fenômeno de inundação (TUCCI, 2006a; 2006b).

### **2.3.1 Enquadramento legal e institucional da gestão de áreas de risco**

A Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, denominada Lei das Águas, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, trazendo entre os objetivos o de prevenir e defender contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (BRASIL, 1997).

O Código Florestal brasileiro, instituído pela Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, traz as diretrizes gerais sobre a exploração da vegetação nativa, determinando as áreas que devem ser preservadas ou quais usos pode haver em determinadas regiões. No código as áreas de preservação permanente, que têm a função de preservação ambiental e de garantir o bem-estar da população, são determinadas em função das faixas marginais de qualquer curso d'água natural, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima variável, que para o rio Machado em Ji-Paraná caracteriza-se como 200 m (duzentos metros) (BRASIL, 2012a), em outras palavras, torna-se irregular a ocupação desta faixa marginal ao rio instituída como área de preservação permanente.

Dentre as principais legislações federais, a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, destaca-se por definir que os lotes devem ser servidos com sistemas de escoamento de águas pluviais, proibindo o parcelamento do solo de áreas alagadiças, sujeitas a inundações, de preservação ecológica e onde as condições geológicas não aconselham edificação (BRASIL, 1979).

Na Constituição Federal de 1988, por sua vez, no Art. 182, ficou estabelecido que a política de desenvolvimento urbano deve ser executada pelo poder público municipal, utilizando do plano diretor como instrumento básico (BRASIL, 1988).

Em complementação, a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, denominada Estatuto da Cidade, que regulamenta o disposto nos artigos 182 e 183 da Constituição Federal, traçou as diretrizes para a política de desenvolvimento urbano, das quais ressalta-se: garantir o direito a cidades sustentáveis; planejar de modo a evitar as distorções de crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente; ordenar e controlar o uso do solo, de maneira que evite a exposição da população a riscos de desastres (BRASIL, 2001).

Vale salientar que o Estatuto da Cidade consolidou o plano diretor como instrumento de gestão, juntamente com a disciplina do parcelamento, do uso do solo e o zoneamento ambiental.

Desta forma, com aplicação efetiva das regulamentações e diretrizes, a problemática dos desastres naturais seria tratada preventivamente, evitando a formação das áreas de risco. Porém, sabendo que a urbanização em geral não ocorreu com a aplicação dessas diretrizes, o Estatuto da Cidade traz em seu Artigo 42-A, incluído pela Lei nº 12.608, de 2012, a determinação que as cidades incluídas no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis às ocorrências de desastres naturais deveriam acrescentar em seu plano diretor:

- I - parâmetros de parcelamento, uso e ocupação do solo, de modo a promover a diversidade de usos e a contribuir para a geração de emprego e renda;
- II - mapeamento contendo as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos;
- III - planejamento de ações de intervenção preventiva e realocação de população de áreas de risco de desastre;
- IV - medidas de drenagem urbana necessárias à prevenção e à mitigação de impactos de desastres; e
- V - diretrizes para a regularização fundiária de assentamentos urbanos irregulares, se houver, observadas a Lei no 11.977, de 7 de julho de 2009, e demais normas federais e estaduais pertinentes, e previsão de áreas para habitação de interesse social por meio da demarcação de zonas especiais de interesse social e de outros instrumentos de política urbana, onde o uso habitacional for permitido.

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

§ 1º A identificação e o mapeamento de áreas de risco levarão em conta as cartas geotécnicas.

§ 2º O conteúdo do plano diretor deverá ser compatível com as disposições insertas nos planos de recursos hídricos, formulados consoante a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 2012b).

Em complementação, a Lei nº 12.340, de 1º de dezembro de 2010, que regulamenta a execução de ações de prevenção em áreas de risco de desastres e de resposta e de recuperação de áreas atingidas, em seu Artigo 3-A, parágrafo 2º, incluído pela Lei nº 12.608, de 2012, traz as ações que devem realizar as cidades incluídas no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de desastre natural:

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

II - elaborar Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil e instituir órgãos municipais de defesa civil, de acordo com os procedimentos estabelecidos pelo órgão central do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC;

III - elaborar plano de implantação de obras e serviços para a redução de riscos de desastre;

IV - criar mecanismos de controle e fiscalização para evitar a edificação em áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto, inundações bruscas ou processos geológicos ou hidrológicos correlatos; e

V - elaborar carta geotécnica de aptidão à urbanização, estabelecendo diretrizes urbanísticas voltadas para a segurança dos novos parcelamentos do solo e para o aproveitamento de agregados para a construção civil (BRASIL, 2010).

Porém, o instrumento principal para aplicação dessas medidas, o Cadastro Nacional, ainda não se encontra em funcionamento, falha esta já enfatizada pelo Tribunal de Contas da União (TCU) (TCU, 2020). Contribuindo para esta questão, a Agência Nacional de Águas, atual Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), publicou no ano de 2014 o Atlas de Vulnerabilidade a Inundações, ferramenta que identifica a ocorrência e os impactos das inundações graduais nos principais rios das bacias hidrográficas brasileiras, entregando como produto a identificação das localidades prioritárias (ANA, 2014).

Logo, cabe ao poder público municipal as ações de adequação às legislações, com o objetivo de atingir as diretrizes já regulamentadas, eliminando ou reduzindo os riscos aos desastres naturais, por meio das ferramentas existentes e assim garantir o bem-estar social, priorizando a atuação na vertente da prevenção.

Na prática, para a adoção medidas preventivas, sabe-se que há deficiências primitivas e essenciais nos municípios brasileiros em implantar e gerir a infraestrutura para tal (BRASIL, 2015), bem como há uma omissão frente às diversas forças que manipulam os espaços urbanos (PEREIRA, 2016), e ainda há interesses ocultos na ocorrência de desastres naturais, visto que o município declara calamidade pública e recebe recursos sem a necessidade de realizar concorrência pública para utilizá-lo (GOLDENFUM, 2005).

No sentido de apoiar o desenvolvimento adequado, foram criadas instituições governamentais, para fomentar, instrumentalizar, regular e executar as ações necessárias. Neste trabalho destaca-se inicialmente o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) criado em 1909, e desde então proveu informações meteorológicas para os mais diversos processos de tomada de decisão.

A posteriori, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) foi constituído em 1969. Atualmente, como uma empresa pública vinculada ao Ministério de Minas e Energia, é referência na geração de conhecimento e no desenvolvimento de soluções efetivas em geociências para o bem-estar da sociedade brasileira, com atuações estratégicas diversificadas, das quais destaca-se as no monitoramento de redes hidrometeorológicas, na previsão e alerta de enchentes e inundações e nos estudos hidrológicos (CPRM, 2021)

A nível estadual, a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental – SEDAM, instituída em 1991, cumpre com a função de formular e executar políticas voltadas para o desenvolvimento ambiental rural e urbano, na qual está inserida a Coordenadoria de Recursos Hídricos – COREH que atua na

regulação, outorga, fiscalização, implementação, operacionalização e avaliação dos instrumentos da política estadual de recursos hídricos. Cabendo ainda promover a análise e desenvolvimento de programas e projetos de despoluição de bacias hidrográficas, eventos críticos em recursos hídricos e promoção do uso integrado de solo e água (COREH, 2021).

No ano 2000 houve a fundação da Agência Nacional de Águas (ANA) com a função de regulamentar e monitorar as diversas questões dos recursos hídricos, bem como, coordenar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), realizando e dando apoio a programas e projetos, à órgãos gestores estaduais e à instalação de comitês e agências de bacias dedicada a fazer cumprir os objetivos e diretrizes da Lei das Águas do Brasil (ANA, 2020). Sua existência é fundamental na questão dos eventos extremos, visto que, segundo a *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* - UNESCO (2019), 90% de todos os desastres naturais estão relacionados à água.

Na região Amazônica, no ano de 2002 foi fundado o Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM), que possui três centros regionais localizados nas cidades de Belém (PR), Manaus (AM), e Porto Velho (RO), e um centro de coordenação geral em Brasília (DF) (CENSIPAM, 2020a).

O CENSIPAM gerencia o Sistema de Proteção da Amazônia (SIPAM) ao coletar, processar e difundir dados sobre a região, integrando as ações de diversos órgãos e agentes governamentais para possibilitar a preservação, a inclusão social e o desenvolvimento de forma sustentável (CENSIPAM, 2020a) evitando retrabalhos ou sobreposição de esforços. Em sua ampla atuação, destacam-se na área do monitoramento hidrometeorológico e em projetos envolvendo a previsão e alerta de eventos críticos.

Em acréscimo, o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), foi criado no ano de 2011, com o objetivo de monitorar e emitir alertas para subsidiar a gestão de riscos e impactos de desastres naturais, atuando em escala nacional e cooperando ao SIPAM. No estado de Rondônia, apenas os municípios de Porto Velho e Pimenta Bueno possuem a estrutura e os estudos necessários para que o monitoramento ocorra pelo CEMADEN (CEMADEN, 2020).

No ano de 2012, por meio da Lei federal nº 12.608, foi instituída a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), descrevendo sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e sobre o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC); autorizando

a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres, traçando como diretriz a prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação frente aos desastres (BRASIL, 2012b).

Atualmente, Ji-Paraná/RO conta com a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil – COMPDEC, criada em 2009 para atender as situações de risco e atendimento a emergências em que seja necessária a intervenção da Prefeitura Municipal de Ji-Paraná (PMJP), minimizando os efeitos dos eventos adversos (COMPDEC, 2018).

A COMPDEC, de forma integrada ao SINPDEC, soma-se às ações dos órgãos que o compõem: Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil e a Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC, 2018). Portanto, a COMPDEC coordena as ações desenvolvidas pelos técnicos e voluntários da Defesa Civil, integrados com outras secretarias municipais e órgãos públicos em nível estadual e municipal, seguindo a PNPDEC (COMPDEC, 2018).

Outro agente importante é a Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR) criada em 1981 que se destaca por atuar nas políticas públicas estratégicas do Estado, compartilhar informações e por convergir seus estudos para a promoção do desenvolvimento regional (UNIR, 2021).

A falta de preparo e/ou disposição do poder público em responder apropriadamente aos desastres naturais, como inundações, é notória a cada ocorrência desses eventos no Brasil, nas mais diversas partes do país, porém, há esforços que advêm de organizações governamentais, como a ANA, CPRM, CENSIPAM, e da comunidade acadêmica que tem contribuído na mudança desse paradigma. Logo, este trabalho objetiva suprir parte da lacuna de estudos sobre a problemática no município de Ji-Paraná (RO), localizada ao sul da região hidrográfica Amazônica, e assim fomentar uma gestão mais próxima do ideal.

### **2.3.2 Conjunto de medidas a serem aplicadas na gestão de áreas de risco**

As medidas de controle ou prevenção são classificadas de acordo com sua natureza, em medidas estruturais e medidas não estruturais. Segundo Tucci (2013b) as medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial, e não estruturais, aquelas que auxiliam na redução dos danos.

As medidas estruturais compreendem as obras de engenharia para a correção e/ou prevenção da problemática das enchentes e inundações (CANHOLI, 2014). Por se apresentarem como grandes obras em determinadas circunstâncias criam uma sensação de falsa segurança, podendo até induzir a ocupação das áreas inundáveis (TUCCI, 2006).

Essas ações estruturantes são subdivididas em extensivas e intensivas. As medidas estruturais intensivas podem ser de quatro tipos:

- i. de aceleração do escoamento: canalização dos corpos hídricos, corte de meandros, construção de diques e polders;
- ii. de retardamento do fluxo: reservatórios e restauração de calhas de rios assoreados;
- iii. de desvio do escoamento: túneis de derivação e canais de desvio;
- iv. ações individuais: são as que visam tornar as edificações à prova dos desastres naturais e assim conviver com as adversidades (TUCCI, 2013b; CANHOLI, 2014).

Barragens locais que criam reservatórios e amortecem as enchentes a jusante, podem contribuir para segurança hídrica, proteger contra eventos de cheias, e ainda ofertar energia renovável (UNESCO, 2019), porém a execução de barramentos no curso d'água, podem apresentar fins concomitantes, que em diversos casos são conflitantes entre si, podendo ou não a proteção ser sobrepujada. É importante destacar que existirão eventos em que a barragem não será capaz de amortecer a vazão e as inundações ocorrerão. (TUCCI, 2006).

Por sua vez, as medidas estruturais extensivas são as ações que visam reduzir os riscos agindo sobre o processo, procurando modificar a relação precipitação-vazão, sendo elas: recomposição da cobertura vegetal do solo; metodologias de pequenos armazenamentos ao longo da bacia hidrográfica; e o controle de erosão do solo (CANHOLI, 2014, TUCCI, 2006, 2013b).

A cobertura vegetal tem a capacidade de interceptar parte do volume de água precipitado, proporcionar a evapotranspiração, reduzir a velocidade de escoamento superficial e consequentemente aumentar a infiltração no solo. Porém, esta medida tem mais efeito em pequenas bacias (<10 km<sup>2</sup>) e/ou para eventos de maior frequência (TUCCI, 2006).

O controle da erosão do solo visa minimizar a contaminação dos rios a jusante e principalmente evitar a diminuição de sua seção, pois as inundações tendem a ser mais frequentes em locais de maior sedimentação. Seu controle pode ser realizado por meio do reflorestamento, da proteção das margens, por práticas agrícolas eficientes e por pequenos reservatórios (TUCCI, 2006).

Dentre as formas de atenuar os impactos dos processos de inundações e enchentes, merece destaque aquelas que agem sobre o processo por meio de sistemas de drenagem eficientes. Segundo Canholi (2014) dentre as ditas como eficientes e “inovadores” para o Brasil, algumas soluções têm buscado o retardamento dos escoamentos para promover maiores tempos de concentração e reduzir os picos das vazões, como também têm buscado promover a infiltração nos locais em que ocorrem as precipitações.

Segundo Fletcher et al. (2015) esses conceitos inovadores se apresentam sob forma de diversos termos ao longo da literatura mundial, por vezes com ideias sobrepostas, o que causa confusão. Dentre eles pode-se destacar três: WSUD (Water Sensitive Urban Design), LID (Low Impact Development) e o SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems) (FLETCHER et al., 2015).

O WSUD nos seus objetivos traz a necessidade de uma visão holística, com considerações a todo o ciclo urbano da água, requerendo uma mudança na forma que a água e os recursos ambientais são considerados no planejamento urbano. Dentre seus objetivos, podemos destacar do subconjunto da gestão das águas pluviais, a proposta de redução do escoamento por meio de medidas de retenção locais e a limitação de áreas impermeáveis (FLETCHER et al., 2015).

O termo LID traz uma abordagem de desenvolvimento de baixo impacto, que objetiva manter o sistema hidrológico local o mais próximo às condições naturais da bacia, o que implica, por exemplo, em minimizar as áreas impermeáveis e a poluição (FLETCHER et al., 2015).

Outro termo importante em relação à gestão das águas é o SUDS, cunhado para descrever a tecnologia relacionada a águas pluviais que se apresentam mais sustentáveis que as soluções convencionais (FLETCHER et al., 2015).



Esses conceitos, apesar de apresentarem focos diferentes, derivam do mesmo entendimento, de que deve haver o gerenciamento integrado da água a fim de solucionar e evitar as adversidades, tendo como resultado o desenvolvimento do homem em harmonia com a natureza.

Essa perspectiva é tida como “inovadora”, pois representa uma mudança nas soluções estruturais comumente usadas no Brasil, saindo de uma visão “higienista” para uma vertente “conservacionista” e muito mais sustentável, como a utilização da reservação na drenagem (CONHOLI, 2014).

A técnica de retenção da água a montante das áreas de risco de inundação pode ocorrer de maneira natural, na interceptação da precipitação pela cobertura vegetal e pela infiltração da água no solo, onde as áreas preservação permanente se mostram importantes; no armazenamento da água em depressões naturais; ou em áreas planas situadas ao longo dos cursos d’água (PINHEIRO, 2007).

De maneira artificial a retenção pode ocorrer por meio de um campo de futebol ou parques localizados próximo ao rio, de sistemas urbanos de drenagem sustentável (SUDS), sobretudo por meio de reservatórios superficiais ou subterrâneos, propiciando uma regularização dos escoamentos, conforme destaca o comparativo do Quadro 2 (PINHEIRO, 2007).

**Quadro 2** – Comparativo entre os conceitos de canalização e reservação em sistemas de drenagem superficial.

	<b>Canalização/Higienista</b>	<b>Reservação/Conservacionista</b>
<b>Função</b>	Aceleração do escoamento.	Contenção temporária para posterior liberação.
<b>Componentes principais</b>	Canais abertos; galerias.	Reservatórios a superfície livre, subterrâneos e subsuperficiais.
<b>Aplicabilidade</b>	Instalação em áreas novas; construção por fases; ampliação da capacidade pode se tornar difícil (centros urbanos).	Áreas novas (em implantação); construção por fases; áreas existentes (à superfície ou subterrâneas).
<b>Impactos nos trechos a jusante (quantidade)</b>	Aumenta os picos de enchentes e inundações em relação à condição anterior; necessidade de maiores obras nos sistemas a jusante.	Em áreas novas: podem ser dimensionadas para impacto zero. Em áreas consolidadas: reabilita sistemas, tornando as vazões a jusante compatíveis com a capacidade.
<b>Impacto nos trechos a jusante (qualidade)</b>	Transporta para o corpo receptor toda a carga poluente afluente.	Facilita a remoção de materiais flutuantes e sólidos em suspensão, por concentração em áreas de recirculação dos reservatórios e pelo processo natural de decantação.
<b>Manutenção/operação</b>	Em canais a manutenção geral é pouco frequente (assoreamento e lixo); manutenção nas galerias é de difícil acesso.	Necessária limpeza e fiscalização periódica; sistemas de bombeamento requerem operação e manutenção; desinfecção eventual (insetos).
<b>Estudos</b>	Requer definição dos picos de enchentes.	Requer definição dos hidrogramas (volumes das enchentes).

Fonte: Adaptado de Canholi (2014).

Essa nova visão de gerir a drenagem, com a inclusão de medidas que procuram imitar o ciclo natural das águas, começa a ser desenhada no Brasil. Seu embasamento advém de princípios modernos, onde os principais são: novas áreas não podem aumentar o pico de vazão conforme as condições naturais; e não se devem transferir para jusante os impactos (TUCCI, 2006a).

Em contrapartida às ações estruturantes, Canholi (2014, p. 25) afirma que “as ações não estruturais podem ser eficazes a custos mais baixos e com horizontes mais longos de atuação”.

As medidas não estruturais procuram atuar nos impactos das inundações por meio de introdução de normas, regulamentos e programas, disciplinando o desenvolvimento da urbanização e da

sociedade, com uma visão sustentável, buscando evitar a formação de áreas de risco e controlando na fonte os impactos resultantes da urbanização (CANHOLI, 2014; TUCCI, 2006b).

Pode-se citar como medidas não estruturais a: regulamentação da área de inundação; realocação de estruturas para fora da área de inundação; compra de áreas de inundação; plano de evacuação; instalação de avisos de alerta nas áreas inundáveis; seguro de proteção individual; adoção de políticas de desenvolvimento etc. (TUCCI, 2006b, 2013b). De maneira geral, as principais se agrupam em: ações de controle do uso e ocupação do solo; educação ambiental; sistemas de previsão e de alerta; e seguro-enchente (CANHOLI, 2014).

Diante dos tipos de intervenções possíveis, observa-se que nos países desenvolvidos, o gerenciamento da drenagem urbana é controlado prioritariamente por meio de medidas não estruturais, e que grande parte das questões urbanas foram resolvidas em relação ao abastecimento de água e ao tratamento de esgoto. Dessa forma, o principal problema de drenagem nos países desenvolvidos é o controle da poluição difusa decorrente das águas pluviais (TUCCI, 2006b).

As ações públicas mais comuns nas cidades brasileiras quanto ao escoamento pluvial estão voltadas para medidas estruturais com visão pontual, como é o caso das canalizações, que acabam por transferir a enchente de um ponto para outro da bacia (TUCCI, 2006a). Apesar de diretrizes mais sustentáveis terem base legal e estarem em discursos de técnicos, políticos e lideranças, elas ainda não são aplicadas extensivamente nos projetos de gestão urbana (POMPÊO, 2000; HUERGO; VACOVSKI, 2017).

No Quadro 3 é possível verificar as diferenças das tratativas habituais nos países desenvolvidos e nos subdesenvolvidos em relação à água no espaço urbano.

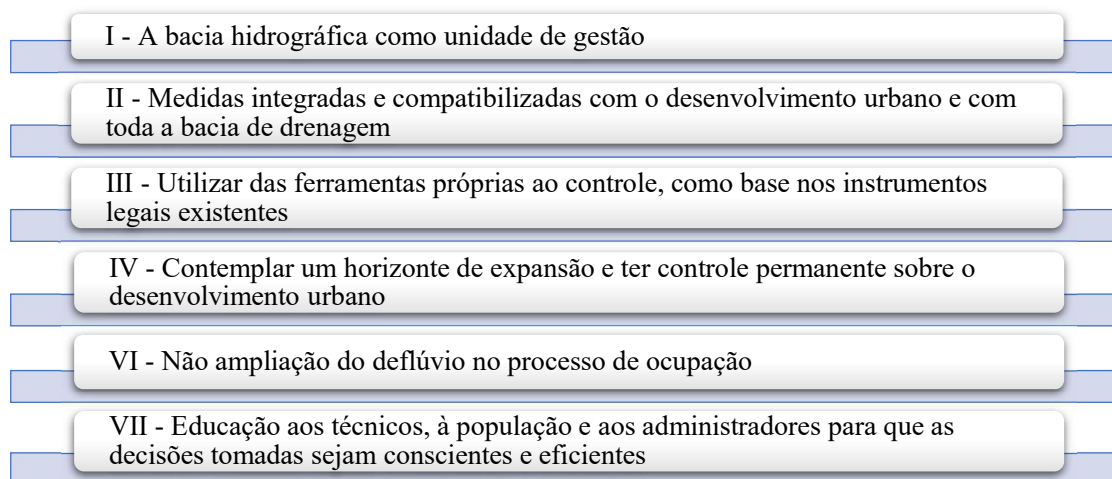
### Quadro 3 – Comparação entre os aspectos da água no meio urbano.

	Países desenvolvidos	Países subdesenvolvidos
<b>Abastecimento de água</b>	Cobertura total.	Grande cobertura; tendência de redução da disponibilidade em virtude da contaminação das fontes; grande quantidade de perdas nas redes.
<b>Saneamento</b>	Grande cobertura na coleta e no tratamento dos efluentes.	Falta de rede e estações de tratamento; projetos existentes ineficientes.
<b>Drenagem urbana</b>	Deflúvios controlados, minimizado no aspecto quantitativo; iniciados na gestão da qualidade da água.	Impactos quantitativos sem solução; sem identificação dos impactos na qualidade da água.
<b>Inundações</b>	Medidas de controle não estruturais, como seguro enchente e zoneamento de inundações.	Grandes prejuízos por falta de políticas de controle.

Fonte: Adaptado de Tucci (2006b)

Diante do cenário das cidades brasileiras, é inadiável determinar as ações preventivas, onde ainda forem possíveis, e corretivas, onde as inundações já são fenômenos problemáticos, como ocorre no município de Ji-Paraná no Estado de Rondônia. No entanto, as ações devem ser sustentáveis e integradas, seu planejamento deve ser multidisciplinar e pragmático (CANHOLI, 2014), orientados pelos princípios básicos destacados na Figura 5.

### Figura 5 – Princípios para o controle do impacto da urbanização.



Fonte: Adaptado de Tucci (2006a)

Sulaiman e Aledo (2016) complementam, para a mudança dos discursos em ações é necessário participação e diálogo entre os diversos atores, ampliando o conhecimento técnico e o entendimento sobre as questões ambientais, fugindo da ciência cartesiana e positivista na resolução de problemas, que se baseia na segurança e controle sobre o mundo natural.

Já em 1620, o filósofo inglês Francis Bacon dizia que “A natureza não se domina, senão obedecendo-lhe” (BACON, 2002, p. 107), dessa forma, visto que não iremos controlar por completo a ocorrência dos eventos extremos, Silva e Nishijima (2011) apontam a educação ambiental, como uma das principais ferramentas não estruturantes, para a nova visão na gestão dos recursos hídricos e uma mudança de postura nas atitudes individuais. Sulaiman e Aledo (2016) complementam que, além da mudança do pensar e de produzir conhecimentos, é necessário promover a implementação da gestão dos riscos a desastres naturais.

Sendo a água, um direito de todos, com o gerenciamento altamente complexo, Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020) destacam que, além da ampliação da percepção social da problemática, para a se obter as melhores soluções deve haver a participação ativa da comunidade na gestão das águas urbanas.

Em virtude dos argumentos apresentados, conclui-se que dentre as possibilidades, deve-se haver uma combinação de medidas estruturais e não estruturais, de cunho social, econômico e administrativo, somente assim será possível minimizar as perdas e permitir uma convivência em equilíbrio com o rio (TUCCI, 2006b).

### **2.3.3 Plano Diretor de Drenagem Urbana**

Dentre as principais ferramentas para realização das análises e determinação de medidas, Canholi (2014) aponta que deve ser utilizado o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU), onde os estudos englobam as obras de infraestrutura e de planejamento urbano. Segundo Porto et al. (2013) o PDDrU constitui de estratégia essencial para obtenção de boas soluções.

Canholi (2014, p. 27) resume que o estudo deve “diagnosticar os problemas existentes ou previsíveis no horizonte de projeto adotado, e determinar, hierarquizar e redimensionar as

soluções mais adequadas do ponto de vista técnico, econômico e ambiental”. Nesse sentido, o plano deve conter minimamente itens tal como descritos no Quadro 4.

**Quadro 4** – Itens básicos para elaboração do Plano Diretor de Drenagem Urbana.

<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Metodologia</b>
<b>O estudo da bacia hidrográfica</b>	Determinação das características da bacia; simulação do seu comportamento hidrológico.	Executado com simulações em plataforma SIG para condições atuais e futuras.
<b>Normas e critérios de projeto uniformes</b>	Período de retorno a ser adotado; gabaritos de travessias etc.	Calculado e dimensionamento conforme análise dos dados embasados nas normas regulamentadores vigentes.
<b>Escolha de áreas para preservação ou compra pelo poder público</b>	Apontamento de áreas que podem ser facilmente recuperadas.	A descrição contará com mapas de indicação realizados em plataforma SIG conforme levantamento de campo.
<b>Zoneamento da várzea de inundação</b>	Determinação do risco das enchentes; mapeamento das áreas de inundação; definição das áreas em zonas.	Com os dados planialtimétricos e o estudo das vazões de cheias é possível elaborar mapas com indicações das áreas inundáveis e classificá-las em zonas que determinam as regras de ocupação.
<b>Adoção de medidas preventivas e implantação progressiva</b>	Elaboração técnica de medidas estruturais e não-estruturais progressivas.	Descrição de medidas de engenharia de controle ou correção de sistemas de drenagem, e medidas de cunho social, econômico e administrativo que apresentem custo/benefício justificável.

Fonte: Adaptado de Porto et al. (2013).

Na elaboração de PDDrU o deve-se ainda compatibilizá-lo com os outros planos e projetos de infraestrutura, sempre considerando a bacia hidrográfica, o que pode transcender os limites administrativos. Quanto às soluções apresentadas, estas devem ser flexíveis e prever as eventuais necessidades de modificações no futuro (CANHOLI, 2014).

Sendo assim, o Plano Diretor de Drenagem é uma importante ferramenta de planejamento ao trazer diagnósticos, prognósticos e traçar as ações prioritárias à gestão pública perante a situação da drenagem local.

Em Ji-Paraná-RO, foi instituído por meio da Lei municipal nº 1136, de 21 de dezembro de 2001, o Plano Diretor do Município, que dispõe sobre seu o desenvolvimento urbano, de onde se destaca a seguinte determinação:

no caso de leito fluvial com planície de inundação ampla, cuja largura exceda a largura estipulada pelo Código Florestal, e cuja planície de inundação é o leito maior do rio, periodicamente invadido pelas cheias e parte do aparelho fluvial que possui leito de vazante para vazão mínima, e leito normal que comporta vazão média (entre os rebordos de margens e o leito de maior inundação), fica vedado o parcelamento de terrenos sujeitos a inundação, situados à beira do curso d'água periodicamente invadidos pelas cheias, ficando também vedada a implantação de equipamentos domésticos, industriais e agroindustriais na zona de entorno dos canais fluviais para a defesa da mata galeria (JI-PARANÁ, 2001, p. 7).

Porém, o Plano Diretor do Município não traz o mapeamento das áreas inundáveis, bem como, nenhuma especificidade no zoneamento das áreas que margeiam o rio Machado.

#### **2.3.4 Mapeamento das áreas de risco**

Segundo Amaral e Ribeiro (2011, p. 45) as áreas de várzea são “periodicamente atingidas pelo transbordamento dos cursos d’água, constituindo, portanto, uma área inadequada à ocupação”. Logo, a delimitação das áreas de risco é fundamental para que seja realizada a devida gestão desses espaços, principalmente devido ao fato de que a memória sobre as inundações se dissipa com o passar do tempo e uma sequência de anos sem inundações motiva a população a ocupar o leito maior de um rio (TUCCI, 2006b).

Para uma análise que resulte em uma espacialização das informações com a determinação das áreas que são suscetíveis a inundação, é indispensável conhecer os principais fatores que influenciam nos processos, tais como tipo de solo, hidrografia, precipitações, geologia, geomorfologia, uso e cobertura do solo (ROGÉRIO; DEUS; NUNES, 2011).

De acordo com Tucci (2013b) os mapas de inundação se dividem em duas categorias: mapas de planejamento e mapas de alerta. Os mapas de alerta classificarão por risco de alagamento os pontos pertinentes, apresentando locais que necessitam de intervenção, trazendo a definição do nível de inundação e qual a precipitação característica que trará riscos, servindo de instrumento

para tomada de decisão de ações prioritárias a serem realizadas pela gestão pública (TUCCI, 2013b).

Os mapas de planejamento indicarão as áreas inundáveis e as classificará por zonas, servindo de instrumento de gestão no controle do uso e ocupação do solo, prevenindo maiores impactos por cheias. É elaborado por meio técnicas de geoprocessamento, definindo as áreas atingidas por cheias de tempos de retornos pertinentes (TUCCI, 2013b).

Em complementação aos mapas de inundação, é possível investigar e determinar as áreas mais críticas dentre as suscetíveis, trazendo como resultado o mapeamento das áreas de risco, ferramenta que analisa as características socioeconômicas.

Neste caso, o estudo sobre as áreas ameaçadas perpassa por uma análise do processo de inundação e seu potencial destrutivo. Inicialmente há uma pesquisa dirigida em busca de registros de ocorrências de fenômenos com dados da bacia hidrográfica e da dinâmica da inundação, de fontes referenciadas, com objetivo de caracterizar a bacia e identificar o cenário de risco (BRASIL; IPT, 2007).

O processo de inundação com a visão no seu potencial destrutivo, é caracterizado em um dos três cenários possíveis:

- i. Cenário de risco de enchente e inundação de planícies fluviais (C1): apresenta relevo com planícies fluviais extensas e uma dinâmica relativamente lenta no início das chuvas, por isso a possibilidade de perda de vidas humanas é pequena. Tem como característica uma baixa capacidade natural de escoamento dos cursos principais de drenagem.
- ii. Cenário de risco de enchente e inundação com alta energia cinética atingindo ocupação ribeirinha (C2): este processo costuma ocorrer ao longo dos cursos d'água, em vales encaixados ou espremidos pela ocupação marginal. Neste cenário o relevo costuma apresentar alta declividade nas porções de cabeceira, ocasionando enchentes violentas, com alta velocidade de escoamento e consequentemente alto poder destrutivo com possibilidade de perda de vidas humanas.



- iii. Cenário de risco de enchente e inundação com alta energia de escoamento e capacidade de transporte de material sólido (C3): são enchentes e inundações de alta energia cinética, onde a água transporta elevada carga de material sólido (sedimentos de diferentes granulometrias e detritos vegetais). O relevo montanhoso é o que mais caracteriza esse fenômeno, em razão da presença de muito material sólido, seu poder destrutivo é maior do que aquele descrito anteriormente (BRASIL; IPT, 2007).

Diante de cada cenário, os estudos complementares para aferir a periculosidade, ou seja, a possibilidade de impacto de determinada área pelo fenômeno, como também a vulnerabilidade, que identifica as situações de risco, embasam as intervenções a serem implantadas de forma adequada às características específicas da bacia hidrográfica de estudo (BRASIL; IPT, 2007).

A vulnerabilidade depende de quatro fatores que deverão ser levados em consideração: físico, ambiental, econômico e social. Sua mensuração torna-se significativa, pois, por mais que se tenha determinado o perigo, à vulnerabilidade está relacionada a gravidade das consequências dos processos de cheia (KOELER; JÜLICH; BLOEMERTZ, 2004 apud GOERL; KOBIYAMA; PELLERIN, 2012).

A produção de mapas tem o intuito de apresentá-los como instrumentos legais para a gestão dos riscos. Dentre as possibilidades da utilização do mapeamento a ser executado, está o aperfeiçoamento de análises integradas para o controle o uso e ocupação do solo, que além de prevenir a ocupação de áreas de risco, previne a ampliação dos deflúvios que sobrecarregam a capacidade de drenagem dos rios (CANHOLI, 2014). Os mapas também amparam a determinação das áreas mais expostas aos desastres naturais que devem ser priorizadas nos investimentos públicos e se tornam fundamentais nos locais com ausência de sistemas de previsão de cheias.

#### **2.3.5 Previsão de cheias**

A imprevisibilidade dos eventos naturais está diretamente relacionada com o nível de conhecimento sobre a natureza. À medida que há evolução na compreensão dos processos hidrológicos consegue-se construir modelos de previsões dos eventos de cheia potencialmente

causadores de inundações para evitar ou minimizar seus impactos, o que é de grande valia na atuação de entidades como a Defesa Civil (FILHO; PIQUEIRA, 2013; SIQUEIRA, 2015).

Para a previsão do nível ou vazão de um rio é necessária uma rede de coleta e transmissão de dados e uma metodologia de cálculo, fundamentada principalmente nas características físicas da bacia hidrográfica e na distribuição espacial e temporal da precipitação (TUCCI, 2006b).

De maneira geral, as metodologias de previsão dividem-se em duas: a curto prazo e a longo prazo. A previsão de cheia a longo prazo, quantifica a probabilidade da inundação estatisticamente, sem o rigor de quando se dará, possibilitando estabelecer níveis de enchentes para riscos deliberados. Essa estimativa permite determinar a amplitude das inundações pela tendência sazonal estabelecida por uma série histórica observada ou pela composição de modelos climáticos e hidrológicos (TUCCI, 2006b).

O modelo de estudo a longo prazo tem como preceitos: a variável hidrológica utilizada na estimativa é estacionária, ou seja, suas estatísticas não se alteram com o tempo; e os valores da série são independentes entre si quando considerado o devido ano hidrológico (TUCCI, 2006b).

Em contrapartida, a previsão de cheia a curto prazo, também intitulada em tempo real, permite determinar o nível do rio e seu tempo de ocorrência na seção de interesse com antecedência de poucos dias ou horas. Esse prognóstico é utilizado para alertar com precisão a sociedade e os operadores de obras hidráulicas, portanto, busca-se o maior tempo possível do prognóstico até o fenômeno, porém este é limitado pelo modelo de previsão da precipitação e pelo deslocamento da cheia na bacia. Sua aplicação se dá com o uso de uma rede de coleta e transmissão de dados hidrológicos, um centro de previsão que recebe e processa as informações, e um plano da Defesa Civil para emergências, compondo assim o denominado Sistema de Alerta e Previsões (SAP) (TUCCI, 2006b).

Os SAPs monitoram os eventos críticos e trazem o planejamento de ações de isolamento e retirada de pessoas e de bens e adoção de medidas de desvios de tráfego antes da ocorrência de inundações (CANHOLI, 2014). Também atuam na prevenção, com a educação, treinamentos, mapas de alerta, planejamento de locais para abrigar as pessoas flageladas etc. (TUCCI, 2006b).

O cálculo dos níveis de enchentes e inundações a curto prazo pode ser realizado mediante: previsão da precipitação; conhecida a precipitação; vazão de montante; ou a combinação entre precipitação conhecida e vazão de montante (TUCCI, 2006b).

As metodologias baseadas na previsão da precipitação que cairá sobre a bacia utilizam-se de equipamentos como radares e sensoriamento remoto para coletar os dados e então pode-se estimar a vazão e o nível do rio por simulações que transformam precipitação em vazão com até 7 ou 10 dias de antecedência (TUCCI, 2006b). Em complementação às previsões de chuva, quando dadas de forma determinística, tem-se utilizado de sistemas de previsão meteorológica por conjunto (EPS - *Ensemble Prediction Systems*), para a geração de possíveis estados futuros da atmosfera e assim servir de informação complementar em relação às incertezas e deficiências do estado inicial e dos modelos de previsão do tempo, utilizado para previsões de até 72 horas de antecedência ao evento de precipitação (SIQUEIRA, 2015).

No segundo cenário, o mesmo prognóstico pode ser realizado por dados de uma precipitação ocorrida conforme coletados e transmitidos por uma rede telemétrica. Neste caso, a antecedência será menor até o fenômeno de inundação (TUCCI, 2006b).

A previsão em tempo real fundamentada na vazão a montante da seção de interesse, despreza a contribuição da bacia entre as seções, sendo utilizada quando o volume da bacia intermediária é pequeno em relação ao hidrograma de montante. Nas situações em que a bacia entre as seções gera contribuição significativa, é então combinada com a metodologia a curto prazo da conhecida precipitação. Esta é a que apresenta menor tempo de antecedência (TUCCI, 2006b).

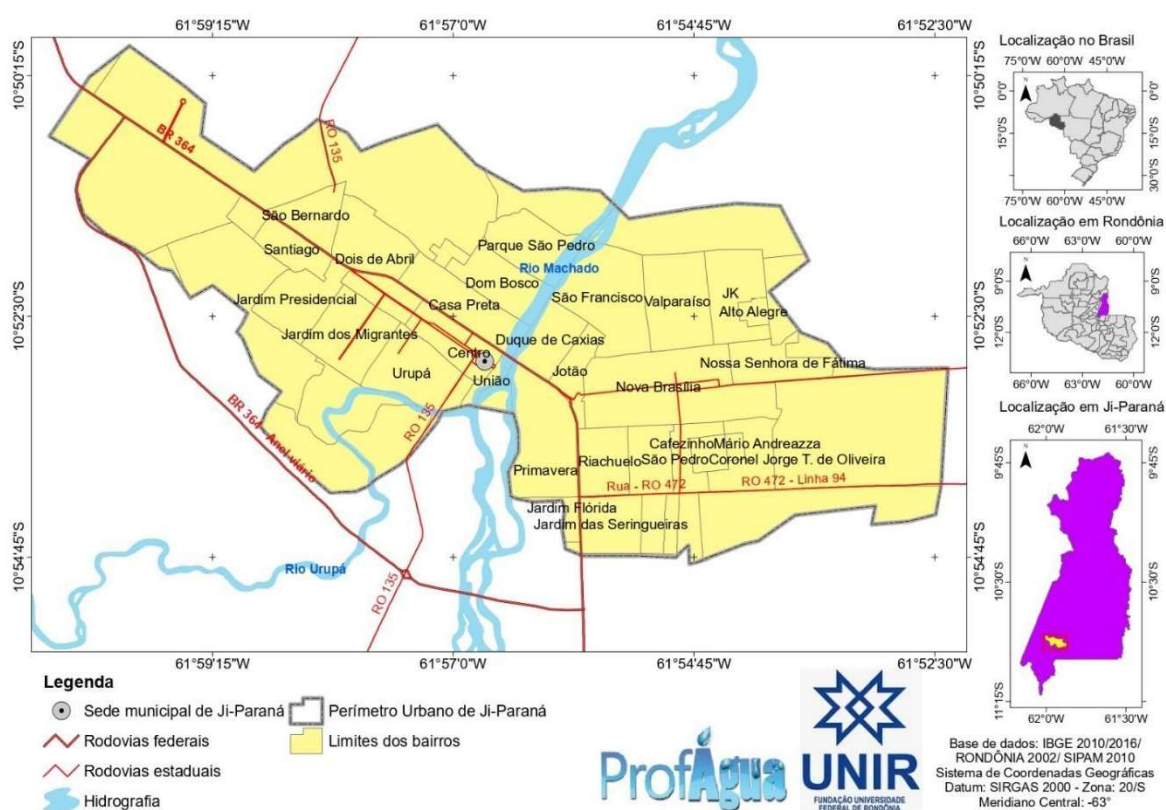
Portanto, a previsão de cheias é um instrumento valioso para as áreas que são afetadas por fenômenos de inundações, ao oferecer os alertas necessários para conviver com os eventos sem grandes perdas.

### 3 MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 Área de Estudo

A área de estudo é a cidade de Ji-Paraná, localizada na porção leste do estado de Rondônia (Figura 6), dentro do quadrante 10°56'00'' e 10°48'00'' latitude Sul e 61°52'00'' e 62°02'30'' longitude Oeste, apresentando a área total do território municipal igual a 6.895,92 km<sup>2</sup>, e localizada em uma das regiões com maiores taxas de desmatamento na Amazônia (KRUSCHE et al., 2005; IBGE, 2020).

**Figura 6** – Localização da área urbana do município de Ji-Paraná-RO.

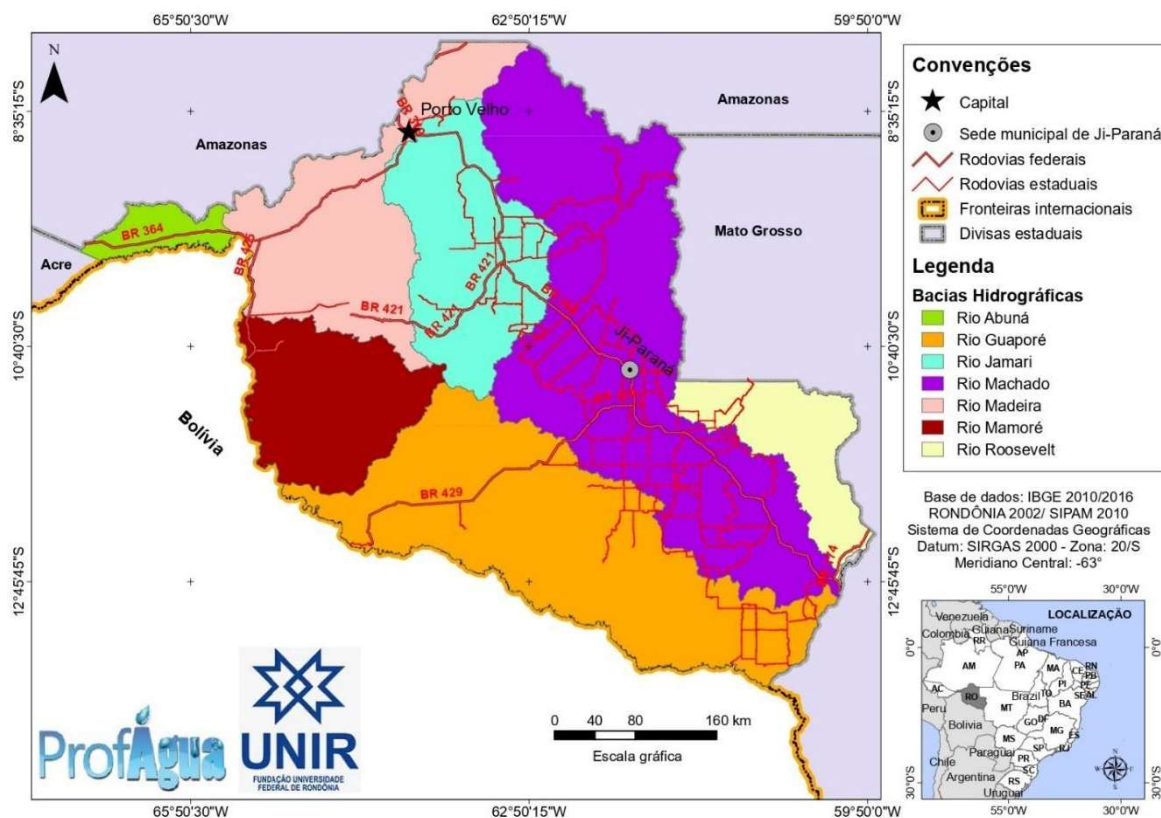


Fonte: Organizado por Luiz Felipe Pereira Ulchoa Almeida (2020).

A bacia hidrográfica do principal curso d'água, o rio Ji-Paraná (ou Machado), abrange 69.910km<sup>2</sup> (Figura 6), apresentando-se como umas das 49 Unidades de Planejamento Hídricos (UPH)

afluentes pela margem direita do rio Amazonas (ANA, 2013), estando dentre as sete principais bacias do Estado de Rondônia (Figura 7).

**Figura 7** – Bacias hidrográficas do Estado de Rondônia.



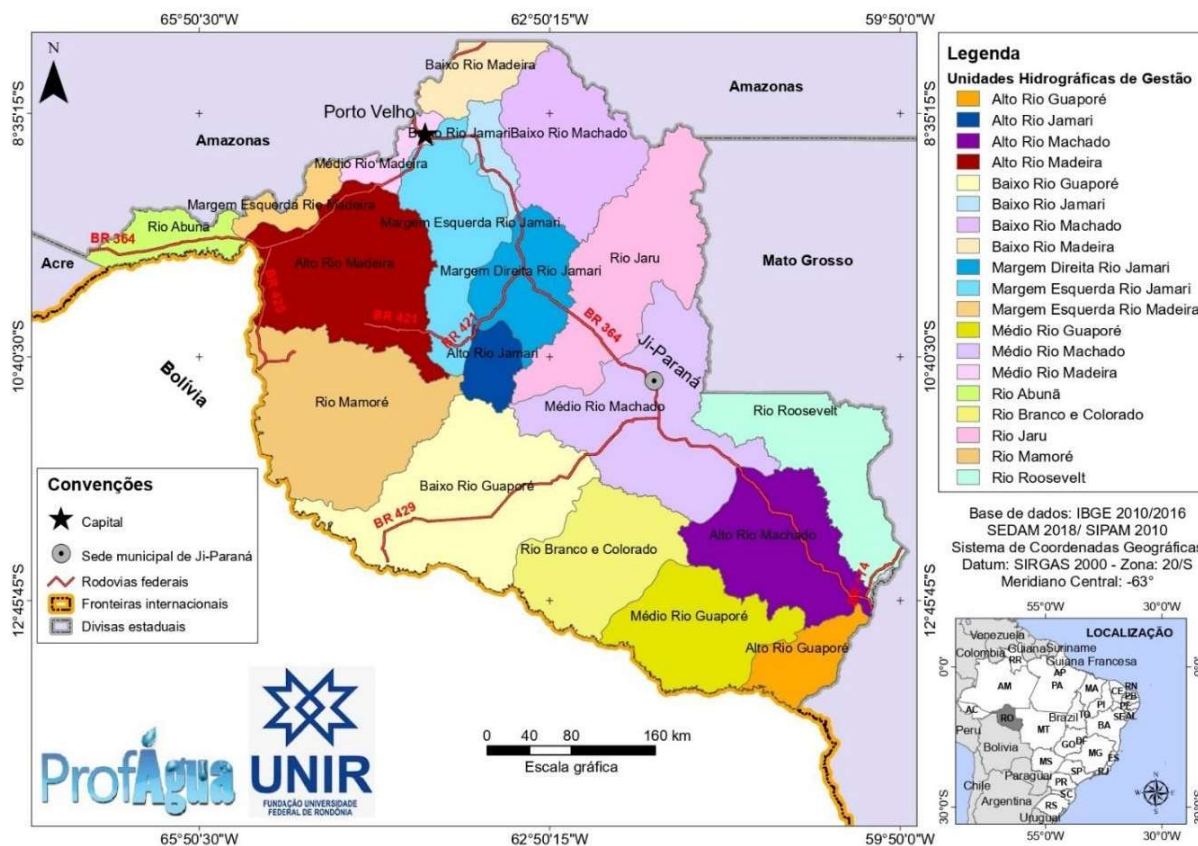
Fonte: Organizado por Luiz Felipe Pereira Ulchoa Almeida (2020).

A área da bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná, compreende total ou parcialmente 39 municípios localizados no estado de Rondônia, e três municípios no estado do Amazonas e três municípios no estado do Mato Grosso, totalizando 45 cidades. Da área total, 22,8% compreendem áreas de proteção (entre terras indígenas e unidades de conservação) (ANA, 2013).

O rio Machado, nasce na Chapada dos Parecis, no planalto de Vilhena-RO, com a nascente no Igarapé Piracolina, nas coordenadas geográficas 12° 52' 52.53" S e 60° 6' 0.31" O, e deságua no rio Madeira, no município de Porto Velho-RO (COMPDEC, 2018a). Em virtude de sua extensão e diversidade, a sua bacia no estado de Rondônia foi subdividida em quatro Unidades

Hidrográficas de Gestão (UHG) por meio do Decreto Estadual nº 10.114, de 20 de setembro de 2002, conforme a Figura 8, sendo elas: Alto Rio Machado; Médio Rio Machado; Rio Jaru; e Baixo Rio Machado (RONDÔNIA, 2018).

**Figura 8** – Unidades hidrográficas de gestão do Estado de Rondônia.



Fonte: Organizado por Luiz Felipe Pereira Ulchoa Almeida (2020).

Devido à complexidade da problemática se fazem necessárias análises a nível de bacia hidrográfica, assim, em algumas etapas do estudo a área não se limitará a cidade de Ji-Paraná, e serão analisadas, complementarmente, as UHG Alto e Médio Machado, ou seja, as UHG que se encontram a montante do município.

O exutório delimitado para a análise ocorre no deságue do rio Jaru no rio Machado, no limite do município de Ji-Paraná-RO, localizado nas coordenadas geográficas 10° 4' 3.64" S e 61° 58' 23.01" O.

### 3.1.1 Geodiversidade

A geodiversidade engloba os elementos não-bióticos do meio natural, trazendo os atributos ambientais de uma determinada área. Muito se discute a respeito da influência de tais fatores sobre a disponibilidade hídrica superficial, pois afeta o escoamento e a infiltração da água no solo (PFALTZGRAFF; ADAMY, 2010). Desta forma, as principais particularidades das áreas de estudo são descritas neste item.

A bacia do Rio Machado, mais ao norte, ocorre sobre o grande compartimento geológico denominado Cráton do Amazonas (ANA, 2013). Recobrimdo este compartimento, ocorre na UHG Médio Machado, predominantemente, as formações superficiais Suíte Intrusiva Serra da Providência, Complexo Gnáissico-Migmatítico Jaru e Formação Pimenta Bueno (CPRM, 1999).

Mais ao Sul, a bacia do Rio Machado ocorre sobre o grande compartimento geológico denominado de Bacia dos Parecis (ANA, 2013). Esta é uma bacia hidrográfica intracratônica inserida em depressões tectônicas do embasamento cristalino do Escudo Sul-Americano somando 12.000 km<sup>2</sup> apenas no Estado de Rondônia, compreendendo principalmente a UHG Alto Rio Machado (RONDÔNIA, 2018).

Na UHG Alto Rio Machado predomina a formação superficial Fazenda da Casa Branca, Botucatu e Parecis (CPRM, 1999). As informações pedológicas, por exemplo, devem ser consideradas no planejamento do uso adequado do solo.

A bacia hidrográfica em estudo é caracterizada a montante pela presença do neossolo quartzarênico e o cambissolo flúvico, porém, predomina-se o argissolo vermelho-amarelo. Os argissolos ocorrem em diferentes conjunturas de relevo, sendo neles comum a presença de cascalhos, pedregosidade e, quando desenvolvidos em relevo montanhoso, rochosidade (SHINZATO; TEIXEIRA; MENDES, 2010).

Os argissolos vermelho-amarelo, mais especificadamente, apresentam baixa fertilidade natural, são profundos, com argila de atividade baixa, texturas média/argilosa e arenosa/média. Eventualmente, ocorre textura cascalhenta. São suscetíveis aos processos erosivos à medida que o relevo se torna mais movimentado e principalmente quando expostos ou sem cobertura vegetal,

o que exige aplicação de técnicas de controle desses processos (SHINZATO; TEIXEIRA; MENDES, 2010).

### 3.1.2 Clima

A nível estadual, o clima se apresenta com a média climatológica da temperatura do ar durante o mês mais frio superior a 18 °C (megatérmico) (RONDÔNIA, 2009).

Pela classificação de Köppen, o clima no Estado é predominantemente do tipo Aw - Clima Tropical de Savana (RONDÔNIA, 2009). O volume médio anual de chuva em Rondônia varia de 1.300 a 2.600 mm ano<sup>-1</sup>. Há sazonalidade definida no regime pluviométrico no estado, com meses mais chuvosos de dezembro a fevereiro, responsáveis por aproximadamente 45% do total de chuva anual, e mais secos de junho a agosto (RODRIGUES DA FRANCA, 2015) com valores inferiores a 50 mm mês<sup>-1</sup>.

O município de Ji-Paraná está localizado no centro-leste do Estado de Rondônia, em uma das regiões com maiores índices pluviométricos no Brasil (INMET, 2020), apresentado média anual de aproximadamente 2.000 mm (WEBLER; AGUIAR; AGUIAR, 2007).

### 3.1.3 Ocupação urbana

No passado, as cidades se consolidavam próximas a rios de médio e grande porte, pela necessidade do transporte fluvial, de maneira análoga, foi como ocorreu inicialmente na região de Ji-Paraná. A cidade se desenvolveu sempre se inter-relacionando com as águas, ditando o ritmo de vida dos povos que a margeiam, por vezes atingidos por grandes inundações (TUCCI, 2006a; JI-PARANÁ, 2020; BUENO; OLIVEIRA; SILVA, 2017).

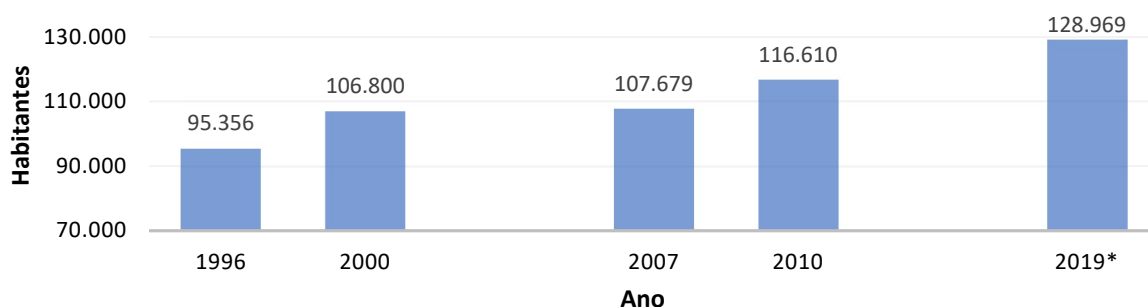
Sua ocupação urbana remota ao final do século XIX quando primeiros colonos nordestinos e missionários chegam à região, fazendo contatos com os nativos. O desenvolvimento inicial se deu pela atividade seringueira às margens do rio Machado e do rio Urupá, atraídos pelo alto preço da borracha amazônica no mercado internacional, até sua desvalorização em 1912 (JI-PARANÁ, 2020).



Posteriormente, na metade do século XX, o desenvolvimento teve um novo ciclo, proporcionado pela atividade garimpeira e pela abertura da estrada federal, atual rodovia BR-364, que proporcionou o acesso terrestre a região e consequentemente acentuou o fluxo migratório. Mais tarde, ocorreu a criação do município através da Lei nº. 6.448, de 11 de outubro de 1977, concedida pelo então Presidente Ernesto Geisel, desmembrando-se do município de Porto Velho (JI-PARANÁ, 2020; IBGE, 2020).

Nas últimas décadas, os projetos de colonização incentivados pelo governo federal, produziram uma expansão relevante de todo Estado de Rondônia, com consequente aumento no número de habitantes (CAMELO; MARÇAL; LIMA, 2012). Nesse sentido, avaliou-se o crescimento populacional da cidade, no período de 1996 a 2019, apresentado na Figura 9.

**Figura 9** – Crescimento populacional de Ji-Paraná no período de 1996 a 2019.



\* Valor estimado.

Fonte: IBGE (2020).

Estima-se que a população de Ji-Paraná tenha atingido o número de 128.969 habitantes em 2019, apresentando assim um crescimento de 20% a partir do ano de 2007, conforme dados do IBGE (2020).

#### 3.1.4 Discussão atual pertinente às inundações

Ao longo do desenvolvimento da cidade de Ji-Paraná, ocorreu ocupação em áreas muito próximas aos rios Machado e Urupá e aos corpos hídricos tributários, locais esses suscetíveis a inundações. Por esse motivo, Ji-Paraná tem um histórico de transtornos em relação às cheias dos rios, e no ano de 2014 é destacada no Atlas de Vulnerabilidade a Inundações pela Agência

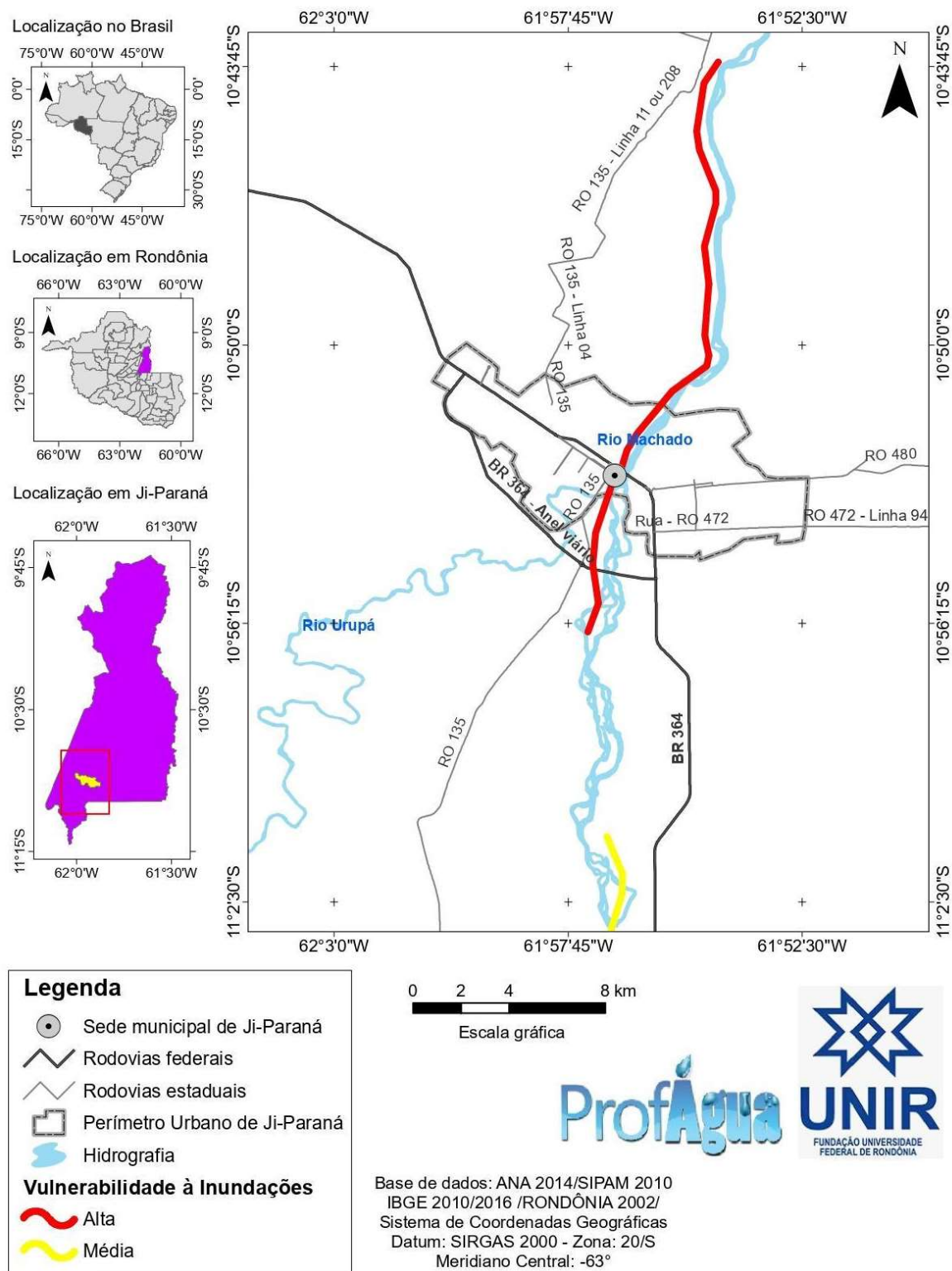
44

Nacional das Águas (ANA), ferramenta essa que identifica a ocorrência e os impactos das inundações graduais nos principais rios das bacias hidrográficas brasileiras (ANA, 2014). No Atlas, o trecho do Rio Machado correspondente à área urbana de Ji-Paraná, encontra-se classificado como de “alta vulnerabilidade” (Figura 10).

Conforme os dados hidrológicos do SNIRH disponíveis no portal Hidroweb, no município de Ji-Paraná (RO) as grandes inundações de que se têm registros remontam ao ano de 1978, quando nível chegou a 11,04 m durante o mês de março. A posteriori foram registradas cotas máximas anuais superiores a 11,00 m em 12 outros eventos, nos anos de 1896, 1990, 1997, 2001, 2003, 2006, 2009, 2010, 2014, 2015, 2016 e 2019, causando enormes transtornos e prejuízos à população e à administração pública.

Os mapas retratados no atlas utilizam a escala de 1:1 milhão e apontam os trechos a partir da análise da recorrência dos eventos e do grau de impacto associado. Assim, os de alta vulnerabilidade são os rios que causam alto impacto ou médio impacto com alta frequência (ANA, 2014).

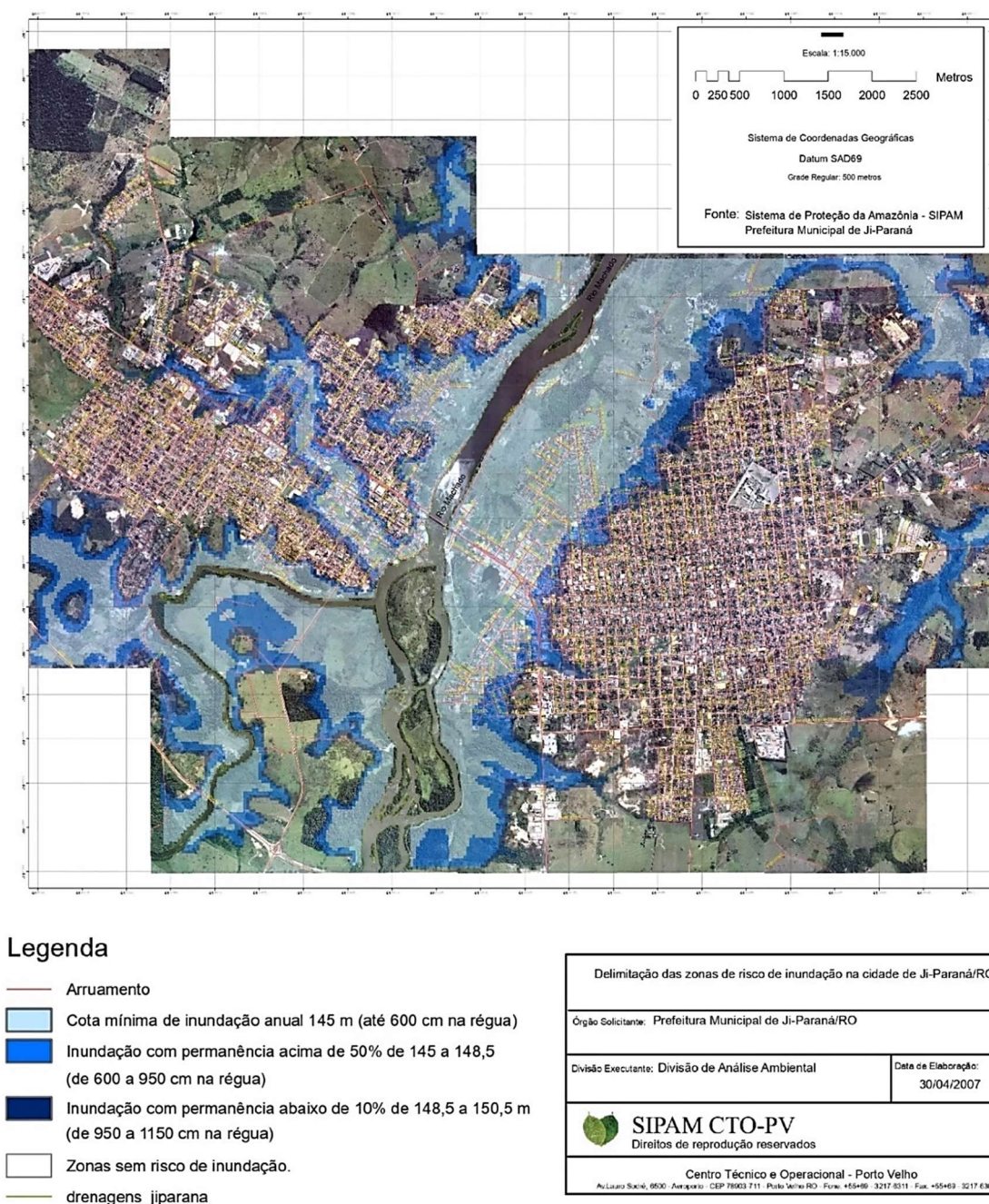
**Figura 10** – Rio Machado quanto a vulnerabilidade a inundações em Ji-Paraná-RO.



Fonte: Organizado por Luiz Felipe Pereira Ulchoa Almeida (2020).

Trabalhos têm sido realizados para delimitar as áreas de risco, como o realizado em 2007 pelo Sistema de Proteção a Amazônia (CENSIPAM) por meio de métodos estatísticos, apresentando as machas de inundações possíveis (Figura 11).

**Figura 11** – Delimitação das zonas de risco de inundação na cidade de Ji-Paraná-RO.

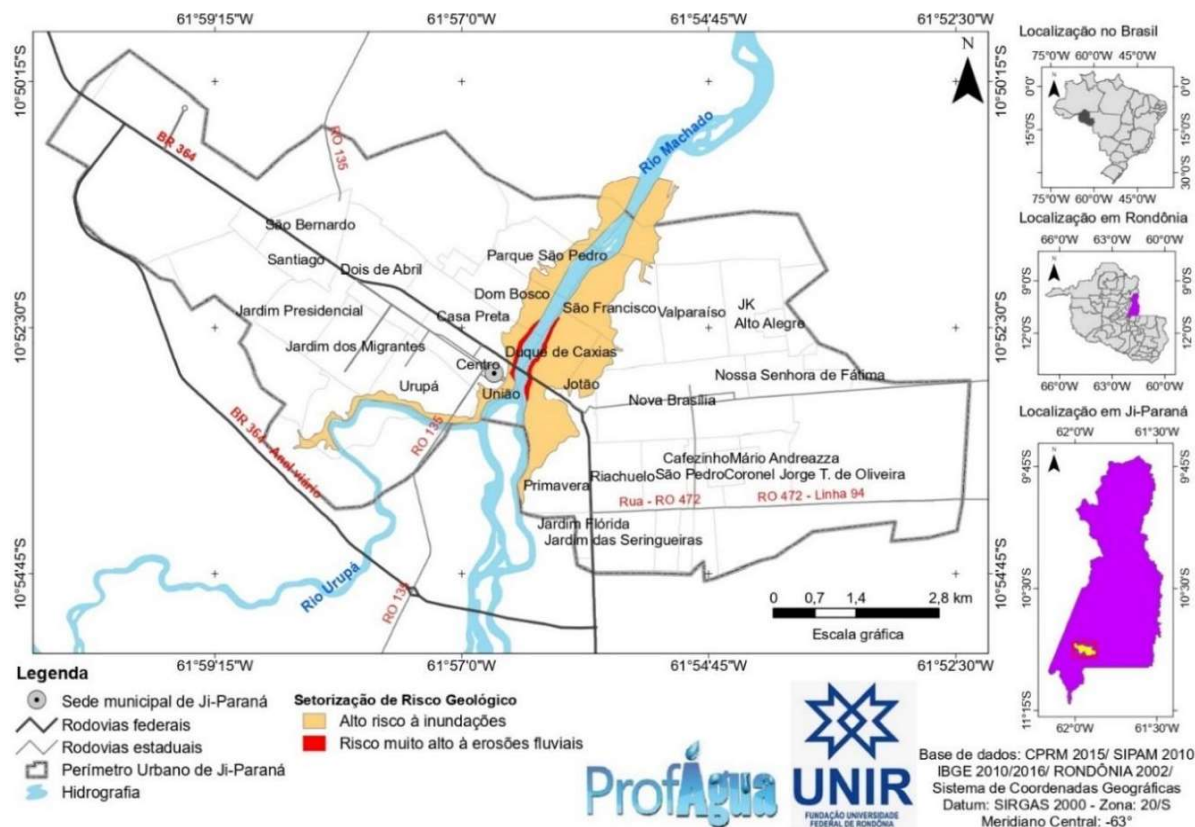


Fonte: Adaptado de CENSIPAM, 2007.



No ano de 2015, o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) também realizou trabalhos nessa temática, conforme Figura 12, onde foram interpoladas cotas de inundações registradas no ano de 2014, classificando as áreas em “risco alto a inundações” (mancha laranja) e áreas de “risco muito alto a erosões fluviais” (mancha vermelha) (CPRM, 2015).

**Figura 12** – Mapa de risco geológico a inundações da cidade de Ji-Paraná-RO.



Fonte: Organizado por Luiz Felipe Pereira Ulchoa Almeida (2020).

Após a delimitação da área de alto risco a inundações em Ji-Paraná-RO, o CPRM mencionou:

É sugerido que se realize um mapeamento mais detalhado das áreas de risco que devem ser contempladas no PMRR - Plano Municipal de Redução de Riscos - para a identificação de casa a casa dos casos mais graves para remoção definitiva e dos casos que necessitam de remoção temporária e obras de engenharia. É sugerido também que se realize um estudo hidrológico para determinação exata das cotas de cheia do rio Machado e de seus afluentes, com sugestões de obras de engenharia e melhorias nas seções hidráulicas ainda erroneamente subdimensionadas para os dias de precipitações anômalas (CPRM, 2015, p. 8).

Nesse sentido, a presente pesquisa apresenta o intuito de contribuir com a temática, por meio de novas análises e discussões.

### **3.2 Delineamento da Pesquisa**

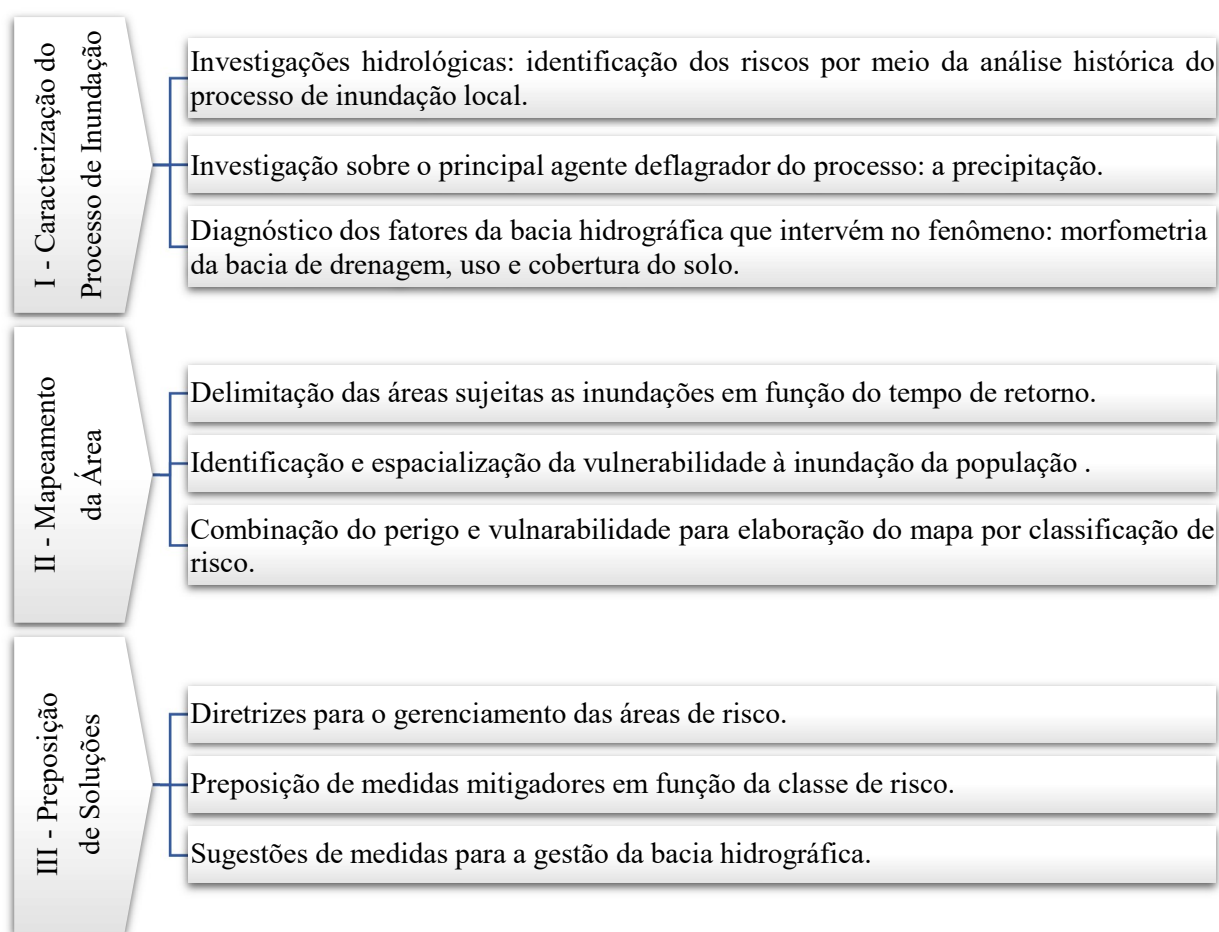
De acordo com os conceitos definidos por Pradanov e Freitas (2013), esta pesquisa é de natureza aplicada, visto que busca gerar produtos que contribuam para a compreensão da problemática das inundações. Seu desenvolvimento é caracterizado pelo método indutivo, pois correlacionará a dinâmica espacial e temporal das variáveis observadas que influenciam nos fenômenos de inundações, partindo da premissa de que diversos fatores contribuem para sua ocorrência.

Esta investigação tem ainda o objetivo de caráter explicativo, ou seja, busca-se compreender as causas e efeitos, por meio de um estudo de caso, a cidade de Ji-Paraná-RO, abordando o fenômeno de maneira qualitativa e principalmente quantitativa (PRADANOV; FREITAS, 2013).

Considerando a problemática a ser investigada, foram obtidas informações secundárias por levantamento bibliográfico e documental a respeito das características bacia hidrográfica de estudo e das ocorrências de fenômenos de inundações anteriores. Dados hidrológicos foram acessados por meio das plataformas do Sistema Nacional de Informações dos Recursos Hídricos (SNIRH).

Portanto, sabendo-se que o gerenciamento das áreas de risco divide-se em cinco etapas, conforme proposto Brasil e IPT (2007), este estudo contemplará como resultado parte deste processo, de acordo com a síntese da Figura 13.

**Figura 13** – Fluxograma metodológico desta pesquisa.



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Para o cumprimento dos processos metodológicos, a estruturação do trabalho, se deu em cinco tópicos. O primeiro (Introdução) discorre sobre a problemática investigada para a abertura da dissertação. O segundo (Revisão de Literatura) expõe a discussão da literatura relevante para a aproximação ao tema estudado, apresentando os principais conceitos adotados. O terceiro, o tópico presente (Material e Método), traz a caracterização da área de estudo e a definição variáveis contribuintes as inundações urbanas, bem como, os procedimentos utilizados para analisá-las.

Para a elaboração do tópico quatro (Resultados e Discussões), foram explorados e discutidos os dados para traçar um diagnóstico da área de estudo, espacializando os resultados em mapas por

meio de geoprocessamento, em adaptação da metodologia de classificação das áreas de risco proposta o Ministério das Cidades em conjunto com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) em 2007, a fim de determinar, dentre as áreas inundáveis, quais apresentam maior urgência de ações de gestão e qual o conjunto mais adequado de soluções.

No tópico quatro ainda são propostas diretrizes e providências a serem adotadas no planejamento da bacia hidrográfica, a fim de minimizar os danos ocasionados pelas inundações urbanas e garantir a gestão integrada dos recursos hídricos.

O tópico cinco (Considerações finais) é construído pela compilação da discussão construída neste estudo com a extração das principais contribuições.

Por fim, como Apêndice, é apresentado o produto: Guia “Estudos para a Mitigação do Efeito das Cheias do Rio Machado em Ji-Paraná/RO”, que consiste na geração de uma versão com os principais resultados e sugestões da presente pesquisa, simplificada e diagramada, a ser disponibilizada à comunidade externa (gestores e população em geral).

### **3.2.1 Roteiro metodológico para análise e mapeamento das áreas de risco**

O início do estudo sobre as áreas de risco corresponde a uma análise do processo de inundação e seu potencial destrutivo, para determinar em quais dos três principais cenários se classifica:

- i. Cenário de risco de enchente e inundação de planícies fluviais (C1);
- ii. Cenário de risco de enchente e inundação com alta energia cinética atingindo ocupação ribeirinha (C2);
- iii. Cenário de risco de enchente e inundação com alta energia de escoamento e capacidade de transporte de material sólido (C3) (BRASIL; IPT, 2007).

O segundo passo consiste em uma pesquisa dirigida em busca de registros de ocorrências de cheias e de dados de fontes referenciadas sobre a bacia hidrográfica e seus principais processos que serão manipulados com o propósito de caracterizar a bacia e identificar os riscos.



O município de Ji-Paraná, área de estudo, foi dividido em 160 setores censitários, a menor unidade territorial utilizada pelo IBGE como a adequada para realização de suas pesquisas. Nesse sentido, esses setores foram utilizados para coleta e espacialização das informações de vulnerabilidade, como já utilizado por Hora e Gomes (2009), Goerl, Kobiyama e Pellerin (2012), Corsi, Azevedo e Gramani (2012) e Wachholz et al. (2020).

As inundações têm as chuvas como agente desencadeador, porém podem apresentar magnitudes distintas. Aquelas inundações que atingem maior raio de alcance apresentam menor tempo de retorno em termos estatísticos, nesse sentido, as ocupações humanas que ao considerar o alcance do processo, apresentam grande possibilidade de impacto, com tempo de recorrência menor ou igual a 30 anos, foram classificadas com alta periculosidade (P1), caso contrário, com baixa periculosidade (P2) (BRASIL; IPT, 2007).

A periculosidade foi determinada com o auxílio de sistemas de informações geográficas por meio de imagens de satélites definindo a possibilidade de ocorrência das inundações de cada setor censitário com base no Modelo Digital do Terreno concatenado com o nível de inundação do rio determinado por meio de estudos estatísticos de longo prazo.

Em complementação a determinação do perigo é necessário verificar as condições sociais e econômicas para embasar a mensuração da vulnerabilidade à incidentes em alta (V1) ou baixa vulnerabilidade (V2). Para tal, foram investigadas as características da população do território de Ji-Paraná-RO, tais como apresentadas no Quadro 5.

**Quadro 5** – Descrição dos indicadores socioeconômicos adotados para mensurar a vulnerabilidade à desastres naturais.

Indicador	Descrição	Classes
A	Densidade Populacional	A1: Quando a densidade populacional é maior que 3600 hab./km². A2: Quando a densidade populacional é de 0 a 3600 hab./km².
B	Informação sobre o rendimento.	B1: Quando se predomina no setor censitário domicílios com rendimento de 0 até 1/2 salário mínimo per capita. B2: Quando se predomina domicílios com rendimento entre 1/2 e 1 salário mínimo per capita. B3: Quando se predomina domicílios com rendimento superior a 1 salário mínimo per capita.
C	Informação sobre analfabetismo .	C1: Quando pessoas alfabetizadas maiores que 15 anos representam de 0 a 60% dos moradores do setor censitário. C2: Quando pessoas alfabetizadas maiores que 15 anos representam mais de 40% dos moradores.
D	Informação sobre pessoas dependentes.	D1: Quando o nº de pessoas menores de 12 anos e maiores de 65 anos é maior ou igual a 30% dos moradores de setor censitário. D2: Quando o nº de pessoas dependentes é menor que 30%.

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Obteve-se os dados socioeconômicos por meio da base de informações do censo demográfico de 2010, o mais recente estudo realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com dados para cada um dos setores censitários do município, em adaptação ao proposto por Brasil e IPT (2007) e Goerl, Kobiyama e Pellerin (2012).

A designação das variáveis foi ponderada a partir dos parâmetros de criticidade e capacidade de suporte frente à ocorrência de um desastre natural. A combinação dos indicadores se deu conforme apresentado no Quadro 6.

**Quadro 6** – Correlação dos indicadores de vulnerabilidade.

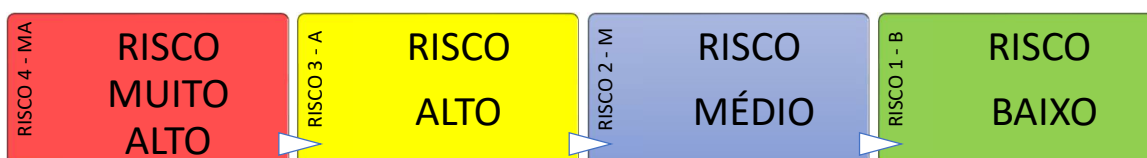
	Rendimento per capita de 0 a ½ salário mínimo (B1)	Rendimento per capita de ½ a 1 salário mínimo (B2)	Rendimento acima de 1 salário mínimo (B3)
A1 x C1 x D1	V1	V1	V2
A1 x C1 x D2	V1	V1	V2
A1 x C2 x D1	V1	V1	V2
A1 x C2 x D2	V1	V2	V2
A2 x C1 x D1	V1	V1	V2
A2 x C1 x D2	V1	V2	V2
A2 x C2 x D1	V1	V2	V2
A2 x C2 x D2	V1	V2	V2

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Nesta perspectiva, quanto maior a densidade populacional (A), menor o poder aquisitivo (B), menor o grau de educação (C) e maior o número de pessoas dependentes (D), maior será a vulnerabilidade (V).

Com a compilação das informações é possível a identificação e delimitação espacial das áreas de risco em quatro níveis distintos, de acordo com Figura 14.

**Figura 14** – Níveis das classes de risco.



Fonte: Adaptado de Brasil e IPT (2007).

Os critérios adotados para a classificação dos níveis consideram o arranjo entre os cenários hidrológicos, a vulnerabilidade dos moradores e a periculosidade do processo segundo seu alcance, conforme explicita o Quadro 7.

**Quadro 7** – Graus de risco segundo arranjo entre os cenários hidrológicos, vulnerabilidade das residências e a periculosidade do fenômeno.

	<b>P1</b>		<b>P2</b>	
<b>C1 x V1</b>	Médio	Risco 2	Baixo	Risco 1
<b>C1 x V2</b>	Baixo	Risco 1	Baixo	Risco 1
<b>C2 x V1</b>	Alto	Risco 3	Médio	Risco 2
<b>C2 x V2</b>	Médio	Risco 2	Baixo	Risco 1
<b>C3 x V1</b>	Muito Alto	Risco 4	Alto	Risco 3
<b>C3 x V2</b>	Alto	Risco 3	Médio	Risco 2

Fonte: Adaptado de Brasil e IPT (2007).

Portando, as áreas que apresentam o mais crítico cenário (C), com maior vulnerabilidade (V) e maior periculosidade (P), classificam-se como áreas de maior risco ao processo de inundação.

### 3.2.2 Técnicas de coleta de informações referenciadas

Os instrumentos e técnicas de coleta de informações e dados secundários ocorreram por meio de pesquisa bibliográfica e pesquisa documental junto ao Governo do Estado de Rondônia, por meio dos portais do Diário Oficial do Estado de Rondônia (DIOF/RO) e da Casa Civil do Estado, junto à Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC) do município de Ji-Paraná, junto ao Instituto Federal de Rondônia (IFRO), e ainda reportagens veiculadas na mídia, para correlacionar as informações dos impactos sofridos com os dados hidrológicos. Neste contexto, para análise documental e legal referida, utilizou-se dos documentos listados no Quadro 8.

**Quadro 8** – Referências documentais e legais utilizadas para análise dos eventos de inundações.

Documento	Ano	Fonte
Decreto nº 7782, de 03 de abril de 1997. Homologa a situação de emergência no município de Ji-Paraná, decretada pelo Prefeito Municipal.	1997	Casa Civil de Rondônia
Decreto nº 9415, de 26 de março de 2001. Homologa o decreto nº 5556/GAB/PMJ/2001, do prefeito municipal de Ji-Paraná que decretou situação de emergência de Ji-Paraná.	2001	Casa Civil de Rondônia
Decreto nº 18.608, de 13 de fevereiro de 2014. Declara situação de emergência nos municípios do estado de Rondônia, afetados por inundações, conforme especifica e dá outras providências.	2014	DIOF/RO
Análise iconográfica da história de Ji-Paraná	2013	IFRO
Plano de contingência	2018	COMPDEC (Ji-Paraná)
Tabelas de cadastro de famílias	2018	COMPDEC (Ji-Paraná)
Relatório de enchente	2019	COMPDEC (Ji-Paraná)

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A análise da referência iconográfica contribuiu para a percepção dos impactos dos eventos extremos em Ji-Paraná, mediante as fotografias da cidade durante os eventos. A compreensão das ações de poder público frente à problemática foi possível por meio dos decretos, do plano de contingência, do cadastro das famílias em áreas de risco e do relatório da enchente de 2019.

### 3.2.3 Obtenção e compilação de dados hidrológicos

Os dados hidrológicos foram obtidos mediante o acesso ao banco de dados públicos do Sistema Nacional de Informações dos Recursos Hídricos (SNIRH), da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), disponíveis em <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>> que oferece acesso a uma base de informações com níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos.

**Quadro 9** – Dados hidrometeorológicos utilizados nas análises de precipitação na bacia hidrográfica e nível do rio Machado.

<b>Estação</b>	<b>Descrição da Estação</b>	<b>Período</b>	<b>Falhas na Série Histórica</b>
Pluviométrica 01260006 Chupinguaia	Operada pela CPRM Gerenciada pela ANA Coordenadas: Latitude 12° 33' 38'' S Longitude 60° 54' 15'' W	2008 a 2018 (11 anos)	Janeiro de 2011; Agosto, Setembro e Outubro de 2014.
Pluviométrica 01161001 Pimenta Bueno	Operada pela CPRM Gerenciada pela ANA Coordenadas: Latitude 11° 41' 01'' S Longitude 61° 11' 32'' W	1980 a 1988; 1991 a 2012; 2014 a 2018. (36 anos)	Janeiro de 1986.
Pluviométrica 01061001 Ji-Paraná	Operada pela CPRM Gerenciada pela ANA Coordenadas: Latitude 10° 50' 58'' S Longitude 61° 55' 50'' W Altitude 156 m	1976 a 1983; 1986 a 1988; 1991 a 1995. (16 anos)	Janeiro de 1986; Março de 1995.
Pluviométrica Ji-Paraná (ULBRA)	Gerenciada pela SEDAM Coordenadas: Latitude 10° 51' 46'' S Longitude 61° 57' 24'' W Altitude 159 m	2008 (1 ano)	-
Pluviométrica 15560000 Ji-Paraná	Operada pela CPRM Gerenciada pela ANA Coordenadas: Latitude 10° 52' 24.96'' S Longitude 61° 56' 8.16'' W Altitude 129,6 m Área de drenagem: 32.800 km <sup>2</sup>	2009; 2010; 2012; 2014 a 2019. (9 anos)	-
Fluviométrica 15560000 Ji-Paraná		1978 a 1988; 1990; 1991; 1994 a 2019. (39 anos)	Março e maio de 1987; Julho a Outubro de 1990; Setembro a outubro de 1991; Abril e maio de 1994; Agosto de 2003.

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Os dados da régua fluviométrica foram coletados e disponibilizados de diferentes formas a cada ano, registrando mais de um dado por dia, em consequência disso foi utilizado as Cotas Médias Diárias referentes ao nível do rio Machado no município de Ji-Paraná-RO, calculadas neste

estudo a partir dados coletados às 7h e às 17h de cada dia, em conformidade com os dados disponibilizados no SNIRH.

A série histórica corresponde aos intervalos dos meses de janeiro de 1978 a dezembro de 2019. Nas análises estatísticas, foram excluídos os anos de 1989, 1992 e 1993 devido a falhas críticas, totalizando uma série histórica de 39 anos. Os demais anos incompletos (1987, 1990, 1991, 1994, 2003) apresentaram falhas nos meses de baixa pluviosidade, desta forma, as falhas pouco interferem neste estudo.

A compilação foi realizada por meio do Software EXCEL, com o propósito de organizar os dados e gerar informações mais coesas sobre as variáveis hidrológicas, principalmente precipitação e cota, consistindo nas seguintes etapas:

- i. Verificação da integridade dos dados, ponderando sobre dados dúbios;
- ii. Verificação da série histórica por meio da porcentagem de falhas;
- iii. Estruturação de planilhas resumo;
- iv. Cálculo dos valores das precipitações (mm) acumuladas por hora, dia, mês e/ou ano, bem como das intensidades (mm/h), cálculo dos valores médios diários das cotas do rio (cm) determinando também os valores de máximos e mínimos, o tempo de recorrência, desvio padrão, número de dias com chuva e precipitação máxima/mínima mensal;
- v. Elaboração de gráficos de colunas e linhas, dentre outros, para representação e análise das informações.

Para definição do número de dias com chuva, adotou-se a metodologia do INMET (2019) que define “dia sem chuva” (dia seco) o acumulado diário inferior a 1 mm.

### **3.2.4 Análises estatísticas dos dados hidrológicos**

Sabendo-se que as variáveis hidrológicas são aleatórias, buscou-se identificar características e tendências de sua distribuição por meio dos seguintes métodos:

- desvio padrão;

- coeficiente de variação;
- tempo de recorrência (ou retorno).

O desvio padrão ( $\sigma_x$ ) revela o comportamento da variável ( $x$ ) em torno da média ( $\underline{x}$ ). Se a dispersão é grande, o desvio padrão será elevado (GUIMARÃES, 2017c). Sendo " $n$ " o número de amostras, o desvio padrão é determinado por:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \underline{x})^2}{n - 1}} \quad (\text{Equação I})$$

Desta maneira, o desvio padrão possibilita análises sobre a média dos acumulados mensais de precipitação, indicando os meses com maiores desvios do valor esperado, retornando o resultado na unidade da variável (milímetros).

O coeficiente de variação, por sua vez, mede a variabilidade da amostra, de forma que, quanto maior for, mais dispersos estão os dados entorno da média. O parâmetro é adimensional definido pela divisão entre o desvio padrão ( $\sigma_x$ ) e a média da variável ( $\underline{x}$ ) em estudo, ou seja:

$$C_v = \frac{\sigma_x}{\underline{x}} 100\% \quad (\text{Equação II})$$

Complementando o desvio padrão, o coeficiente de variação tem por objetivo facilitar a comparação entre os diferentes experimentos, indicando, no caso dos acumulados mensais de precipitação, os meses mais heterogêneos da série histórica conforme for maior seu resultado.

Com a identificação dos episódios da variável no tempo, os dados foram analisados ainda para a elaboração da curva de permanência e para o cálculo dos períodos de retornos pertinentes. Para a determinação da curva de permanência da variável em estudo adotou-se o procedimento em concordância com Holtoz (1976).

Para cálculo do período de retorno ou tempo de recorrência (TR) em anos, tem-se "P" como a probabilidade de um evento ocorrer ou ser superado em um ano qualquer, logo:



$$TR = \frac{1}{P} \quad (\text{Equação III})$$

De forma aproximada, conforme os dados observados, probabilidade (P) é igual a frequência (F) (HOLTOZ, 1976). Porém, para grandes períodos de recorrência, no caso da análise da série histórica das cotas do rio Machado, a frequência é ajustada a uma lei probabilística teórica para um cálculo mais adequado (VILLELA; MATOS, 1975).

Portanto, para o caso do estudo dos valores extremos, Villela e Matos (1975) preconizam a utilização da distribuição de Tipo I de Fesher-Tippet, conhecida como distribuição de Gumbel, a qual é definida por:

$$P = 1 - e^{-e^{-y}} \quad (\text{Equação IV})$$

Neste caso, “P” é a probabilidade do valor extremo da série ser maior ou igual a “x”, onde “y” é a variável reduzida, a ser determinada, em conformidade com Guimarães (2017c), por:

$$y = \frac{x - \underline{x} + 0,45 \sigma_x}{0,7797 \sigma_x} \quad (\text{Equação V})$$

Sendo “ $\underline{x}$ ” a média dos valores máximos da série histórica do nível do rio Machado e “ $\sigma_x$ ” o desvio padrão da variável “x” extrema. Logo, obtem-se o tempo de retorno (TR) como:

$$TR = \frac{1}{P} = \frac{1}{1 - e^{-e^{-y}}} \quad (\text{Equação VI})$$

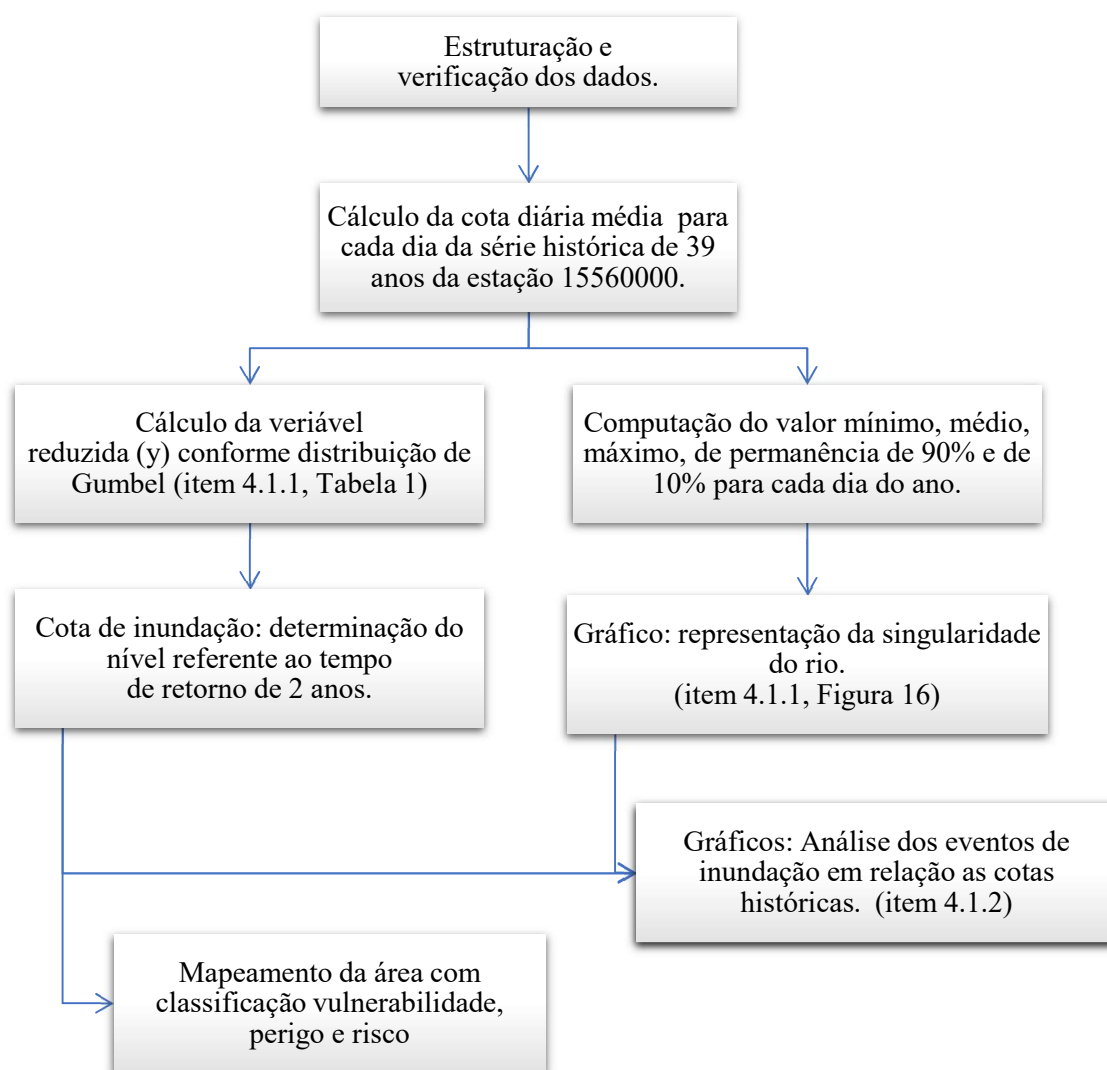
O tempo de recorrência dos eventos é fundamental para a definição do nível de inundação.

### 3.2.5 Definição da inundação para Ji-Paraná-RO

Conforme explicam Holtoz e Pinto (1976), a determinação do nível de inundação pode ocorrer pelo método estatístico, que relaciona a frequência de valores extremos.

Seguindo as definições propostas por Brasil e IPT, (2007), Studart (2006), Tucci (2006b) e Amaral e Ribeiro (2009), as inundações ficam caracterizadas como elevação no nível do rio que atinge a área de várzea delimitada pela cota de tempo de retorno superior a 2 anos, definida a partir de um estudo de longo prazo, que neste trabalho correspondeu a uma série histórica de 39 anos, conforme as etapas descritas na Figura 15.

**Figura 15** – Fluxograma da análise dos dados fluviométricos da estação 15560000.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Em complementação foram extraídos os dados mínimos, médios e máximos para cada dia do ano, bem como, determinados os anos de permanência de 90% e 10%, para caracterização do comportamento do rio.

Os cálculos estatísticos possibilitaram a definição do nível inundação para Ji-Paraná, os quais foram posteriormente espacializados em mapas.

### **3.2.6 Dados de sensoriamento remoto**

Para a delimita o do modelo digital de eleva o do terreno da área de estudo foi realizado por meio do Software ArcGis um mosaico de imagens de satélite do Shuttle Radas Topography Mission – SRTM, obtidas no sítio do serviço geológico dos Estados Unidos da América, com resolu o espacial de trinta metros. Foi necessário a utiliza o de um total de 19 imagens para abranger toda a área das UHGs Alto e Médio Rio Machado, com as coordenadas 10  S 60  W, 10  S 61  W, 10  S 62  W, 10  S 63  W, 11  S 60  W, 11  S 61  W, 11  S 62  W, 11  S 63  W, 11  S 64  W, 12  S 60  W, 12  S 61  W, 12  S 62  W, 12  S 63  W, 12  S 64  W, 13  S 60  W, 13  S 61  W, 13  S 62  W, 13  S 63  W, 14  S 61  W.

#### **3.2.6.1 Caracteriza o da bacia hidrográfica**

Por meio do modelo digital de eleva o do terreno foi possível analisar as características físicas, do qual foi extraída e vetorizada a bacia hidrográfica em estudo, composta pelas UHG Alto e Médio Rio Machado, delimitando os parâmetros base, como área e perímetro, bem como, o cálculo dos demais índices morfométricos da bacia, em conformidade com Carvalho, Mello e Silva (2007); Collischonn e Dornelles (2015); Guimarães (2017a); Pinto et al. (2016).

Ainda, aplicando técnicas de contraste, reamostragem e cor, obteve-se os dados relativos à altimetria e declividade da área que resultaram na carta hipsométrica da bacia.

#### **3.2.6.2 Uso e cobertura da terra**

A análise multitemporal do uso e cobertura da terra corresponde ao período de 1985 a 2019 (34 anos) mediante os dados disponíveis na plataforma Mapbiomas, dos quais foram utilizados os

arquivos referentes aos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2019, estabelecendo um intervalo de análise de 5 anos (exceto 1970, 1975, 1980 e 2020 por falta de dados).

Estes dados foram manipulados por meio do Software ArcGis para arquivos vetoriais possibilitando o cálculo da quantidade de área ocupada por cada classe em cada ano analisado, sendo elas: (1) formação florestal, (2) formação savânica, (3) formação plantada, (4) formação campestre, (5) pastagem, (6) infraestrutura urbana, (7) áreas não vegetadas, (8) mineração, (9) corpos hídricos, (10) lavoura de soja, (11) outras lavouras temporárias.

Este procedimento metodológico resultou no mapa de uso e cobertura da terra da UHGs Alto e Médio Rio Machado.

### **3.2.7 Elaboração de guia prático**

Visando facilitar o acesso aos dados deste estudo, bem como, torná-lo um instrumento na gestão da bacia hidrográfica, foi elaborado um guia prático denominado “Inundações urbanas em Ji-Paraná, RO” (Apêndice 1), cujo elemento central é o mapa de risco zoneado e classificado.

Sua elaboração se deu por meio da compilação das informações, apresentando os conceitos envolvidos para caracterizar e evidenciar a problemática juntamente com uma análise sobre o diagnóstico e propostas de resoluções para cada zona do mapa.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O desenvolvimento urbano se apresenta como um fenômeno complexo, que exige o devido planejamento, porém essa não é a realidade da maioria das cidades brasileiras. Como resultado, a população tende a sofrer com copiosas adversidades, como ocorre em Ji-Paraná, com as recorrentes inundações.

Este item apresenta a busca para identificar os fatores que influenciam neste processo. Portanto, as investigações e argumentações são ordenadas em quatro tópicos, inicialmente jogando luz sobre a problemática ao analisar os dados hidrometeorológicos e bacia de drenagem, e posteriormente correlacionando os resultados para a proposição de medidas eficientes para a gestão integrada dos recursos hídricos no processo de urbanização do município e da bacia hidrográfica.

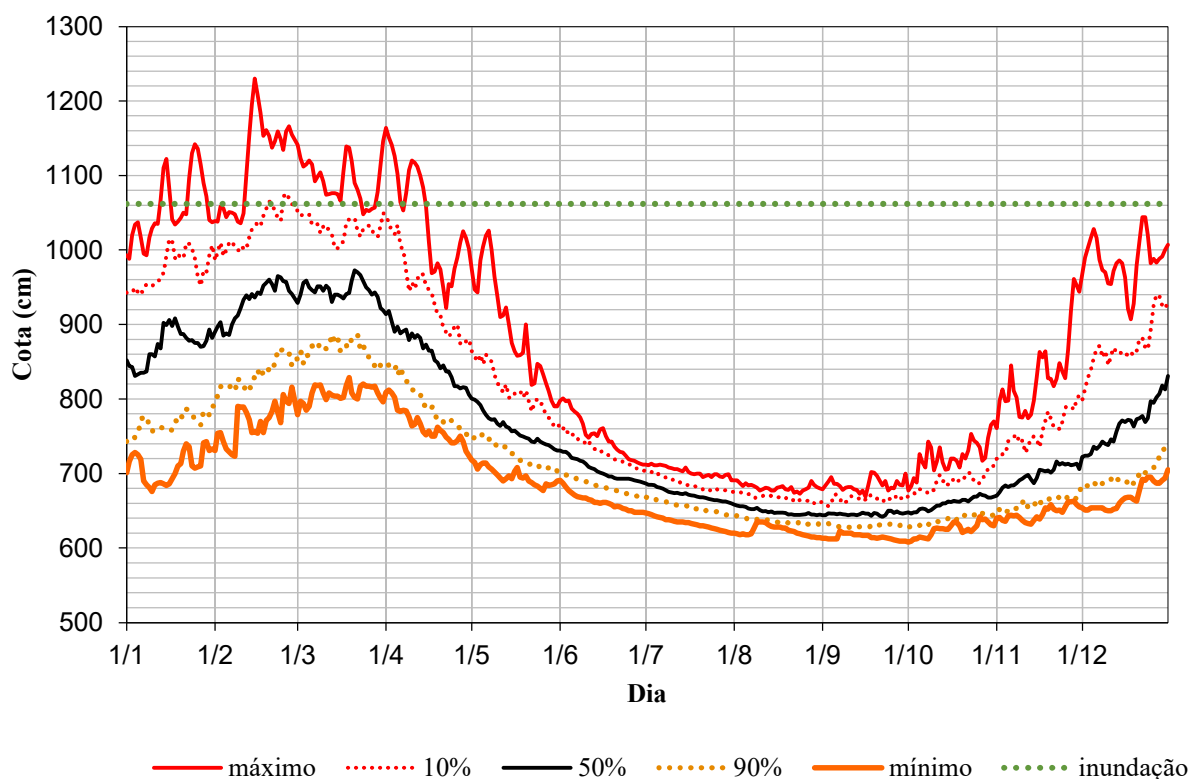
### **4.1 *Investigações Hidrometeorológicas***

#### **4.1.1 A singularidade do rio Machado**

Ao processar os dados do nível do rio Machado em Ji-Paraná-RO pela série histórica de 1978 a 2019 calculando os dados diários médios, para cada dia do ano foi obtida a cota máxima; a de permanência de 10%, que se caracteriza como evento intenso; a média (50%); a de permanência de 90% e a cota mínima, representadas na Figura 16 como resumo da singularidade do rio.

No gráfico é possível constatar que os picos históricos caracterizados como inundações, sempre se definiram pela ocorrência nos primeiros quatro meses do ano, entre janeiro e abril, das quais destaca-se o máximo de 1230 cm registrado em 15 de fevereiro de 1990.

**Figura 16** – Gráfico com cotas máximas, de permanência de 10%, média (50%), de permanência de 90%, e cotas mínimas para cada dia do ano do Rio Machado em Ji-Paraná-RO, conforme série histórica de 1978 a 2019 da estação 1556000.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Observa-se que a partir do mês de maio, as máximas históricas diminuem, registrando valores menores que 700 cm ao longo do mês de agosto.

O mínimo histórico ocorreu em 01 de outubro de 1998 com o nível em 608 cm. Com isso, o rio Machado apresenta uma amplitude entre o mínimo e o máximo de 6,22 metros.

Na Figura 16 observa-se também a definição da Cota de Inundação no valor de 1062 cm, o que corresponde ao tempo de recorrência superior a 2 anos, calculada por métodos estatísticos tal como descritos no item 3.2.4. Os resultados são apresentados na Tabela 1. Por consequência, a máxima histórica caracteriza-se como um evento de tempo de retorno igual a 59 anos.

**Tabela 1** – Tempo de recorrência, probabilidade e variável reduzida da distribuição de Gumbel para as respectivas cotas na régua fluviométrica do Rio Machado em Ji-Paraná/RO, estação 1556000.

<b>Recorrência (anos)</b>	<b>Probabilidade</b>	<b>Variável reduzida de Gumbel</b>	<b>Régua (cm)</b>
1	100,0%	-3,3189	893
1,34	74,6%	-0,3159	1030
1,50	66,7%	-0,0940	1040
<b>2</b>	<b>50,0%</b>	<b>0,3665</b>	<b>1061</b>
3	33,3%	0,9027	1086
4	25,0%	1,2459	1101
5	20,0%	1,4999	1113
10	10,0%	2,2504	1147
20	5,0%	2,9702	1180
30	3,3%	3,3843	1199
40	2,5%	3,6762	1212
50	2,0%	3,9019	1222
<b>59</b>	<b>1,7%</b>	<b>4,0760</b>	<b>1230</b>
100	1,0%	4,6001	1254

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Portanto, mediante a variação do nível ao longo da série, fica delimitado que a calha do rio (leito menor) corresponde até a cota de 1061 cm, tempo de recorrência de 2 anos, sendo este o limiar entre enchente e inundação para o município.

A qualificação anual da série é apresentada em resumo na Tabela 2, destacando as máximas que ultrapassaram a cota de inundação e anos excluídos devido as falhas.

**Tabela 2** – Cota mínima, média e máxima (com cotas de inundação em negrito) e proporção de dados disponíveis por ano, estação 1556000.

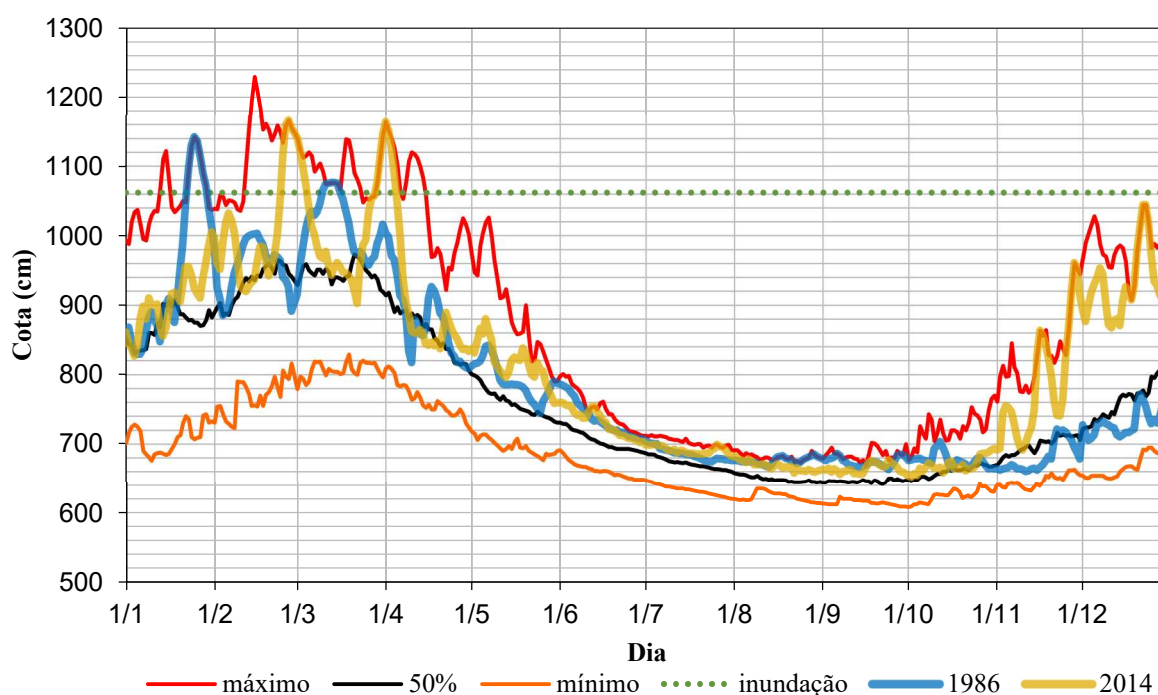
<b>Ano</b>	<b>Proporção de Dados Disponíveis</b>	<b>Cota Mínima (cm)</b>	<b>Cota Média (cm)</b>	<b>Cota Máxima (cm)</b>
1978	100%	644	789	<b>1104</b>
1979	100%	637	764	1048
1980	100%	628	732	1013
1981	100%	620	742	989
1982	100%	620	768	1040
1983	100%	612	725	980
1984	100%	632	750	971
1985	100%	643	773	1025
1986	100%	660	786	<b>1142</b>
1987	95%	622	736	<b>1071</b>
1988	100%	630	769	1048
<b>1989</b>	22%	-	-	<b>1099</b>
1990	66%	670	815	<b>1230</b>
1991	92%	653	791	<b>1087</b>
<b>1992</b>	68%	-	-	1043
<b>1993</b>	76%	-	-	<b>1067</b>
1994	98%	644	765	1033
1995	100%	635	772	1008
1996	100%	644	780	<b>1072</b>
1997	100%	632	764	<b>1142</b>
1998	100%	608	717	985
1999	100%	622	754	1021
2000	100%	631	753	1024
2001	100%	631	764	<b>1120</b>
2002	100%	630	743	1034
2003	97%	637	767	<b>1120</b>
2004	100%	630	761	<b>1073</b>
2005	100%	629	764	<b>1087</b>
2006	100%	635	791	<b>1108</b>
2007	100%	631	771	1054
2008	100%	633	771	1051
2009	100%	624	774	<b>1134</b>
2010	100%	629	773	<b>1140</b>
2011	100%	632	754	1044
2012	100%	626	772	<b>1066</b>
2013	100%	644	793	1058
2014	100%	652	813	<b>1166</b>
2015	100%	646	786	<b>1139</b>
2016	100%	621	742	<b>1096</b>
2017	100%	636	768	1040
2018	100%	645	786	1035
2019	100%	634	792	<b>1161</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2020).



Observa-se na Tabela 2 que os anos de 1986 e 2014, diferentemente de outros anos com eventos extremos, apresentaram-se com as cotas mínimas e médias anuais também excepcionais, indicando que ao longo de todo ano o nível do rio se apresentou acima da média, o que pode ser verificado na Figura 17.

**Figura 17** – Comportamento do nível do Rio Machado ao longo de 1986 e 2014 em comparação às cotas máximas, de permanência de 10%, média (50%), de permanência de 90%, e cotas mínimas para cada dia do ano da série histórica, estação 1556000.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Outra característica do rio Machado em Ji-Paraná/RO, é a possibilidade de em poucos dias elevar-se para níveis de inundação demonstrada pelo comportamento pouco linear da linha dos valores máximos, podendo ser comparada, por exemplo, com o comportamento mais estável da estação 15130000 do rio Mamoré, tal como apresentado por CPRM (2020) .

Devido a importância dos impactos que tais eventos ocasionam aos municípios de Ji-Paraná, cada fenômeno de inundação é discutido no próximo tópico.

#### 4.1.2 Resgate histórico das inundações em Ji-Paraná-RO

Traçar conexões com o passado, reunindo informações e agregando novas, eleva a consciência da gestão urbana, tornando-a mais técnica e assertiva. Com esse objetivo, neste item é descrito sobre os eventos de inundações ocorridos em Ji-Paraná-RO que se tem documentado.

Inicialmente, por meio dos documentos iconográficos de IFRO (2013), a mais longínqua explanação refere-se a um dos impactos sofridos entre 1975 e 1976. Observa-se na Figura 18 o rompimento da cabeceira da ponte sobre o Rio Machado devido à elevação das águas na, até então, Vila de Rondônia, atualmente, município de Ji-Paraná-RO.

**Figura 18** – Rompimento da Rodovia Federal BR-364 na ponte sobre o Rio Machado, área atual de Ji-Paraná-RO, entre os anos de 1975 e 1976.



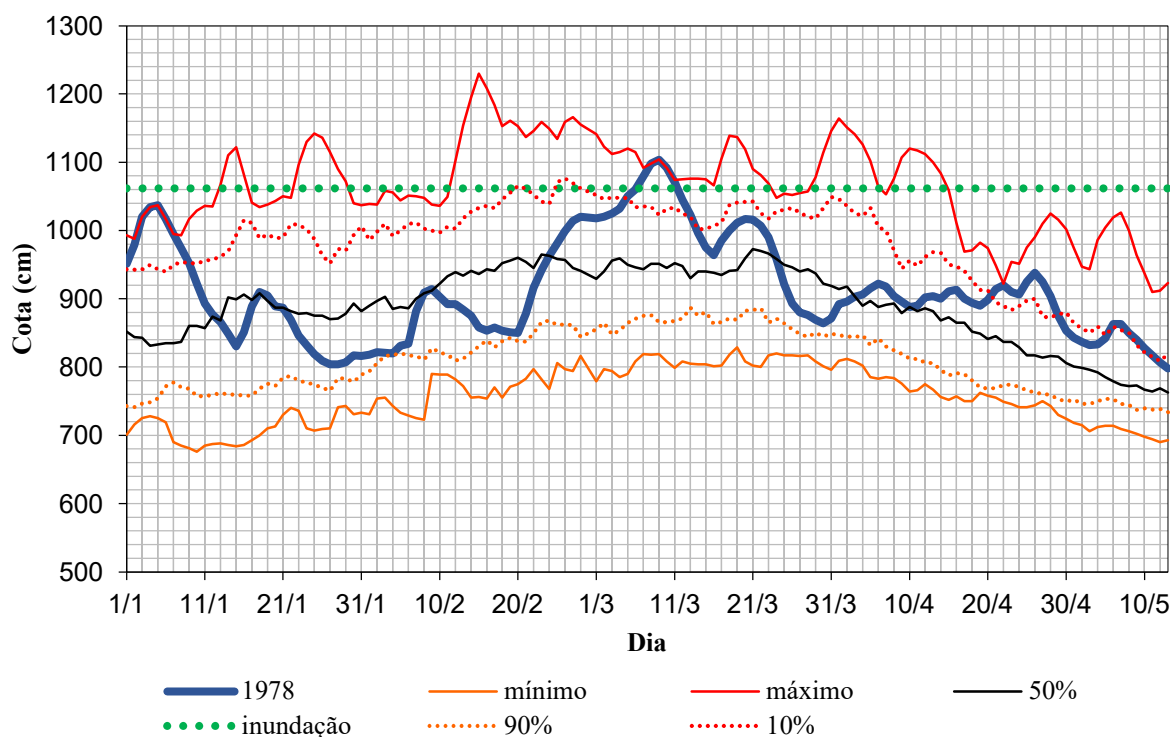
Fonte: IFRO, 2013.

Entretanto, não é possível confrontar com os dados hidrológicos, pois os dados oficiais estão disponíveis somente a partir da emancipação política da Vila de Rondônia para município.

Assim, a primeira inundação com registro dos níveis do rio Machado pela Agência Nacional de Águas remota o ano de 1978.

No dia 20 de fevereiro de 1978 o nível do rio Machado em Ji-Paraná encontrava-se na cota de 850 cm (1º dia) marcados na régua fluviométrica, a partir de então houve uma ascensão, perpassando pela cota de inundação no dia 06 de março (15º dia), até atingir a cota máxima do evento de 1104 cm no dia 09 de março (18º dia), caracterizada com o tempo de retorno de aproximadamente 4 anos. Após, há uma regressão gradativa até dia 16 de março (25º dia) para a cota de 964 cm. Na Figura 19 verifica-se o comportamento do nível do rio Machado em Ji-Paraná nesse período, e, em acréscimo, a ocorrência de um evento cheia no mês de janeiro.

**Figura 19** – Cotas ocorridas no ano de 1978 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

De 1978 até o ano de 1986, as duas maiores cotas registradas ocorreram quando o rio Machado atingiu 1048 cm no mês de março de 1979 e 1040 cm no mês de janeiro de 1982. Vale salientar, que em todos os anos nesse intervalo o Rio Machado superou a cota de 970 cm, sem ocorrência de inundações.

Em 1986, Ji-Paraná enfrentou uma grande elevação do nível do rio. Conforme evidenciado na Figura 20, a inundação causou transtornos graves.

**Figura 20** – Avenida Brasil, no 2º Distrito de Ji-Paraná-RO, inundada em 1986.

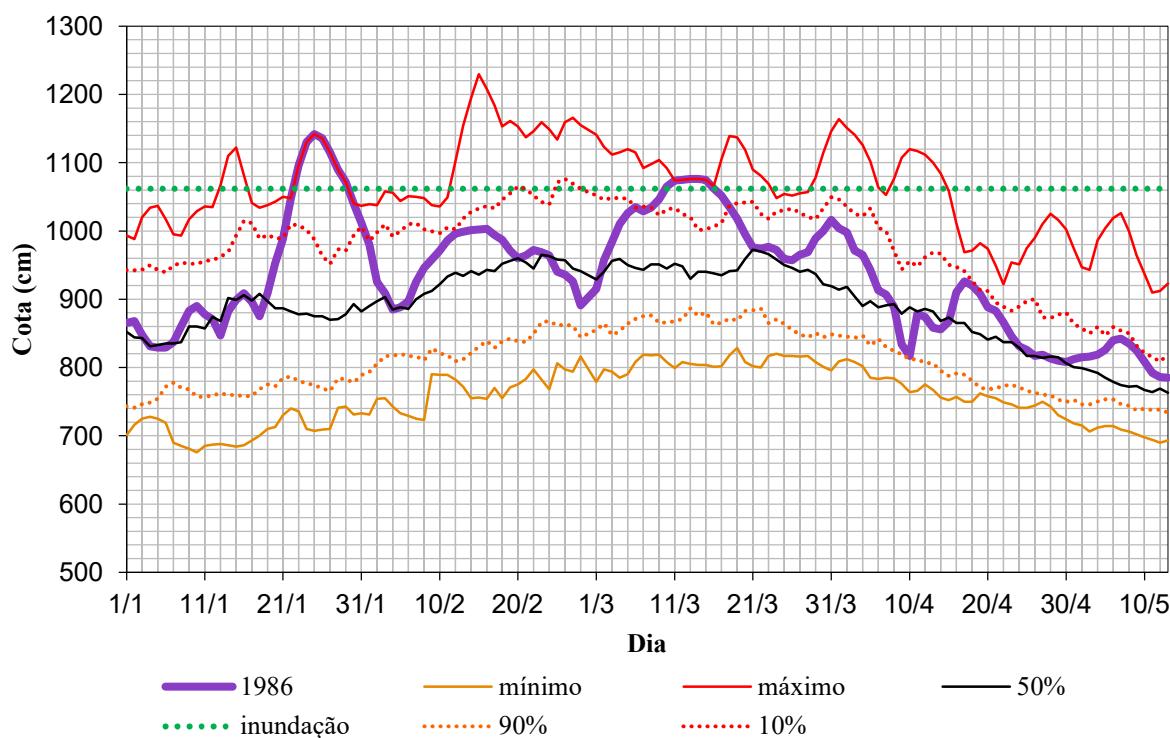


Fonte: IFRO, 2013.

O evento foi iniciado no dia 18 de janeiro (1º dia), com a cota em 875 cm, ultrapassando a cota de inundação no dia 22 de janeiro (5º dia), até chegar à cota histórica de 1142 cm registrada no dia 25 do mesmo mês (8º dia), que representa um tempo de retorno de 9 anos. Na análise desse evento na Figura 21, observa-se que em poucos dias o nível do rio se eleva para a cota de

inundação, e da mesma maneira retorna ao nível abaixo da inundação, o que ocorreu no dia 30 (13º dia), regressando até o nível de 888 cm em 05 de fevereiro (18º dia).

**Figura 21** – Cotas ocorridas no ano de 1986 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período.

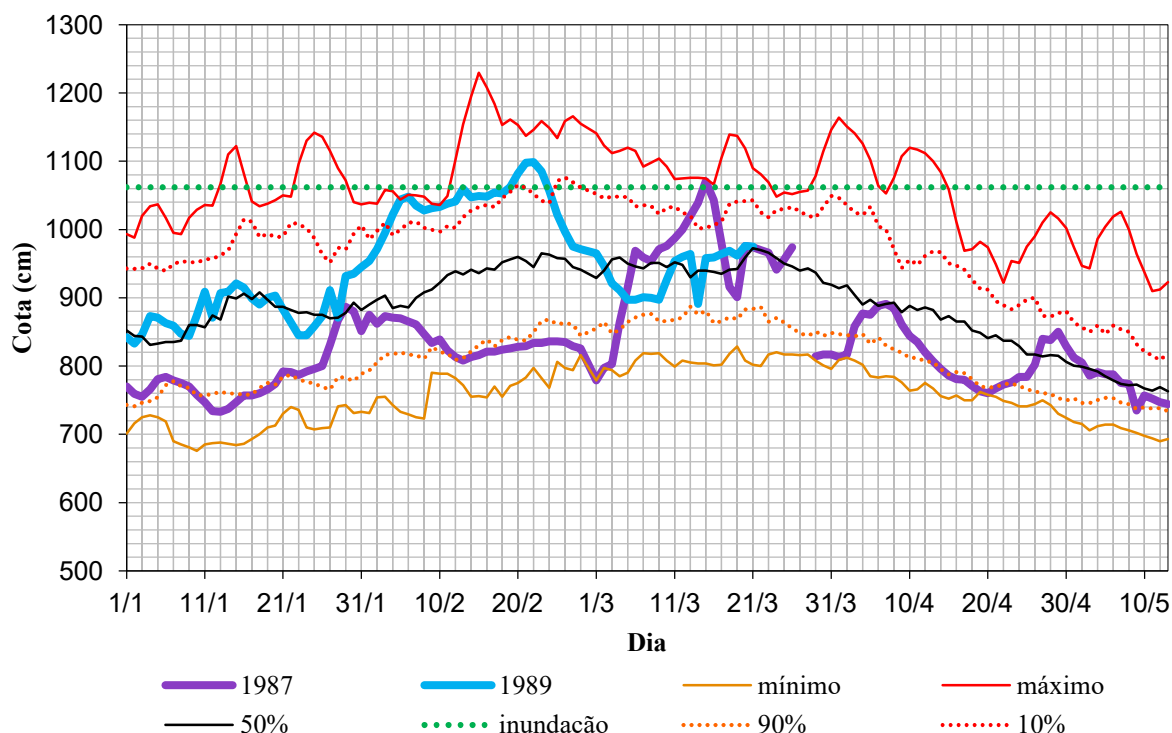


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Ainda em 1986, observa-se a ocorrência de outra inundação, de menores proporções, entre os dias 28 de fevereiro (1º dia) e 26 de março (27º dia), com pico registrado de 1076 cm no dia 13 de março (14º dia).

No ano de 1987, durante o período característico das cheias (Figura 22), o rio vinha demonstrando cotas abaixo da média, porém a partir do dia 1º de março o nível se elevou do nível 779 cm até a cota de inundação em 14 dias, chegando a marcar 1071 cm no dia 15 de março. Logo após, regrediu para a cota de 901 cm, registrada em 19 de março de 1987.

**Figura 22** – Cotas ocorridas nos anos de 1987 e 1989 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação as cotas da série histórica para o mesmo período.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Segundo IFRO (2013) em 1989 teria ocorrido uma inundação de grande magnitude, afetando áreas da cidade (Figura 23). Contudo, este ano apresenta uma grande falha nos dados hidrológicos a partir de março, impossibilitando uma investigação perfeita. Os dados disponíveis são observados na Figura 24, da qual destaca-se a inundação ocorrida no mês fevereiro em que o rio atingiu 1099 cm no dia 22, que pela série histórica é um evento de tempo de retorno de quase 4 anos.



**Figura 23** – Rua inundada no 2º distrito de Ji-Paraná-RO em 1989.



Fonte: IFRO, 2013.

No ano de 1990, o município sofreu com a inundação histórica durante o mês de fevereiro. No vídeo gravado durante o evento, divulgado pelo cinegrafista Gilberto César da Silva, é possível ver a dimensão dos impactos ocasionados: ruas, casas e comércios inundados; pessoas com água na cintura removendo móveis para protegê-los da água; cidadãos atravessando a pé a ponte inundada que divide o município de Ji-Paraná; pessoas nadando nas águas turvas em ruas urbanas (ENCHENTE, 1990).

Devido à baixa resolução do vídeo, fotografias catalogadas pelo Instituto Federal de Rondônia (IFRO) ilustram melhor o evento (Figura 24).

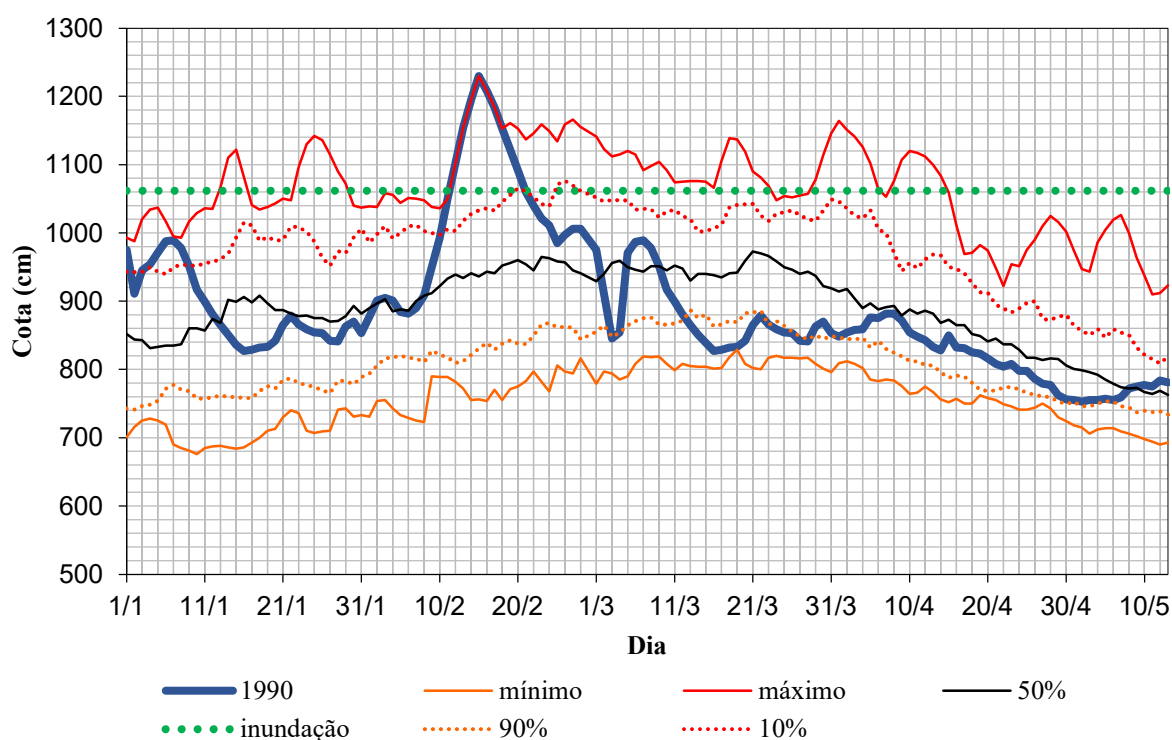
**Figura 24** – Avenida Transcontinental, no 2º Distrito de Ji-Paraná-RO, inundada em 1990.



Fonte: IFRO, 2013.

O comportamento do rio em 1990 pode ser visto na Figura 25.

**Figura 25** – Cotas ocorridas no ano de 1990 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

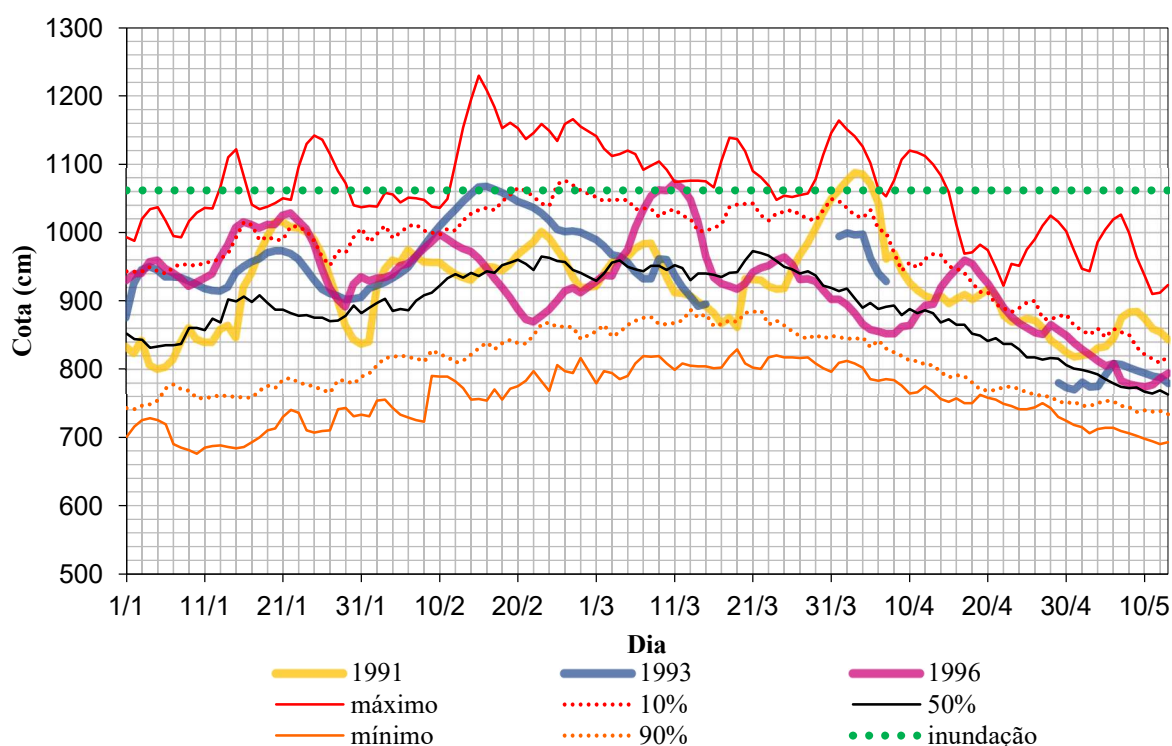


Observa-se que a partir do dia 05 de fevereiro (1º dia) com a cota média em 884 cm, há uma elevação que perpassa pela cota de inundação no dia 11 (7º dia) e atingi o pico de 1230 cm no dia 15 (10º dia), caracterizado com o tempo de retorno de 59 anos, o maior evento de inundação registrado. Após, retrocede até a cota de 985 cm no dia 25 de fevereiro (20º dia).

A Figura 26 traz cotas das inundações de menor magnitude ocorridas em 1991, 1993 e 1996. Durante o ano de 1991, destacado em amarelo, o nível se eleva gradativamente a partir do dia 24 de março (1º dia), atingindo o pico de 1087 cm em 03 de abril (11º dia).

No ano de 1993, a inundação diminuta apresentou o aumento de vazão a partir do dia 29 de janeiro (1º dia), até a máxima de 1067 cm no dia 16 de fevereiro (19º dia), destacada em azul.

**Figura 26** – Cotas ocorridas nos anos de 1991, 1993 e 1996 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período.



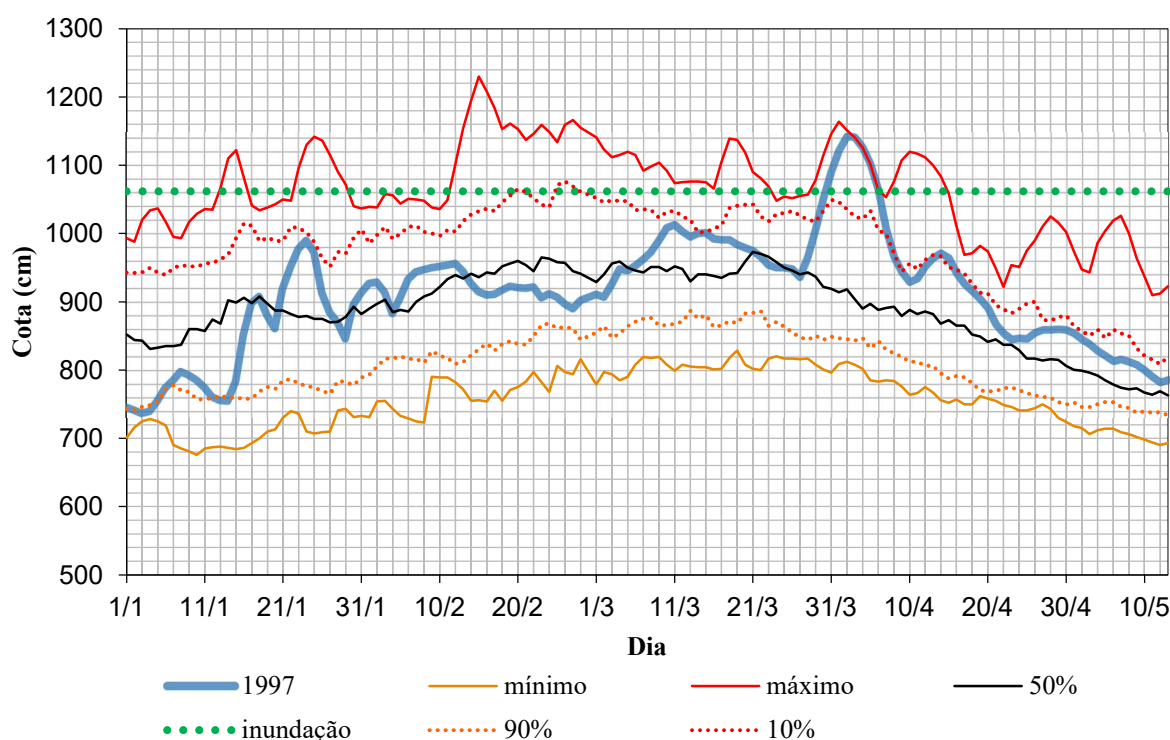
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No ano de 1996, destacado em rosa na Figura 26, o aumento da vazão inicia-se em 22 de fevereiro (1º dia) até o nível máximo de 1072 cm em 11 de março (18º dia). Nota-se que nos anos de 1991 e 1996 registraram eventos de cheias em janeiro.

Posteriormente, tem-se no registro do Governo do Estado de Rondônia, quando a Prefeitura Municipal de Ji-Paraná, por meio do Decreto nº 2767, de 03 de março de 1997, determina situação de emergência devido, segundo o documento, pelo alto índice pluviométrico que elevou o nível do Rio Machado, acarretando, prejuízos materiais ao comércio, à indústria, e sobretudo, aos munícipes (RONDÔNIA, 1997).

Nenhum documento iconográfico do evento foi encontrado, porém na data do decreto a cota média foi 926 cm (Figura 27), o que leva a questionar os motivos de ter acarretado prejuízos e ações do poder público. Na sequência, o rio chega a 1013 cm em 11 de março, retrocedendo para a cota de 936 cm no dia 27 de março, não se caracterizando como uma grande inundação.

**Figura 27** – Cotas históricas do Rio Machado em relação ao ano de 1997 em Ji-Paraná-RO.

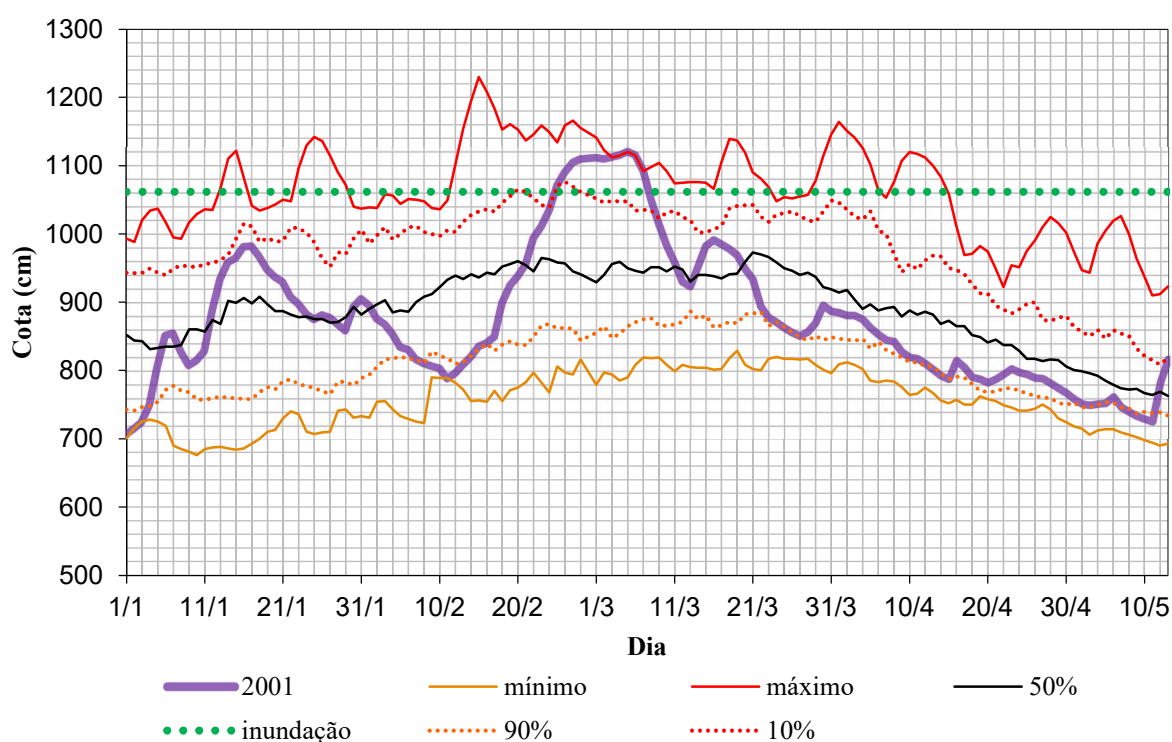


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Contudo, há um evento mais crítico em 1997 (Figura 27), com o início em 27 de março (1º dia), atingindo em 3 dias o estado de inundação (definido neste trabalho como 10,61 m), superando a enchente anterior ao registrar o pico de 1142 cm em 02 de abril (7º dia), cota com tempo de retorno de 9 anos. Na sequência o nível do rio regressou para 929 cm no dia 10 de abril (15º dia). Este evento destaca, novamente, como o Rio Machado pode apresentar a elevação do seu nível para um fenômeno de inundação em poucos dias.

No ano de 2001, uma elevação do nível do rio começa em 11 de fevereiro na cota 789 cm (1º dia), progredindo para a cota de inundação no dia 25 de fevereiro (15º dia), como demonstra a Figura 28. A máxima do evento é registrada no dia 05 de março (23º dia) com a régua em 1120 cm, TR de 6 anos. Dado início da diminuição da vazão, o nível perpassa pela cota de inundação no dia 8 (26º dia) seguindo para o nível de 851 cm registrado em 27 de março (45º dia). Este foi o evento que permaneceu mais tempo acima da cota de inundação (12 dias).

**Figura 28** – Cotas históricas do Rio Machado em relação ao ano de 2001 em Ji-Paraná-RO.



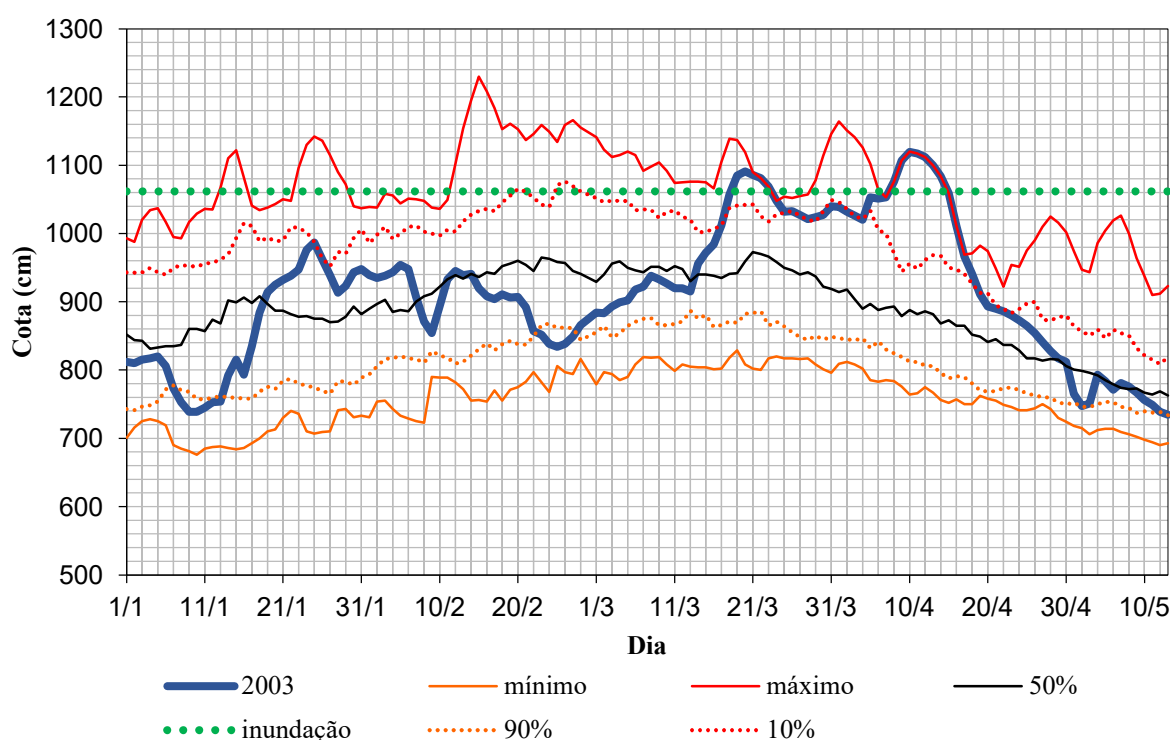
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Como resultado das inundações ocorridas a partir de fevereiro de 2001, 11 dos 32 bairros de Ji-Paraná foram atingidos, então o Governo do Estado de Rondônia homologa em 26 de março, o Decreto nº 5556/GAB/PMJP/2001 do Prefeito Municipal de Ji-Paraná que determinou situação de emergência devido à elevação dos rios Urupá e Machado (RONDÔNIA, 2001).

Observa-se que na homologação do decreto, o nível do rio á havia retornado para a cota de 856 cm, logo, administração pública tinha por objetivo favorecer ações de reparação dos impactos.

No ano de 2003, no primeiro quadrimestre do ano, o rio registrou a cota de 834 cm em 23 de fevereiro, uma cota extremamente mínima para o período. De acordo com a Figura 29, a partir dessa data, predominou-se a elevação crescente da vazão rio Machado.

**Figura 29** – Cotas ocorridas no ano de 2003 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação as cotas da série histórica para o mesmo período.

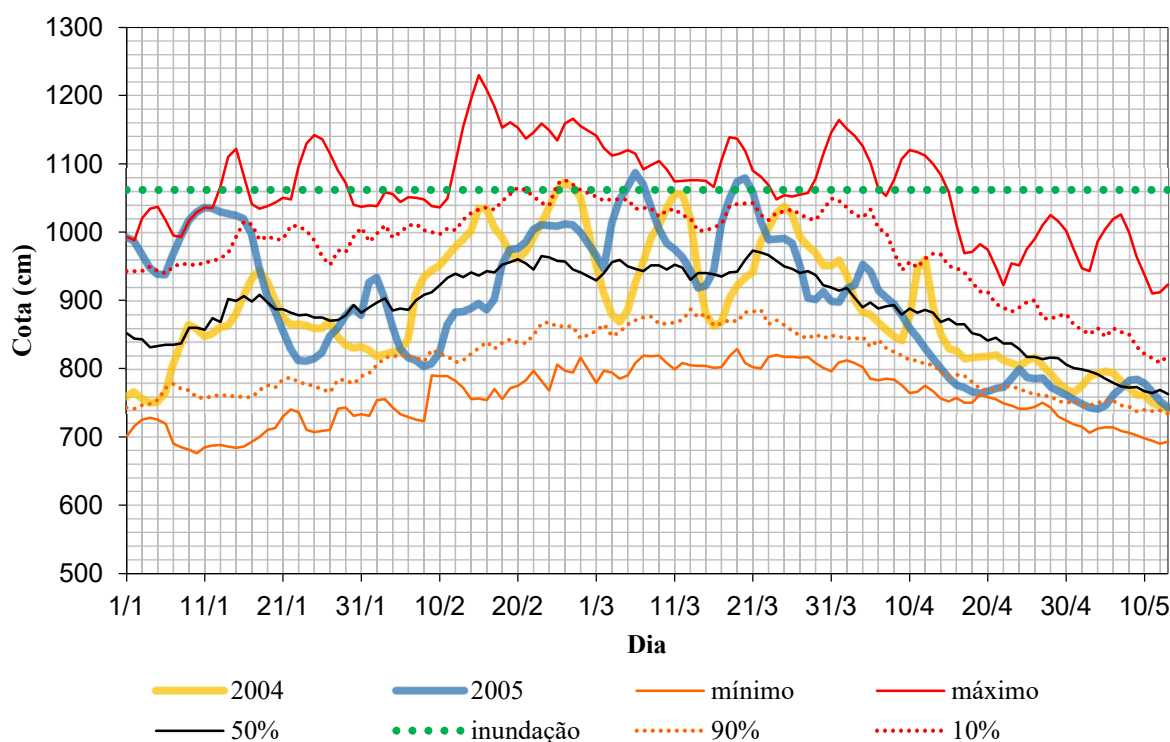


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em 2003 o rio atinge a cota de inundação em dois momentos, inicialmente entre 18 e 23 de março (6 dias) com o pico de 1091 cm no dia 20 de março, e posteriormente entre os dias 08 e 15 de abril (7 dias), com o pico de 1120 cm no dia 10 de abril, mantendo o nível elevado entre os eventos e retrocedendo para níveis fora de alerta na sequência.

A Figura 30 traz inundações menos intensas ocorridas nos anos seguintes, 2004 e 2005. Durante o mês de fevereiro de 2004, o nível se eleva gradativamente a partir do dia 20 (1º dia), atingindo o pico de 1073 cm no dia 26 (6º dia).

**Figura 30** – Cotas ocorridas nos anos de 2004 e 2005 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período.



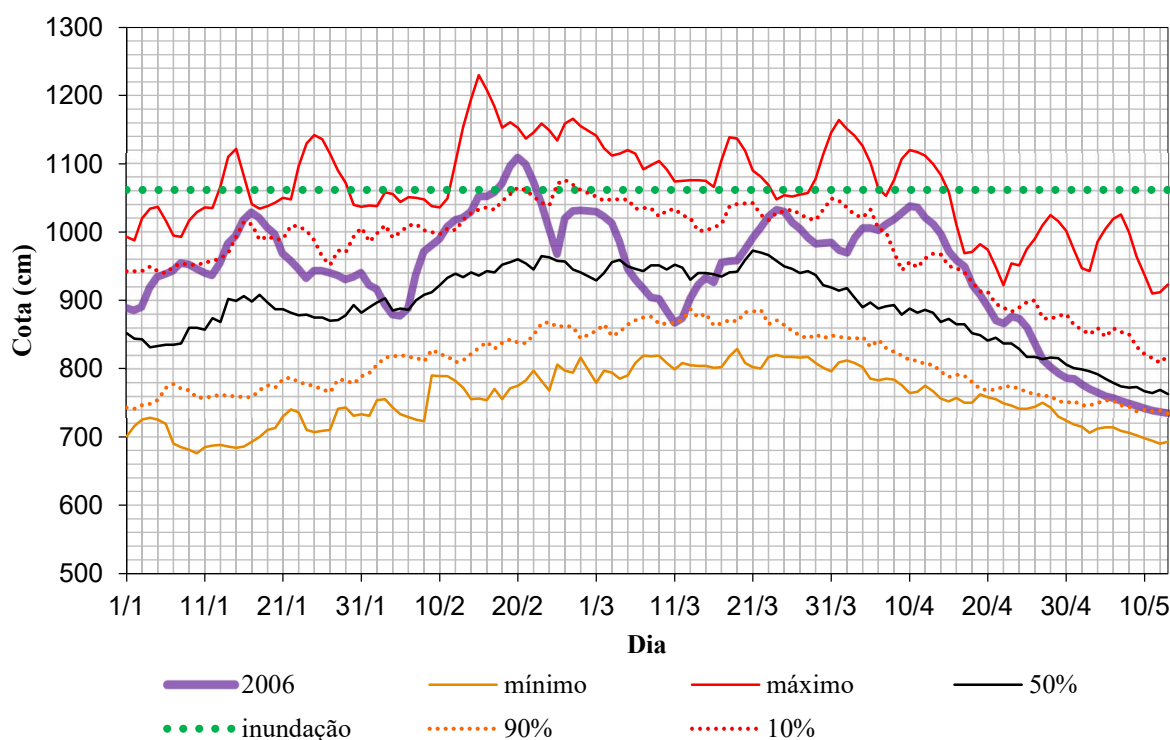
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em março de 2005, houve duas inundações diminutas, a primeira com aumento de vazão a partir do dia 02 (1º dia), até a máxima de 1087 cm no dia 06 (5º dia), e a segunda com a elevação

a partir do dia 14 (1º dia) até o pico de 1079 cm no dia 20 (7º dia). Observa-se ainda na Figura 32 que houve um evento de cheia em janeiro de 2005.

Ao examinar os dados fluviométricos de 2006 (Figura 31), verifica-se que a vazão do rio aumenta a partir do dia 5 de fevereiro (1º dia) até atingir a cota máxima de 1108 cm no dia 20 de fevereiro (16º dia), permanecendo acima da cota de inundação por 5 dias. Posteriormente, retrocede para 967 cm no dia 25 de fevereiro (21º dia). Nota-se que neste ano houve 4 enchentes que ultrapassaram a cota de 1000 cm nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril.

**Figura 31** – Cotas ocorridas no ano de 2006 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em 2009, o rio atingiu cotas poucas vezes repetidas na história, como consequência ruas ficaram inundadas, como demonstra a Figura 32; dezenas de residências foram atingidas, com casas alcançadas pela água em até 2 metros de altura, portanto famílias ficaram desalojadas e



precisaram ser auxiliadas pela Proteção e Defesa Civil; cursos d'água da zona rural, barrados pelo rio Machado, geraram transtornos à população por não conseguirem escoar as águas superficiais; e o canal Dois de Abril transbordou (PANOBIANCO, 2010; RIO, 2009).

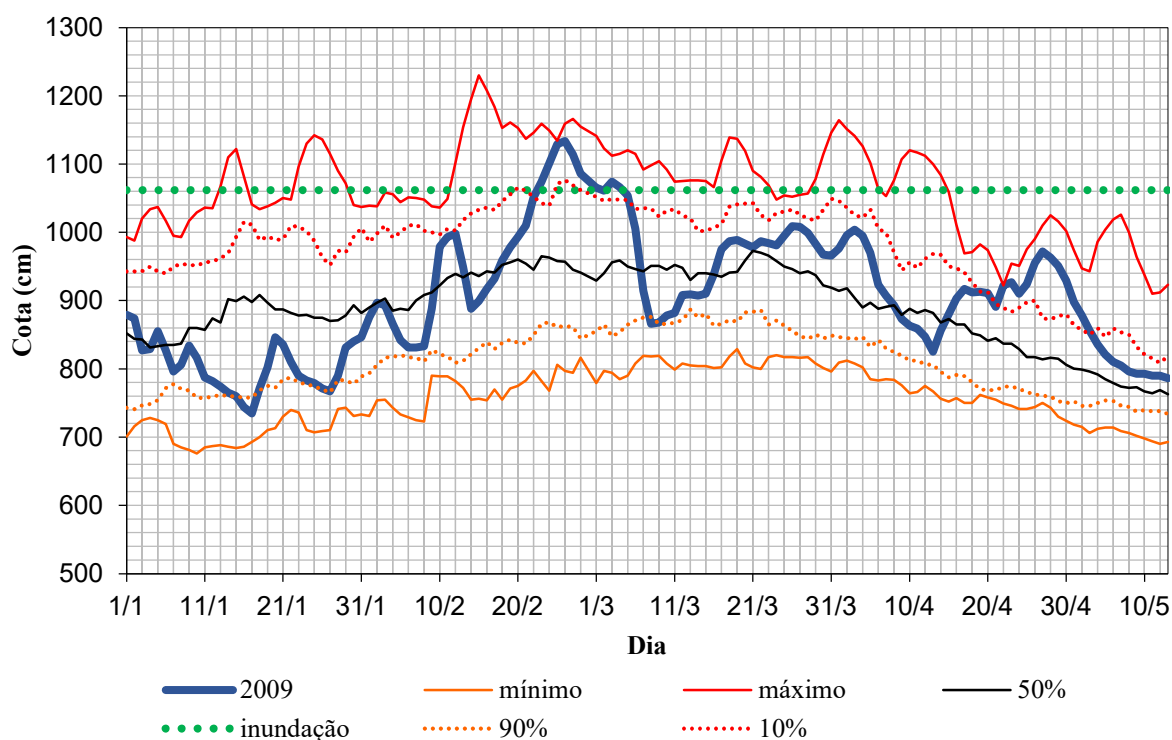
**Figura 32** – Avenida Transcontinental, 2º distrito de Ji-Paraná-RO, em fevereiro 2009.



Fonte: RIO (2009).

Os dados fluviométricos do primeiro quadriênio de 2009 são apresentados na Figura 33. Observa-se que o evento de inundação em 2009 teve início no dia 14 de fevereiro (1º dia) em 888 cm elevando-se até a cota de inundação no dia 23 (10º dia) e permanecendo acima dela por 11 dias. O nível máximo ocorreu no dia 26 (13º dia), no valor de 1134 cm, que representa um tempo de retorno de quase 8 anos. Em seguida a vazão tende a diminuir até 868 cm em 09 de março (24º dia).

**Figura 33** – Cotas históricas do Rio Machado em relação ao ano de 2009 em Ji-Paraná-RO.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No ano seguinte, em fevereiro de 2010, o nível do rio atingi novamente níveis de permanência menor que 10% para o período. Com o aumento repentino na vazão, de acordo com Panobianco (2010), famílias ficaram desabrigadas e foram encaminhadas para o abrigo municipal temporário localizado no centro da cidade.

**Figura 34** – Famílias atingidas pela inundação em Ji-Paraná no mês de fevereiro de 2010.

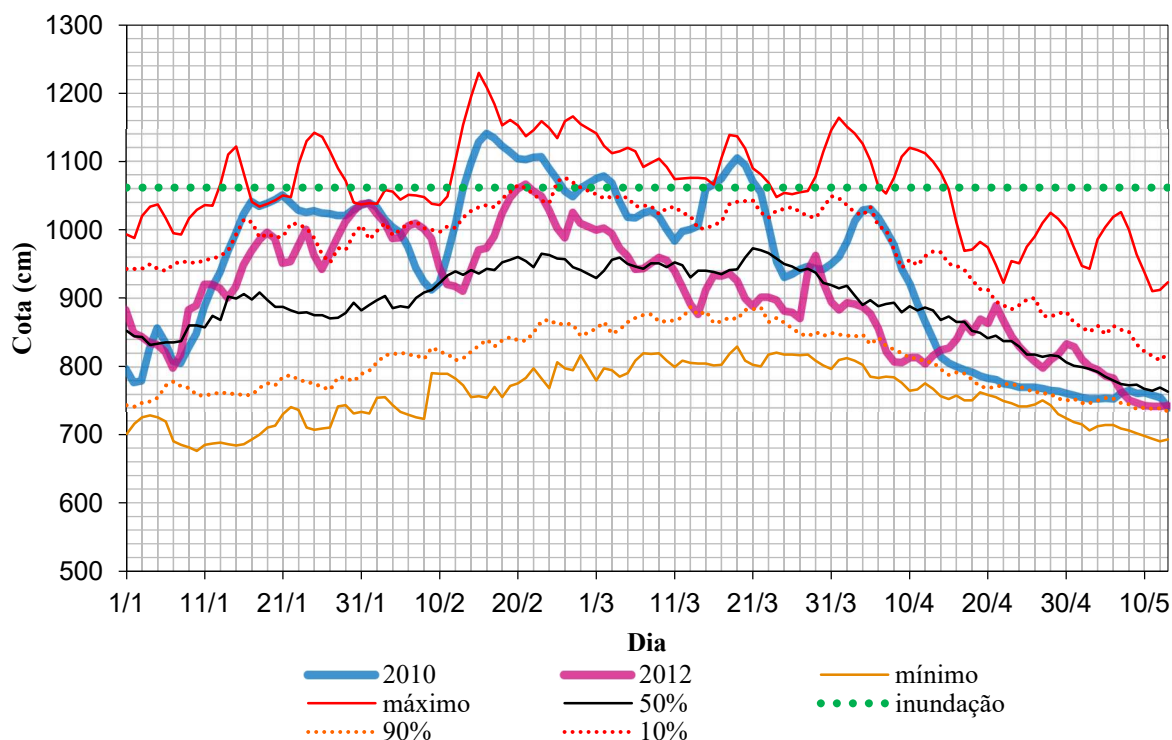


Fonte: PANOBIANDO (2010).



Na Figura 35 verifica-se que para 2010, em azul, quatro grandes picos de elevação do rio.

**Figura 35** – Cotas ocorridas nos anos de 2010 e 2012 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Em 2010 os eventos foram registrados nos primeiros meses do ano, dos quais, dois eventos se caracterizaram como inundação. O evento principal iniciou-se com a elevação do nível no dia 09 de fevereiro (1º dia) em 912 cm, ultrapassando a cota de inundação no dia 13 (5º dia), e atingindo o máximo de 1140 cm no dia 16 de fevereiro (8º dia), tempo de retorno de quase 9 anos. O rio deixa definitivamente o nível de inundação apenas em 04 de março (24º dia), portanto, permaneceu nessa classificação por 19 dias, seguindo em retrocesso até o nível de 983 cm registrado em 11 de março (31º dia).

O segundo evento de inundação em 2010, inicia-se no dia 11 de março (1º dia) com a elevação do rio até alcançar 1104 cm no dia 19 (9º dia), retraindo-se em seguida para o nível de 930 cm no dia 25 de março (15º dia).

Ao contrário de 2010, em 2012 o rio não permanece mais que um dia no estado de inundação, destacado em rosa na Figura 37, registrando no dia 21 de fevereiro o pico de 1066 cm.

Prosseguindo na série de eventos, Ji-Paraná-RO registrou no ano 2014 cotas históricas, o que demandou um conjunto complexo de respostas do poder público para enfrentar tal desastre.

Como demostram as Figuras 36, 37, 38 e 39, a elevação do rio atingiu residências acarretando perdas materiais, obrigando-as a recorrerem ao apoio do poder público, contabilizando, em 28 de fevereiro de 2014, 98 famílias desalojadas e 36 desabrigadas (HENRIQUE; SALDANHA, 2014; SANTOS, 2014b).

**Figura 36** – Ponte sobre o Rio Machado em Ji-Paraná-RO em fevereiro de 2014.



Fonte: VEJA (2014).

**Figura 37** – Bairro Casa Preta atingido pela inundação em fevereiro de 2014 em Ji-Paraná-RO.



Fonte: VEJA (2014).

**Figura 38** – Bairro Duque de Caxias atingido pela inundação em fevereiro de 2014 em Ji-Paraná-RO.



Fonte: VEJA (2014).



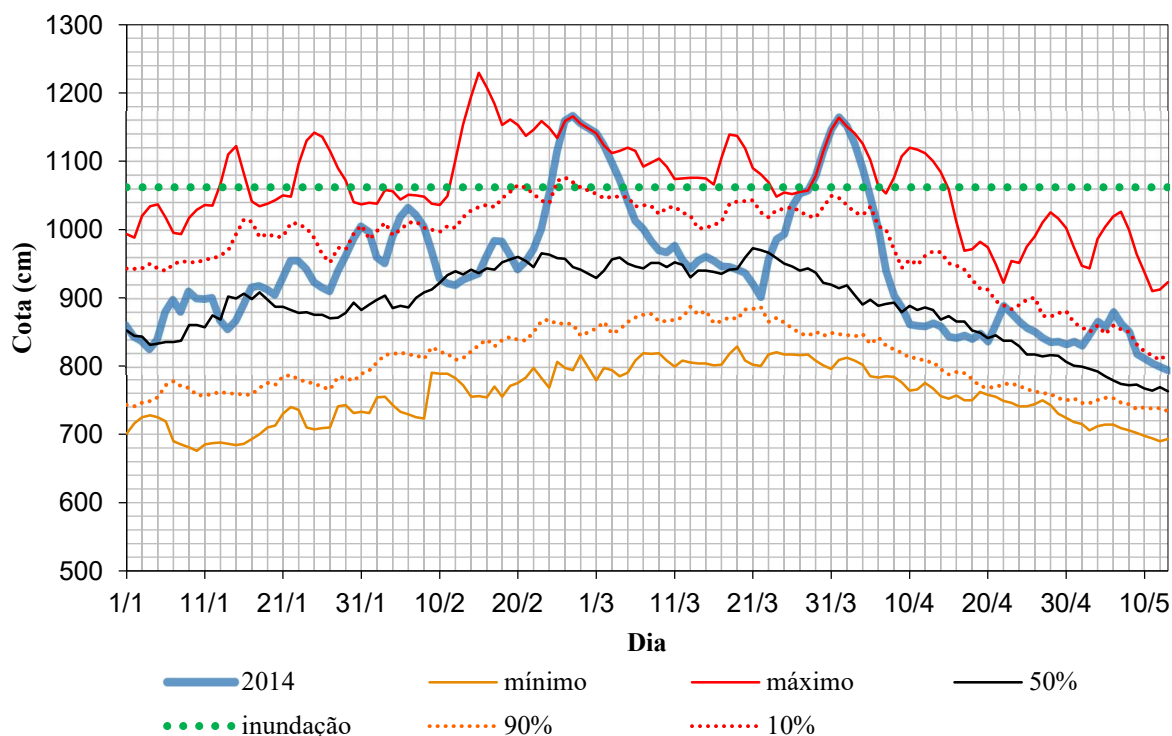
**Figura 39** – Rua Martins Costa, no bairro Jotão, em Ji-Paraná-RO após precipitação no dia 31 de março de 2014.



Fonte: SANTOS (2014a).

Em Ji-Paraná, foi reconhecido o estado de alerta devido à elevação do nível do rio Machado em fevereiro de 2014 (JI-PARANÁ, 2014). Neste ano, de acordo com a Figura 40, dois episódios de inundações foram responsáveis pelos impactos supracitados.

**Figura 40** – Cotas ocorridas no ano de 2014 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

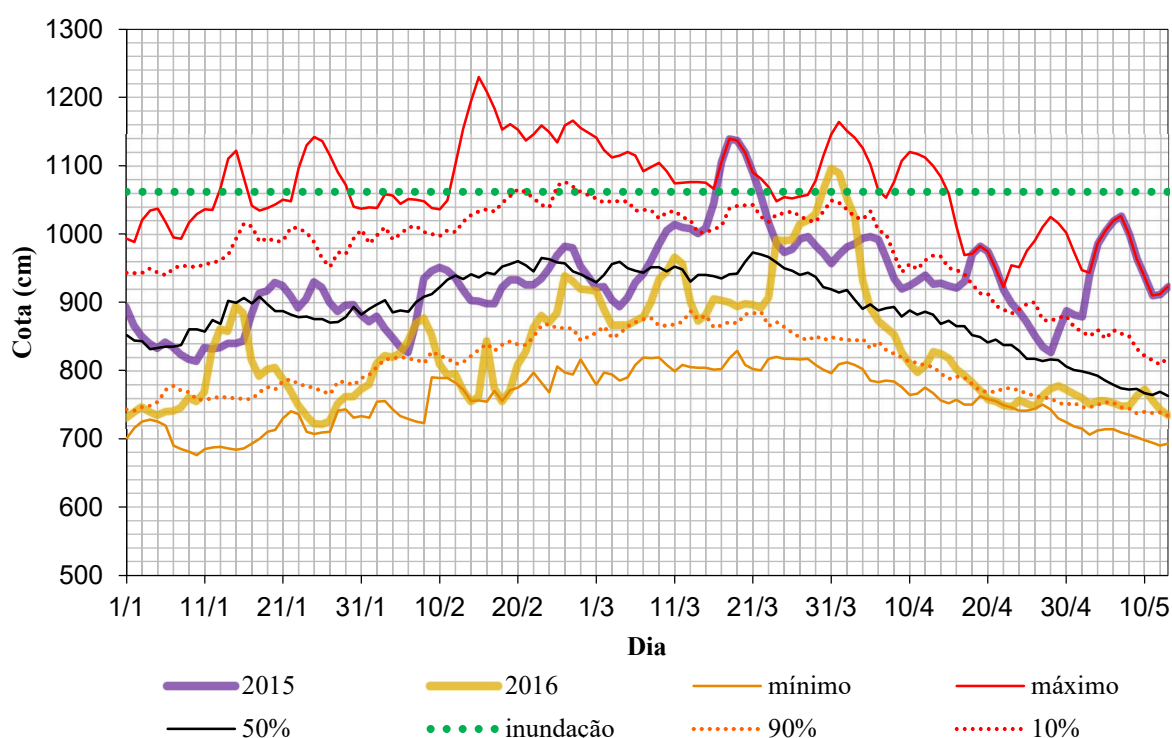
Nota-se que o primeiro evento tem ascensão iniciada com a régua em 919 cm no dia 12 de fevereiro (1º dia), superando a cota de inundação no dia 24 (13º dia) e alcançando o pico de 1166 cm no dia 27 (16º dia), resultando em 8 dias em estado de inundação, um tempo de retorno igual a 15 anos. Após, o nível do rio recua para 967 cm, registrado em 10 de março (27º dia).

No segundo evento de 2014, há o aumento da vazão a partir de 22 de março (1º dia) com o nível em 902 cm, perpassando pela cota de inundação em 29 de março (8º dia) até atingir 1164 cm (TR = 14 anos) em 01 de abril (11º dia), permanecendo acima da cota de inundação por 7 dias. Em seguida o nível segue diminuindo até 859 cm, catalogado no dia 12 de abril (22º dia).

No mesmo ano, vale destacar, que diversos municípios do Estado de Rondônia, dentre eles Porto Velho, foram impactados por eventos extremos, de tal forma que o Governo do Estado decretou estado de calamidade pública no dia 03 de abril de 2014. O decreto foi estendido a todo município que reconhecesse, formalmente, a situação de emergência deflagrada por inundação (RONDÔNIA, 2014).

Na sequência da análise dos dados fluviométricos, Ji-Paraná-RO vivenciou, mais uma vez, episódios de inundações nos anos de 2015 e 2016, conforme demonstra a Figura 41. Em 2015, o rio se comportava entorno da média inicialmente, porém a partir do dia 1º de março em 922 cm o nível se elava, ultrapassando na cota de inundação no dia 17º dia, com o pico do evento de 1139 cm no dia seguinte (18 de março), o que corresponde a um tempo de retorno de 8,5 anos, suportando 5 dias em estado de inundação. Após, o rio regride para 973 cm no 25º dia.

**Figura 41** – Cotas ocorridas nos anos de 2015 e 2016 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação da série histórica para o mesmo período.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

No ano de 2016, destacado em amarelo na Figura 41, o nível do rio, apesar das variações, comportava-se abaixo da média para o período, contudo em 22 de março (1º dia) com 892 cm houve um aumento progressivo na vazão até o máximo de 1096 cm no dia 31 (10º dia), e em seguida um declínio até 11 de abril (21º dia) marcando 798 cm.

Ao longo das inundações discutidas, nota-se uma grande variabilidade de duração dos eventos, existindo inundações curtas (poucos dias) e longas (algumas semanas), elevações de níveis abaixo da média para níveis de inundação em 3 dias, mas também em até 15 dias.

#### 4.1.2.1 Inundações em Ji-Paraná no ano de 2019

Recentemente, no ano de 2019, novas inundações causaram enormes transtornos e prejuízos aos munícipes, dos quais se destacam: o congestionamento do trânsito ocasionado pelas ruas urbanas interditadas, conforme evenciam as Figuras 42 e 43; casas atingidas, consequentemente famílias desalojadas, desabrigadas e com perdas materiais; o alto risco de desabamento das cabeceiras da Ponte do Rio Urupá, localizada na RO-135, estrada que liga Ji-Paraná ao distrito Nova Londrina e BR-429; e um trágico óbito por afogamento (ARAUJO, 2019; COMPDEC 2019).

**Figura 42** – Córrego Dois de abril na travessia da Rua Clóvis Arrais em janeiro (A) e fevereiro (B) de 2019 em Ji-Paraná-RO.



Fonte: Autora (2020).

**Figura 43** – Vista área do rio Machado com áreas justafluviais inundadas no ano de 2019 em Ji-Paraná-RO.



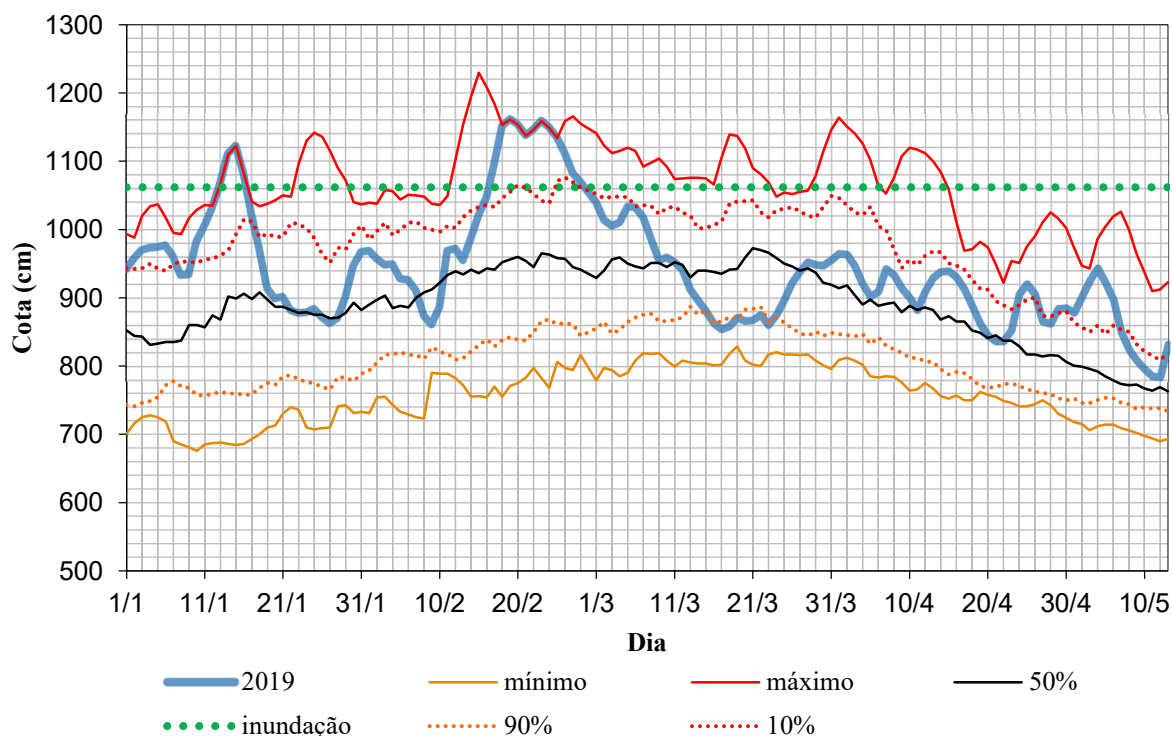
Fonte: ARAUJO (2019).

Em 1º de janeiro, conforme demonstra a Figura 44, o rio Machado registrou o nível de 914 cm, iniciando um aumento da vazão. No dia 13, o rio extrapolou a cota de inundação elevando-se até 1122 cm no dia 15, nível que representa um tempo de retorno igual a 6 anos, saindo do estado de inundação 2 dias depois, regredindo até a cota de 878 cm, registrada em 23 de janeiro de 2019.

No mês seguinte, em fevereiro, o rio Machado passa por um novo fenômeno de inundação, iniciando a elevação no dia 13 (1º dia) com nível médio em 955 cm, seguindo até ao ápice de 1161 cm (TR = 13,5 anos) no dia 19 de fevereiro de 2019 (7º dia), conforme demonstra a Figura 44.



**Figura 44** – Cotas ocorridas no ano de 2019 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período.



Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Em resposta aos eventos, a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC) conta com o Plano de Contingência para atender as situações de risco e emergência de forma coordenada. No plano, atualizado em 2018, ficaram estabelecidas as seguintes ações em conformidade com o nível do rio:

De 6 a 10 metros: rio dentro da calha principal, estado normal;

De 10 a 10,20 metros: a COMPDEC fica em estado de atenção com monitoramento constante;

De 10,20 a 10,30 metros: a água ocupa as várzeas de maneira gradativa. A Defesa Civil fica em estado de alerta. São repassados avisos e orientações à população através da imprensa, a fim de alertar a todos sobre a enchente;

Acima de 10,30 metros: é oficialmente aberto o abrigo municipal temporário através da SEMAS e convocada a SEMOSP para enviarem servidores e caminhões para o pátio do 2º GB e estabelecido o posto de comando da Defesa

Civil no Corpo de Bombeiros Militar, e será composto pelos membros da COMPDEC, pelo Comandante do 2ºGB, bombeiros escalados para no plano de chamada, membros do Conselho e voluntários para iniciar o socorro às vítimas da enchente que solicitarem o apoio (COMPDEC, 2018a, p. 05).

Vale ressaltar, que as cotas utilizadas no gerenciamento de áreas de risco são definidas conforme a emergência, mediante os impactos que o nível do rio inflige à população, não estando diretamente relacionadas com a definição científica de inundação discutida neste estudo.

Nesse sentido, propõe-se a definição e utilização dos termos “Cota de Alerta” e “Cota de Emergência” pelo Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC e pelos diversos Sistemas de Alerta e Previsões, pois exprimem melhor a ideia, visto que os termos “Cota de Enchente” e “Cota de Inundação” são designados em função das características hidrológicas e que ao serem utilizados como sinônimos causam confusão entre os atores da gestão.

Observa-se que a cota de 10,30 m (1030 cm) ficou definida no plano como a cota de emergência, pela necessidade de retirada da população de áreas inundadas a partir desse nível, porém, estatisticamente, este é considerado como enchente, com tempo de retorno igual a 1,34 anos, isto significa uma recorrência quase anual.

Para controle das operações há também um cadastro rudimentar de famílias residentes em áreas de risco, realizado em 2018, conforme sintetizado na Tabela 3, no entanto, nem todas as pessoas cadastradas solicitaram apoio nos eventos de 2019 (COMPDEC, 2018b).

**Tabela 3** – Resumo do cadastro de residentes em área de inundação da COMPDEC.

<b>Bairro:</b>	São Francisco	Primavera	Duque De Caxias	Casa Preta	Centro	Vila Jotão	Urupá	União	<b>Total</b>
<b>Nº de Famílias:</b>	92	81	31	21	8	2	2	1	<b>238</b>
<b>Quant. de Pessoas:</b>	291	282	106	66	31	4	4	7	<b>791</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

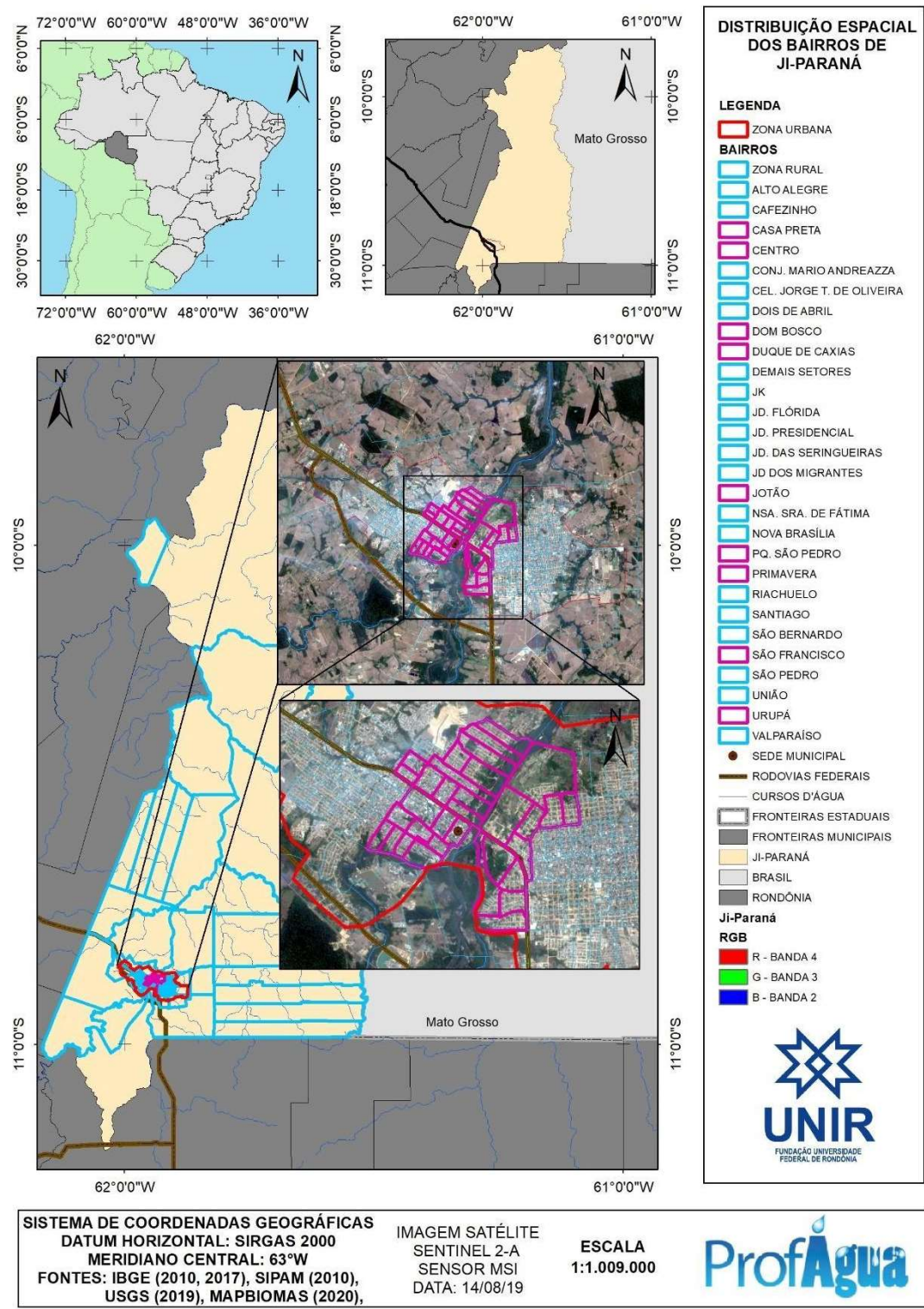
De acordo com o relatório da COMPDEC (Ji-Paraná) sobre suas ações realizadas na cheia entre os dias 15 e 25 de fevereiro de 2019, chegou-se a um total de 28 atendimentos de retiradas de famílias de áreas inundadas, destas, 18 famílias desalojadas foram encaminhadas para a casa de familiares e amigos, e 10 famílias desabrigadas foram encaminhadas ao abrigo provisório municipal, instalado no ginásio de esportes Adão Valdir Lamota (COMPDEC, 2019).

O primeiro atendimento ocorreu no dia 15 de fevereiro de 2019 a uma família residente no bairro Casa Preta, quando o rio registrou a cota de 10,22 m (COMPDEC, 2019). Esta ocorrência já contradiz o que o Plano de Contingência estabeleceu em 2018, 8 cm antes da implantação oficial do abrigo municipal, o que pode estar indicando um avanço da ocupação da planície de inundação desde a elaboração do plano, ocasionando atendimentos mais prematuramente ou apenas a necessidade de readequação do plano para a situação real.

Durante essa inundação 11 bairros foram atingidos, sendo eles: São Francisco, Primavera, Duque de Caxias, Casa Preta, Centro, Vila Jotão, Urupá, Dom Bosco, Parque São Pedro, Novo Urupá e Novo Ji-Paraná (COMPDEC, 2019). Os bairros que correspondem às áreas justafluviais ao rio Machado podem ser observados na Figura 45.

Em boletim do Sistema de alerta hidrológico do rio Madeira, exutório do rio Machado, podem ser observados registros de níveis mês de janeiro de 2019, nos quais as cotas de diversas estações (Pimenteiras, UHE JIRAU, Abunã, Prosperidade e Porto Velho) apresentam-se na Zona de atenção máximas (CPRM, 2020), ou seja, há registros que corroboram a ocorrência de evento extremo de cheia na região no período em estudo.

Figura 45 – Distribuição espacial dos bairros atingidos por inundações no ano de 2019.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

#### 4.1.2.2 Análise integrada do histórico de inundações em Ji-Paraná

Analisando a ocorrência de todos os eventos, resumem-se na Tabela 4, os meses das máximas cotas anuais. É possível observar que ao longo da série histórica as cotas máximas anuais predominaram nos meses de março e fevereiro, conforme relacionado na Figura 46.

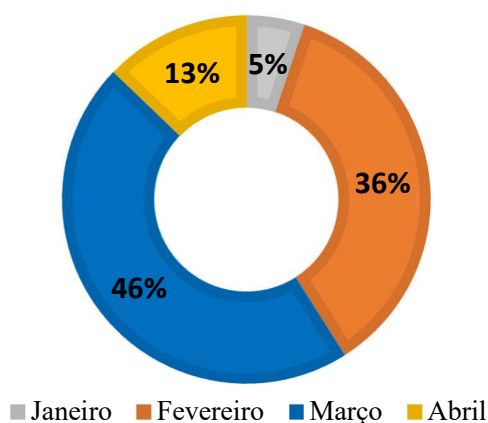
**Tabela 4** – Distribuição das cotas máximas anuais por mês a cada década em Ji-Paraná, ao longo da série histórica (1978 a 2019), estação 15560000.

Período	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
1978 a 1979			2	
1980 a 1989*	2		5	2
1990 a 1999*		3	3	2
2000 a 2009		5	4	1
2010 a 2019		6	4	

\* Excluindo 1989; 1992 e 1993 por falhas no período chuvoso

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

**Figura 46** – Ocorrência das cotas máximas anuais por mês ao longo da série histórica (1978 a 2019) em Ji-Paraná, estação 15560000.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Porém, ao observar a década de 1980, as cotas máximas ocorreram em janeiro por 2 anos, 5 anos em março e em abril por 2 anos (excluindo 1989), mais espaçadas em comparação a década 2010, onde houve uma concentração dos eventos nos meses de fevereiro (6 anos) e março (4 anos) juntamente com sua intensificação, que pode ser observado na Tabela 5.

**Tabela 5** – Cotas máximas anuais registradas no rio Machado em Ji-Paraná, estação 15560000.

<b>Data</b>	<b>Máx. Anual (m)</b>	<b>Data</b>	<b>Máx. Anual (m)</b>	<b>Data</b>	<b>Máx. Anual (m)</b>	<b>Data</b>	<b>Máx. Anual (m)</b>	<b>Data</b>	<b>Máx. Anual (m)</b>
-	-	03/03/1980	10,13	15/02/1990	<b>12,50</b>	19/03/2000	10,26	16/02/2010	<b>11,46</b>
-	-	23/03/1981	9,89	03/04/1991	10,88	05/03/2001	<b>11,22</b>	08/04/2011	10,46
-	-	23/03/1982	9,89	01/03/1992	10,46	18/02/2002	10,35	21/02/2012	10,72
-	-	23/03/1983	9,90	16/02/1993	10,67	10/04/2003	<b>11,20</b>	03/02/2013	10,59
-	-	06/04/1984	9,64	15/02/1994	10,34	26/02/2004	10,74	27/02/2014	<b>11,68</b>
-	-	28/04/1985	10,27	10/02/1995	10,10	06/03/2005	10,88	18/03/2015	<b>11,43</b>
-	-	25/01/1986	<b>11,42</b>	11/03/1996	10,75	20/02/2006	<b>11,74</b>	31/03/2016	<b>11,06</b>
-	-	15/03/1987	10,97	02/04/1997	<b>11,43</b>	25/03/2007	10,51	18/02/2017	10,51
09/03/1978	<b>11,04</b>	07/03/1988	10,77	18/03/1998	9,88	06/02/2008	10,38	18/03/2018	10,38
24/03/1979	10,48	22/02/1989	11,00	09/03/1999	10,22	26/02/2009	<b>11,45</b>	19/02/2019	<b>11,62</b>

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Ao considerar os dados coletados no período da manhã e da tarde de cada dia, não somente a média diária, tem-se registrado as máximas anuais tal como demonstra a Tabela 5, indicando maior recorrência de eventos de cotas acima de 1100 cm por década.

Observou-se ainda que o maior número de ocorrências é nos períodos de altos índices pluviométricos.

De maneira geral, conclui-se que o município de Ji-Paraná por repetidas vezes tem enfrentado grandes eventos de inundação, onde a sociedade é impactada principalmente por perda de bens materiais, e que tais eventos tem se tornado mais frequentes ao longo do tempo. Este comportamento vai ao encontro das evidências quanto à intensificação dos eventos extremos, corroboradas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), que em seu último relatório, apresenta, para a América Central e do Sul, um cenário em que a intensidade e frequência de precipitações extremas e inundações pluvial é projetada para aumentar (nível médio confiança) a partir de 2°C de aquecimento global (ARIAS, 2021).

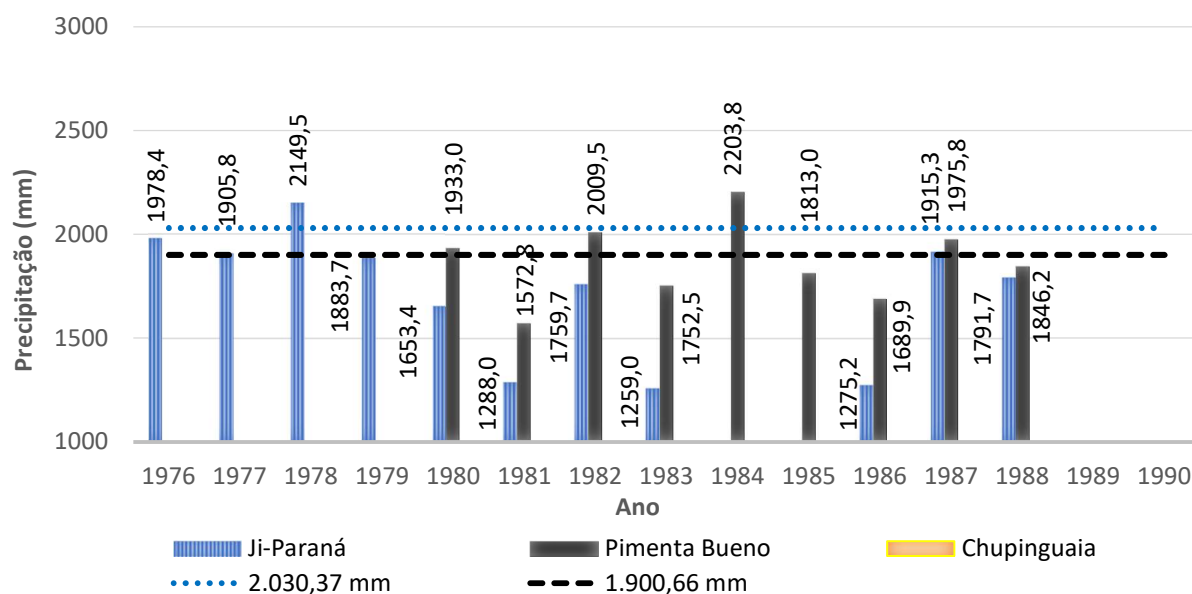
Em virtude dos fatos mencionados, torna-se urgente analisar outras variáveis que intervêm no processo, para auxiliar na compreensão e prevenção das inundações, visto que o comportamento do rio Machado em Ji-Paraná alterna de níveis abaixo da média para eventos extremos de cheia em um curto intervalo de tempo, como ocorreu em 1997, em apenas 3 dias.

#### **4.1.3 Caracterização da precipitação**

A precipitação pluviométrica, como um dos fatores contribuintes aos processos de inundação, é analisada e discutida neste item, a partir dos dados da série histórica das estações pluviométricas de Ji-Paraná, Pimenta Bueno e Chupinguaia do Estado de Rondônia.

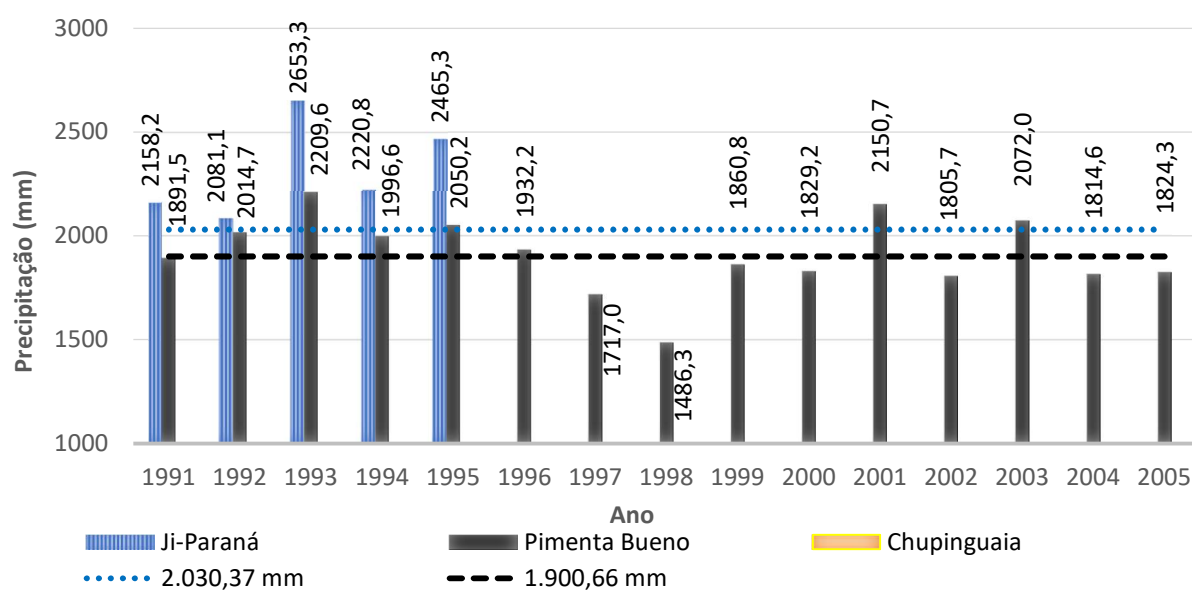
Conforme as Figuras 47, 48 e 49, é possível observar uma tendência de ocorrência de ciclos entre anos chuvosos e anos secos, onde os maiores valores acumulados anuais foram identificados em Ji-Paraná nos anos de 1993 e 2014, com 2.653,3 e 2.683,80 mm, respectivamente, em contrapartida, o ano de 1983 apresentou o menor acumulado, com 1.259,00 mm, também em Ji-Paraná.

**Figura 47** – Acumulados anuais de precipitação pluviométrica (mm) de 1976 a 1990.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

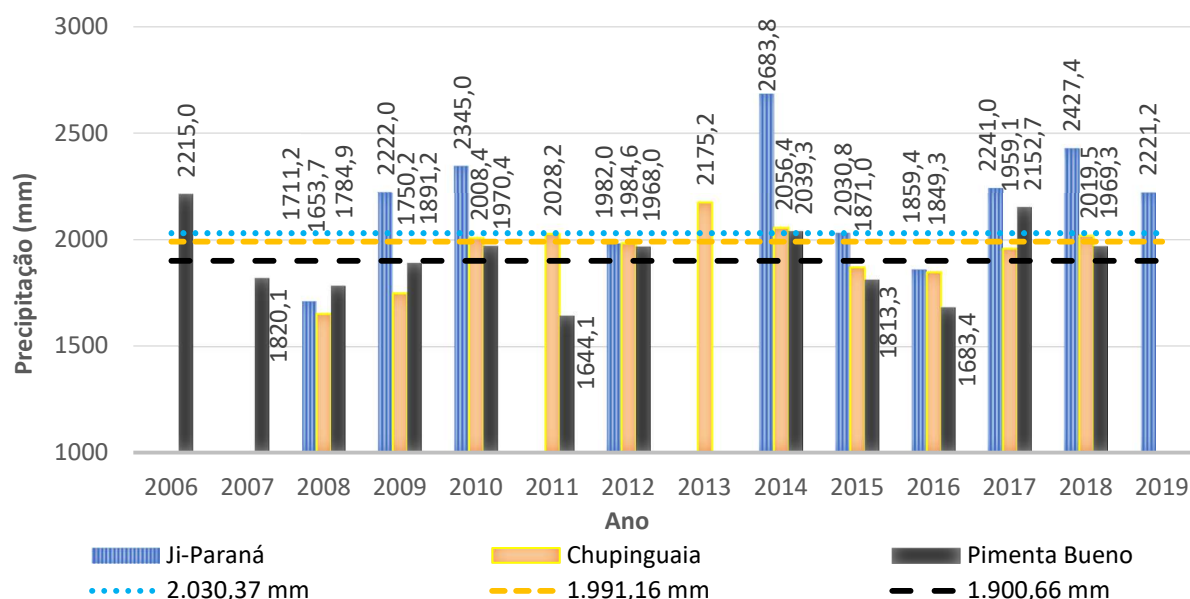
**Figura 48** – Acumulados anuais de precipitação pluviométrica (mm) de 1991 a 2005.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).



**Figura 49** – Acumulados anuais de precipitação pluviométrica (mm) de 2006 a 2019.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

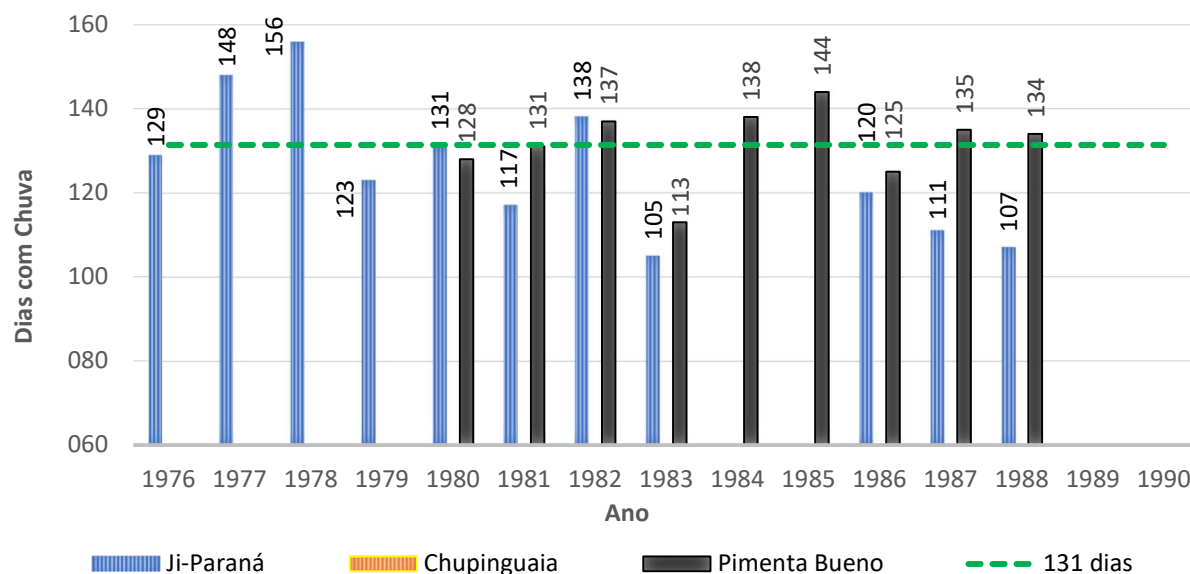
No ano de 2014, houve grandes anomalias de precipitações em toda bacia hidrográfica do rio Amazonas que causaram cheias em diversos municípios do Estado de Rondônia (RONDÔNIA, 2014). De acordo com Germano et al. (2015), no ano hidrológico de outubro de 2013 a setembro de 2014 foi registrado volume de precipitação acima da média nas cabeceiras do rio Madeira, o que resultou na maior cheia monitorada em sua bacia.

De acordo com Rao et al. (2016), a região Amazônica exibe grande variabilidade interanual no regime pluviométrico, geralmente causada pela influência de fenômenos El Niño e La Niña. As maiores cheias já observadas na região Amazônica (nos anos de 1954, 1989, 1999, 2009, 2011 e 2012) estão associadas à ocorrência do fenômeno La Niña, (MARENGO et al., 2013). Por sua vez, em 2014, de acordo com Justina, Franca e Sampaio (2014), no período de dezembro de 2013 a março de 2014 foi observado um padrão atmosférico de bloqueio na América do Sul, resultando em anomalias climáticas em todo o continente.

Ao avaliar os acumulados anuais, chegou-se às médias de 2.030,37 mm por ano em Ji-Paraná, 1.900,66 mm em Pimenta Bueno e 1.991,16 mm para a estação de Chupinguaia.

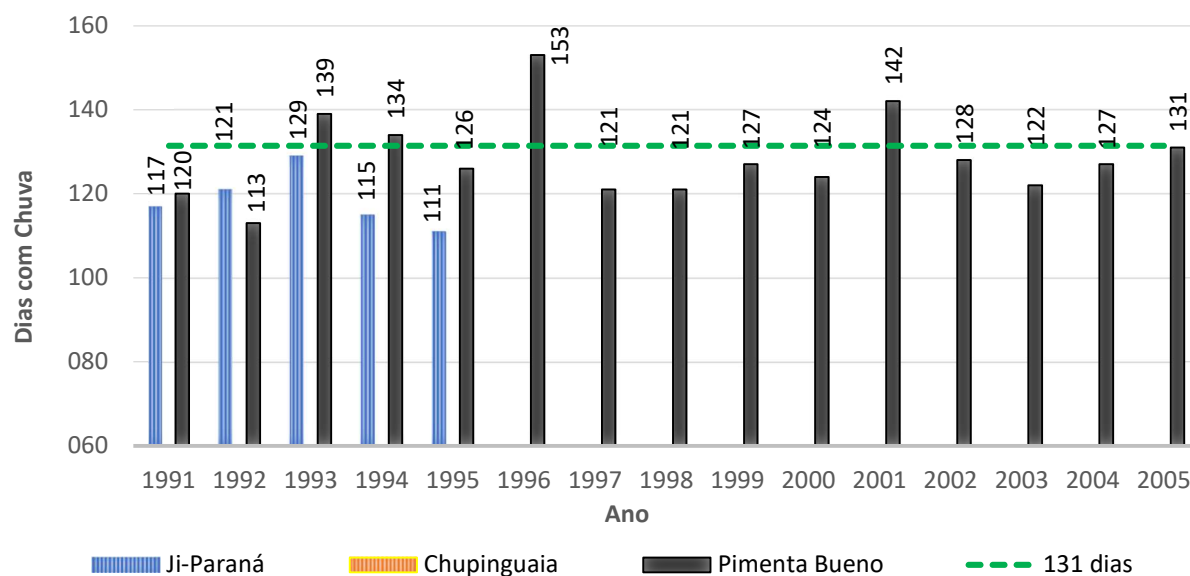
Os dados de dias com chuva por ano podem ser observados nas Figuras 50, 51 e 52.

**Figura 50** – Dias com chuva para os anos de 1976 a 1990.



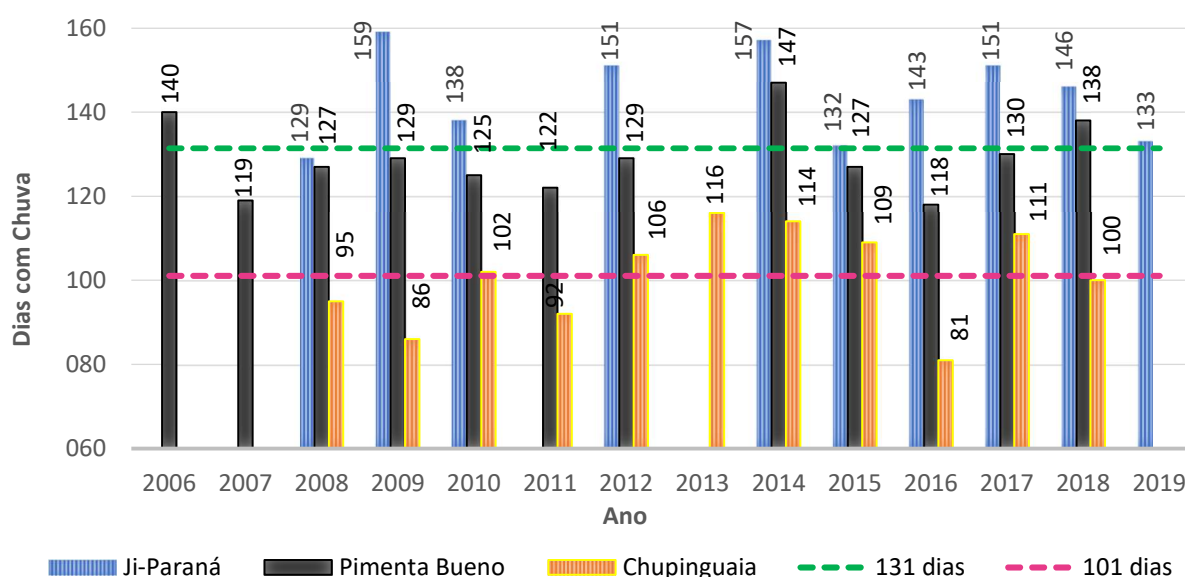
Fonte: Elaborada pela autora (2020).

**Figura 51** – Dias com chuva para os anos de 1991 a 2005.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

**Figura 52** – Dias com chuva para os anos de 2006 a 2019.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Por meio do estudo do número de dias com chuva por ano, estabeleceu-se a média de 101 dias para Chupinguaia, 131 dias para Ji-Paraná e 130 dias para Pimenta Bueno.

Ao relacionar os dados, costuma-se observar que para os anos com maior índice pluviométrico, foi registrado, consequentemente, um maior número de dias com chuva, porém isto não ocorreu em Ji-Paraná nos anos de 1993, 1994 e 1995, o que indica que os eventos de precipitação foram mais intensos nestes anos. Tendência esta não observada em Pimenta Bueno no mesmo período.

Ao comparar os gráficos, é possível verificar também que no ano de 2012, para a estação em Ji-Paraná, o número de dias com chuva ficou acima da média, porém com acumulado de precipitação abaixo, ou seja, foi um ano de chuvas de pouca intensidade.

Destaca-se ainda que nas décadas de 70 e 80, para a estação em Ji-Paraná, os totais em sua maioria, permaneceram abaixo da média, porém os números de dias com chuva permaneceram acima ou próximo à média. Já na década mais recente, ocorre um aumento significativo nos totais anuais, em outras palavras, é possível observar uma tendência na intensificação dos eventos ao longo do tempo.

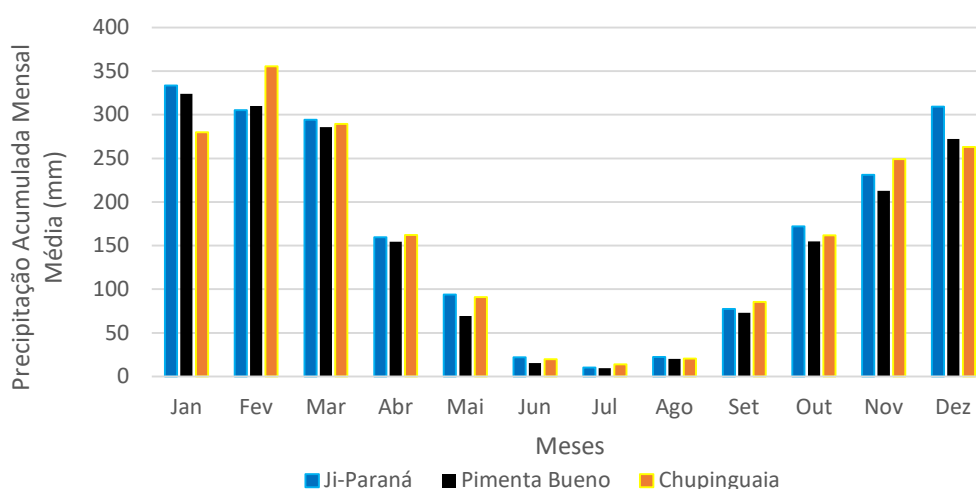
O estudo de Butt, Oliveira e Costa (2011) sugere a dependência da sazonalidade da chuva no estado de Rondônia nos anos de 1961 a 2008 com o uso e ocupação da terra, onde a perda da cobertura florestal a partir da década de 70 alterou o padrão de início da estação chuvosa e sua confiabilidade.

Na estação de Pimenta Bueno, os valores acumulados anuais e o número de dias com chuvas não tiveram uma variação relevante, apresentando um histórico mais equilibrado.

Ao analisar os acumulados mensais, é possível caracterizar como período chuvoso para a área de estudo o quadriênio de dezembro a março (média acima de 260 mm/mês), diretamente relacionada com a ocorrência dos eventos de inundação no município de Ji-Paraná, principalmente nos meses de fevereiro e março.

A estação seca delimita-se entre os meses de junho e setembro (média abaixo de 90 mm/mês). Consequentemente abril/maio e outubro/novembro, são os meses de transição entre seco e chuvoso conforme ilustra Figura 53 com as médias mensais.

**Figura 53** – Médias mensais de precipitação na UHG Alto e Médio Rio Machado (mm).

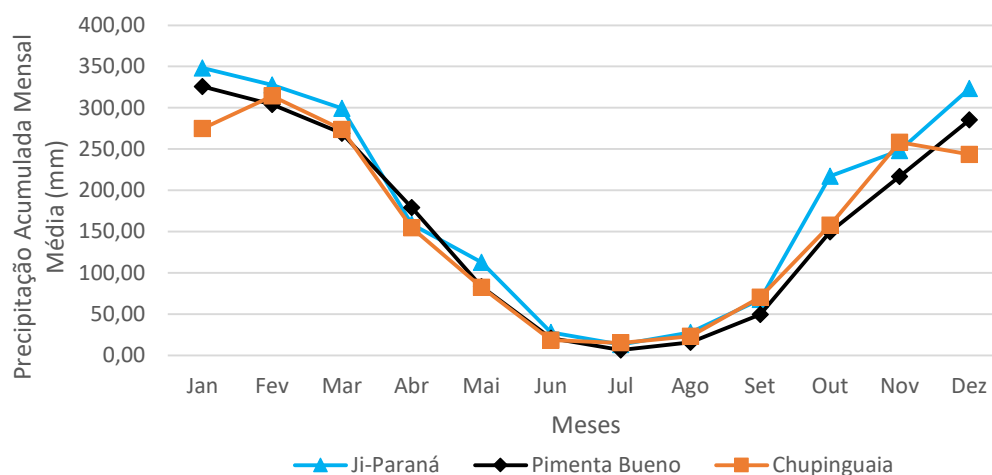


Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Salienta-se que a série histórica de Chupinguaia conta apenas com dados a partir de 2008, ao contrário da série histórica de Ji-Paraná e Pimenta Bueno que remota a década de 70. Para

comparação entre as localidades, foram analisados os dados do mesmo período, resultando na Figura 54.

**Figura 54** – Médias mensais a partir dos anos de 2008 a 2010, de 2012 e de 2015 a 2018.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

A compreensão da distribuição das chuvas contribui no gerenciamento ambiental ao traçar uma relação entre as estações. De uma maneira geral, nota-se que nos últimos anos Ji-Paraná apresenta maiores índices pluviométricos que as demais localidades, mais a montante.

Os demais resultados de médias mensais, desvios-padrões, coeficientes de variação e os valores extremos máximo e mínimo da precipitação pluviométrica registradas pelas estações de Ji-Paraná, Pimenta Bueno e Chupunguaia são apresentados na Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8.

**Tabela 6** – Médias mensais, desvio padrão, coeficiente de variação e extremos de precipitação em Ji-Paraná-RO

<b>Mês</b>	<b>Média (mm)</b>	<b>Desvio Padrão (mm)</b>	<b>Coeficiente de Variação (%)</b>	<b>Máximo (mm)</b>	<b>Ano do Máximo</b>	<b>Mínimo (mm)</b>	<b>Ano do mínimo</b>
<b>Jan</b>	333,39	129,67	38,89	700,00	1995	157,00	2008
<b>Fev</b>	305,35	96,88	31,73	557,40	1993	157,50	1987
<b>Mar</b>	294,11	90,98	30,93	552,80	1991	130,20	2017
<b>Abr</b>	159,61	68,29	42,79	307,30	1978	74,60	2017
<b>Mai</b>	94,01	60,55	64,41	315,00	2010	14,30	1981
<b>Jun</b>	22,09	18,44	83,47	68,80	1977	0,00	1979 e 1984
<b>Jul</b>	10,08	19,40	192,55	76,00	2010	0,00	Ocorreu em 9 anos
<b>Ago</b>	22,18	28,24	127,35	94,60	2018	0,00	Ocorreu em 5 anos
<b>Set</b>	77,35	67,34	87,06	254,00	2014	12,80	1983
<b>Out</b>	171,87	90,87	52,87	508,00	2014	52,10	1983
<b>Nov</b>	231,00	88,86	38,47	458,00	1995	83,40	1980
<b>Dez</b>	309,35	150,20	48,55	773,80	1994	98,40	1983

Fonte: Elaborada pela Autora (2020).

A análise da série histórica disponível indica que os meses que apresentam maior pluviosidade média em Ji-Paraná-RO são dezembro, com 309,35 mm; janeiro, com 333,39 mm; e fevereiro, com 305,35 mm.

**Tabela 7** – Médias mensais, desvio padrão, coeficiente de variação e extremos de precipitação em Pimenta Bueno-RO.

<b>Mês</b>	<b>Média (mm)</b>	<b>Desvio Padrão (mm)</b>	<b>Coeficiente de Variação (%)</b>	<b>Máximo (mm)</b>	<b>Ano do Máximo</b>	<b>Mínimo (mm)</b>	<b>Ano do mínimo</b>
<b>Jan</b>	323,96	103,29	31,88	552,70	2010	170,00	1998
<b>Fev</b>	310,13	91,71	29,57	520,00	2006	167,90	2018
<b>Mar</b>	285,76	90,57	31,69	497,10	2004	151,60	1980
<b>Abr</b>	154,42	59,84	38,75	321,70	2009	40,10	2010
<b>Mai</b>	69,25	45,38	65,53	223,70	2015	0,00	1991
<b>Jun</b>	15,47	25,00	161,59	108,30	1994	0,00	Ocorrido em 6 anos
<b>Jul</b>	9,33	14,45	154,89	53,20	1994	0,00	Ocorrido em 18 anos
<b>Ago</b>	19,98	24,80	124,12	113,60	1993	0,00	Ocorrido em 6 anos
<b>Set</b>	72,85	46,73	64,15	238,50	1992	15,30	2015
<b>Out</b>	154,75	53,24	34,41	269,70	1998	83,10	2004
<b>Nov</b>	212,60	75,42	35,47	362,60	2001	72,80	2005
<b>Dez</b>	272,15	84,97	31,22	459,70	2018	141,50	2010

Fonte: Elaborada pela Autora (2020).

Em vista da Tabela 7 apresentada, para a região de Pimenta Bueno-RO os meses de maiores índices de chuva são janeiro, com média de 323,96 mm; fevereiro, com 310,13 mm; e março, com 285,76 mm.

Para Chupinguaia-RO (Tabela 8) os meses de maiores índices de chuva registrados foram janeiro, com média de 279,78 mm; fevereiro, com 355,38 mm; e março, com 289,63 mm.

As médias mensais indicam uma tendência de o período chuvoso iniciar primeiramente mais ao Norte na bacia, na região do município de Ji-Paraná.

**Tabela 8** – Médias mensais, desvio padrão, coeficiente de variação e extremos de precipitação em Chupinguaia-RO.

<b>Mês</b>	<b>Média (mm)</b>	<b>Desvio Padrão (mm)</b>	<b>Coeficiente de Variação (%)</b>	<b>Máximo (mm)</b>	<b>Ano do Máximo</b>	<b>Mínimo (mm)</b>	<b>Ano do mínimo</b>
<b>Jan</b>	279,78	74,34	26,57	395,80	2012	184,90	2015
<b>Fev</b>	355,38	114,53	32,23	621,90	2011	241,70	2019
<b>Mar</b>	289,63	99,40	34,32	481,00	2015	131,50	2018
<b>Abr</b>	162,05	73,83	45,56	256,10	2012	27,30	2016
<b>Mai</b>	90,95	61,21	67,29	193,50	2015	0,00	2008
<b>Jun</b>	19,74	27,69	140,32	85,10	2012	0,00	2008, 2011, 2018
<b>Jul</b>	13,82	21,18	153,27	72,50	2009	0,00	Ocorreu em 5 anos
<b>Ago</b>	20,37	20,54	100,85	60,60	2018	0,00	2012, 2013, 2015
<b>Set</b>	85,42	62,98	73,73	192,00	2018	15,10	2008
<b>Out</b>	161,63	69,46	42,97	316,70	2018	66,00	2015
<b>Nov</b>	249,25	85,18	34,18	446,00	2018	121,80	2011
<b>Dez</b>	263,15	84,16	31,98	396,30	2014	134,30	2008

Fonte: Elaborado pela Autora (2020).

Ao analisar os valores de desvio padrão e o coeficiente de variação, nota-se que as chuvas são distribuídas irregularmente. Os meses de maiores índices pluviométricos apresentam maiores desvios, porém menores variações dentro da série histórica, principalmente dezembro e janeiro em Ji-Paraná; janeiro, fevereiro e março em Pimenta Bueno; e fevereiro e março em Chupinguaia, caracterizando-se como os meses mais homogêneos em torno da média.

O período de seca, por sua vez, apresenta valores médios com baixo desvio padrão, porém mais heterogêneo na proporção ao registrar maiores coeficientes de variação. Isto se deve a ocorrência índices pluviométricos mensais iguais a zero, mas também superiores a 80 mm.

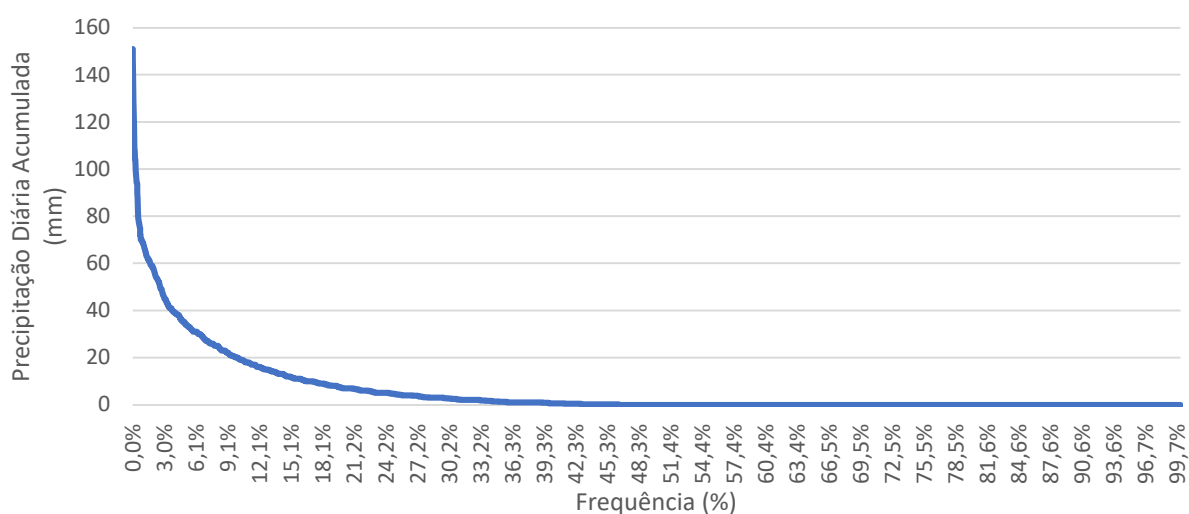
Os resultados apresentados evidenciam uma das principais características da distribuição pluviométrica na região Amazônica, a forte sazonalidade, como destaca Nobre et al. (2009).



#### 4.1.4 Eventos extremos de precipitação

Cada região tem sua própria característica hidrológica, que resulta em valores diferentes para caracterização de eventos extremos. Por isso, com base na análise de Cavalheiro *et al.* (2020), a Figura 55 apresenta curva de permanência, ou seja, a frequência que um evento de chuva foi igualado ou superado em Ji-Paraná-RO, de acordo com a série temporal de 10 anos.

**Figura 55** – Curva de Permanência dos acumulados diários de precipitação (mm) em Ji-Paraná-RO, com base na série de dados de 2006 a 2019, estação 15560000.



Fonte: Cavalheiro *et al.* (2020).

Observa-se que eventos de 68,60 mm diário tem a frequência de 1% na série. Os principais valores da curva de permanência podem ser observados na Tabela 9, onde se destaca alguns dos maiores eventos da série histórica.

**Tabela 9** – Valores da curva de permanência das precipitações (mm) em Ji-Paraná-RO.

<b>Precipitação Diária (mm)</b>	151	147,2	139	128,8	123,4	118	108,6	68,6	35	20	0
<b>Frequência</b>	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	1,0%	5,0%	10,0%	50,0%

Fonte: Adaptado de Cavalheiro et al. (2020).

Segundo o estudo de Cavalheiro et al. (2020), é caracterizado como evento extremo de precipitação em Ji-Paraná-RO aqueles superiores a 57,3 mm de acumulado diário, classificado em níveis, conforme a Tabela 10 abaixo.

**Tabela 10** – Classificação dos eventos de precipitação acumuladas em 24 horas.

NORMAL		Precipitação <	57,3 mm
NÍVEL I	57,3 mm	≤ Precipitação <	79,6 mm
NÍVEL II	79,6 mm	≤ Precipitação <	101,8 mm
NÍVEL III	101,8 mm	≤ Precipitação <	124,1 mm
NÍVEL IV	124,1 mm	≤ Precipitação	

Fonte: Adaptado de Cavalheiro *et al.* (2020)

Com base nesta caracterização, podem-se analisar eventos de precipitação que ocasionaram impactos na cidade, conforme noticiado pela mídia. Dentre as reportagens, destaca-se, segundo FORTE (2013), o evento de 28 de dezembro de 2013, onde a água ocupou espaços urbanos após precipitação, impactando principalmente o bairro 2 de abril (Figura 56).

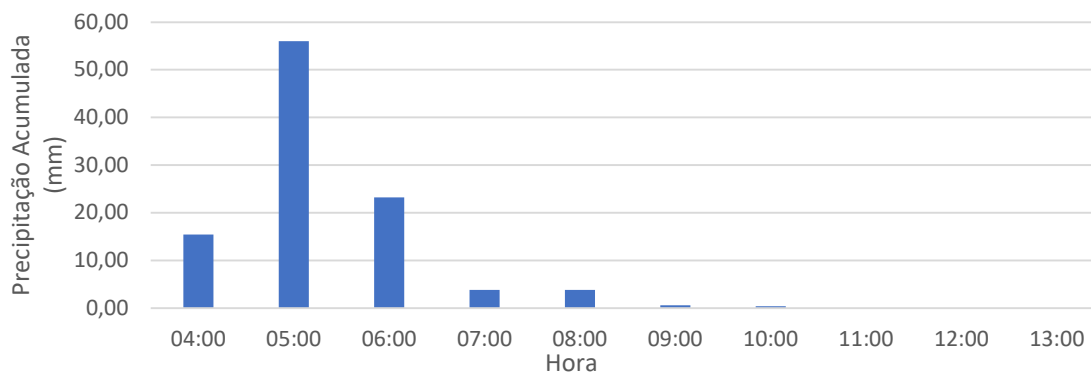
**Figura 56** – Rua 22 de Novembro, em Ji-Paraná-RO, inundada em 28 de dezembro de 2013.



Fonte: FORTE (2013).

Verificando os registros, o acumulado foi de 103,40 mm neste dia, 32% do total mensal, acumulados principalmente das 04h30min às 09h15min (Figura 57), enquadrando-se como um evento extremo de Nível III.

**Figura 57** – Precipitação ocorrida em 15 de janeiro de 2016 na estação 1556000 em Ji-Paraná.



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Observa-se que o evento teve médio tempo de duração e intensidade superior a 50 mm/h. Vale destacar que neste dia, a cota média do rio Madeira foi de 988 cm, em outras palavras, um nível elevado, mas que ainda não se caracteriza como inundação.

Pela análise dos aspectos da precipitação supracitada, é possível concluir que uma parcela dos episódios de alagamentos em Ji-Paraná são ocasionados pela falha do sistema de drenagem em meio a eventos de alta intensidade.

Entretanto, quanto ao sistema de drenagem urbana, habitualmente utiliza-se em seu dimensionamento a precipitação de projeto (mm/h) correspondente ao tempo de retorno (TR) de 10 anos, conforme a série histórica local (BRASIL, 2006). Esta diretriz é devido ao elevado custo de execução de um sistema robusto de drenagem de águas pluviais (TR>50 anos), que pouco seria utilizado, portanto, assume-se um determinado risco de falha nos projetos de engenharia de drenagem em prol da otimização dos gastos públicos. Porém, tal escolha coloca a população à mercê das leis probabilísticas.

Outro evento reportado pela mídia, ocorreu em 15 de janeiro de 2016, onde o canal Dois de Abril transbordou e diversos pontos da cidade foram tomados por água, ocasionando inúmeros prejuízos materiais (FERNANDES, 2017), tal como ilustram as Figuras 58, 59 e 60.

**Figura 58** – Rua 22 de Novembro, próxima a Av. Marechal, alagada em 15/01/2016.



Fonte: FOTOS (2016).

**Figura 59** – Ruas de Ji-Paraná em 15 de janeiro de 2016.

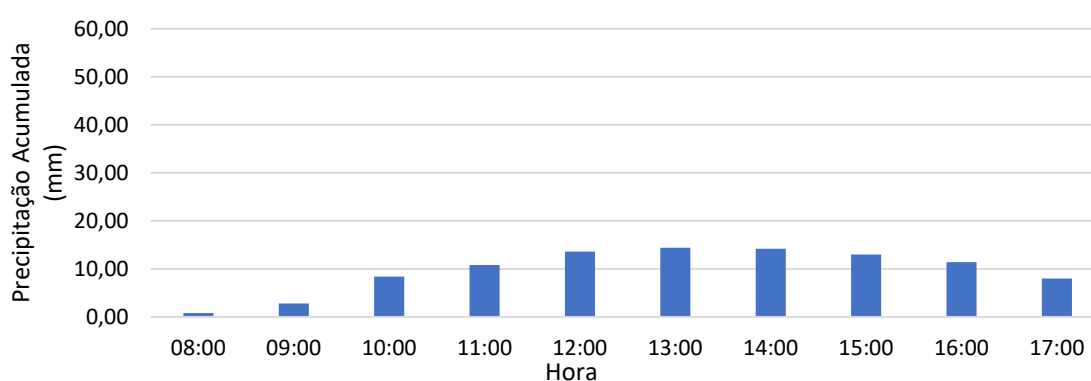


Fonte: FOTOS (2016).

Em virtude dos impactos ocasionados pelo evento, habitantes que viviam próximos aos cursos d'água que cortam a cidade, em especial, o Dois de Abril, foram vítimas de alagamentos. Em reportagem relata-se que muitas casas sem histórico de inundação foram atingidas, sendo os bairros mais afetados: Parque São Pedro, Primavera, São Francisco, Santiago, Duque de Caxias, parte do bairro Casa Preta e os setores próximos ao igarapé Dois de Abril (ENCHENTE, 2016).

Analizando os registros, a precipitação acumulada foi de 97,80 mm neste dia (35% do acumulado mensal), caracterizando-se como evento extremo de Nível II. A sua distribuição no tempo, ocorreu tal como demonstra a Figura 60.

**Figura 60** – Precipitação ocorrida em 15 de janeiro de 2016 na estação 1556000 em Ji-Paraná.



Fonte: Elaborada pela autora (2021)

Observa-se que este evento teve baixa intensidade, com valores inferiores a 15 mm/h, porém foi de longa duração.

Nesta data, o nível do rio Machado registrou de 895 cm em média, isto significa um nível relativamente baixo, o qual propiciaria o escoamento dos canais urbanos.

Portanto, observa-se que os episódios de alagamentos em Ji-Paraná perpassam também pela ineficiência do sistema de drenagem, visto que mesmo eventos de baixa intensidade não são devidamente escoados.

Como declarado pela mídia, as áreas mais atingidas foram aquelas próximas aos canais, que transbordaram nesse episódio, o que está intimamente ligado a impermeabilização das microbacias urbanas, que diminui o tempo de concentração e aumenta o volume escoado, gerando uma vazão maior que a capacidade natural do curso d'água, em concordância com o Carvalho, Silva e Cabral (2017).

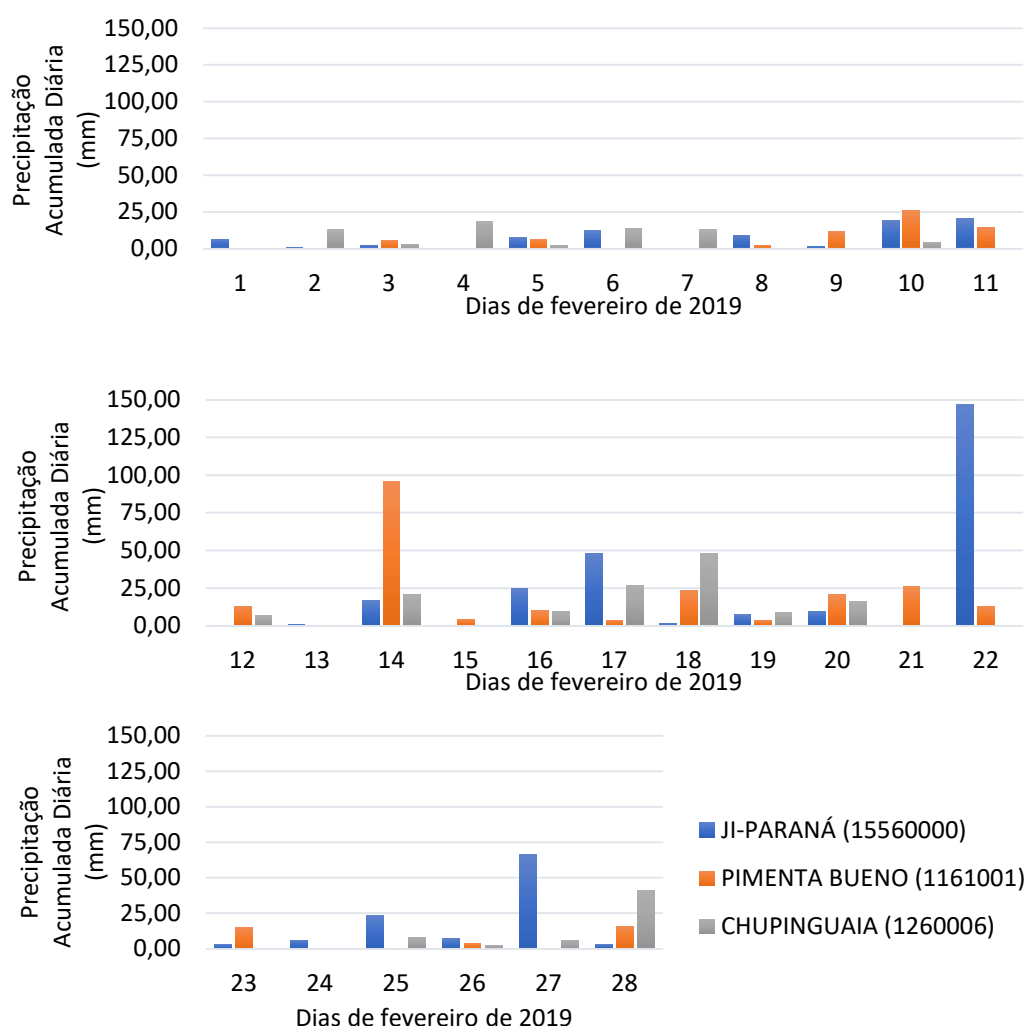
#### 4.1.4.1 Precipitações contribuintes às inundações ocorridas no ano de 2019

No começo do ano de 2019, ocorreram grandes inundações na cidade de Ji-Paraná. Sabe-se que a precipitação pluviométrica é agente deflagrador desse processo, nesse sentido, de acordo com as hipóteses levantadas no item 2.3.1 deste trabalho, as inundações desse ano tiveram como elemento motivador a distribuição das chuvas, com picos de precipitação de grande intensidade. Para isso, foi verificado o comportamento dos eventos de precipitação na série histórica, onde se constata que os meses que antecederam os eventos de inundações em 2019, apresentaram os valores de precipitações máximas ou acima da média da série histórica estudada, principalmente em dezembro de 2018.

Ao analisar especificamente os dados do mês de fevereiro de 2019, observa-se que o mês apresentou 445,60 mm de precipitação acumulada em Ji-Paraná, 315,90 mm em Pimenta Bueno e 262,50 mm em Chupinguaia, enquanto as médias para estes meses são de 305,35 mm, 310,13 mm e 355,08 mm, respectivamente, o que destaca novamente a região de Ji-Paraná com maior índice pluviométrico do que as regiões mais a montante do rio Machado.

Em Ji-Paraná a distribuição das precipitações de fevereiro ocorreram em 21 dias com chuva, Pimenta Bueno em 19 e Chupinguaia em 18 dias, em outras palavras, na região de Ji-Paraná os eventos foram mais intensos, visto que o número de dias com chuva se apresentam relativamente similares, como demonstra a Figura 61.

**Figura 61** – Precipitação acumulada diária durante o mês de fevereiro de 2019.



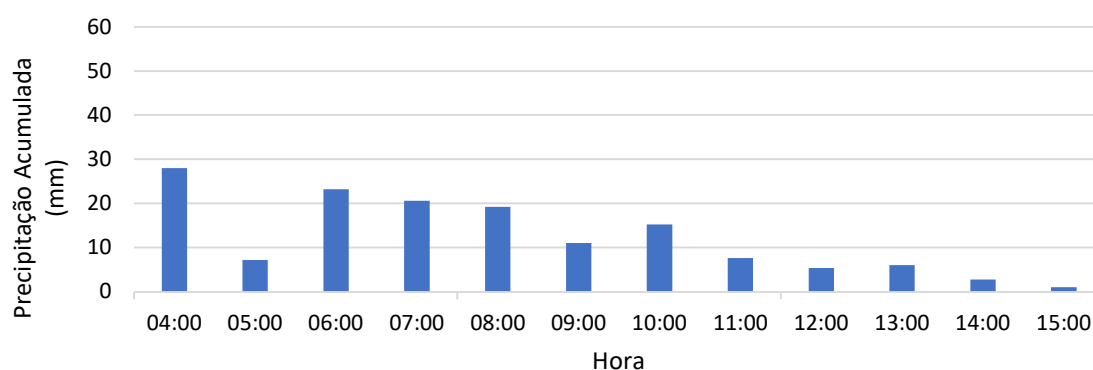
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Conforme os dados, é possível verificar que os maiores eventos ocorreram a partir do dia 13, exatamente quando o nível do rio começou a elevar-se, registrando o pico de inundação no dia 19 de fevereiro.

Na Figura 61, o acumulado diário ocorrido em 22 de fevereiro de 2019, destacou-se ao registrar 147,20 mm, caracterizando-se como evento extremo de Nível IV, conforme apresentado na Tabela 10. O comportamento desse evento de precipitação, que teve duração de 11h30min, pode ser mais bem analisado nas Figuras 62 e 63.

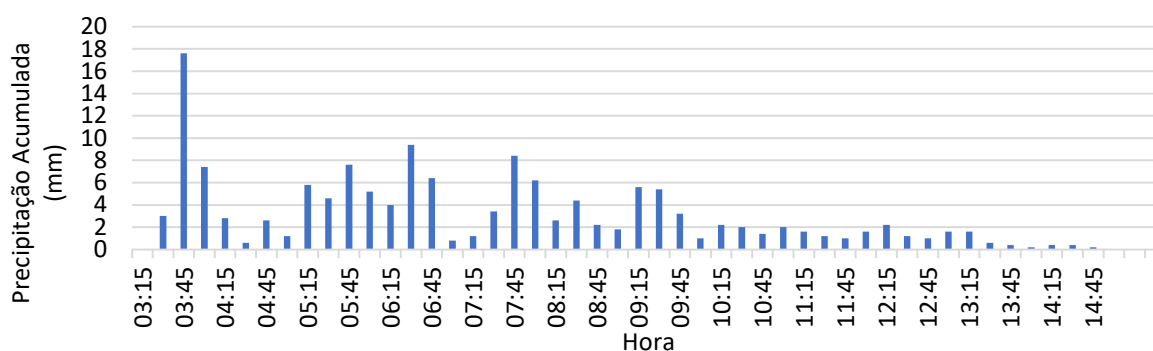


**Figura 62** – Distribuição do evento em 22/02/2019 com acumulados por hora.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

**Figura 63** – Distribuição do evento em 22/02/2019 com acumulados em 15 minutos.



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Como resultado tem-se a intensidade média de 12,80 mm/h e a máxima intensidade de 70,40mm/h ocorrida as 03h45min.

Esse episódio de precipitação, além de ter apresentado momentos de alta intensidade no início, o que não propicia a percolação da água no solo e consequentemente sobrecarrega a capacidade de vazão da drenagem superficial, teve também uma longa duração.



Vale salientar que um evento inundação do rio Machado ocorreu nesse período, tendo registrado a cota média neste dia de 11,46 m, que além de ter provocado inundações em diversas áreas ribeirinhas, gera também uma resistência ao escoamento das águas superficiais urbanas.

Essa combinação de fatores causou diversos transtornos na cidade, devido aos pontos de alagamento e inundações.

Fica evidente que os corpos d'água periurbanos apresentam uma estreita relação com a precipitação, a nível local, o que vai ao encontro de estudos realizados por Contreras, Ferreri e Piccolo (2020) em corpos hídricos periurbanos subtropicais, onde os autores identificaram que os corpos d'água respondiam imediatamente à variabilidade climática local. Macêdo et al. (2013) também identificam em seu estudo na Amazônia Ocidental que a sazonalidade da precipitação reflete no comportamento temporal da vazão.

## **4.2      *Diagnóstico da Bacia de Drenagem***

### **4.2.1   *Análise morfométrica***

A área em estudo é parte integrante da bacia do rio Ji-Paraná (ou Machado), formada pelas Unidades Hidrográficas de Gestão (UHG) Alto e Médio Rio Machado totalizando uma área de 39.394,43 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 16,57% da área do Estado de Rondônia. Suas características fisiográficas, determinantes na resposta aos eventos de precipitações, são descritas na Tabela 11 após ter sido considerado a geometria, o relevo e a rede de drenagem com base no Modelo Digital do Terreno (MDT).

**Tabela 11** – Caracterização morfométrica da bacia do rio Ji-Paraná, Unidades Hidrográficas de Gestão (UHG) Alto e Médio Rio Machado situada no Estado de Rondônia.

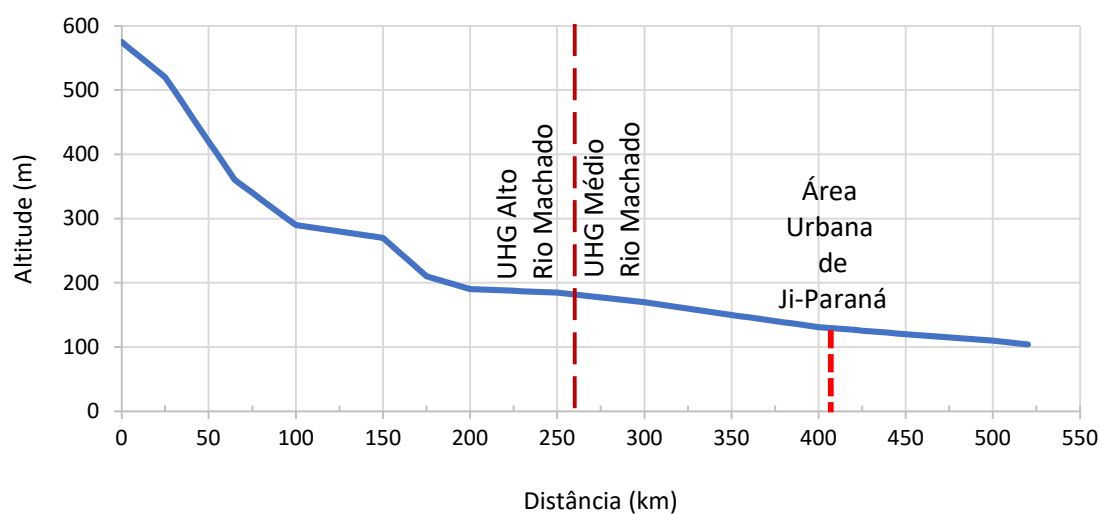
<b>Parâmetros Morfométricos</b>	<b>Resultados</b>	<b>Parâmetros Morfométricos</b>	<b>Resultados</b>
Área da bacia hidrográfica (A):	39.394,43 km <sup>2</sup>	Amplitude altimétrica (Aa):	534,00 m
Perímetro da bacia hidrográfica (P):	1.517,55 km	Comprimento longitudinal de maior distância (Lt):	393,93 km
Largura do rio em Ji-Paraná:	260 m	Comprimento total das drenagens:	28.121,97 km
Altitude na nascente:	575,00 m	Declive média da bacia:	1,2 %
Altitude no exutório:	103,00 m	Coefficiente de compacidade (Kc):	2,1408
Comprimento da drenagem principal (L):	523,92 km	Fator de forma (Kf):	0,2539
Comprimento vetorial do eixo principal (Lv)	377,07 km	Índice de Circularidade (IC):	0,2150
Índice de Sinuosidade (Is):	1,3895 m/m	Densidade de drenagem (Dd):	0,7139 km/km <sup>2</sup>
Declividade média do curso d'água principal (S):	0,09% ou 0,90 m/km		

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

De acordo com Freitas (1952), o resultado do índice de sinuosidade (Is) próximos a 1 indicam canais retilíneos, valores superiores a 2 indicam canais sinuosos e valores intermediários indicam formas transicionais. Isto posto, o trecho do rio Machado analisado com Is encontrado de 1,3895 não se caracteriza como reto ou sinuoso, em outras palavras, têm forma transitória, portanto esta característica não influi diretamente na velocidade do escoamento.

A declividade média do álveo (S) encontrada foi de 0,90 m/km. Para verificação do comportamento da declividade ao longo de seu curso, foi elaborado o perfil longitudinal do rio (Figura 64).

**Figura 64** – Perfil longitudinal do rio Machado.

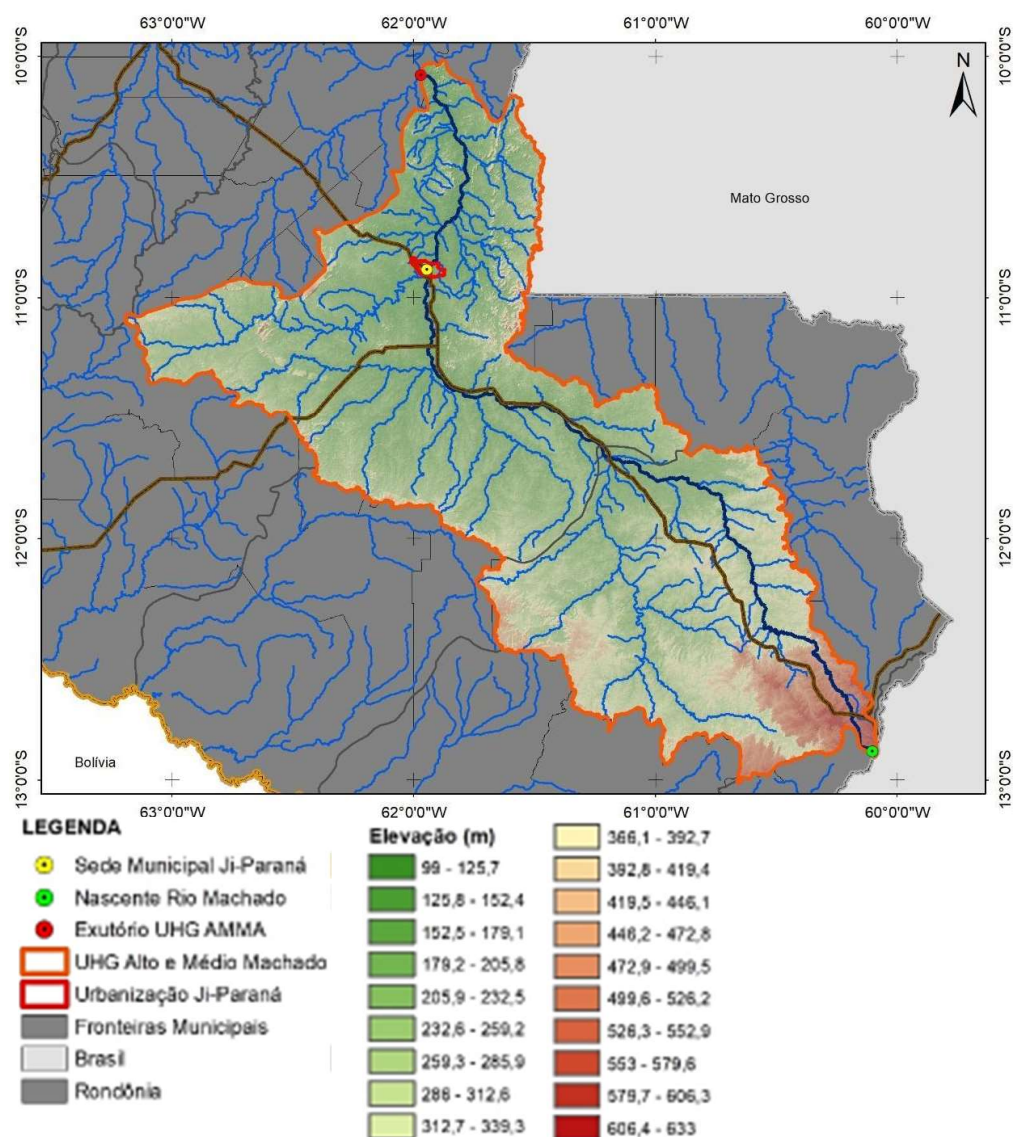


Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Observa-se na Figura 63 que o rio dispõe de uma maior declividade na UHG Alto Rio Machado, onde fica localizada a cabeceira do rio, e que a área urbana de Ji-Paraná está localizada na parte mais plana, a jusante.

Bacias hidrográficas com declividades elevadas têm alto potencial de perda de solo, porém a declividade média da bacia encontrada foi de 1,2%, que conforme a classificação da Embrapa (1979), caracteriza-se como uma área de relevo plano, espacializada tal como demonstra a carta hipsométrica na Figura 65.

**Figura 65** – Carta hipsométrica da bacia de drenagem em estudo.



Fonte: Elaborado por José Torrente (2020).

Pode-se afirmar que a declividade na área de estudo não é um fator determinante no processo de inundação que ocorre em Ji-Paraná, visto que apresentam valores relativamente baixos, o que propicia um escoamento mais tênue, com picos de vazão mais distribuídos.

O coeficiente de compacidade ( $K_c$ ) ao relacionar o a forma da bacia com um círculo apresentou o valor de 2,1408, portanto menos compacta é a bacia e menor é sua tendência a inundações,

conforme corrobora o estudo realizado por Pereira et al (2019) no estado de Goiás, que indicou esta tendência para Kc superiores a 1,50.

Na investigação realizada por Azevedo (1995) em Teixeira de Freitas-BA, bacias de drenagem com o índice de circularidade (IC) superiores a 2,00 proporcionaram um rápido escoamento superficial, independente da cobertura do solo da área.

Visto que o índice de circularidade (IC) relaciona a geometria da bacia a forma circular, enquanto que o fator de forma (Kf) com um retângulo, os resultados de IC igual a 0,2150 e Kf igual a 0,2539, valores baixos, indicam que a bacia é mais alongada, portanto responderia mais lentamente às precipitações, conforme verificado por Pereira et al. (2019) para resultados abaixo de 0,50, sendo, então, menos suscetível a inundações, apresentando tempos de concentração diferentes das diversas áreas da bacia, o que gera um hidrograma distribuído.

A densidade de drenagem (Dd) encontrada foi de 0,7139 km/km<sup>2</sup>. De acordo com Strahler (1957) bacias com Dd de até 5,0 km/km<sup>2</sup> são classificadas como de baixa densidade de drenagem. Sua relação com as propriedades do solo, indica que a bacia seja mais permeável.

Logo, o conjunto das características físicas da bacia permite inferir que a região hidrográfica analisada não é predisposta a inundações em condições normais de precipitação.

Da mesma maneira, Carmo (2016) em seu estudo das sub-bacias urbanas de Ji-Paraná, conclui não são predispostas a inundações por suas características físicas, das quais destaca-se a sub-bacia do igarapé Dois de Abril que apresenta um tempo de concentração igual a 148 minutos; declividade igual a 0,59%; Is igual a 1,19, o que indica ser um canal mais retilíneo; Kc igual a 1,59; Kf igual a 0,25; e a densidade de drenagem igual a 2,22 km/km<sup>2</sup>.

Visto que as características físicas e morfométricas da bacia são importantes indicadores do comportamento hidrológico da mesma, sua compreensão pode propiciar maior eficiência nas intervenções que venham a ser realizadas na bacia, facilitando no planejamento e gestão, de modo a minimizar impactos ambientais e desastres naturais (CARELLI e LOPES, 2011; LORENZON et al., 2015).

#### 4.2.2 Análise temporal do uso e cobertura da terra

Gonçalves e Cortes (2021), em vossos estudos, detectaram que nas últimas quatro décadas a transformação de floresta natural para pastagem representou a principal transição do solo brasileiro, principalmente nas regiões Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte.

Conforme a análise dos dados do MAPBIOMAS (2020), o uso e cobertura do solo modificou-se profundamente de 1985 até o ano de 2019 também nas UHG Alto e Médio Rio Machado. A princípio, predominava-se a formação florestal em 75% da região e a pastagem representava 22% da área, porém o uso preponderante tornou-se a pastagem após o ano de 2000, representando atualmente 52% da bacia, tal como descrito na Tabela 12 e na Tabela 13.

**Tabela 12** – Uso e cobertura da terra do ano de 1985 a 2000.

		Ano			
		1985	1990	1995	2000
<b>Formação Florestal</b>	Área (km <sup>2</sup> )	29.690,74	26.931,04	22.346,23	19.668,31
	Proporção	75%	68%	57%	50%
<b>Formação Savânica</b>	Área (km <sup>2</sup> )	36,98	16,67	22,16	12,79
	Proporção	0%	0%	0%	0%
<b>Formação Plantada</b>	Área (km <sup>2</sup> )	-	-	-	-
	Proporção	-	-	-	-
<b>Formação Campestre</b>	Área (km <sup>2</sup> )	979,79	1.074,95	1.385,13	1.563,30
	Proporção	2%	3%	4%	4%
<b>Pastagem</b>	Área (km <sup>2</sup> )	8.481,00	11.111,61	15.397,42	17.855,27
	Proporção	22%	28%	39%	45%
<b>Infraestrutura Urbana</b>	Área (km <sup>2</sup> )	48,20	93,72	100,15	114,19
	Proporção	0%	0%	0%	0%
<b>Áreas não vegetadas</b>	Área (km <sup>2</sup> )	16,22	2,71	5,61	6,68
	Proporção	0%	0%	0%	0%
<b>Mineração</b>	Área (km <sup>2</sup> )	0,00	0,00	0,00	0,00
	Proporção	0%	0%	0%	0%
<b>Corpos Hídricos</b>	Área (km <sup>2</sup> )	58,00	82,64	86,21	93,36
	Proporção	0%	0%	0%	0%
<b>Soja</b>	Área (km <sup>2</sup> )	-	-	-	16,17
	Proporção	-	-	-	0%
<b>Outras lavouras temporárias</b>	Área (km <sup>2</sup> )	74,80	72,37	42,80	55,64
	Proporção	0%	0%	0%	0%

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Constata-se que houve uma queda acentuada da formação florestal de 1985 a 2000, com a diminuição de 25%, enquanto houve um aumento de área de pastagem em 23%.

**Tabela 13** – Uso e cobertura da terra do ano de 2005 a 2019.

		Ano			
		2005	2010	2015	2019
<b>Formação Florestal</b>	Área (m²)	16.983,99	16.663,45	16.496,04	16.004,97
	Proporção	43%	42%	42%	41%
<b>Formação Savânica</b>	Área (km²)	8,11	7,59	7,08	11,36
	Proporção	0%	0%	0%	0%
<b>Formação Plantada</b>	Área (km²)	-	-	0,28	0,28
	Proporção	-	-	0%	0%
<b>Formação Campestre</b>	Área (km²)	1.645,93	1.648,84	1.623,17	1.607,84
	Proporção	4%	4%	4%	4%
<b>Pastagem</b>	Área (km²)	20.315,26	20.376,32	20.336,62	20.641,73
	Proporção	52%	52%	52%	52%
<b>Infraestrutura Urbana</b>	Área (km²)	123,68	133,50	153,19	160,14
	Proporção	0%	0%	0%	0%
<b>Áreas não vegetadas</b>	Área (km²)	2,74	3,77	1,30	3,09
	Proporção	0%	0%	0%	0%
<b>Mineração</b>	Área (km²)	0,00	0,00	0,00	0,00
	Proporção	0%	0%	0%	0%
<b>Corpos Hídricos</b>	Área (km²)	96,51	149,37	193,12	180,29
	Proporção	0%	0%	0%	0%
<b>Soja</b>	Área (km²)	84,74	183,51	311,34	489,96
	Proporção	0%	0%	1%	1%
<b>Outras lavouras temporárias</b>	Área (km²)	124,75	219,36	263,57	286,04
	Proporção	0%	1%	1%	1%

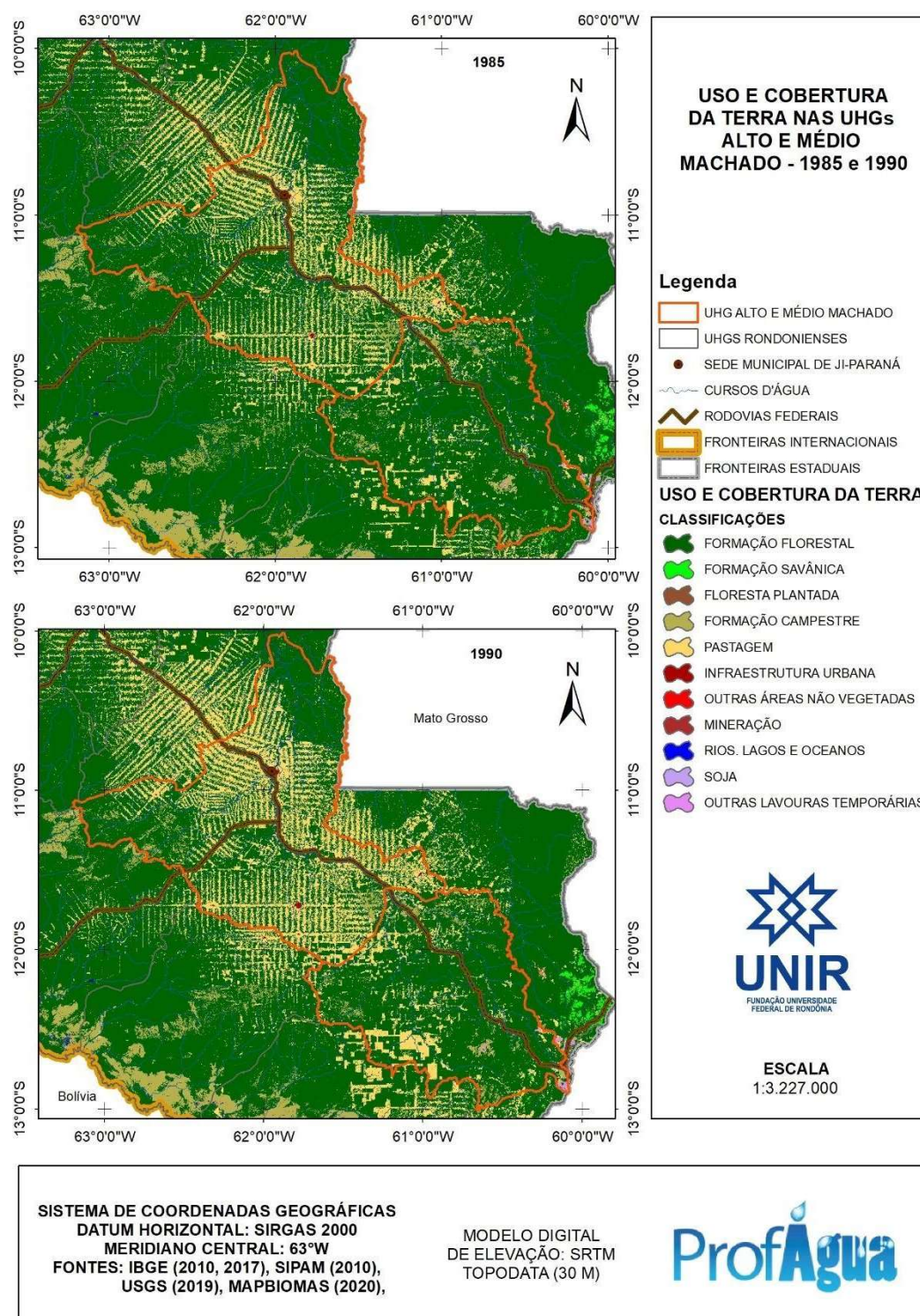
Fonte: Elaborado pela autora (2020).

A tendência de transformação de áreas florestadas em pastagem se manteve nos anos seguintes, porém após o ano de 2005, os números apresentaram uma maior estabilidade entre os diferentes tipos de uso e cobertura.

As alterações espaciais podem ser observadas nos mapas a seguir (Figuras 66, 67, 68, e 69).



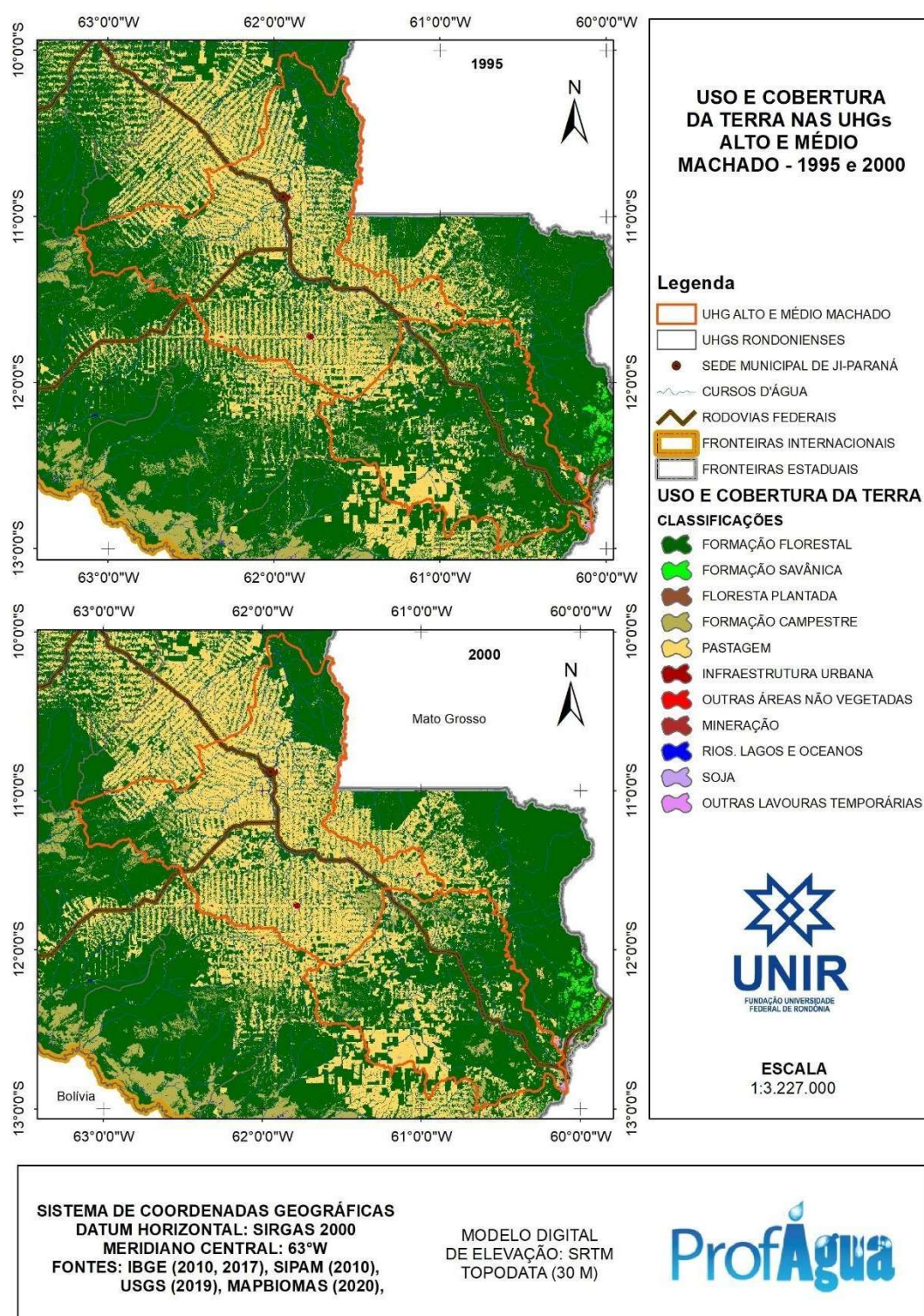
**Figura 66** – Mapa de uso e cobertura da terra para os anos de 1985 e 1990.



Fonte: Organizado por José Torrente (2020).



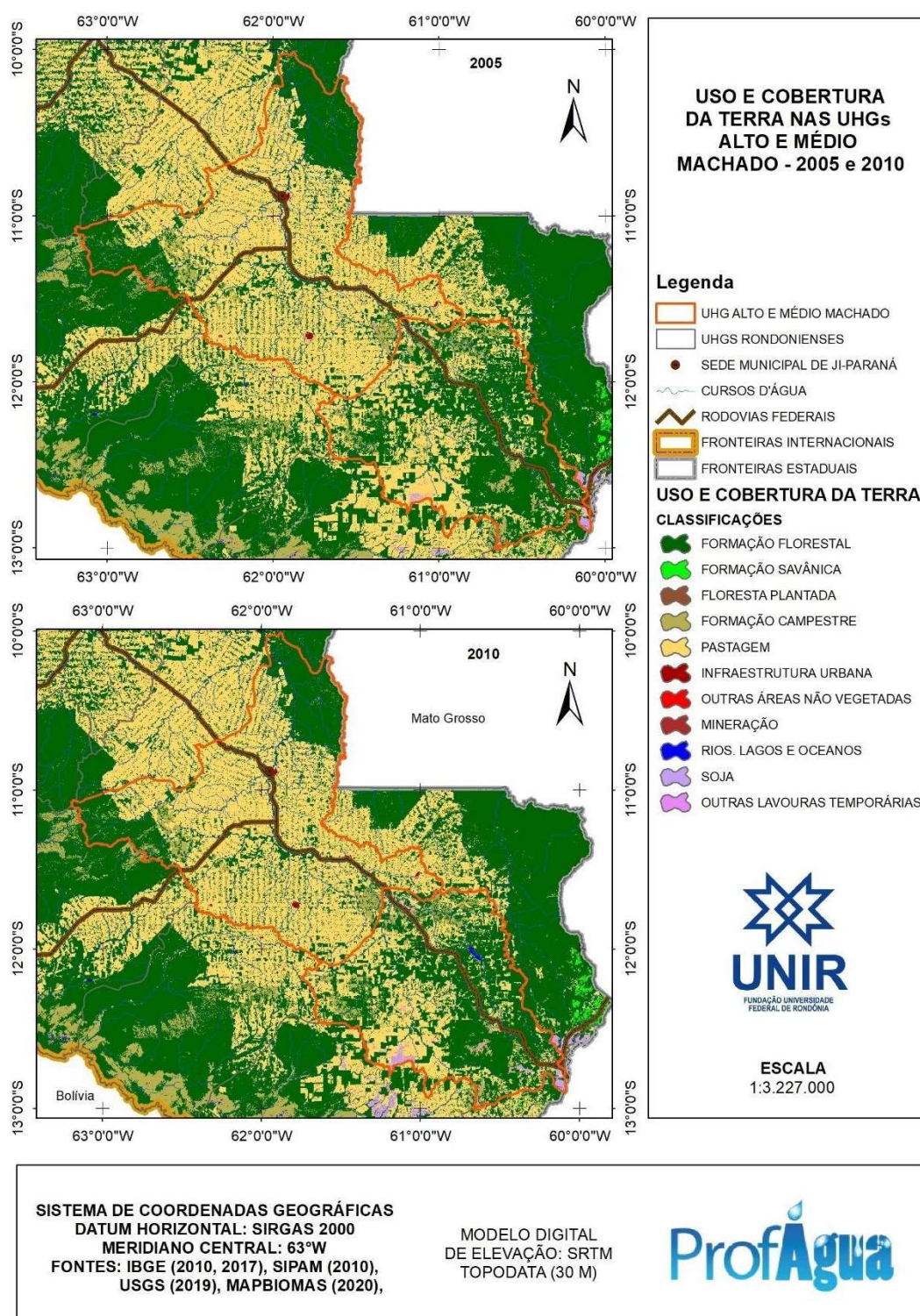
**Figura 67** – Mapa de uso e cobertura da terra para os anos de 1995 e 2000.



Fonte: Organizado por José Torrente (2020).



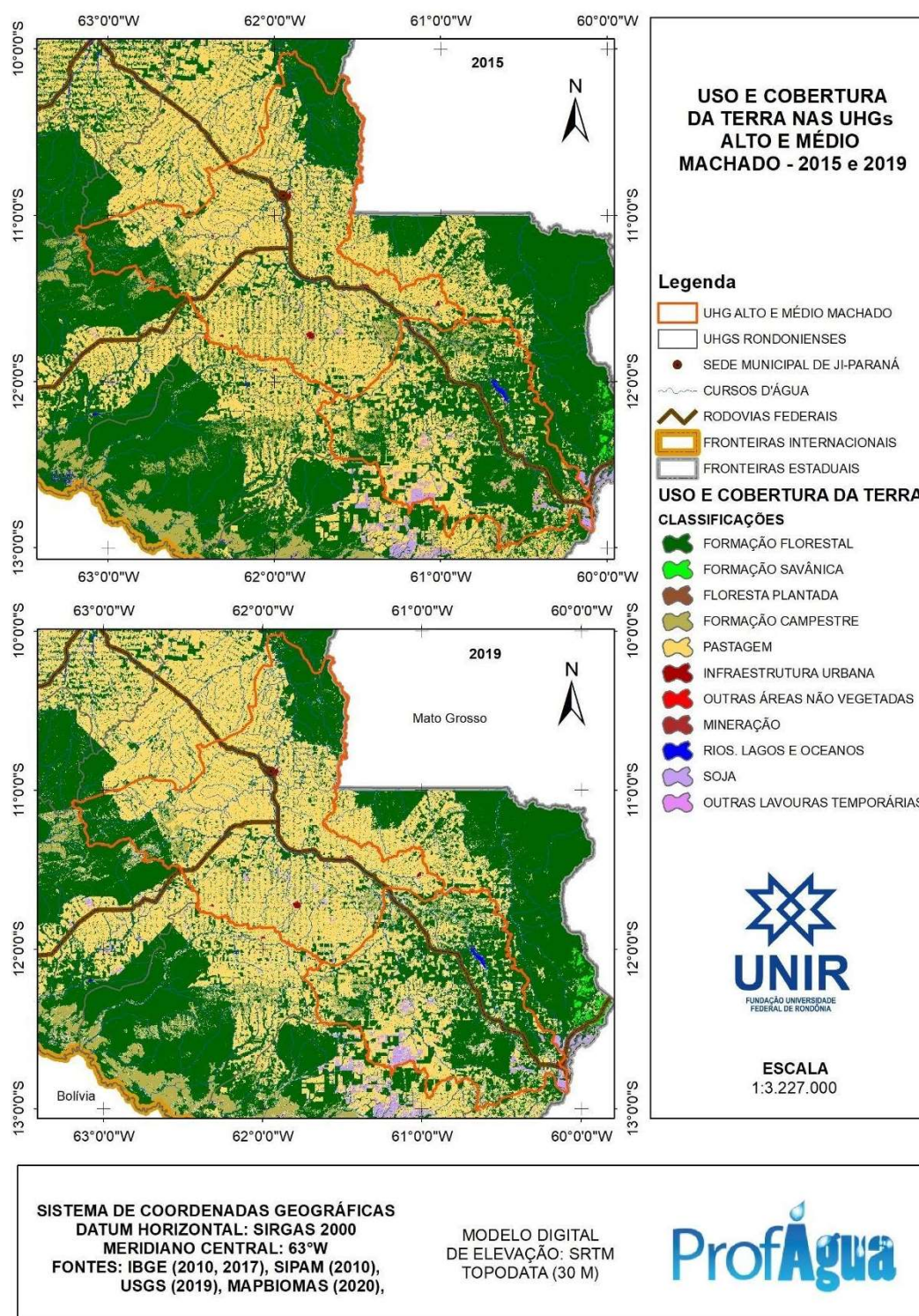
**Figura 68** – Mapa de uso e cobertura da terra para os anos de 2005 e 2010.



Fonte: Organizado por José Torrente (2020).



**Figura 69** – Mapa de uso e cobertura da terra para os anos de 2015 e 2019.



Fonte: Organizado por José Torrente (2020).

De acordo com os aspectos analisados nos mapas, à infraestrutura urbana com 160,14 km<sup>2</sup>, não representa um impacto significativo no contexto da bacia, que tem 39.394,43 km<sup>2</sup>, no entanto, tende a intervir de maneira local, na drenagem urbana do município.

Foi possível observar que nos últimos anos o a ocupação do solo por soja e outras lavouras têm se expandido na UHG Alto Rio Machado, representando 2% da área total, porém ainda não somam uma área expressiva na bacia.

O que se destaca é a transformação de áreas florestadas em pastagem. De Souza et al. (2019) identificaram, em uma sub-bacia do rio Machado, este processo de transformação, onde houve aumento de área com pastagem de 2,6% no ano de 1984 para 45,9% no ano de 2011, sendo a maior conversão observada na nascente do rio Machadinho, o que evidenciou uma maior produção de vazão.

Segundo Gonçalves e Cortes (2021) o ritmo das transições envolvendo a floresta natural podem ser cobradas do poder público, em conjunto com uma maior atenção para a dinâmica produtiva envolvendo as atividades agropastoris, visto que se relacionam com as discussões do manejo sustentável dos recursos naturais.

Também se observa que a pastagem se desenvolveu e está concentrada sobretudo na UHG Médio Rio Machado, este tipo de cobertura, segundo Tucci e Collischonn (1998); Pinheiro (2007); Amaral e Riberio (2009); Rogério, Deus e Nunes (2011) caracteriza o solo da região como desprotegido, o que propicia o desenvolvimento de processos de erosão.

Diante deste cenário, garantir a produção de alimentos e reduzir as taxas de desmatamento é um dos grandes desafios a serem enfrentados pelo Estado e pela sociedade nas próximas décadas. Porém, segundo Duarte, Mendonça e Bonfanti (2021), este conflito pode ser solucionado mediante o investimento na melhoria da produtividade agrícola da região, e, adicionalmente, frisa-se que nesta melhoria é importante a mudança no paradigma, de modo a adotar modelos mais sustentáveis e coerentes com a realidade Amazônica.

#### 4.2.3 Áreas urbanas impactadas pela inundação

Neste item, é discutido as correlações dos dados hidrológicos e de dados levantados por meio da produção de mapas que destacam as áreas impactadas pelo fenômeno de inundação e aquelas que apresentam maior vulnerabilidade. Segundo Kobiyama et al. (2006) este tipo de mapeamento visa suprir a escassez de sistemas de alertas.

Os resultados indicam que o cenário de risco de enchente e inundação é de planícies fluviais (C1), conforme classificação de Brasil e IPT (2007), visto que o relevo é relativamente plano, não expondo as residências ao perigo de deslizamento de massa; e a dinâmica dos eventos ocorre gradativamente, de maneira que a possibilidade de perda de vidas humanas é pequena.

Foi avaliado ainda o perigo quanto ao raio de alcance, visto que quanto menor é o tempo de retorno, maior é a probabilidade de exposição física e ambiental das áreas justafluviais.

Como resultado do estudo do Item 4.1.1, as áreas predominantemente atingidas por níveis de água com tempo de recorrência menor ou igual a 30 anos foram classificadas com alta periculosidade (P1), caso contrário, com baixa periculosidade (P2), seguindo o Quadro 10.

**Quadro 10** – Classificação dos níveis do rio Machado em Ji-Paraná-RO.

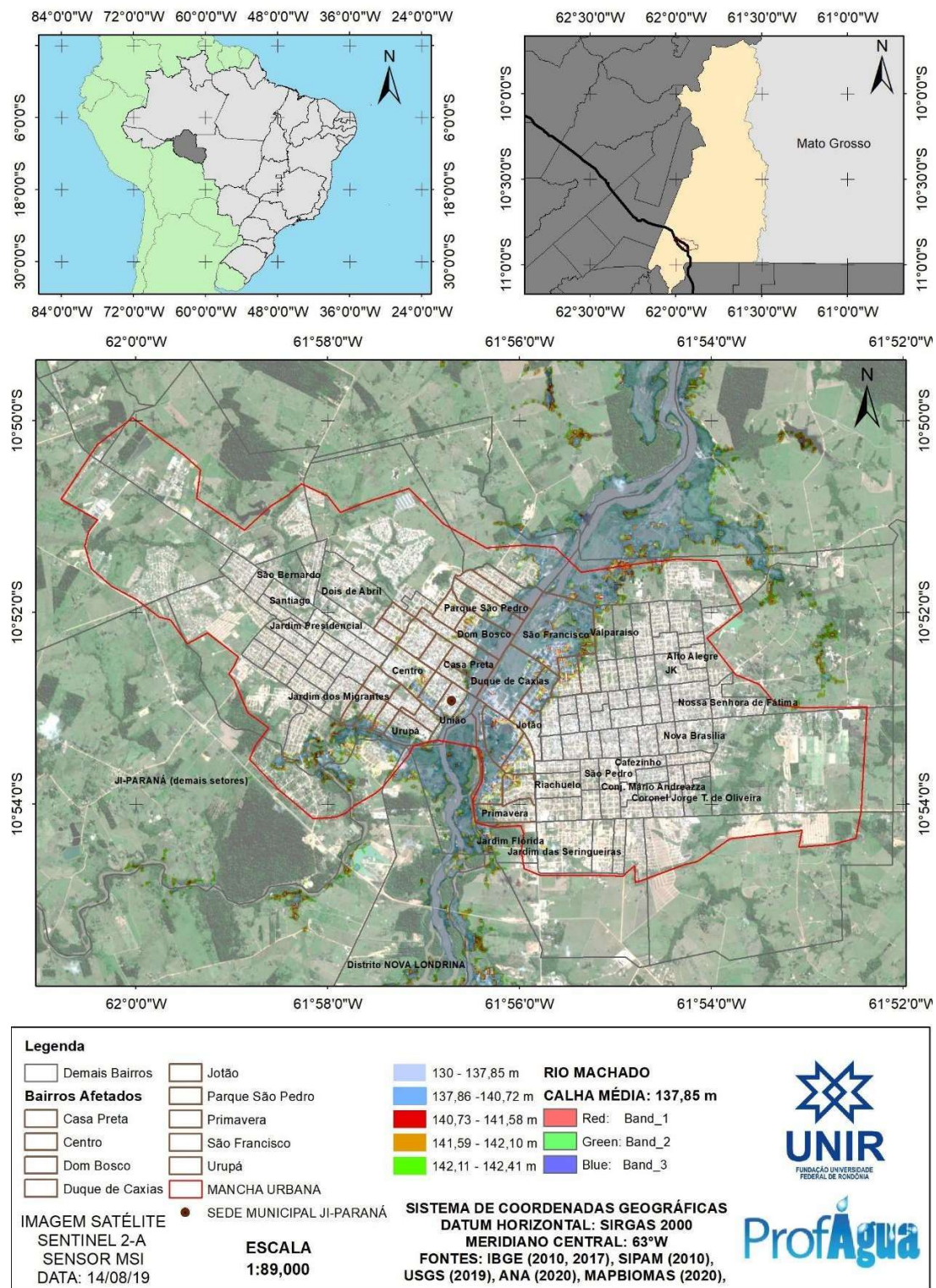
	Régua (cm)	Altitude Ortométrica (m)	Tempo de Recorrência	Probabilidade	Perigo
<b>Calha do Rio</b>	1061	140,72	$TR \leq 2$ anos	100 a 50%	P1
<b>Inundação: Risco Crítico</b>	1062 a 1147	140,73 a 141,58	$2 \text{ anos} < TR < 10 \text{ anos}$	50 a 10%	P1
<b>Inundação: Risco Médio</b>	1148 a 1199	141,59 a 142,10	$10 \text{ anos} < TR < 30 \text{ anos}$	10 a 3,3%	P1
<b>Inundação: Risco Baixo</b>	1200 a 1230	142,11 a 142,41	$30 \text{ anos} < TR < \text{máx.}$	3,3 a 1,7%	P2
<b>Áreas nunca inundadas</b>	Acima de 1230	Acima de 142,41	$TR > \text{máx. histórico}$	1,7 a 0,0%	P2

Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Diante dos resultados, foi correlacionado por meio de geoprocessamento os dados com o modelo digital do terreno, resultando na representação das áreas expostas ao perigo (Figura 70).



Figura 70 - Zonas inundáveis na área urbana de Ji-Paraná-RO.



Fonte: Concebido pela autora (2020). Elaborado por José Torrente (2020).

Os níveis de inundação apresentaram diferenças de poucos centímetros entre as classes, logo, estas não se destacaram no mapa.

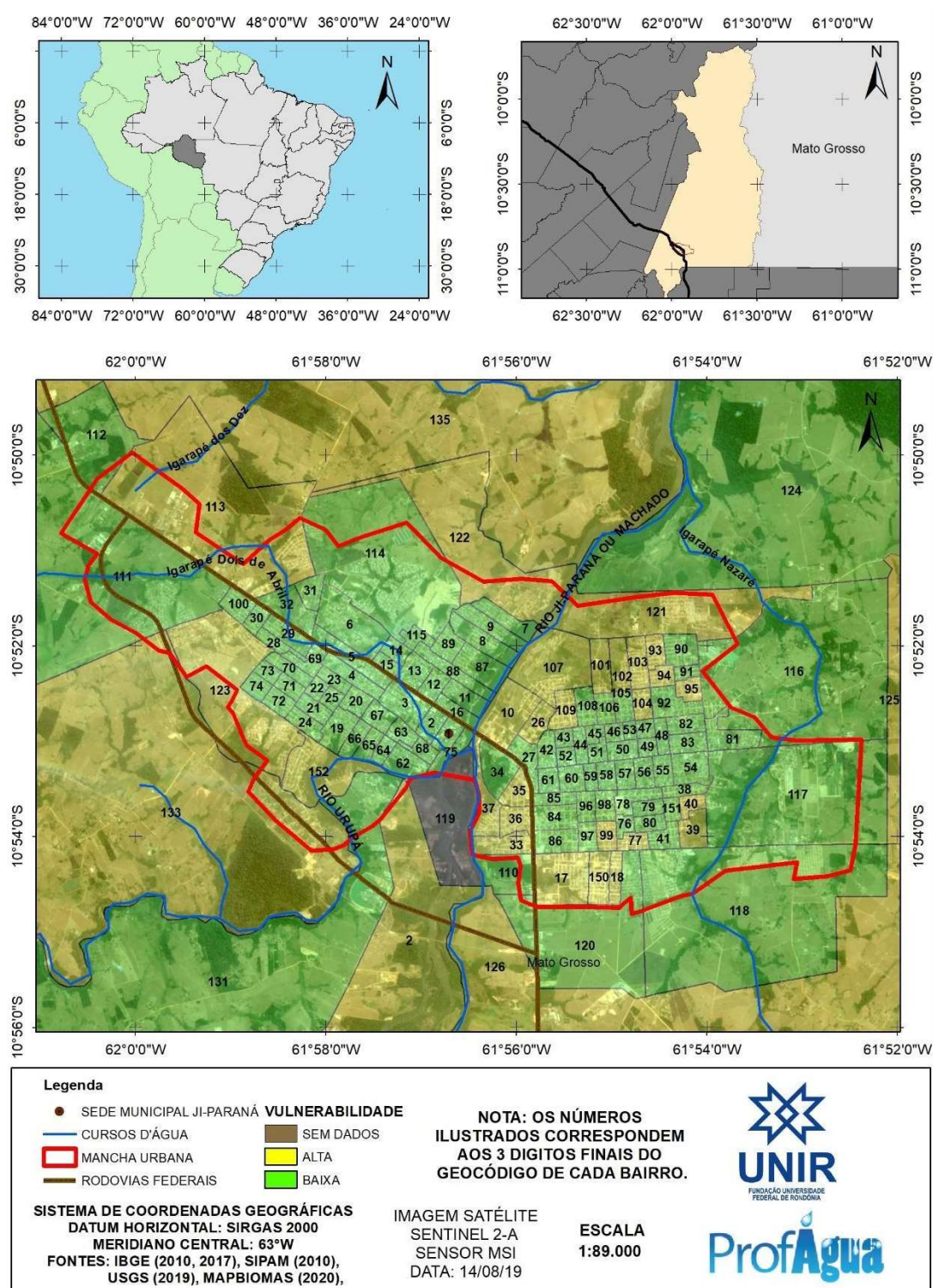
Observa-se que a ocupação as margens do Rio Machado, que ocorreu de maneira espontânea inicialmente, hoje se encontra consolidada, porém são áreas inundáveis, pertencentes ao leito maior do rio, colocando em risco todos que a habita.

Sabe-se que uma discussão bem fundamentada perpassa por análises sobre as desigualdades sociais, portanto, conforme proposto por Brasil e IPT (2007), foi analisado a vulnerabilidade ao fenômeno. A escolha das variáveis se justificou pela realidade encontrada no município de Jipará. Visto que eventos de inundação se caracterizaram pelo cenário “C1” e conforme o resgate histórico das inundações (item 4.1.2), a perda material é o principal impacto sofrido na área de estudo, o índice de vulnerabilidade foi definido com o objetivo de exprimir as questões sociais e econômicas da população.

Para tal, foi ponderado as pesquisas sobre densidade populacional, sobre analfabetismo, sobre o número de pessoas dependentes e sobre o rendimento per capita, resultando na classificação dos setores censitários em alta vulnerabilidade à incidentes (V1) ou baixa vulnerabilidade (V2), de acordo com o arranjo apresentado no item 3.2.1, resultando na produção da Figura 71, o mapa de vulnerabilidade.



**Figura 71 – Vulnerabilidade dos setores censitários de Ji-Paraná-RO.**



Fonte: Concebido pela autora (2020). Elaborado por José Torrente (2020).



As áreas destacadas em amarelo na Figura 71 classificam-se como setores censitários de alta vulnerabilidade a eventos de inundação, os quais são descritos na Tabela 14.

**Tabela 14** – Setores censitários de alta vulnerabilidade a inundações em Ji-Paraná.

<b>Geocódigo</b>	<b>Bairro</b>	<b>Área Tipo</b>	<b>Geocódigo</b>	<b>Bairro</b>	<b>Área Tipo</b>
110012205000010	Duque de Caxias	Urbanizada	110012205000107	São Francisco	Urbanizada
110012205000017	Jardim das Seringueiras	Urbanizada	110012205000018	Jardim das Seringueiras	Urbanizada
110012205000095	Alto Alegre	Urbanizada	110012205000099	São Pedro	Urbanizada
110012205000026	Jotão	Urbanizada	110012205000101	Valparaíso	Urbanizada
110012205000033	Primavera	Urbanizada	110012205000102	Valparaíso	Urbanizada
110012205000035	Primavera	Urbanizada	110012205000103	Valparaíso	Urbanizada
110012205000036	Primavera	Urbanizada	110012205000104	Valparaíso	Urbanizada
110012205000037	Primavera	Urbanizada	110012205000094	JK	Urbanizada
110012205000039	Coronel Jorge T. de Oliveira	Urbanizada	110012205000040	Coronel Jorge T. de Oliveira	Urbanizada
110012220000001	Distrito Nova Colina	Urbanizada	110012205000109	São Francisco	Urbanizada
110012205000077	Cafezinho	Urbanizada	110012205000150	-	Urbanizada
110012205000093	JK	Urbanizada	110012205000152	-	Urbanizada
110012220000004	Distrito Nova Colina	Zona Rural	110012225000003	Distrito Nova Colina	Zona Rural
110012225000002	Distrito Nova Colina	Zona Rural	110012225000004	Distrito Nova Colina	Zona Rural
110012205000125	-	Zona Rural	110012205000137	-	Zona Rural
110012205000126	-	Zona Rural	110012205000139	-	Zona Rural
110012205000127	-	Zona Rural	110012205000140	-	Zona Rural
110012205000129	-	Zona Rural	110012205000146	-	Zona Rural
110012205000130	-	Zona Rural	110012205000147	-	Zona Rural
110012205000132	-	Zona Rural	110012205000148	-	Zona Rural
110012205000133	-	Zona Rural	110012205000149	-	Zona Rural
110012205000121	-	Zona Rural	110012205000113	-	Zona Rural
110012205000134	-	Zona Rural	110012205000135	-	Zona Rural
110012205000123	-	Zona Rural	110012205000122	-	Zona Rural
110012205000136	-	Zona Rural			

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Detectou-se que a classe de alta vulnerabilidade no espaço urbano está localizada sobretudo em áreas próximas a margem direita do rio Machado (2º distrito) e em áreas periféricas. Segundo

Borelli (2011), no Brasil a ocupação dessas áreas está relacionada à procura por habitação com baixo preço da terra, por vezes, ocorrendo de maneira ilegal. Além disso, a espacialização da vulnerabilidade revelou que as áreas centrais da cidade, localizadas na margem esquerda do rio (1º distrito), são menos vulneráveis.

Tal mapeamento, segundo Guerra (2020) contribui para “uma melhoria clara nas práticas de planejamento municipal, aumentando a eficácia das políticas públicas relacionadas ao ordenamento do território”.

Ainda, o confronto dos resultados possibilita a representação espacial dos setores censitários por classes de risco, que auxiliará, sobretudo, na identificação dos locais que necessitam de intervenção prioritariamente e na definição sobre qual a solução mais adequada.

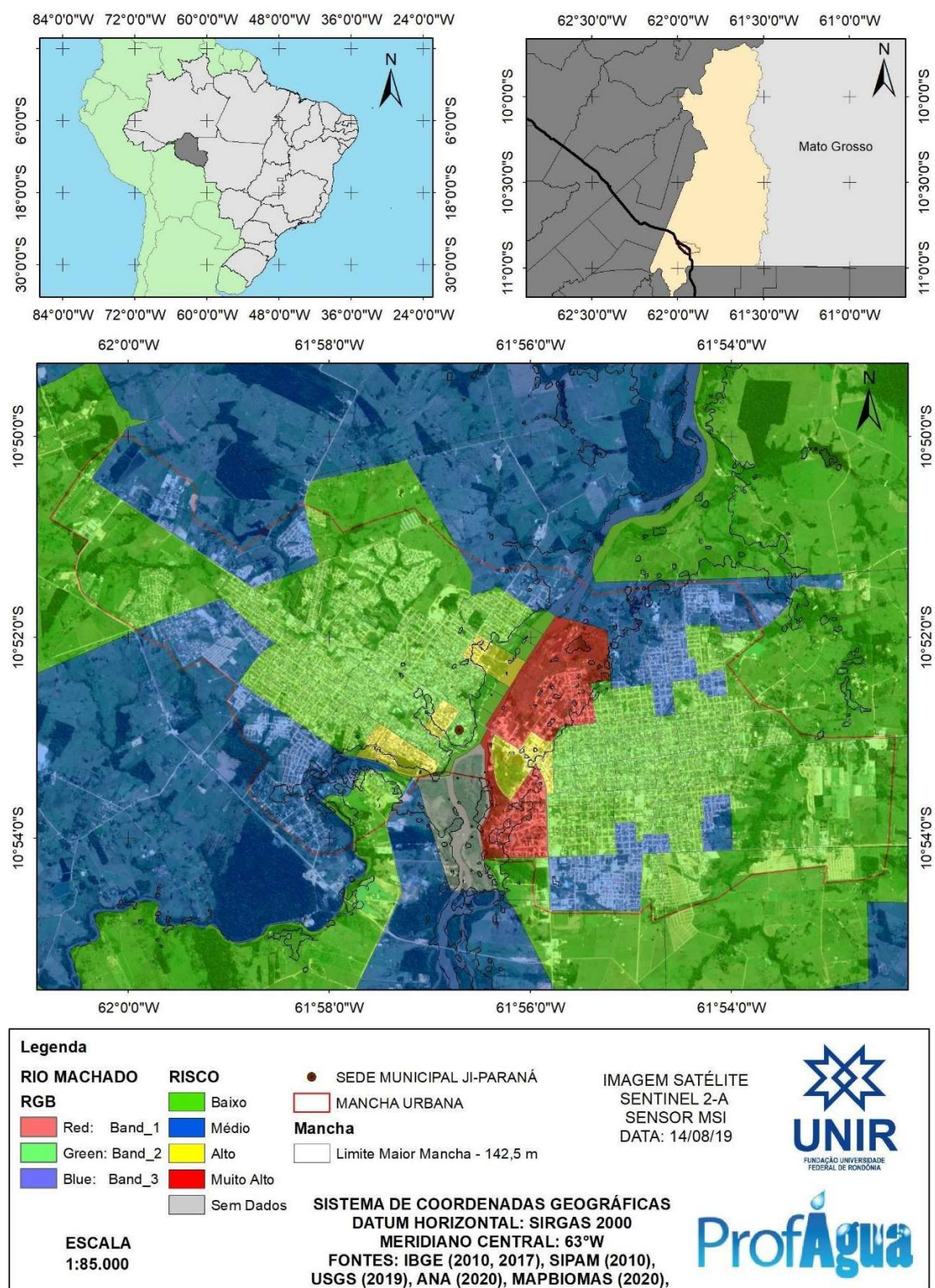
Portanto, com os resultados dos arranjos considerando os três critérios (cenário, perigo, vulnerabilidade) foram obtidas quatro possibilidades para a área urbana do município, especificadas no Quadro 11 e delineados na Figura 72.

**Quadro 11** – Classes de risco identificadas na área urbana de Ji-Paraná-RO.

<b>Classificação por Brasil e IPT (2007)</b>	<b>Classificação Local Proposta</b>	<b>Descrição</b>
Risco 2	Risco Muito Alto	Enchente e inundação com baixa energia cinética (C1) atingindo imóveis de alta vulnerabilidade (V1), em regiões com alta possibilidade de impacto (P1)
Risco 1	Risco Alto	Enchente e inundação com baixa energia cinética (C1) atingindo imóveis de baixa vulnerabilidade (V2), em regiões de alta possibilidade de impacto (P1)
Risco 1	Risco Médio	Enchente e inundação com baixa energia cinética (C1) atingindo imóveis de alta vulnerabilidade (V1), em regiões de baixa possibilidade de impacto (P2)
Risco 1	Risco Baixo	Enchente e inundação com baixa energia cinética (C1) atingindo imóveis de baixa vulnerabilidade (V2), em regiões de baixa possibilidade de impacto (P2)

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

**Figura 72 - Áreas de risco a inundação na área urbana de Ji-Paraná-RO.**



Fonte: Concebido pela autora (2020). Elaborado por José Torrente (2020)

Dentre os resultados, destacam-se os setores que apresentaram risco muito alto e alto, descritos na Tabela 15, com dados populacionais conforme IBGE (2010).

**Tabela 15** – Setores em risco a inundações de nível muito alto e alto em Ji-Paraná.

Nível de Risco	Geocódigo do Setor	Bairro Pertencente	Total de Habitantes
Muito Alto	110012205000010	Duque de Caxias	908
	110012205000026	Jotão	600
	110012205000033	Primavera	1.026
	110012205000035	Primavera	765
	110012205000036	Primavera	1.174
	110012205000037	Primavera	905
	110012205000107	São Francisco	1.203
	110012205000109	São Francisco	1.397
Alto	110012205000002	Centro	483
	110012205000027	Jotão	449
	110012205000034	Primavera	391
	110012205000062	Urupá	606
	110012205000064	Urupá	570
	110012205000065	Urupá	853
	110012205000087	Dom Bosco	954
<b>Total</b>			<b>12.284</b>

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Um total de 12.284 pessoas encontram-se em áreas de risco, de maneira vulnerável no município de Ji-Paraná, habitando principalmente na margem direita do rio Machado (2º distrito), o que configura uma situação de desigualdade ambiental.

Segundo Torres (1997) a desigualdade ambiental está relacionada com outras formas de desigualdade presentes na sociedade, isto é, a população é desigual ambientalmente porque é desigual socialmente.

Considera-se este mapa um material cartográfico expressivo para se preponderar sobre a segurança hídrica de maneira holística. Neste sentido, as áreas classificadas com risco muito alto e alto a inundações necessitam de uma atenção especial por parte do poder público, o qual deve levar em consideração as contribuições do item 4.4.

#### **4.3 Correlações das Investigações e Diagnósticos com os Fenômenos de Inundações**

Conforme as características fisiográficas da bacia de drenagem analisada há um forte indicativo da pouca influência do relevo no processo de inundações, indicando baixa suscetibilidade natural.

Observando o relevo, a bacia hidrográfica do rio Machado tem uma predisposição ao escoamento de menor velocidade, porém ao ser comparada com a extensa bacia hidrográfica do rio Madeira, onde está inserida a capital do Estado de Rondônia, ou ainda a do rio Mamoré, a elevação do nível do rio Machado em Ji-Paraná ocorre mais abruptamente do que é observado nos outros rios.

Esta situação pode ser explicada pela sua forma menor e mais estreita, que contribui para que uma chuva de abrangência maior atinja toda a bacia, gerando um grande volume de escoamento superficial, diminuindo o impacto das vantagens fisiográficas.

Ficou demonstrado também que os eventos de precipitação tem apresentado uma intensificação ao longo da série histórica, para a região de Ji-Paraná, e, com o consequente aumento no escoamento superficial, tem propiciado a ocorrência de eventos de alagamentos relacionados a ineficiência da drenagem urbana no município.

Notou-se ainda que os eventos de inundações estão se caracterizando por níveis maiores nas últimas décadas, o que pode estar intimamente relacionado com a diminuição da cobertura florestal da bacia de drenagem no decorrer dos anos, tal como evidenciado por Valadão (2019) em seus estudos no estado de Rondônia, onde foi demonstrado que as mudanças no uso e cobertura da terra no Estado interferem nos padrões locais e regionais de chuvas.

Ainda, o discutido no item 4.1.3 corrobora para tal afirmação, visto que para os anos de 1993, 1994 e 1995 foi identificado que os eventos de precipitação na região de Ji-Paraná foram mais intensos, e também maior foi o desmatamento na região em comparação com dados de Pimenta Bueno, região onde esta tendência não foi observada, localizada mais ao sul da bacia, próxima a região mais florestada neste período.

Como consequência do aumento das áreas com o solo descoberto, há o aumento do escoamento superficial e de perdas de solo, conforme aponta o estudo de Oliveira, Silva e Neto (2020) realizado no Rio Grande do Sul.

Sabendo-se que o solo predominante na área de estudo é sensível aos processos erosivos, pressupõe-se que há o aumento da carga sedimentar aos corpos hídricos. Nesta lógica, há a hipótese de que o rio Machado esteja passando por processos de assoreamento, que estariam agravando os fenômenos naturais de inundações devido à diminuição da profundidade da seção do rio, somados ao aumento dos picos de vazão ocasionados pela diminuição da infiltração da água no solo e por vezes pela ocorrência de eventos extremos.

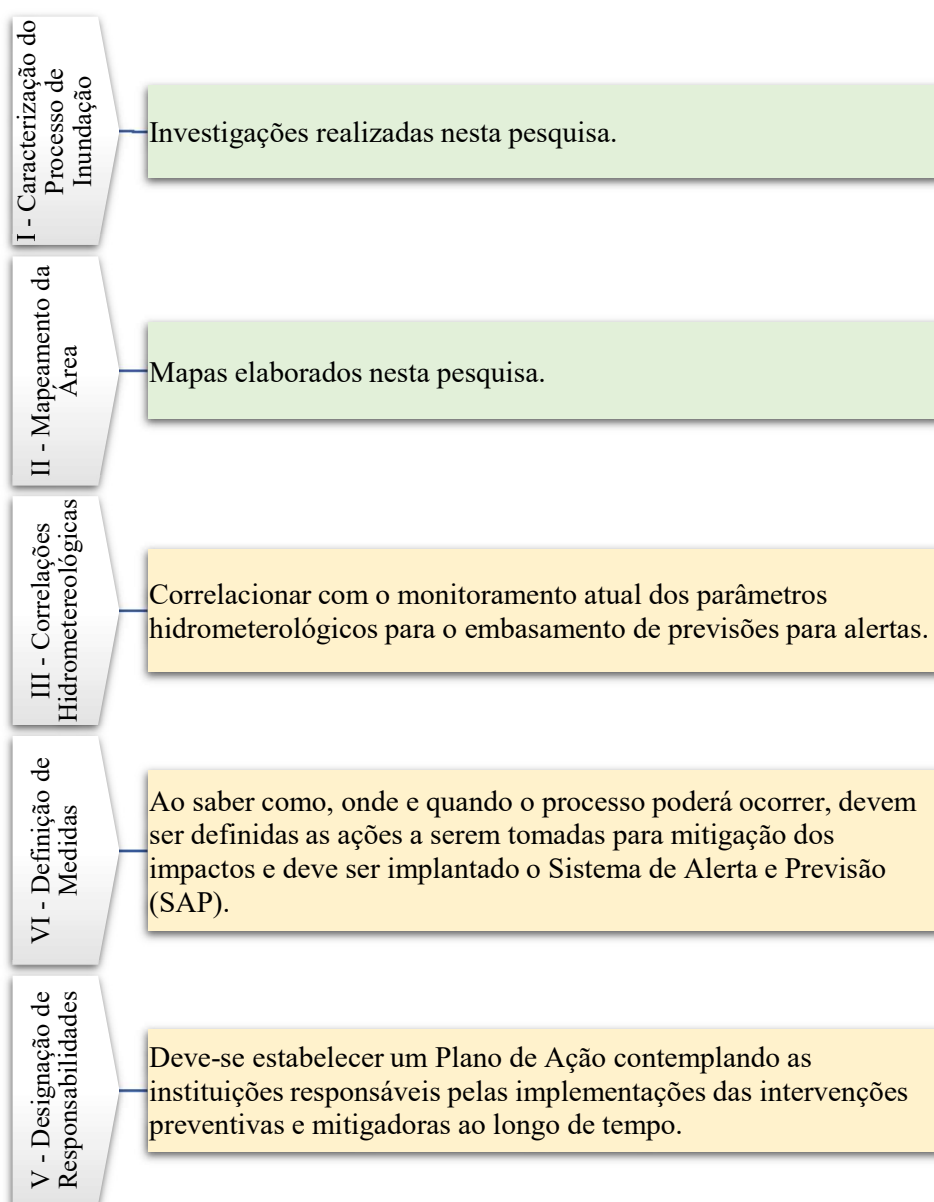
A sedimentação prevalece em áreas à jusante, onde a inclinação do corpo hídrico é menor, portanto, a localização de Ji-Paraná na distância 407,43 km (Figura 65), na parte mais plana, reafirma tal hipótese. Como já discutido por Tucci (2006), as inundações tendem a ser mais frequentes em locais de maior sedimentação.

Em vista dos argumentos apresentados, pode-se inferir a existência de conexão entre a exposição de solos frágeis, sobretudo pelo desmatamento, a ocupação irregular de áreas dentro do leito maior com a magnitude dos eventos de inundações e da vulnerabilidade humana, em concordância com o afirmado por Maffra e Mazzola (2007).

#### **4.4 Gerenciamento das áreas de risco em Ji-Paraná-RO**

Após a caracterização e o mapeamento, o gerenciamento das áreas de risco deve ainda cumprir mais três etapas, em conformidade ao proposto por Brasil e IPT (200) e Canholi (2014), para elevar a capacidade de adaptação da população que ocupa área de risco à inundação, tal como sugerido na Figura 73.

**Figura 73** – Etapas macro para o gerenciamento de áreas de risco.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Em face aos resultados desenvolvidos ao longo do estudo, é possível incutir soluções no que diz respeito ao gerenciamento das áreas de risco às inundações em Ji-Paraná-RO a fim de garantir o bem-estar social de seus habitantes.

#### **4.4.1 Medidas mitigadoras para áreas de Risco Muito Alto**

Conforme os diagnósticos da área de estudo e os riscos hidrológicos a qual está exposta de forma periódica, as áreas justafluviais do Rio Machado abaixo da cota 140,73 (tempo de recorrência menor que 2 anos) tornam-se impróprias à ocupação urbana (residencial, comercial ou industrial), devendo a gestão pública controlar o processo, favorecendo os usos adequados, como, por exemplo, espaços públicos para atividades coletivas em área urbana, principalmente aqueles que favorecem a proteção do corpo hídrico, como parques naturais.

Portanto, fundado no interesse público e na responsabilidade pela ordenação das cidades, recomenda-se que os imóveis urbanos localizados no setor classificado com risco muito alto devem ser desapropriados pelo município, em conformidade com a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, que o institui como instrumento da política urbana. Portanto, deve-se realocar esta população, em sua maioria, de menor poder aquisitivo, em novas habitações, e promover a regularização fundiária de assentamento urbanos irregulares, se houver, onde o uso habitacional for conveniente.

No entanto, é importante destacar que, para tal tomada de decisão, há que se considerar, como um dos fatores primordiais, as particularidades regionais e socioculturais.

Ademais, a fim de evitar a formação de novas áreas de risco, bem como instrumentalizar o poder público frente às ações necessárias sugeridas, o município de Ji-Paraná deve acrescentar em seu plano diretor o mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e os seus parâmetros de parcelamento, uso e cobertura do solo, complementando o zoneamento da cidade.

#### **4.4.2 Medidas mitigadoras para áreas de Risco Alto**

Apesar do perigo alto em ser atingido por inundações, estas áreas apresentam-se com menor vulnerabilidade aos eventos. Considera-se ainda a relação dos moradores de algumas áreas justafluviais que podem conter um vínculo histórico, a exemplo do que ocorre à margem esquerda do rio Ji-Paraná, em área central da cidade, na qual há uma comunidade fundada em torno de uma Colônia de Pescadores (colônia Z-9), sendo a base econômica das famílias dependente da sua localização.



Portanto, em virtude da consolidação da ocupação, indica-se a criação do Sistema de Alerta e Previsão, correlacionando os resultados apresentados neste estudo com o monitoramento hidrometeorológico em tempo real.

Em virtude das características físicas da bacia, torna-se pouco eficiente a aplicação de sistemas de previsão de cheias a curto prazo baseados apenas nas cotas do rio a montante da área urbana. Logo, a atenção preventiva para Ji-Paraná deve focar-se no deflagrador determinante, a precipitação, possibilitando assim uma maior antecedência na mobilização de alertas.

Em complementação, a coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC) de Ji-Paraná detém um Plano de Contingência que traça as principais ações emergenciais para a proteção e defesa da população em caso de inundação, instrumento imprescindível, porém sugere-se a atualização do plano. Propõe-se a definição e utilização dos termos “Cota de Alerta” e “Cota de Emergência” para o gerenciamento de áreas de risco pelos diversos Sistemas de Proteção e Defesa Civil, bem como de Alerta e Previsões.

A cota de emergência deve ser instituída como o limiar para a ação do poder público frente aos impactos que o nível do rio inflige à sociedade local.

A cota de alerta, por sua vez, estabelece-se para sinalizar a elevação do nível do rio, de valor próximo a cota de inundação, possibilitando, em tempo hábil, o planejamento e preparação de ações para um episódio de inundação.

Entende-se que os termos “Cota de Enchente” e “Cota de Inundação” devem ser designados em função das características hidrológicas, desta maneira, a cota de emergência de uma determinada localidade pode ser enquadrada como uma cota de enchente, indicando que o evento de inundação em questão é natural, portanto, a adoção de medidas preventivas e mitigadores não devem focar em ações de controle dos processos hidrológicos.

Neste estudo, ficou definido como cota de inundação o nível de 10,61 m, que corresponde ao tempo de retorno igual a 2 anos, delimitando assim o leito maior do rio Machado.

Contudo, os atendimentos realizados pela COMPDEC em 2019 com cotas inferiores a cota de inundação indicam a necessidade de se utilizar uma cota de emergência, a qual já é instituída no Plano de Contingência de Ji-Paraná-RO em 10,30 m, porém, neste estudo recomenda sua atualização para 10,05 m (TR igual a 1,10 anos).

Esta recomendação visa a coordenação de ações que possibilitem a redução de perdas materiais e humanas com a devida antecedência, visto que no evento de inundação ocorrido em 2019, houve pedidos de apoio à Defesa Civil antes da cota de 10,30 m.

Dentre as ações para conviver com os eventos, propõe-se adequações estruturais para a elevação dos imóveis em área de risco alto acima da cota 141,59 (risco médio) que representa um tempo de retorno superior a 10 anos.

#### **4.4.3 Sugestões de medidas mitigadoras para a bacia de drenagem**

Além de o município controlar a ocupação de áreas de risco a inundação, técnicas sustentáveis para a diminuição do volume de escoamento superficial contribuirão na gestão dos eventos extremos no município.

Assim, a fim de evitar os transbordamentos dos cursos d'águas urbanos, sugere-se o emprego de dispositivos como lagos, pequenos reservatórios, poços e/ou trincheiras de infiltração integrados no sistema de drenagem em concordância com Canholi (2014), bem como, o que preceitua o Plano Diretor do município, em que Ji-Paraná (2001, p. 23) diz: “zonas identificadas como problemáticas quanto à drenagem urbana, a critério do órgão técnico competente, deverão ser construídos, nos lotes edificadas, reservatórios de retenção de águas pluviais”.

No planejamento macro das ações mitigadoras, recomenda-se que novos estudos sejam realizados para analisar variáveis que corroborem com a hipótese do aumento de depósito de sedimentos na calha do rio em Ji-Paraná e assim atuar nos processos de antropização da região de maneira eficiente. Não obstante, as características pedológicas da bacia hidrográfica em estudo já apontam para a necessidade de estruturar medidas de controle dos processos erosivos preventivamente, necessidade esta agravada atualmente pela alta exposição do solo na região

visto que em 2019 foi detectado 20.641,73 km<sup>2</sup> de área em Pastagem, representando 52% das UHG Alto e Médio Rio Machado.

O controle dos processos erosivos pode ser realizado, segundo Tucci (2006), por meio do reflorestamento, da proteção das margens dos rios, por uso de práticas eficientes na agropecuária e por pequenos reservatórios integrados nos sistemas de drenagem urbana.

Sugere-se ainda que estudos de previsão da evolução espacial e temporal do uso do solo e da cobertura do solo, resultando em prognósticos para a região hidrográfica, devem ser realizados para contribuir de maneira significativa na gestão da bacia, buscando antecipar os novos desequilíbrios que possam comprometer a segurança hídrica em função das atividades antrópicas, tal como já se observa a evolução de plantio de soja e outras lavouras na UHG Alto Rio Machado, que em 2019 somaram 776 km<sup>2</sup>.

Sabendo-se que a gestão dos recursos hídricos traz desafios em função de sua complexidade, torna-se fundamental a educação ambiental, particularmente, sobre a problemática dos desastres naturais, em conformidade com o discutido neste estudo, tal como preconiza Sulaiman e Aledo (2016) e Tundisi e Matsumura-Tundisi (2020), para elevar a participação ativa da comunidade e se obter as melhores soluções na gestão pública.

Em vista dos argumentos apresentados, a principal medida que se provoca, visa o que propõe a última etapa da Figura 73, a criação do Plano de Ação, podendo apresentar-se como o Plano Diretor de Drenagem Urbana, um conjunto de estudos, normas e medidas mitigadoras elaboradas a partir de uma visão holística, apresentando soluções estruturais e não estruturais que se baseiam em conceitos inovadores, ou seja, soluções que objetivem o desenvolvimento urbano em harmonia com a natureza, tal como SUDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*) definido por Fletcher et al. (2015) como metodologias sustentáveis de drenagem urbana.

Para a perfeita eficiência de um plano de ação, além da estipulação de medidas, deve-se designar a entidade responsável pela execução de cada uma, com ações para curto, médio e longo prazo, devidamente compatibilizado com demais planos e projetos de infraestrutura, com o objetivo de promover o desenvolvimento do espaço de forma integrada e harmônica com o rio.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As inundações são eventos naturais, que ocorrem de forma sazonal na região Amazônica, assim sendo, foi identificada a elevação do nível do rio Machado no trecho urbano de Ji-Paraná, sobretudo nos meses de janeiro a abril, em consonância ao período chuvoso, cujos máximos de precipitações mensais se concentram entre os meses de dezembro a março.

A fim de compreender e propor ações de enfrentamento as inundações, buscou-se identificar os fatores que atuam na dinâmica por meio de estudos hidrometeorológicos, morfométricos, de uso e cobertura da terra e ainda sobre as desigualdades sociais no espaço urbano.

Diante dos resultados, verificou-se que a confluência de vários fatores contribuem para a ocorrência de eventos extremos e influenciam na magnitude dos impactos sofridos no município estudado.

Visto que os principais eventos que impactaram a cidade corresponderam ao tempo de retorno de 4, 6, 8, 9, 15 e 59 anos, atribui-se os impactos, primeiramente, a dinâmica da ocupação do município, que em partes, se desenvolveu no leito de maior do rio, áreas de grande risco às inundações.

Porém, ao analisar a ocorrência desses fenômenos de acordo com o registrado desde 1978, observou-se que a recorrência de eventos extremos tem sido maior nos últimos anos. Tal intensificação apresenta relações com a modificação do uso e cobertura da bacia, visto que em 1985 predominava áreas florestadas, e em 2019 tornaram-se predominantes as áreas de pastagem, com isso pressupõe-se a ocorrência de processos de assoreamento, aumento dos picos de vazão ocasionados pela diminuição da infiltração da água no solo e maior ocorrência de eventos extremos de precipitação.

Em síntese, este trabalho revelou as características hidrológicas da área de estudo, principalmente com relação a inundações, com destaque para o ano de 2019. No entanto, para a questão complexa que é a gestão dos recursos hídricos, também foi analisada a dimensão da vulnerabilidade da bacia hidrográfica e da população a esses eventos.

Diante disso, foi observado que as inundações não atingem igualmente o espaço urbano, pois a ineficiência no planejamento urbano e outros fatores modificadores do espaço, levaram a estabelecer regiões em que a população é mais vulnerável aos eventos, devendo estas áreas serem priorizadas no plano de ação.

A metodologia apresentada nesta dissertação analisou os fatores determinantes do cenário das inundações, resultando em uma alternativa de instrumento para gestão de áreas de risco às inundações, visto que não há como evitar os eventos, porém medidas de mitigação e prevenção podem e devem ser executadas.

A aplicação deste estudo ocorreu por meio da definição da cota de inundação; pelo resgate histórico dos eventos visando agregar a relação da sociedade com o espaço, promovido pelas fotografias em conjunto com as informações precisas, e principalmente, rememorando as experiências para o embasamento nas tomadas de decisão frente à problemática; e pela compreensão do tempo de retorno dos níveis de inundação, o que permite que os gestores avaliem a urgência do ordenamento territorial em função do risco para cada área, a fim de garantir a segurança hídrica.

Ainda, os resultados deste trabalho poderão servir de subsídio para a elaboração do plano diretor de drenagem urbana para o município de Ji-Paraná e como base para implantação de um sistema de alerta.

Sabendo da diversidade de variáveis envolvidas no ciclo da água e no processo de urbanização, conclui-se que ações de gestão envolvem grande complexidade e devem ser analisadas a partir de uma visão holística. Por isso, este estudo não tem o objetivo de esgotar as análises do processo, tão pouco, propor todas as medidas mitigadoras à problemática das inundações, mas sim, trazer contribuições visando a construção de uma cidade mais sustentável e que garanta o bem-estar social de seus habitantes, por meio da adoção de medidas que assegurem a gestão integrada dos recursos hídricos com as políticas de uso e cobertura do solo.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas de vulnerabilidade a inundações**. Brasília: ANA, 2014. 15 p. ISBN 978-85-82100-25-7.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Plano estratégico de recursos hídricos dos afluentes da margem direita do rio Amazonas: diagnóstico**. Brasília: ANA, 2013. 826 p. ISBN 978-85-89629-86-7.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Sobre a ANA**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/aceso-a-informacao/institucional>. Acesso em: 20 abr. 2020.

AMARAL, Rosangela do; RIBEIRO, Rogério Rodrigues. Inundações e Enchentes. *In*: TOMINAGA, L. K; SANTORO, J; AMARAL, R. (Orgs.) **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 1. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 39-52. ISBN 978-85-87235-09-1.

ARAÚJO, Carlos. Vídeo mostra Ji-Paraná submersa, após 6h de chuva. **Expressão Rondônia**, Porto Velho, 22 fev. 2019. Disponível em: <https://www.expressaorondonia.com.br/video-mostra-ji-parana-submersa-apos-mais-de-seis-horas-de-chuva/>. Acesso em: 09 set. 2020.

ARIAS, Paola *et al.* Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group14 I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Technical Summary, **The Intergovernmental Panel on Climate Change**, AR. 6, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 15 dez. 2021.

AZEVEDO, Emílio Carlos. **Vazão e características físicas e químicas do deflúvio de microbacias hidrográficas cobertas com mata nativa, pastagem e Eucalyptus grandis**. 1995. 92 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

BACON, Francis. **Novum organum**. Tradução José Aluysio Reis de Andrade. São Paulo: Grupo Acrópolis, 2002. 333 p. *E-book*. Disponível em: <http://www.ebooksbrasil.org/adobeebook/norganum.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2020.

BECKER, Bertha Koiffmann. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 53, p. 71-86. 2005.

BERNINI, H.; CORREA, A. C. S. S.; BARBOSA, I. S.; NASCIMENTO, C. R. V. do; SILVA, D. C.; SOUZA, N. B. M. de; MOURA, J. H. R. C. de; JORÃO, A. A. Avaliação e características de eventos extremos de precipitação no perímetro urbano de Porto Velho – RO a partir da rede de pluviógrafos local. *In*: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 10, Bento Gonçalves. **Anais [...]**. Bento Gonçalves: ABRH, 2013, 8 p.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. *In*: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: ABRH; UFRS, 2015. p.177-241.

BORELLI, Elizabeth. Transformações urbana e desigualdade ambiental na Grande São Paulo. *In*: Circuito de Debates Acadêmicos: programa e resumos, 1., 2011, Brasília. **Anais [...]** Brasília: IPEA, 2012. p. 110. ISSN 2238-5975.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [2019]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 08 fev. 2020.

BRASIL. Decreto nº 7.257, de 4 de agosto de 2010. Regulamenta a Medida Provisória no 494 de 2 de julho de 2010, para dispor sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil - SINDEC, sobre o reconhecimento de situação de emergência e estado de calamidade pública, sobre as transferências de recursos para ações de socorro, assistência às vítimas, restabelecimento de serviços essenciais e reconstrução nas áreas atingidas por desastre, e dá outras providências.

**Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil:** seção 1, Brasília, DF, ano 147, n. 149, p. 11, 5 ago. 2010.

BRASIL. Departamento de Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de drenagem de rodovias. Rio De Janeiro: DENIT, 2006. 333 p.

BRASIL. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979.** Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2019]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6766.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6766.htm). Acesso em: 18 abr. 2020.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil:** seção 1, Brasília, DF, ano 135, n. 6, p. 470, 9 jan. 1997.

BRASIL. **Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001.** Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2018]. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/LEIS\\_2001/L10257.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10257.htm). Acesso em: 15 jan. 2021.

BRASIL. **Lei nº 12.340, de 1º de abril de 2010.** Dispõe sobre as transferências de recursos da União aos órgãos e entidades dos Estados, Distrito Federal e Municípios para a execução de ações de prevenção em áreas de risco de desastres e de resposta e de recuperação em áreas atingidas por desastres e sobre o Fundo Nacional para Calamidades Públicas, Proteção e Defesa Civil; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2014]. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12340.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12340.htm). Acesso em: 20 jan. 2020.



BRASIL. **Lei nº 12.608, de 10 abril de 2012.** Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2012b]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm). Acesso em: 15 jan. 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, [2019].

BRASIL. Ministério das Cidades; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios.** Brasília: Ministério das Cidades; São Paulo: IPT, 2007. 176 p. ISBN 978-85-60133-81-9.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Sustentabilidade urbana:** impactos do desenvolvimento econômico e suas consequências sobre o processo de urbanização em países emergentes: textos para as discussões da Rio+20. Brasília: MMA, 2015. v. 2, 92 p. ISBN 978-85-7738-253-8.

BUENO, José Lucas Pedreira; OLIVEIRA, Mônica Do Carmo Apolinário De; SILVA, Gabriel Duarte Evangelista Da. A dimensão histórica da fotografia na memória de Ji-Paraná-RO. *In: ENCONTRO INTERNACIONAL HISTÓRIA, MEMÓRIA, ORALIDADE E CULTURAS*, 2., 2016, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: UECE, 2016. ISSN 2317-2657.

BUTT, Nathalie; OLIVEIRA, Paula Afonso de; COSTA, Marcos Heil. Evidence that deforestation affects the onset of the rainy season in Rondonia, Brazil. **Journal Of Geophysical Research**, v. 116, d. 11120, 2011. DOI: 10.1029/2010JD015174

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2. Ed. Porto Alegre: ABRH, 2015. 336 p. ISBN 978-85-8868-634-2. *E-book*. Disponível em: [https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=5&PUBLICACAO=LIVROS\\_DIGITAIS](https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=5&PUBLICACAO=LIVROS_DIGITAIS). Acesso em: 02 jun. 2020.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384 p. ISBN 978-85-7975-160-8

CARAMELLO, N. D. A.; MARÇAL, M. dos S.; LIMA, F. L. M. Desafios para uma gestão ambiental dos recursos hídricos do estado de Rondônia. **Revista Geonordeste**, São Cristovão, ano 23, n.1. p. 49-65, 2012.

CARELLI, L.; LOPES, P. P. Caracterização fisiográfica da bacia Olhos D'Água em Feira de Santana/BA: Geoprocessamento aplicado à análise ambiental. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 43-54, 2011.

CARMO, Allan Junior Borges do. **Caracterização morfométrica, validação e criação de um banco de dados geográfico das microbacias hidrográficas urbanas de Ji-Paraná/RO**. 2016. 61 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2016.

CARVALHO, D. F.; MELLO, J. L. P.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia**. Seropédica: UFRRJ, 2007. 86 p. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/jorge/it115-irrigacaodrenagem.htm>. Acesso em: 13 abr. 2020.

CARVALHO, A. T. F.; SILVA, O. G.; CABRAL, J. J. S. P. Efeitos do revestimento de canal e impermeabilização do solo à dinâmica de inundação do rio Arrombados – PE. **Geociências**, São Paulo, v. 36, n. 1. p. 76-88, 2017.

CAVALHEIRO, K. L.; GONZAGA, L. B. T.; CORRÊA, A. C. S. S. Caracterização de eventos extremos no perímetro urbano de Ji-Paraná por meio da metodologia dos máximos de precipitação. *In: Workshop internacional sobre planejamento e desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas*, 7., 2019, Manaus. **Anais [...]** Boa Vista: Editora da UFRR, 2020. p. 1720, ref. 1388-1400. ISBN: 9786586062-09-0.

CENTRO GESTOR E OPERACIONAL DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA AMAZÔNIA (Brasil). **Apresentação do Censipam**. Brasília, 2020a. Disponível em: [sipam.gov.br/noticias/apresentacao-do-censipam](http://sipam.gov.br/noticias/apresentacao-do-censipam). Acesso em: 30 jun. 2020.

CENTRO GESTOR E OPERACIONAL DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA AMAZÔNIA (Brasil). **Banco de dados geográficos**. Catálogos de metadados. 2010.

CENTRO GESTOR E OPERACIONAL DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA AMAZÔNIA (Brasil). **Delimitação das zona de risco de inundação na cidade de Ji-Paraná-RO**. Porto Velho: CENSIPAM, 2007. 1 mapa. Escala 1:15000.

CENTRO GESTOR E OPERACIONAL DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA AMAZÔNIA (Brasil). **Mapa simplificado de solos do Estado de Rondônia**. Porto Velho: SIPAM, 2000. 1 mapa, color. Escala 1:250.000.

CENTRO GESTOR E OPERACIONAL DO SISTEMA DE PROTEÇÃO DA AMAZÔNIA (Brasil). **Projeto hidrologia**. Brasília, 2020b. Disponível em: <http://www.sipam.gov.br/noticias/noticias-sobre-hidrologia/o-que-e-hidrologia>. Acesso em: 02 jul. 2020.

CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTA (Brasil). **Municípios monitorados.** São José dos Campos, 2020. Disponível em: <https://www.cemaden.gov.br/municipios-monitorados-2/>. Acesso em 25 abr. 2020.

CONHECENDO os solos brasileiro: argissolos. **Laborsolo**, Londrina, 23 dez. 2014. Disponível em: <https://laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/conhecendo-os-solos-brasileiros-argissolos/>. Acesso em: 20 nov. 2020.

CONTRERAS, Félix Ignacio; FERRELLI, Federico; PICCOLO, María Cintia. Impactos de eventos secos y lluviosos sobre cuerpos de agua periurbanos subtropicales: aporte al ordenamiento del espacio urbano de corrientes (Argentina). **Finisterra**, Lisboa, n. 114, p. 3-22, 2020 . DOI 10.18055/Finis19436.

COORDENADORIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Sobre.** Porto Velho: COREH, 2021. Disponível em: <http://coreh.sedam.ro.gov.br/sobre/>. Acesso em: 09 mar. 2021

COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL (Ji-Paraná). **Plano de contingência de proteção e defesa civil:** inundações e elagamentos. Ji-Paraná: COMPEDC, 2018a. 10 p.

COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL (Ji-Paraná). **Relatório de enchente.** Ji-Paraná: COMPEDC, 2019a. 3 p.

COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL (Ji-Paraná). **Tabelas de Cadastro de Famílias.** Ji-Paraná: COMPEDC, 2018b.

CORSI, A. C.; AZEVEDO, P. B. M.; GRAMANI, M. F. Valoração de danos decorrente da inundação em São Luiz do Paraitinga. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 124-142, 2012. DOI 10.5585/geas.v1i2.26.

DUARTE, Miqueias Lima; MENDONÇA, Janete Farias; BONFANTI, Dhuliani. Dinâmica do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pimenta, região sudeste do Estado de Rondônia: avaliação e cenários futuros. **Sociedade e Território**, Natal, v. 33, n. 1, p. 54–71. 2021. ISSN:2177-8396. DOI 10.21680/2177-8396.2021v33n1ID22270.

ENCHENTE em Ji-Paraná em 1990. Arquivo pessoal. Cinegrafista: Gilberto Cesar da Silva. Ji-Paraná: 1990. 1 vídeo (1 min), color. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=80VhRIhNvg&t=1s>. Acesso em: 08 set. 2020.

ENCHENTE em Ji-Paraná só não foi pior porque o nível Rio Machado está baixo. **Folha de Rondônia News**. 15 jan. 2016. Disponível em: <http://folhaderondonianews.com/news/2016/01/15/enchenteem-ji-parana-so-nao-foi-pior-porque-o-nivel-rio-machado-esta-baixo/>. Acesso em: 03 ago. 2019.

FERNANDES, Pâmela. Um ano após enchente, moradores relembram prejuízos em Ji-Paraná. **G1 Ji-Paraná e Região Central**, Ji-Paraná, 20 jan. 2017. Disponível em: <http://g1.globo.com/ro/ji-parana-regiao-central/noticia/2017/01/um-ano-apos-enchente-moradores-relembra-prejuizos-em-ji-parana.html>. Acesso em: 17 set. 2020.

FILHO, João Francisco Justo; PIQUEIRA, José Roberto Castilho. Engenharia das catástrofes: entre o determinístico e o imponderável. **Estudos Avançados**, v. 27, n. 77, p. 181-184, 2013.

FLETCHER, T. D. *et al.* SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, n.7, p. 525-542. 2015. DOI: 10.1080/1573062X.2014.916314.

FORTE chuva causa alagamentos em vários bairros de Ji-Paraná e moradores interditam BR-364. **Rondoniagora**, Porto Velho, 29 dez. 2013. Disponível em: <https://www.rondoniagora.com/cidades/forte-chuva-causa-alagamentos-em-varios-bairros-de-ji-parana-e-moradores-interditam-br-364>. Acesso em: 11 set. 2020.

FOTOS imagens mostram alagamentos em ruas de Ji-Paraná. **G1 Rondônia**, Ji-Paraná, 15 jan. 2016. Disponível em: <http://g1.globo.com/ro/rondonia/fotos/2016/01/fotos-imagens-mostram-alagamentos-em-ruas-de-ji-parana.html#F1903511>. Acesso em: 17 set. 2020.

FRANZ, Barbara. Fatores intervenientes nas vulnerabilidades dos recursos hídricos às mudanças climáticas no Estado do Rio de Janeiro. *In*: NUNES, R. T. S.; FREITAS, M. A. V.; ROSA, L. P. (Orgs.). **Vulnerabilidade dos recursos hídricos no âmbito regional e urbano**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p. 1-60. ISBN 978-85-7193-221-0.

FREITAS, C. M.; XIMENES, E. F. Enchentes e saúde pública: uma revisão na literatura científica recente das causas, consequências e respostas para prevenção e mitigação. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1601-1615, jun. 2012. Disponível em: <http://www.cienciaesaudecoletiva.com.br/artigos/enchentes-e-saude-publica-uma-revisao-na-literatura-cientifica-recente-das-causas-consequencias-e-respostas-para-prevencao-e-mitigacao/9886>. Acesso em: 10 mai. 2019.

FREITAS, R. O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 11, p. 53-57, 1952.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. Aspectos teóricos e conceituais. *In*: GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (Orgs.). **Métodos de pesquisa**. 1 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. p. 11-30. ISBN 978-85-386-0071-8.

GERMANO, A.O.; CASTILHO, A.; CANDIDO, M.; REIS, F. Cheia de 2014 na bacia do rio madeira. *In*: Simpósio brasileiro de recursos hídricos, 11. 2015. Brasília. **Anais eletrônicos**. p. 1-8. 2015.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; PELLERIN, J. R. G. M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de Rio Negrinho-SC. **Boletim de Geografia**. Maringá, v. 30, n. 1, p. 81-100, 2012.

GONÇALVEZ, Caio César Soares; CORTEZ, Bruno Freitas. As trajetórias da cobertura e do uso do solo nas unidades da federação do Brasil: uma análise de clustering de séries temporais 1985-2018. **Guaju**, Matinhos, V. 7, n. 1, p. 81-111, 2021. DOI 10.5380/guaju.v7i1.78791.

GOLDENFUM, Joel Avruch. **Hidrologia II**: Aula 5. 2005. 16 slides. Disponível em: <http://professor.ufrgs.br/joel-goldenfum/pages/material-para-download-hip11>. Acesso em: 08 jul. 2020.

GUERRA, Franciele Caroline. **Mapeamento das áreas de vulnerabilidades socioambientais aos riscos hidrológicos**: inundações em Bragança Paulista – SP. 2020. 136f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2020.

GUHA-SAPIR, D.; HOYOIS, P.; BELOW, R. **Annual disaster statistical review 2014**: the numbers and trends. Bruxelas: CRED; 2015. Disponível em: <https://www.emdat.be/publications?page=1>. Acesso em: 01 jun. 2019.

GUIMARÃES, Rita Cabral. Bacia hidrográfica. In: GUIMARÃES, Rita Cabral; SHAHIDIAN, Shakib; RODRIGUES, Carlos Miranda (Orgs.). **Hidrologia agrícola**. 2 ed. Évora: ECT; ICAAM, 2017a. p. 5-22. ISBN 978-989-8550-40-8.

GUIMARÃES, Rita Cabral. Escoamento superficial. In: GUIMARÃES, Rita Cabral; SHAHIDIAN, Shakib; RODRIGUES, Carlos Miranda (Orgs.). **Hidrologia agrícola**. 2 ed. Évora: ECT; ICAAM, 2017b. p. 119-132. ISBN 978-989-8550-40-8.

GUIMARÃES, Rita Cabral. Probabilidade e estatística aplicadas à hidrologia. In: GUIMARÃES, Rita Cabral; SHAHIDIAN, Shakib; RODRIGUES, Carlos Miranda (Orgs.).

**Hidrologia agrícola.** 2 ed. Évora: ECT; ICAAM, 2017c. p. 257-292. ISBN 978-989-8550-40-8.

HOLTOZ, A. C. T. Precipitação. *In*: PINTO, N. L. S. *et al.* **Hidrologia Básica.** 1.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. p. 08-35.

HOLTOZ, A. C. T.; PINTO, N. L. S. Vazões de Enchentes. *In*: PINTO, N. L. DE S. *et al.* **Hidrologia Básica.** 1.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1976. p. 121-166.

HORA, S. B.; GOMES, R. L. Mapeamento e avaliação do risco a inundação do rio cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 2, p. 57-75, 2009.

HURGO, Maria Carolina Cherchiglia; VACOVSKI, Eduardo. Diretrizes para inserção de práticas sustentáveis na melhoria da qualidade ambiental dos centros urbano – water sensitive urban design: estudo de caso no município de Guaratuba. **Caderno Gestão Pública**, v. 6, n. 4, p. 41-58.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Amazônia legal:** o que é. Brasília, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/vegetacao/15819-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 15 fev. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Bases cartográficas contínuas do Brasil.** Escala 1/250.000. 2016. 2ª versão com banco de dados geográficos. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas.html>. Acesso em: 07 fev. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Bases cartográficas contínuas dos Estados.** Escala 1/100.000. 2010. 2ª versão com banco de dados geográficos.



Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/cartas-e-mapas/bases-cartograficas-continuas/15807-estados.html?&t=saiba-mais>. Acesso em: 07 fev. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Portal Cidades**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ro/ji-parana/panorama>. Acesso em: 28 jan. 2020.

INSTITUTO FEDERAL DE RONDÔNIA. **Fatos e Fotos**: análise iconográfica da história de Ji-Paraná. IFRO: Ji-Paraná, 2013. 240 fotografias. Banco de imagens.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **Metodologia**. Brasília: INMET, 2019. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/webcdp/climatologia/normais/imagens/normais/textos/metodologia.pdf>. Acesso em: 09 jul. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **Normais climatológicas do Brasil (1961-1990)**: precipitação acumulada anual. Brasília: INMET, 2020. 1 mapa, color.

INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Visions of Risk**: A Review of International Indicators of Disaster Risk and its Management. London: Inter-Agency Task force on Disaster Reduction – Working Group 3, 2004. 73 p.

Ji-PARANÁ. Aviso de revogação. Pregão presencial n. 025/14/CPL/PMJP/RO. Processo administrativo n. 2249/14/SEMETUR. **Diário Oficial do Município de Ji-Paraná**: seção 4: Avisos de licitação, Ji-Paraná, ano 9, n. 1769, p. 13, 26 fev. 2014.

Ji-PARANÁ. **Lei nº 1136, de 21 de dezembro de 2001**. Dispõe sobre o desenvolvimento urbano no Município de Ji-Paraná, institui o Plano Diretor do Município e dá outras providências. Ji-Paraná: Gabinete do Prefeito, [2001]. Disponível em: <http://transparencia.ji-parana.ro.gov.br>

parana.ro.gov.br/transparencia/index.php?link=aplicacoes/publicacao/frmpublicacao&grupo=&nomeaplicacao=publicacao. Acesso em: 09 mar. 2021.

Ji-PARANÁ. Prefeitura Municipal. **História de Ji-Paraná**. Disponível em: <http://www.ji-parana.ro.gov.br/>. Acesso em: 28 jan. 2020.

JUSTINA, E. E. D.; RODRIGUES DA FRANCA, R.; SAMPAIO, F. S. Cheia no rio madeira: análise da dinâmica climática e hidrológica regional e consequências sobre a cidade de Porto Velho–RO no ano de 2014, **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.11–17, 2014. ISSN 2237-1419.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLER, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109p.

KOHLER, A.; JÜLICH, S.; BLOEMERTZ, L. Risk Analysis – a basis for disaster risk management. GTZ: Eschborn, 2004. 76p.

KRUSCHE, A. V. *et al.* Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. **Revista Acta Amazônica**, Manaus, v. 35, n. 2, p. 197-205, 2005.

LORENZON, Alexandre Simões et al. Influência das características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Benevente nas enchentes no município de Alfredo Chaves-ES. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 10, n. 1, p. 195-206, 2015. DOI 10.4136/ambi-agua.1475.

MACÊDO, Maria de Nazaré Costa de et al. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. **Revista Ambiente & Água** [online], v. 8, n. 1, p. 206-221. 2013. ISSN 1980-993X. DOI 10.4136/ambi-agua.809.

MAFFRA, C. Q. T.; MAZZOLA, N. As razões dos desastres em território brasileiro. *In*: SANTOS, R. F. (org.) **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 2007. p. 9-12. ISBN 978-85-7738-080-0.

MARANHÃO, Ney. Amazônia, a nossa maior riqueza. **Águas do Brasil**, Birigui, ano 8, n. 24, p. 6-12, mar. 2019.

MARENGO, J. A.; BORMA, L. S.; RODRIGUEZ, D. A.; PINHO, P.; SOARES, W. R.; ALVES, L. M. Recent Extremes of Drought and Flooding in Amazonia: Vulnerabilities and Human Adaptation. **American Journal of Climate Change**, v. 2, n. June, p. 87–96, 2013. DOI:10.4236/ajcc.2013.22009.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia**: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Lavras: Ed. UFLA, 2013.

NETTO, A. L. C.; AVELAR, A. S. O uso da terra e a dinâmica hidrológica. *In*: SANTOS, R. F. dos (Org.). **Vulnerabilidade ambiental**. Brasília: MMA, 2007. p. 60-73. ISBN 978-85-7738-080-0.

NOBRE, C. A.; OBREGÓN, G. O.; MARENGO, J. A.; FU, R.; POVEDA, G. Characteristics of Amazonian Climate: main features. **Amazonia and Global Change**, v. 186, p. 149-162, 2009. DOI 10.1029/2009GM000903.

OLIVEIRA, Anna Hoffmann; SILVA, Marx Leandro Naves; NETO, Gustavo Klink. Escoamento superficial e perdas de solo em sub-bacia florestal, município de Eldorado do Sul, RS. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 8, p. 58111-58132, 2020. DOI 10.34117/bjdv6n8-283.

OLIVEIRA, Edson Luis de Almeida. **Áreas de risco geomorfológico na bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria/RS: zoneamento e hierarquização.** 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/11321/000474761.pdf?sequence=1>. Acesso em: 22 nov. 2019.

OLIVEIRA, E. L. A.; ROBAINA, L. E. S.; RECKZIEGEL, B. W. Metodologia utilizada para o mapeamento de áreas de risco geomorfológico: bacia hidrográfica do Arroio Cadena, Santa Maria – RS. *In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais*, 1., 2004, Florianópolis. **Anais [...]** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. p. 248-261. (CD-ROM)

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Contribuição do grupo de trabalho 2 ao primeiro relatório de avaliação nacional do painel brasileiro de mudanças climáticas: sumário executivo GT2.** Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2013. 28 p. ISBN 978-85-285-0208-4.

PANOBIANCO, Daniel. Rio Machado passa de 11 metros e deixa desabrigados em Ji-Paraná. **Gente de Opinião**, Porto Velho, 14 de fev. 2010. Disponível em: <https://www.gentedeopinioao.com.br/municipios/panobianco-rio-machado-passa-de-11-metros-e-deixa-desabrigados-em-ji-parana>. Acesso em: 17 set. 2020.

PAULA, J. A. G. *et al.* Zonas inundáveis e quantificação do risco de inundação em meios urbanos: estudo em Coimbra. **GESTA**, v. 2, n. 1, p. 9-19, 2014.

PELLING, M. *The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience.* London: Earthscan, 2003. 256 p.

PEREIRA, Laiane Cristina Freitas; BRITO, Gustavo Henrique Mendes; VESPUCCI, Igor Leonardo; ROCHA, Ivandro José de Freitas. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do

Rio dos Patos, GO. **Ipê Agronomic Journal**, v. 3, n. 1, p. 5-13, 2019. DOI 10.37951/2595-6906.2019v3i1.4319.

PEREIRA, Paulo Cesar Xavier. Processos e problemas na urbanização da América Latina: teoria e história. **Territórios**, Bogotá, n. 34, p. 35-58, 2016. DOI 10.12804/territ34.2016.02.

PFALTZGRAFF, Pedro Augusto dos Santos; ADAMY, Amilcar. Introdução. *In*: ADAMY, Amilcar (Org.). **Geodiversidade do Estado de Rondônia**. Porto Velho: CPRM, 2010. 337 p.

PIEDEDE, M. T. F.; JUNK, W.J.; PAROLIN, P. The flood pulse and photosynthetic response of trees in a white water floodplain (várzea) of the Central Amazon, Brazil. **Verh. Internat. Verein. Limnol**, Stuttgart, v. 27, n. 4, p. 1734-1739, 2010. DOI 10.1080/03680770.1998.11901539.

PINHEIRO, Adilson. Enchente e inundação. *In*: SANTOS, R. F. dos (Org.). **Vulnerabilidade ambiental**. Brasília: MMA, 2007. p. 95-106. ISBN 978-85-7738-080-0.

PINTO, V. G. *et al.* Influência do número de classe de vulnerabilidade na determinação da suscetibilidade morfométrica à inundação. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 11, n. 3, p. 637-649, 2016.

PORTO, R. *et al.* Drenagem urbana. *In*: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2013. p. 805-847.

POTT, Crisla Maciel; ESTRELA, Carina Costa. Histórico ambiental: desastres ambientais e um despertar de um novo pensamento. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 271-283, 2017. DOI 10.1590/s0103-40142017.31890021.

POMPÊO; Cesar Augusto. Drenagem Urbana Sustentável. **RBRH**, v. 5, n. 1, p. 15-23, 2000.

PRADANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 276 p. ISBN 978-85-7717-158-3.

PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DO SETOR ÁGUA. **Termo de referência do plano nacional de segurança hídrica: Critérios Seleção e Detalhamento de Intervenções Estratégicas**. Brasília: INTERÁGUAS, 2014. 47 p. Disponível em: <http://interaguas.ana.gov.br/Paginas/Licitacao.aspx>. Acesso em: 22 jan. 2019.

RAIO X da ocupação da Amazônia. **Imazon**, Belém, 01 ago. 2013. Disponível em: <https://imazon.org.br/imprensa/a-amazonia-em-numeros/>. Acesso em: 14 fev. 2020.

RAO, V. B.; FRANCHITO, S. H.; SANTO, CLOVIS M.E.; GAN, M. A. An update on the rainfall characteristics of Brazil: Seasonal variations and trends in 1979-2011. *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 1, p. 291–302, 2016.

RIO Machado baixa 7 cm, mas ainda mantém alagamentos em Ji-Paraná. **Imagem news**, Porto Velho, 27 fev. 2009. Disponível em: <http://www.imagemnews.com.br/noticias.asp?cd=1960>. Acesso em: 16 set. 2020.

RODRIGUES DA FRANCA, Rafael. Climatologia das chuvas em Rondônia – período 1981-2011. **Revista Geografias**, Belo Horizonte, v. 11, n. 1, p. 44-58, 2015.

ROGÉRIO, J. P.; DEUS, L. A. B.; NUNES, R. T. S. Análise espacial da criticidade dos eventos hidrológicos extremos no estado do Rio de Janeiro. In: NUNES, R. T. S.; FREITAS, M. A. V.; ROSA, L. P. (Orgs.). **Vulnerabilidade dos recursos hídricos no âmbito regional e urbano**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p. 61-90. ISBN 978-85-7193-221-0.

RONDÔNIA. Decreto nº 7782, de 03 de abril de 1997. Homologa a situação de emergência no município de Ji-Paraná, decretada pelo Prefeito Municipal. Porto Velho: Governo do Estado,

[1997]. Disponível em:  
<http://ditel.casacivil.ro.gov.br/COTEL/Livros/detalhes.aspx?coddoc=29530>. Acesso em: 30 jan. 2020.

RONDÔNIA. Decreto nº 9415, de 26 de março de 2001. Homologa o decreto nº 5556/GAB/PMJ/2001, do prefeito municipal de Ji-Paraná que decretou situação de emergência de Ji-Paraná. Porto Velho: Governo do Estado, [2001]. Disponível em: <http://ditel.casacivil.ro.gov.br/COTEL/Livros/detalhes.aspx?coddoc=13406>. Acesso em: 30 jan. 2020.

RONDÔNIA. Decreto nº 10114, de 20 de setembro de 2002. Regulamenta a Lei Complementar nº 255, de 25 de janeiro de 2002, que “Institui a Política, cria o Sistema de Gerenciamento e o Fundo de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia, e dá outras providências, [2002]. Disponível em: <http://ditel.casacivil.ro.gov.br/COTEL/Livros/detalhes.aspx?coddoc=14105>. Acesso em: 30 dez. 2020.

RONDÔNIA. Decreto nº 18.608, de 13 de fevereiro de 2014. Declara situação de emergência nos municípios do estado de Rondônia, afetados por inundações, conforme especifica e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de Rondônia**: seção 1, Porto Velho, RO, ano 29, n. 2400, p 1-40, 13 fev. 2014.

RONDÔNIA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia**: Relatório Final. Curitiba: RHA, 2018. 579 p.

RONDÔNIA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). **Boletim Climatológico de Rondônia**: 2008. Porto Velho: SEDAM, 2009. 36 p.

SANTOS, Mônica. Forte chuva deixa ruas alagadas e famílias desalojadas, em Ji-Paraná. **G1 Rondônia**, Porto Velho, 31 mar. 2014a. Disponível em:

<http://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/2014/03/forte-chuva-deixa-ruas-alagadas-e-familias-desalojadas-em-ji-parana.html>. Acesso em: 21 set. 2020.

SANTOS, Mônica. Nível do Rio Machado, em Ji-Paraná, RO, sobe e registra cheia recorde. **G1 Rondônia**, Porto Velho, 28 fev. 2014b. Disponível em: <http://g1.globo.com/ro/rondonia/noticia/2014/02/nivel-do-rio-machado-em-ji-parana-ro-sobe-e-registra-cheia-recorde.html>. Acesso em: 23 set. 2020.

SANTOS, R. F.; CALDEYRO, V. S. Paisagens condicionantes e mudanças. *In*: SANTOS, R. F. dos (Org.). **Vulnerabilidade ambiental**. Brasília: MMA, 2007. p. 13-21. ISBN 978-85-7738-080-0.

TOLEDO (PR). Manual de Drenagem Urbana. Toledo: Secretaria do Planejamento Estratégico, 2017. v. 1, 36 p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Boletim semanal de monitoramento das cheias do rio Madeira**. Porto Velho: CPRM, 2020. 11 p. Disponível em: [https://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Madeira/20200110\\_12-20200110%20-%20122421.pdf](https://www.cprm.gov.br/sace/boletins/Madeira/20200110_12-20200110%20-%20122421.pdf). Acesso em: 15 nov. 2021.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa geológico do Estado de Rondônia**. Porto Velho: CPRM, 1999. 1 mapa, color. Escala 1:1.000.000. Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia\\_basica/plgb/rondonia/rondonia\\_ctgeologica.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/plgb/rondonia/rondonia_ctgeologica.pdf). Acesso em: 13 nov. 2020.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Relatório da ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa: município de Ji-Paraná-RO**. Porto Velho: CPRM, 2015. 9 p. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres-38>. Acesso em: 01 fev. 2020.



SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Sobre**. Brasília: CPRM, 2021. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Sobre-49>. Acesso em: 09 mar. 2021.

SILVA, Celso da. **Caracterização da bacia do rio fiúza para avaliação na prevenção de enchentes**. 2006. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006. Disponível em: <http://www.projetos.unijui.edu.br/petegc/wp-content/uploads/2010/03/TCC-Celso-da-Silva.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2018.

SILVA, L. P.; ZUFFO, C. E. Recursos Hídricos: Conservando para o Futuro. Bacias e sub-bacias Hidrográficas. *In: Atlas Geoambiental de Rondônia*. Porto Velho: RONDÔNIA, 2002 p. v2.

SILVA, M. J. G; SARAIVA, F.A. M; ARAÚJO, M.L.T. (2004). Aspectos climáticos de Porto Velho – Rondônia. *In: Congresso Brasileiro de Meteorologia*, 13, 2004, Fortaleza, **Anais [...]**

SILVA, R. T. L.; NISHIJIMA, T. A educação ambiental na prevenção de desastres naturais. **Educação Ambiental em Ação**. Novo Hamburgo, v. 10, n. 37, set/nov. 2011. Disponível em: <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1103>. Acesso em: 29 maio. 2019.

SOUZA, José Camilo Ramos de; ALMEIDA, Regina Araujo de. Vazante e enchente na Amazônia brasileira: impactos ambientais, sociais e econômicos. *In: SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA*, 6., SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2., 2010, Coimbra. **Anais [...]**. Coimbra: Universidade Feral de Coimbra, 2010. 10 p.

SOUZA, Vinícius Alexandre Sikora de. et al. Dinâmica do desmatamento na Amazônia e seus impactos na hidrologia: bacia do Rio Machadinho – Rondônia / Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v29, n. 3, p-1004-1018, 2019. ISSN 1980-5098. DOI 10.5902/1980509835333.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges de. Gestão da drenagem urbana no Brasil: desafios para a sustentabilidade. **Gesta**, v.1, n.1, p. 057-072, 2013. DOI 10.17565/gesta.v1i1.7105.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Geophysical Union Trans.**, v. 38, p. 912-920, 1957. DOI 10.1029/TR038i006p00913.

STUDART, Ticiana Marinho de Carvalho. **Hidrologia**: notas de aula. Fortaleza: UFC, 2006. Disponível em: <http://www.deha.ufc.br/ticiana/graduacao.html>. Acesso: 15 jul. 2020.

SULAIMAN, Samia Nascimento; ALEDO, Antônio. Desastres naturais: convivência com o risco. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 88, p. 11-23, 2016. DOI 10.1590/S0103-40142016.30880003.

TCU aponta falhas crônicas em ações federais de combate a desastres. **Estado de Minas**, Belo Horizonte, 12 fev. 2020. Disponível em: [https://www.em.com.br/app/noticia/nacional/2020/02/12/interna\\_nacional,1121337/tcu-aponta-falhas-cronicas-em-acoes-federais-de-combate-a-desastres.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/nacional/2020/02/12/interna_nacional,1121337/tcu-aponta-falhas-cronicas-em-acoes-federais-de-combate-a-desastres.shtml). Acesso em: 21 abr. 2020.

TOMINAGA, Lídia Keiko. Desastres Naturais: por que ocorrem?. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs.). **Desastres Naturais**: conhecer para prevenir. 1. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 11-24. ISBN 978-85-87235-09-1.

TORRES, Haroldo da Gama. **Desigualdade ambiental na cidade de São Paulo**. 1997. 286f. Tese de doutorado (Doutorado em Ciências Sociais) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade de Campinas, São Paulo, 1997.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. *In*: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). **Águas Doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006a. p. 399-432.

TUCCI, C. E. M. Aspectos Institucionais no Controle de Inundações. *In*: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO-OESTE, 1., 1999, Brasília. Disponível em: <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/12/aspectos-institucionais-do-controle-das-inundacoes-urbanas.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2018.

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e controle de erosão. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. **Anais [...]**. São Paulo: Sonopress Indústria Brasileira, 1998. Disponível em: <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/12/drenagem-urbana-e-controle-de-erosao.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2018.

TUCCI, C. E. M. Controle de enchentes. *In*: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2013b. p. 622-658.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília, DF: CEPAL/IPEA, 2012. 50 p. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). ISSN: 2179-5495.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2006b. 194 p. ISBN 978-85-60133-35-2. Disponível em: <http://www.capacidades.gov.br/biblioteca/detalhar/id/219/titulo/gestao+de+aguas+pluviais+urbanas>. Acesso em: 13 nov. 2018.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. *In*: TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2013a. p. 25-33.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos**. Estudo preparado como contribuição da Agência Nacional de Águas para a Camara Técnica sobre recursos hídricos do fórum brasileiros de mudanças climáticas. Brasília: ANA, 2002. 150 p.

TUNDISI, José Galizia; MATSUMURA-TUNDISI, Takako. **A água**. São Carlos: Scienza, 2020. 130 p. ISBN 978-65-5668-005-7. DOI 10.26626/978-65-5668-005-7/B0001.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. World Water Assessment Programme. **The United Nations world water development report 2019: leaving no one behind: facts and figures**. Paris: WWAP, 2019. 11 p. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367276>. Acesso em: 03 jul. 2020.

UN-WATER. What is water security? infographic. 8 mar. 2013. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/water-security-infographic/>. Acesso em: 01 jun. 2019

VALADÃO, Cássia Cortes. O padrão de início da estação chuvosa no estado de Rondônia continua sendo alterado pelas mudanças no uso e cobertura da terra?. 2019. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2019.

VEJA dezenas de imagens exclusivas dos bairros afetados pela enchente, em Ji-Paraná. **Comando 190**, Ji-Paraná, 27 fev. 2014. Disponível em: <http://www.comando190.com.br/noticias-det.php?cod=3676>. Acesso em: 21 set. 2020.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WACHHOLZ, F.; COLARES, I. S.; FERREIRA JUN IOR; J. C.; MAIA, S. A. Caracterização física e socioeconômica da bacia hidrográfica do rio Tarumã-Açu – Amazonas. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS, 7., 2019, Manaus. **Anais eletrônicos [...]** Boa Vista: Editora da UFRR, 2020. p. 592-600.

WEBLER, A. D.; AGUIAR, R. G.; AGUIAR, L. J. G. Características da precipitação em área de floresta primária e área de pastagem no Estado de Rondônia, **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, v. Esp. p. 55-58, 2007.

## **APÊNDICE – PRODUTO**

LIVRETO “ESTUDOS PARA A MITIGAÇÃO DO EFEITO DAS CHEIAS DO RIO  
MACHADO EM JI-PARANÁ/RO”

# ESTUDOS PARA A MITIGAÇÃO DO EFEITO DAS CHEIAS DO RIO MACHADO EM JI-PARANÁ/RO



**KARINE LUNA CAVALHEIRO**

**NARA LUISA REIS DE ANDRADE**

**ANA CRISTINA SANTOS STRAVA CORREA**



## Estudos para a mitigação do efeito das cheias do rio Machado em Ji-Paraná/RO

### Realização:

Karine Luna Cavalheiro

Dra. Nara Luisa Reis de Andrade

Dra. Ana Cristina Santos Strava Correa

### Revisão:

Dra. Tatiana dos Santos Malheiros

Dra. Luciana Sanches

### Apoio Técnico:

Agência Nacional de Águas – ANA

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES)

Programa de Mestrado em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua

Universidade Federal de Rondônia – UNIR

### Capa:

BRILHANTE (2019)

Livreto para difusão dos estudos sobre as inundações do rio Machado

26 páginas

ISBN: 978-65-00-45363-8

Tiragem: 50 exemplares - Distribuição Gratuita

Material realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradecemos também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado até o momento.





# ESTUDOS PARA A MITIGAÇÃO DO EFEITO DAS CHEIAS DO RIO MACHADO EM JI-PARANÁ/RO

Dezembro  
2021

## Inundação Urbana

O Brasil é um dos países mais atingidos por desastres naturais (secas e cheias), de acordo com a análise do Banco de Dados de Eventos de Emergência (EM-DAT).

Na Amazônia, as inundações sazonais fazem parte da história dos rios e dos núcleos urbanos marginais, logo a população é familiarizada com as cheias e as vazantes anuais, porém tendem a enfrentar adversidades nos episódios extremos de inundação e seca.

Devido à falta de estudos e de planejamento adequado, o fenômeno de inundação tem se constituído como verdadeiro desastre natural, pois tem se caracterizado cada vez mais como um evento da natureza de alta intensidade, que causa grandes impactos na sociedade, agravado ou não pela atividade humana.



“Os diagnósticos da bacia hidrográfica são imprescindíveis para que se possa planejar ações mitigadoras e de prevenção quanto as inundações urbanas, assegurando a gestão integrada dos recursos hídricos com as políticas de uso e cobertura do solo.”

Karine L. Cavalheiro

## O dilema do desenvolvimento urbano e as águas do rio

Devido à evolução da ocupação humana por meio da urbanização e o aumento das demandas por água a segurança hídrica não tem sido preservada.

A segurança hídrica engloba a garantia da oferta sustentável de água para o abastecimento humano e para as atividades produtivas, à prevenção da poluição aquática e da transmissão de doenças de veiculação hídrica, e o enfrentamento de eventos críticos de secas e cheias e a redução dos riscos.

Quando falamos de eventos críticos de cheias, estes se apresentam como problemáticos quando as áreas ribeirinhas se encontram ocupadas. Isso ocorre historicamente pela necessária interação da população com os corpos hídricos e atualmente pela omissão da administração pública em controlar a urbanização e garantir a justiça espacial.

Além das condições hidrometeorológicas que propiciam a ocorrência de inundações, o uso e a cobertura inadequada do solo tem aumentado a frequência e a intensidade com que elas ocorrem, em parte, porque a própria ocupação interfere na dinâmica da bacia hidrográfica.

Neste contexto, pode-se citar a cidade de Ji-Paraná, no estado de Rondônia, onde o crescimento vem se estabelecendo sem o controle adequado, estando o rio Machado (ou Ji-Paraná), referente ao trecho nos limites da área urbana, classificado em 2014 no Atlas de Vulnerabilidade a Inundações de pela Agência Nacional de Águas (ANA) como de “alta vulnerabilidade” a inundações fluviais. Esta classificação é dada somente para rios que ocasionam alto impacto ou médio impacto com alta frequência. No município, observa-se ainda episódios de alagamentos e inundações urbanas localizadas, como o caso da microbacia do igarapé Dois de Abril.

Nesse sentido, a frequência e a gravidade das inundações, tem exigido soluções estruturais e não estruturais, conhecimento dos fenômenos climáticos, ambientais, hidrológicos e hidráulicos, das modificações antrópicas, como também, dos componentes sociais com relação à habitação, recursos, saúde, saneamento, e demais aspectos, para o gerenciamento eficaz.

P.2

# ÍNDICE

## P.2

Introdução

## P.4

Hidrologia e Inundação Urbana

## P.5

Área de Estudo

## P.6

Histórico das Inundações

## P.9

Resultados da Pesquisa

## P.21

Proposição de Soluções

## P.24

Considerações Finais

## P.25

Referências Bibliográficas



Rua inundada no 2º distrito de Ji-Paraná-RO em 1989.

Fonte: IFRO, 2013.

## FLUXOGRAMA METODOLÓGICO DO ESTUDO

### I - Caracterização do Processo de Inundação

Investigações hidrológicas: identificação dos riscos por meio da análise histórica do processo de inundação local.

Investigação sobre o principal agente deflagrador do processo: a precipitação.

Diagnóstico dos fatores da bacia hidrográfica que intervêm no fenômeno: morfometria da bacia de drenagem, uso e cobertura do solo.

### II - Mapeamento da Área

Delimitação das áreas sujeitas as inundações em função do tempo de retorno.

Identificação e espacialização da vulnerabilidade à inundação da população.

Combinação do perigo e vulnerabilidade para elaboração do mapa por classificação de risco.

### III - Preposição de Soluções

Diretrizes para o gerenciamento das áreas de risco.

Preposição de medidas mitigadores em função da classe de risco.

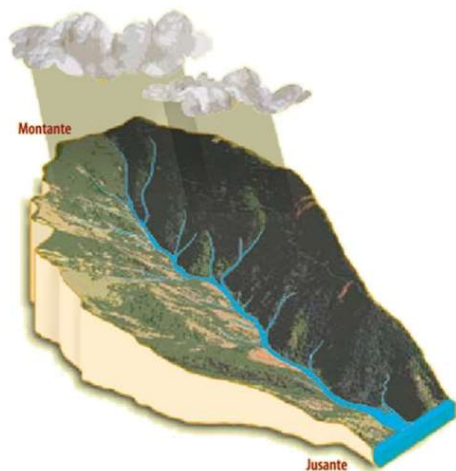
Sugestões de medidas para a gestão da bacia hidrográfica.

# HIDROLOGIA E INUNDAÇÃO URBANA

O estudo da hidrologia tem exigido novos e constantes melhoramentos, tendo em vista a importância da gestão dos fenômenos extremos.

Para a engenharia hidrológica, o escoamento superficial da água é a área de maior interesse, resultado de parte da água que não infiltra, que escoar rapidamente no solo em direção ao sistema de drenagem. Assim, a água se distribui das partes mais elevadas (montante) para as partes mais baixas (jusante) formando cursos d'água.

A bacia hidrográfica é a área de captação natural dos fluxos de água precipitada, convergindo os escoamentos para um ponto de saída (exutório). A delimitação dessa área é dada pelo relevo, onde os pontos mais altos (divisores de águas superficiais), apartam a direção do escoamento.



Fonte: Fabião e Fabião (2007).

Diversos são os fatores que interferem na resposta da bacia de drenagem a um evento de precipitação e contribuem para as inundações, sendo os principais os aspectos climáticos e suas características físicas.

Para entender melhor o processo, devemos saber que os rios geralmente apresentam o leito menor, onde o escoamento atua na maior parte do tempo, limitado pelo risco de 1,5 a 2 anos; e o leito maior, também denominado de área de várzea ou planície de inundação.

O leito maior atinge grandes áreas nos cursos médio e baixo do rio, pois esses trechos apresentam menor declividade e maior incidência de áreas planas, o que também costuma ser mais propício à ocupação humana. Logo, a gravidade dos impactos dependerá do quanto e como as áreas inundáveis estejam ocupadas.



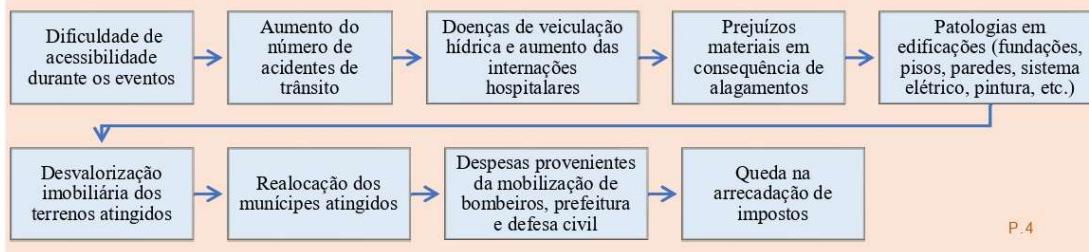
Fonte: Adaptado de Tucci (2006)

Porém, as inundações têm sido intensificadas pelas modificações antrópicas. Foi observado que no Brasil há uma forte conexão entre a degradação de áreas frágeis, potencializada pelo desmatamento e pela ocupação irregular, com a magnitude dos desastres naturais e o aumento da vulnerabilidade humana.

O processo é agravado ainda pela falta de políticas públicas adequadas, visto que muitas vezes há uma priorização de projetos localizados, sem uma visão da bacia hidrográfica.

Para reverter o cenário das inundações como desastres naturais de degradação ambiental com grandes perdas socioeconômicas, devemos atuar nos fatores que intensificam os eventos e adotar medidas de enfrentamento, gerenciando adequadamente as áreas de risco e favorecendo que a sociedade conviva adequadamente com os processos naturais.

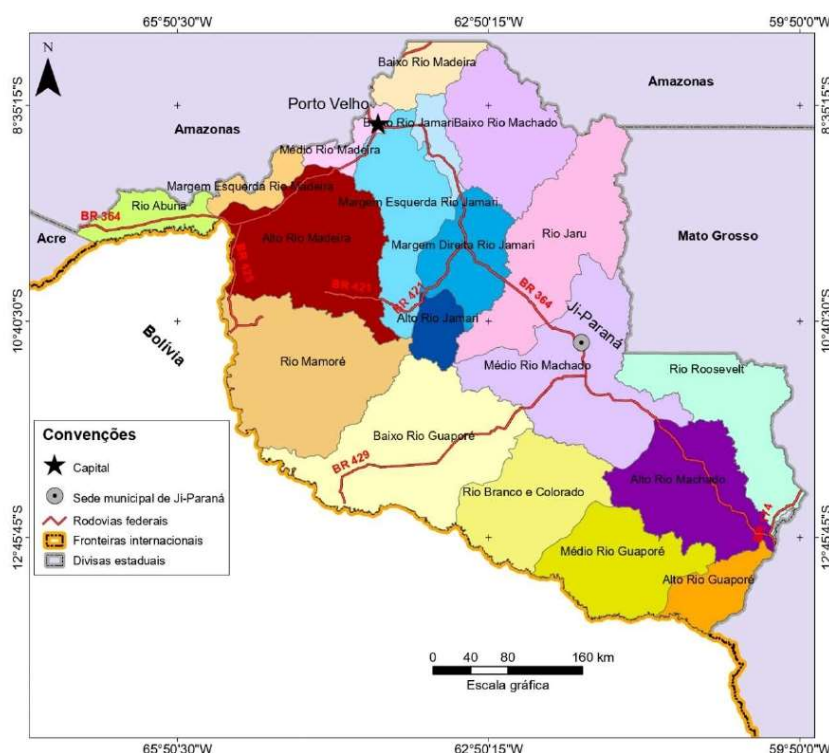
## Principais prejuízos causados pelas inundações em áreas urbanas



P.4



# ÁREA DE ESTUDO



## Unidades Hidrográficas de Gestão (UHG)

- Alto Rio Machado
- Médio Rio Machado
- Rio Jaru
- Baixo Rio Machado

## Ocupação Urbana

A ocupação urbana de Ji-Paraná remota ao final do século XIX quando os primeiros colonos nordestinos e missionários chegam à região, fazendo contatos com os habitantes nativos.

O desenvolvimento inicial se deu pela atividade seringueira.

Nas últimas décadas, os projetos de colonização incentivados pelo governo federal, produziram uma expansão relevante de todo Estado de Rondônia, com consequente aumento no número de habitantes.

Nas últimas décadas, os projetos de colonização incentivados pelo governo federal, produziram uma expansão relevante de todo Estado de Rondônia, com consequente aumento no número de habitantes.

Estima-se que a população tenha atingido 128.969 habitantes em 2019.

P.5

A bacia hidrográfica do rio Ji-Paraná (ou Machado), abrange 69.910km², estando dentre as sete principais bacias do Estado de Rondônia, compreendendo 45 cidades.

O rio Machado, nasce na Chapada dos Parecis, no planalto de Vilhena-RO, com a nascente no Igarapé Piracolina e deságua no rio Madeira, no município de Porto Velho-RO.

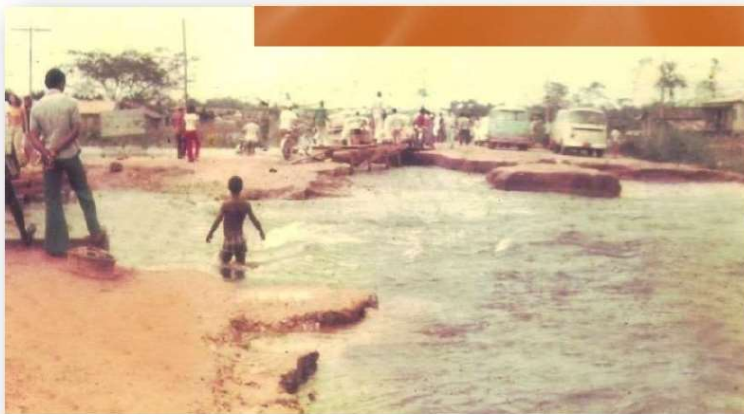
Em virtude de sua extensão e diversidade, a sua bacia é subdividida em quatro Unidades Hidrográficas de Gestão (UHG), sendo elas: Alto Rio Machado; Médio Rio Machado; Rio Jaru; e Baixo Rio Machado.

Devido à complexidade da problemática das inundações urbanas, foram analisadas, complementarmente, as UHG Alto e Médio Machado, ou seja, as UHG que se encontram a montante do município.

O solo da região em estudo é suscetível aos processos erosivos à medida que o relevo se torna mais movimentado e principalmente quando expostos ou sem cobertura vegetal, o que exige aplicação de técnicas de controle desses processos.

O município de Ji-Paraná, por sua vez, está localizado no centro-leste do Estado de Rondônia, em uma das regiões com maiores índices pluviométricos no Brasil, apresentado média anual de aproximadamente 2.000mm e também em uma das regiões com maiores taxas de desmatamento na Amazônia.

Pela classificação de Köppen, o clima no Estado é predominantemente do tipo Aw - Clima Tropical de Savana.



Ponte sobre o rio Machado entre 1975 e 1976.  
Fonte: IFRO, 2013

## Conceitos

As inundações ocorrem quando a precipitação efetiva que alcança o rio é maior que a capacidade da seção de sua calha, afetando áreas ribeirinhas. As enchentes, por sua vez, caracterizam-se pela elevação do nível d'água de maneira extrema, entretanto sem transbordar o curso d'água.

# HISTÓRICO DAS INUNDAÇÕES

A região que compreende hoje o município de Ji-Paraná convive com a elevação do nível do rio há muito tempo. O primeiro registro histórico de um evento intenso ocorreu entre os anos de 1975 e 1976, em que a elevação da água rompeu a cabeceira da ponte.

A série histórica da cota do rio, entretanto, remota o ano de 1978, quando uma inundação atingiu a cota de 11,04 m em 09 de março.

Em 1986 há relatos de outra grande inundação ocorrida. É possível verificar que

neste ano o rio chegou a 11,42 m em 25 de janeiro, um tempo de retorno igual a 9 anos.

No ano de 1990, o município sofreu com a inundação histórica durante o mês de fevereiro, chegando ao nível de 12,30 m, que corresponde a um tempo de retorno igual a 59 anos, o que causou grandes transtornos.

Outro evento intenso ocorreu em 1997, onde o rio Machado em Ji-Paraná atingiu a cota de 11,42 m no dia 02 de abril, 7 dias após registrar a cota de 9,40m.

## Nível de Inundação

A determinação do nível de inundação foi realizada pelo método estatístico, que relaciona a frequência de valores extremos.

Neste estudo foi caracterizada como elevação no nível do rio que atinge a área de várzea delimitada pela cota de Tempo de Retorno (TR) superior a 2 anos, que para Ji-Paraná corresponde ao nível de 10,61 m.

## Série Histórica

A análise dos dados do nível do rio é referente a uma série histórica entre os anos de 1978 a 2019, ou seja, 42 anos, dos quais em 21 anos foram registradas inundações do rio Machado em Ji-Paraná. Sendo a maior delas a registrada em 1990.

P.6



Avenida Brasil em 1986.



Avenida Transcontinental em 1990.



Avenida Transcontinental em 1990.

Fonte: IFRO, 2013.





Av. Transcontinental em 2009  
Fonte: RIO (2009).

Em 2009, o rio atingiu cotas poucas vezes repetidas na história, chegando a 11,34 m em 26 de fevereiro, que representa um Tempo de Retorno (TR) de quase 8 anos.

Como consequência ruas ficaram inundadas; dezenas de residências foram atingidas, portanto famílias ficaram desalojadas e precisaram ser auxiliadas pela Proteção e Defesa Civil; cursos d'água da zona rural, barrados pelo rio Machado, geraram transtornos à população por não conseguirem escoar as águas superficiais; e o canal do igarapé Dois de Abril transbordou.

No ano de 2010 famílias ficaram desabrigadas e foram encaminhadas para o abrigo municipal temporário localizado no centro da cidade.

Neste ano foram registrados dois eventos que se caracterizaram como inundação. O evento principal atingiu o nível de 11,40 m no dia 16 de fevereiro, tempo de retorno de quase 9 anos. O segundo evento registrou 11,04 m no dia 19 de março.



Residências atingidas em 2010.  
Fonte: Panobianco (2010)



Bairro Duque de Caxias em 2014.  
Fonte: Veja (2014)

Ji-Paraná registrou no ano 2014 cotas históricas, o que demandou um conjunto de respostas do poder público para enfrentar tal desastre.

No primeiro evento o nível do rio alcançou em 27 de fevereiro 11,66 m, um TR igual a 15 anos.

O segundo evento de inundação atingiu em 29 de março 11,64 m, um TR igual a 14 anos.

Moradores recorreram ao poder público, contabilizando, em 28 de fevereiro de 2014, 98 famílias desalojadas e 36 desabrigadas.

## Histórico das Inundações

*Novas inundações causaram enormes transtornos e prejuízos aos municípios de Ji-Paraná-RO.*

Imagem: Araujo (2019).



# 2019

### Desastre Natural

*Dentre os transtornos e prejuízos, destacam-se: o congestionamento do trânsito ocasionado pelas ruas urbanas interditadas, casas atingidas, consequentemente famílias desalojadas, desabrigadas e com perdas materiais; o alto risco de desabamento das cabeceiras da Ponte do Rio Urupá, localizada na RO-135, estrada que liga Ji-Paraná ao distrito Nova Londrina e BR-429; e um trágico óbito por afogamento.*

Córrego Dois de abril na travessia da Rua Clóvis Arrais em Ji-Paraná-RO



(A) em janeiro de 2019.



(B) em fevereiro de 2019.

Em 2019 o rio Machado registrou dois eventos de inundações. No primeiro elevou-se até 11,22 m registrado no dia 15 de janeiro, nível que representa um Tempo de Retorno (TR) igual a 6 anos.

No mês seguinte, o rio Machado passa por um novo fenômeno de inundação, com o ápice de 11,61 m no dia 19 de fevereiro de 2019 (TR de 13,5 anos).

Em resposta aos eventos, a Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil

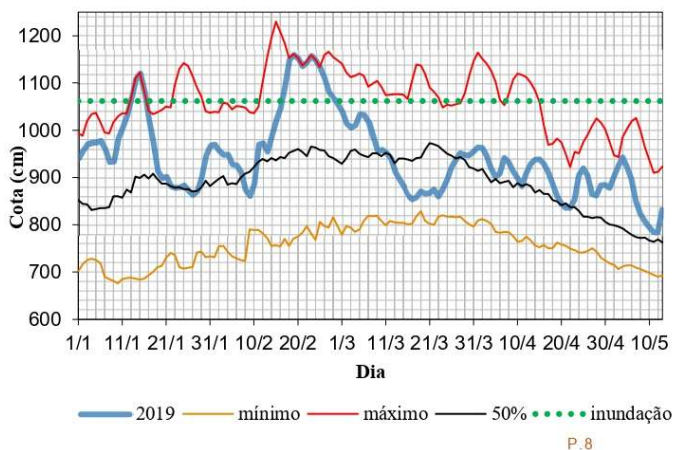
conta com o Plano de Contingência para atender as situações de risco e emergência de forma coordenada, onde ficou estipulado em 2018 a cota de 10,30 m como alerta,

determinando a coordenação de atividades como a abertura oficial do abrigo municipal.

28 atendimentos de retiradas de famílias de áreas inundadas, destas, 18 famílias desalojadas e 10 famílias desabrigadas

Em 2019 o primeiro atendimento, porém, ocorreu no dia 15 de fevereiro a uma família residente no bairro Casa Preta, o rio registrava a cota de 10,22m.

Cotas ocorridas no período chuvoso do ano de 2019 no Rio Machado em Ji-Paraná-RO em relação às cotas da série histórica para o mesmo período.





# RESULTADOS DA PESQUISA

## Singularidade do rio Machado

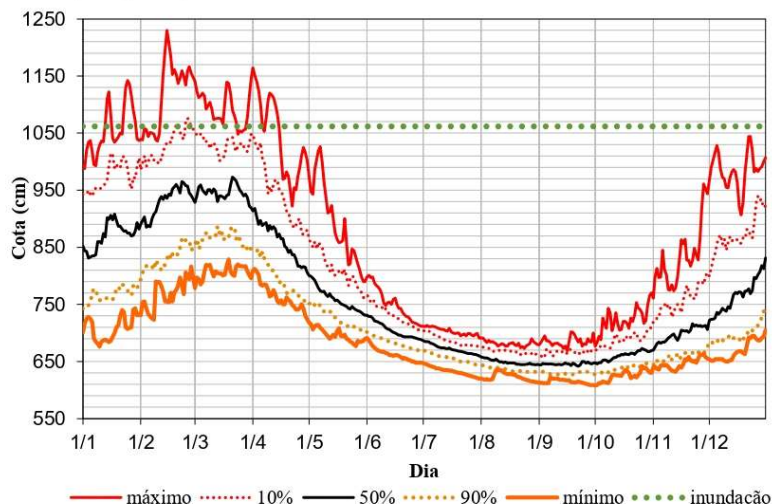
Outra característica do rio Machado em Ji-Paraná/RO, é a possibilidade de em poucos dias elevar-se para níveis de inundação demonstrada pelo comportamento pouco linear da linha dos valores máximos.

A partir do mês de maio, as máximas históricas diminuem, registrando valores menores que 7,00 m ao longo do mês de agosto.

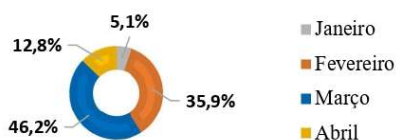
O mínimo histórico ocorreu em 01 de outubro de 1998 com o nível em 6,08 m. Com isso, o rio Machado apresenta uma amplitude de variação do seu nível de 6,22 metros.

## Inundação

Ao processar os dados do nível do rio Machado em Ji-Paraná-RO pela série histórica de 1978 a 2019 calculando os dados diários médios, para cada dia do ano foi obtida a cota máxima; a de permanência de 10%, que se caracteriza como evento intenso; a m  dia (50%); a de permanência de 90% e a cota mínima.



Constata-se que os picos históricos caracterizados como inundações, sempre se definiram pela ocorrência nos primeiros quatro meses do ano, entre janeiro e abril, das quais destaca-se o máximo de 12,30 m registrado em 15 de fevereiro de 1990.



Porém, ao observar a década de 1980, as cotas máximas ocorreram em janeiro por 2 anos, 5 anos em março e em abril por 2 anos (excluindo 1989), mais espaçadas em comparação a década 2010, onde houve uma concentração do eventos nos meses de fevereiro (6 anos) e março (4 anos) juntamente com sua intensificação ao registrar cotas acima de 11,00 m mais vezes nos últimos anos.

Período	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
1978 a 1979			2	
1980 a 1989*	2		5	2
1990 a 1999*		3	3	2
2000 a 2009		5	4	1
2010 a 2019		6	4	

A definição da Cota de Inundação a partir de 10,62 m, corresponde ao tempo de recorrência superior a 2 anos, calculada por métodos estatísticos.

Recorrência (anos)	Probabilidade	Régua (m)
1	100,0%	8,93
1,34	74,6%	10,30
1,50	66,7%	10,40
2	50,0%	10,61
5	20,0%	11,13
10	10,0%	11,47
20	5,0%	11,80
50	2,0%	12,22
59	1,7%	12,30
100	1,0%	12,54

De maneira geral, conclui-se que o município de Ji-Paraná por repetidas vezes tem enfrentado grandes eventos de inundação, onde a sociedade é impactada principalmente por perda de bens materiais, e que tais eventos tem se tornado mais frequentes ao longo do tempo.

P.9



## Dados

A série histórica de Chupinguaia conta apenas com dados a partir de 2008, ao contrário das séries históricas de Ji-Paraná e Pimenta Bueno que remontam a década de 70.

## Chuvas Intensas

Ao relacionar os dados, costuma-se observar que para os anos com maior índice pluviométrico, foi registrado, consequentemente, um maior número de dias com chuva, porém isto não ocorreu em Ji-Paraná nos anos de 1993, 1994 e 1995, o que indica que os eventos de precipitação foram mais intensos nestes anos. Tendência esta não observada para a região de Pimenta Bueno no mesmo período.

## Precipitação

Eventos de precipitação refletirão na bacia hidrográfica de maneira distinta a depender também de suas próprias características, as quais são: forma, intensidade, duração e distribuição, no tempo e no espaço.

Sabendo-se que a velocidade de escoamento é variável, logo a resposta de cada bacia dependerá também do local em que a chuva efetiva é gerada. Ainda, quanto maior a duração da precipitação menor a capacidade de infiltração e consequentemente maior o escoamento superficial ao longo do evento.

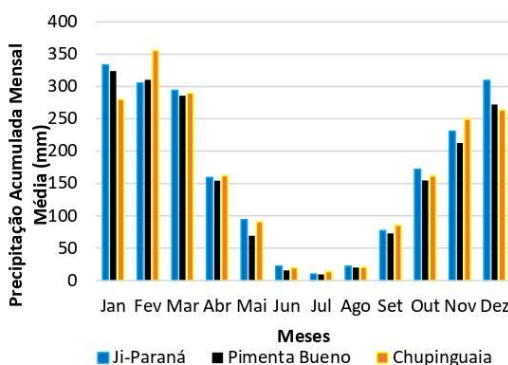
A precipitação, como um dos fatores contribuintes aos processos de inundação, foi analisada a partir dos dados da série histórica das estações pluviométricas das cidades de Ji-Paraná, Pimenta Bueno e Chupinguaia.

Chegou-se as médias dos acumulados anuais de 2.030,37 mm por ano em Ji-Paraná, 1.900,66 mm em Pimenta Bueno e 1.991,16 mm para a estação de Chupinguaia.

Por meio do estudo do número de dias com chuva por ano, estabeleceu-se a média de 101 dias para Chupinguaia, 131 dias para Ji-Paraná e 130 dias para Pimenta Bueno.

Do estudo destaca-se que nas décadas de 70 e 80, para a estação em Ji-Paraná, os totais em sua maioria, permaneceram abaixo da média, porém os números de dias com chuva permaneceram acima ou próximo à média. Já na década mais recente, ocorre um aumento significativo nos totais anuais, em outras palavras, é possível observar uma tendência na intensificação dos eventos ao longo do tempo.

Ao analisar os acumulados mensais, é possível caracterizar como período chuvoso para a área de estudo o quadriênio de dezembro a março (média acima de 260 mm/mês), diretamente relacionada com a ocorrência dos eventos de inundação no município de Ji-Paraná, principalmente nos meses de fevereiro e março.



A estação seca delimita-se entre os meses de junho e setembro (média abaixo de 90 mm/mês). Consequentemente abril/maio e outubro/novembro, são os meses de transição entre seco e chuvoso.

Os resultados apresentados evidenciam uma das principais características da distribuição pluviométrica na região Amazônica, a forte sazonalidade.

A compreensão da distribuição das chuvas contribui no gerenciamento ambiental ao traçar uma relação entre as estações. De uma maneira geral, nota-se que nos últimos anos Ji-Paraná apresenta maiores índices pluviométricos que as demais localidades, mais a montante.

As médias mensais indicam uma tendência do período chuvoso iniciar primeiramente mais ao Norte na bacia, na região do município de Ji-Paraná.

A determinação da frequência de eventos de precipitações intensas é alcançada com a análise dos valores máximos diários das precipitações. Cada região tem sua própria característica hidrológica, portanto deve-se analisar a série histórica local para sua melhor compreensão dos eventos e seus impactos.

## Ocorrência

A parcela da precipitação que se transforma em escoamento superficial é denominada de chuva efetiva, sendo a responsável pelo aumento rápido da vazão de um curso d'água durante e após uma precipitação.

A aleatoriedade das precipitações depende dos processos climáticos locais e regionais. As mais intensas atingem áreas localizadas, e costumam ser dos tipos convectivas e orográficas, enquanto as precipitações frontais atuam sobre grandes áreas, provocando as maiores inundações dos grandes rios.

## Eventos Extremos de Precipitação

Estudos dos eventos extremos de precipitação em Ji-Paraná determinam que estes são aqueles superiores a 57,3mm de acumulado diário.

NORMAL	Precipitação <	57,3 mm
NÍVEL I	57,3 mm	≤ Precipitação < 79,6 mm
NÍVEL II	79,6 mm	≤ Precipitação < 101,8 mm
NÍVEL III	101,8 mm	≤ Precipitação < 124,1 mm
NÍVEL IV	124,1 mm	≤ Precipitação

Dentre os eventos de precipitação noticiados pela mídia em Ji-Paraná, destaca-se o ocorrido em 15 de janeiro de 2016, onde o canal Dois de Abril transbordou e diversos pontos da cidade foram tomados por água, como consequência, a população sofreu inúmeros prejuízos materiais.



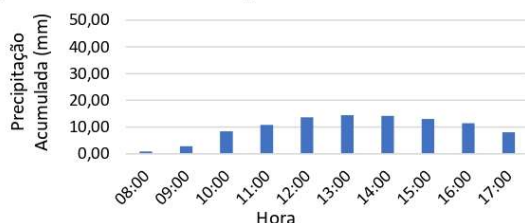
Rua 22 de Novembro em 15/01/2016.  
Fonte: Fotos (2016).



Av. Marechal Rondon em 15/01/2016  
Fonte: Fotos (2016).

Em virtude dos impactos ocasionados pelo evento, habitantes que viviam próximos aos cursos d'água que cortam a cidade, em especial, do igarapé Dois de Abril, foram vítimas de alagamentos. Em reportagem relata-se que muitas casas sem histórico de inundação foram atingidas, sendo os bairros mais afetados: Parque São Pedro, Primavera, São Francisco, Santiago, Duque de Caxias, parte do bairro Casa Preta e os setores próximos ao igarapé Dois de Abril.

Nesta data, o nível do rio machado Machado registrou de 895 cm em média, isto significa um nível relativamente baixo, o qual propiciaria o escoamento dos canais urbanos. Analisando os registros, a precipitação acumulada foi de 97,80 mm neste dia (35% do acumulado mensal), caracterizando-se como evento extremo de Nível II.



Precipitação em 15/01/2016 em Ji-Paraná.

Observa-se que este evento teve baixa intensidade, com valores inferiores a 15mm/h, porém foi de longa duração.

Portanto, os episódios de alagamentos em Ji-Paraná perpassam também pela ineficiência do sistema de drenagem, visto que mesmo eventos de baixa intensidade não são devidamente escoados.

Como declarado pela mídia, as áreas mais atingidas foram aquelas próximas aos canais, que transbordaram nesse episódio, o que está intimamente ligado a impermeabilização das microbacias urbanas, que diminui o tempo de concentração e aumenta o volume escoado, gerando uma vazão maior que a capacidade natural do curso d'água, em concordância com o Carvalho, Silva e Cabral (2017).

P.11



## Precipitação

*Sabe-se que as chuvas são os agentes deflagradores do processo de inundação.*

Imagem: Araújo (2019).



# 2019

## Alagamentos e Inundações



Av. 6 de maio em Ji-Paraná em 22/02/2019.

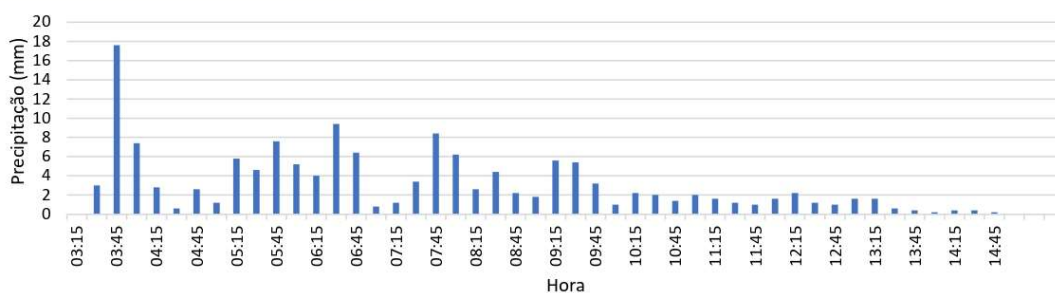
Ao analisar especificamente os dados do mês de fevereiro de 2019, observou-se que o mês apresentou 445,60 mm de precipitação acumulada em Ji-Paraná, 315,90 mm em Pimenta Bueno e 262,50 mm em Chupinguaia, enquanto as médias para este meses são de 305,35 mm, 310,13 mm e 355,08 mm, respectivamente, o que destaca novamente a região de Ji-Paraná com maior índice pluviométrico do que as regiões mais a montante do rio Machado, ficando acima da média.

Foi verificado que os maiores eventos ocorreram a partir do dia 13, exatamente quando o nível do rio começou a elevar-se, até registrar um pico de inundação no dia 19 de fevereiro.

Neste período, o acumulado diário ocorrido em Ji-Paraná no dia 22 de fevereiro de 2019, destacou-se ao registrar 147,20 mm em 11h30min de duração, caracterizando-se como evento extremo de Nível IV.

Esse episódio, além de ter apresentado momentos de alta intensidade no início, o que não propicia a percolação da água no solo e consequentemente sobrecarrega a capacidade de vazão da drenagem superficial, teve também uma longa duração.

Vale salientar que um evento inundação do rio Machado ocorria nesse período, tendo registrado a cota média de 11,46 m neste dia, que além de ter provocado inundações em diversas áreas ribeirinhas, gera também uma resistência ao escoamento das águas superficiais urbanas.



Distribuição do evento em Ji-Paraná no dia 22/02/2019 com acumulados em 15 minutos.

P.12

## Diagnósticos da Bacia de Drenagem

### Análise Morfométrica

A análise das características físicas paisagem, é realizada por meio da morfometria, fazendo-se uso de indicadores. Portanto, as características que proporcionam maiores escoamentos e maiores velocidades de escoamento, contribuem para que a bacia hidrográfica seja naturalmente mais suscetível à inundação.

Dentre os índices, temos, por exemplo:

- O índice de sinuosidade (Is): é a relação entre o comprimento da drenagem principal (L) e a distância vetorial do canal (Lv). Este índice expressa a velocidade de escoamento, quanto maior, menor é a velocidade.
- Coeficiente de Compacidade (Kc): também denominado de índice de Gravelius, relaciona a forma da bacia com um círculo. É calculado pela multiplicação de 0,28 ao perímetro da bacia dividido pela raiz de sua área. Quanto maior for Kc, menos compacta é a bacia e menor será a tendência a cheia.
- Densidade de drenagem (Dd): é um coeficiente determinado pelo somatório dos comprimentos (L) dos corpos hídricos dividido pela área da bacia (A). Auxilia na identificação das características do solo, pois há uma tendência de que solos menos permeáveis, e com rochas do subsolo menos porosas, que conseqüentemente geram maior escoamento superficial, apresentem a densidade da drenagem mais alta.

A área em estudo é parte integrante da bacia do rio Ji-Paraná (ou Machado), formada pelas Unidades Hidrográficas de Gestão (UHG) Alto e Médio Rio Machado totalizando uma área de 39.394,43 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 16,57% da área do Estado de Rondônia. Suas características fisiográficas, determinantes na resposta aos eventos de precipitações, são descritas na tabela abaixo após ter sido considerado a geometria, o relevo e a rede de drenagem com base no Modelo Digital do Terreno.

Parâmetros Morfométricos	Resultados	Parâmetros Morfométricos	Resultados
Área da bacia hidrográfica (A):	39.394,43 km <sup>2</sup>	Amplitude altimétrica (Aa):	534,00 m
Perímetro da bacia hidrográfica (P):	1.517,55 km	Comprimento longitudinal de maior distância (Lt):	393,93 km
Largura do rio em Ji-Paraná:	260 m	Comprimento total das drenagens:	28.121,97 km
Altitude na nascente:	575,00 m	Declive média da bacia:	1,20 %
Altitude no exutório:	103,00 m	Coeficiente de compacidade (Kc):	2,14
Comprimento da drenagem principal (L):	523,92 km	Fator de forma (Kf):	0,25
Comprimento vetorial do eixo principal (Lv):	377,07 km	Índice de Circularidade (IC):	0,21
Índice de Sinuosidade (Is):	1,39 m/m	Densidade de drenagem (Dd):	0,71 km/km <sup>2</sup>
Declividade média do curso d'água principal (S):	0,09% ou 0,90 m/km		

O trecho do rio Machado analisado com Is encontrado de 1,39 não se caracteriza como reto ou sinuoso, em outras palavras, têm forma transitória, portanto esta característica não influi diretamente na velocidade do escoamento.

O coeficiente de compacidade (Kc) ao relacionar o a forma da bacia com um círculo apresentou o valor de 2,14, portanto menos compacta é a bacia e menor é sua tendência a inundações.

A densidade de drenagem (Dd) encontrada foi de 0,71 km/km<sup>2</sup>, baixa densidade de drenagem. Sua relação com as propriedades dos solo, indica que a bacia seja mais permeável.

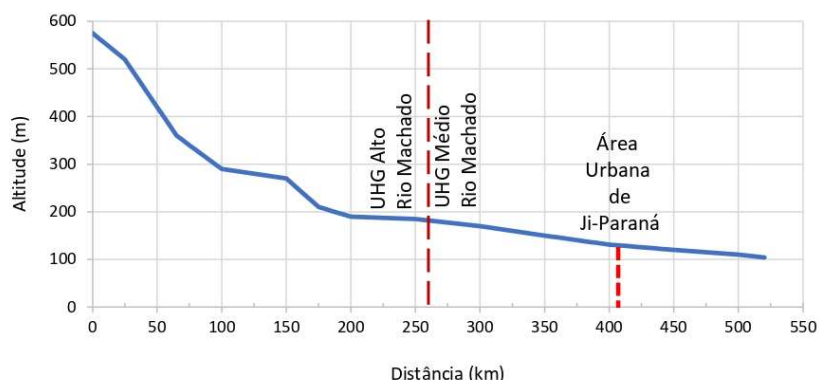
P.13



## Declividade

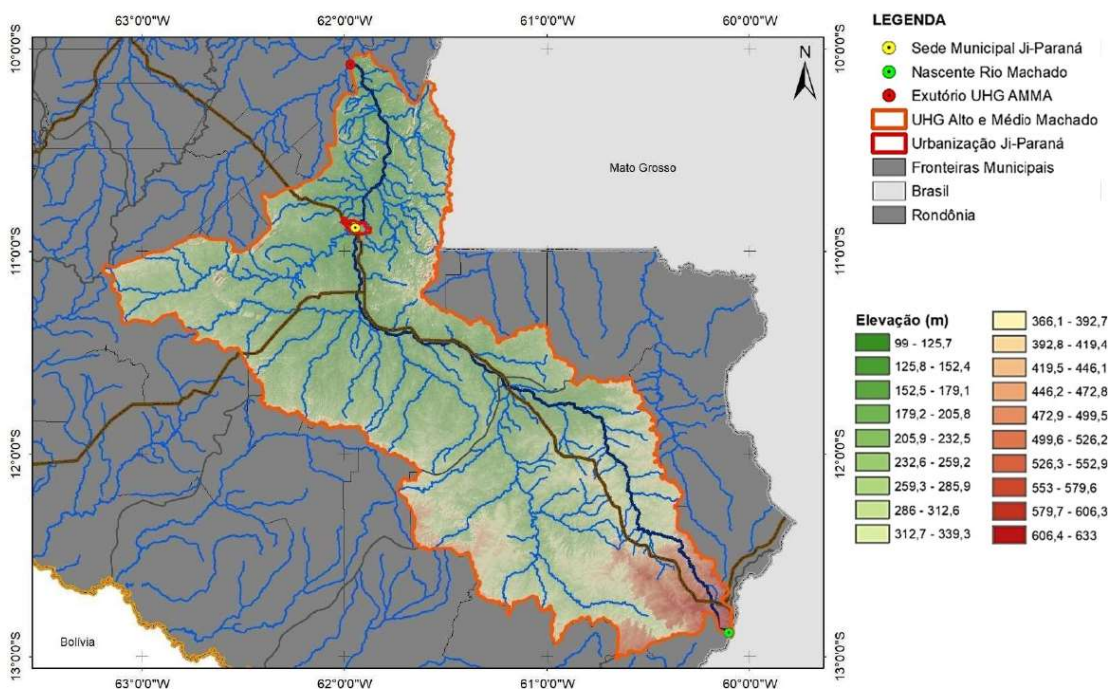
Pode-se afirmar que a declividade na área de estudo não é um fator determinante no processo de inundação que ocorre em Ji-Paraná, visto que apresentam valores relativamente baixos, o que propicia um escoamento mais tênue, com picos de vazão mais distribuídos.

A declividade média do rio (S) encontrada foi de 0,90 m/km. Para verificação do comportamento da declividade ao longo de seu curso, foi elaborado o perfil longitudinal abaixo.



Observa-se que o rio dispõe de uma maior declividade na UHG Alto Rio Machado, onde fica localizada a cabeceira do rio, e que a área urbana de Ji-Paraná está localizada na parte mais plana, a jusante.

Bacias hidrográficas com declividades elevadas têm alto potencial de perda de solo, porém a declividade média da bacia encontrada foi de 1,20%, caracterizando-se como uma área de relevo plano, espacializada tal como demonstra a carta hipsométrica abaixo.

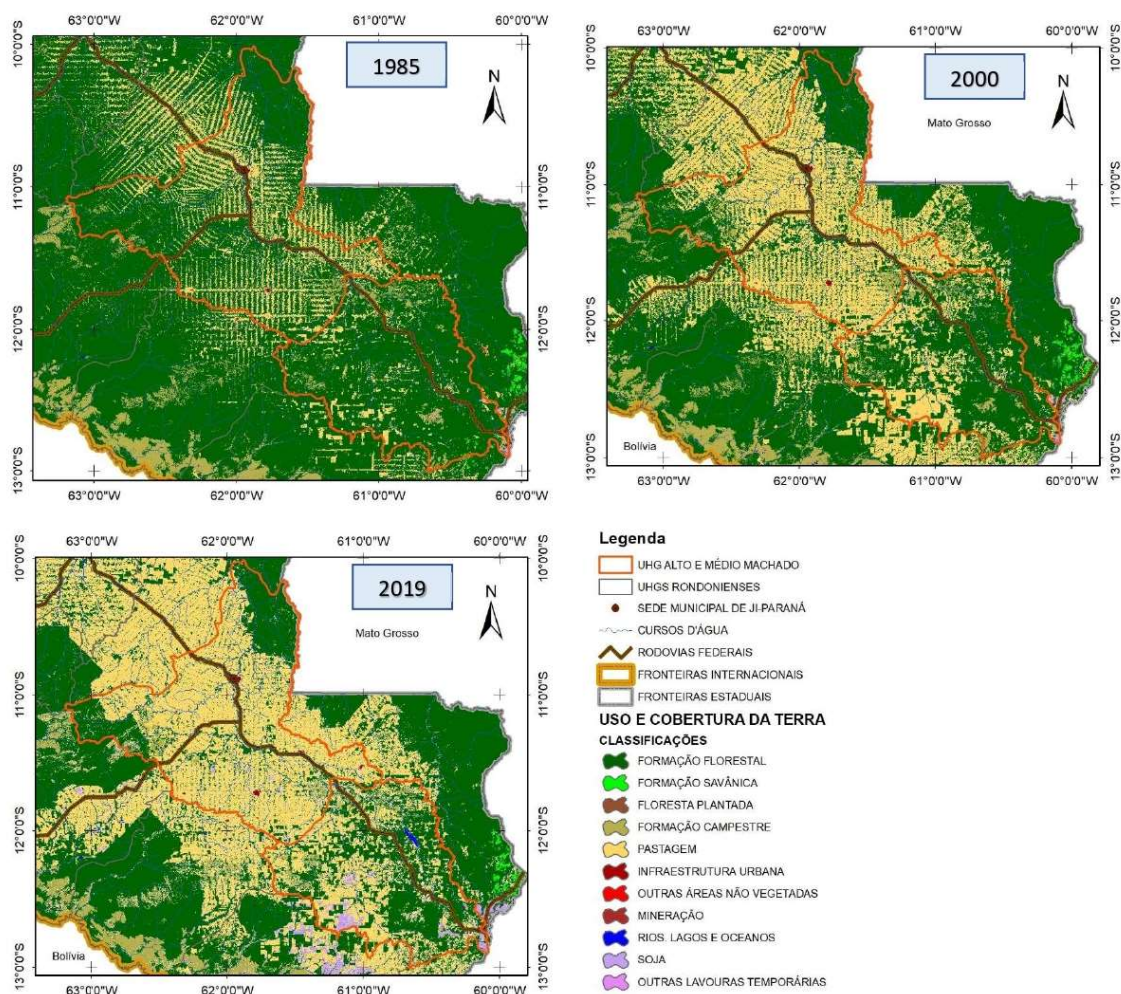


Portanto, o conjunto das características físicas da bacia permite inferir que a região hidrográfica analisada não é predisposta a inundações em condições normais de precipitação.

## Diagnósticos da Bacia de Drenagem

### *Análise Temporal do Uso e Cobertura da Terra*

Conforme a análise dos dados do MAPBIOMAS (2020), o uso e cobertura do solo modificou-se profundamente de 1985 até o ano de 2019 também nas UHG Alto e Médio Rio Machado. A princípio, predominava-se a formação florestal em 75% da região e a pastagem representava 22% da área, porém o uso preponderante tornou-se a pastagem após o ano de 2000, com a diminuição em 25% da formação florestal, enquanto que houve um aumento de área de pastagem em 23%, representando 52% da bacia em 2019.



Observa-se que a pastagem se desenvolveu e está concentrada sobretudo na UHG Médio Rio Machado, este tipo de cobertura, caracteriza o solo da região como desprotegido, o que propicia o desenvolvimento de processos de erosão.

Diante deste cenário, garantir a produção de alimentos e reduzir as taxas de desmatamento é um dos grandes desafios a serem enfrentados pelo Estado e pela sociedade nas próximas décadas. Porém, este conflito pode ser solucionado com investimentos na melhoria da produtividade agrícola da região.

P.15



## Diagnósticos

### Áreas Urbanas Impactadas pela Inundação

Os resultados indicam que o cenário de risco de enchente e inundação é de planícies fluviais (C1), conforme classificação de Brasil e IPT (2007), visto que o relevo é relativamente plano, não expondo as residências ao perigo de deslizamento de massa; e a dinâmica dos eventos ocorre gradativamente, com pequena possibilidade de perda de vidas humanas.

A delimitação das áreas de risco é fundamental para que seja realizada a devida gestão desses espaços, principalmente devido ao fato de que a memória sobre as inundações se dissipa com o passar do tempo e uma sequência de anos sem inundações motiva a população a ocupar o leito maior.

Além do cenário do fenômeno, foi avaliado o perigo quanto ao raio de alcance, visto que quanto menor é o tempo de retorno, maior é a probabilidade de exposição física e ambiental ao processo para áreas no entorno do rio Machado.

Foi elaborado mapas que destacam as áreas impactadas pelo fenômeno de inundação e aquelas que apresentam maior vulnerabilidade ao fenômeno, com objetivo suprir a falta de um sistema de alerta.

Como resultado do estudo, as áreas predominantemente atingidas por níveis de água com tempo de recorrência menor ou igual a 30 anos foram classificadas com alta periculosidade (P1), caso contrário, com baixa periculosidade (P2), seguindo as classificações do quadro abaixo.

	Régua (cm)	Altitude Ortométrica (m)	Tempo de Recorrência	Probabilidade	Perigo
Calha do Rio	1061	140,72	$TR \leq 2$ anos	100 a 50%	P1
Inundação: Risco Crítico	1062 a 1147	140,73 a 141,58	2 anos < $TR < 10$ anos	50 a 10%	P1
Inundação: Risco Médio	1148 a 1199	141,59 a 142,10	10 anos < $TR < 30$ anos	10 a 3,3%	P1
Inundação: Risco Baixo	1200 a 1230	142,11 a 142,41	30 anos < $TR < \text{máx.}$	3,3 a 1,7%	P2
Áreas nunca inundadas	Acima de 1230	Acima de 142,41	$TR > \text{máx. histórico}$	1,7 a 0,0%	P2

Diante destes resultados, foi realizado por meio de geoprocessamento a correlação dos dados com o modelo digital do terreno, que possibilitou a representação das áreas expostas ao perigo.

Por mais que se tenha determinado o perigo, a vulnerabilidade está relacionada a gravidade das consequências dos processos de cheia e inundações.

O município de Ji-Paraná, área de estudo, foi dividido em 160 setores censitários. Esses setores foram utilizados para coleta e espacialização das informações entre áreas de alta vulnerabilidade (V1) ou baixa vulnerabilidade (V2), que baseou-se nos indicadores de densidade populacional, rendimento, analfabetismo e o número de pessoas dependentes, conforme dados socioeconômicos do censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE).

Com conjunto de informações de perigo e vulnerabilidade, é possível investigar e determinar as áreas mais críticas dentre as suscetíveis, trazendo como resultado o mapeamento das áreas de risco em quatro níveis distintos, conforme imagem abaixo.



Portando, as áreas que apresentam o mais crítico cenário (C), com maior vulnerabilidade (V) e maior periculosidade (P), classificam-se como áreas de maior risco ao processo de inundação.

## Aplicação

A produção de mapas tem o intuito de apresentá-los como instrumentos legais para a gestão dos riscos.

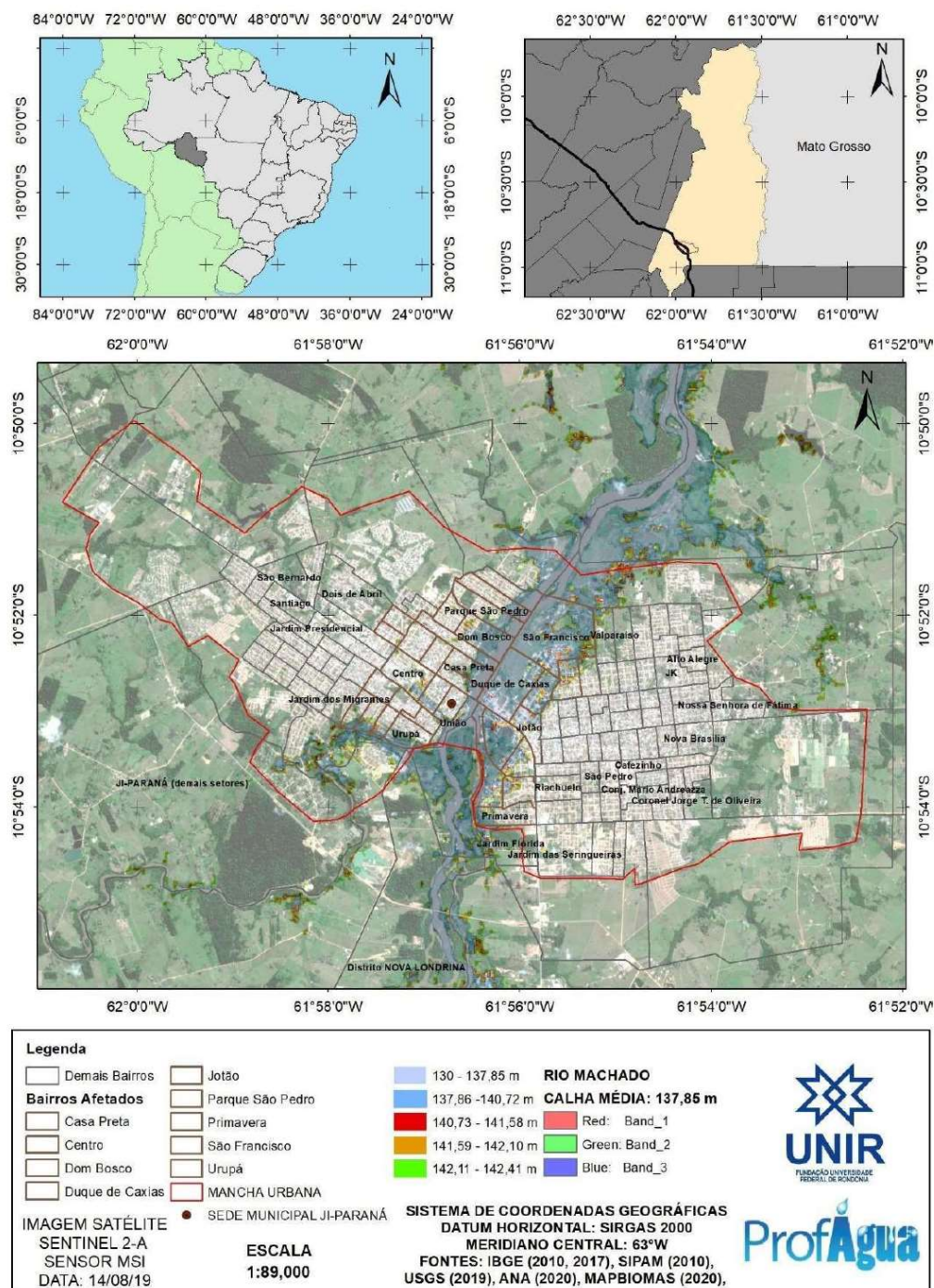
O confronto dos resultados possibilita a representação espacial dos setores censitários por classes de risco, que auxiliará, sobretudo, na identificação dos locais que necessitam de intervenção prioritariamente e na definição sobre qual a solução mais adequada.

Proporcionará também maior eficácia das políticas públicas relacionadas ao ordenamento do território no município, prevenindo maiores impactos por cheias, visto que o Plano Diretor de Ji-Paraná já determinou que as áreas inundáveis não devem ser habitadas, porém não estabeleceu a área, bem como, nenhuma especificidade quanto o zoneamento das áreas que margeiam o rio Machado.

P.16

## Diagnósticos

### Zonas Inundáveis na Área Urbana de Ji-Paraná

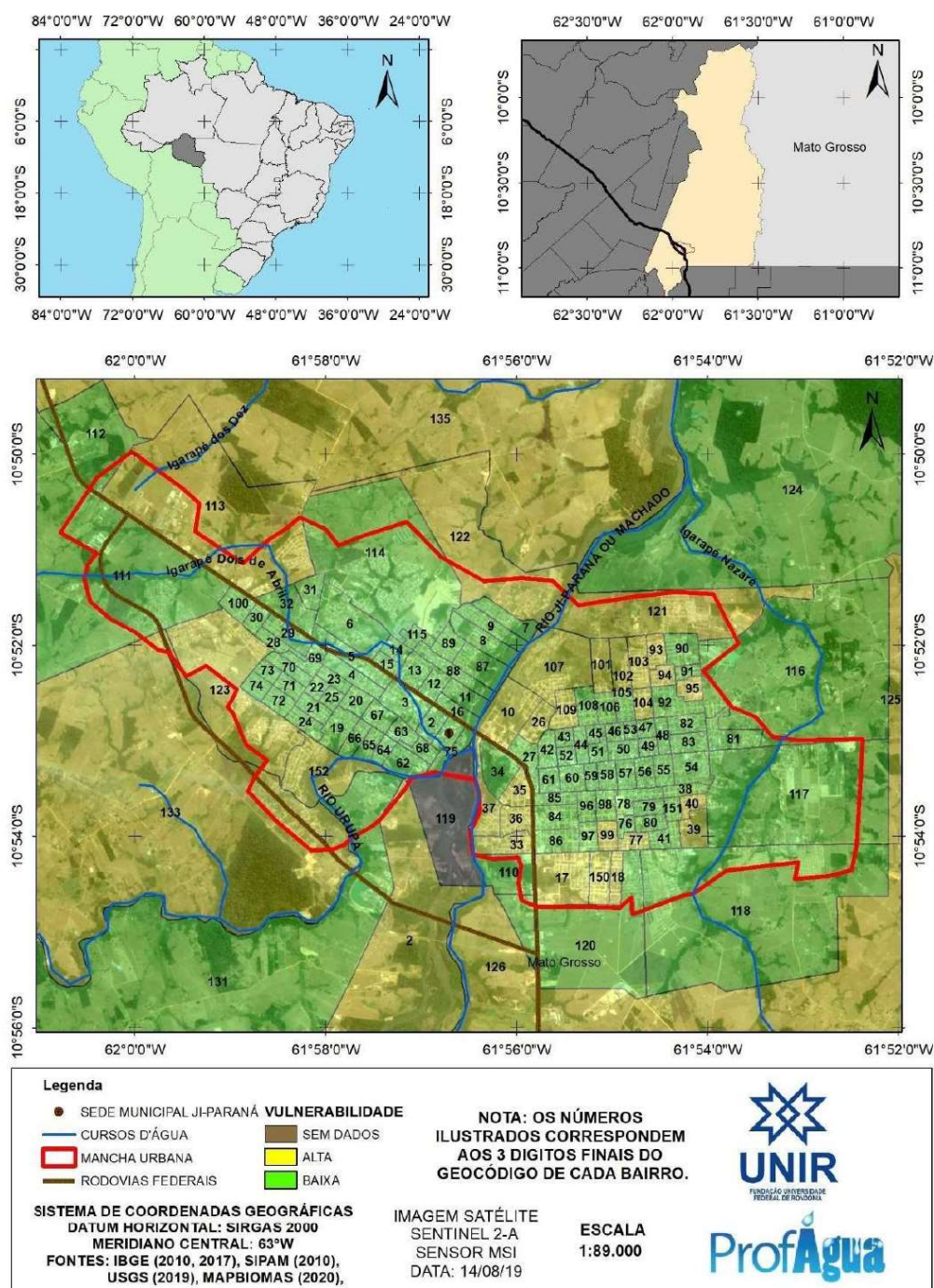


P.17



## Diagnósticos

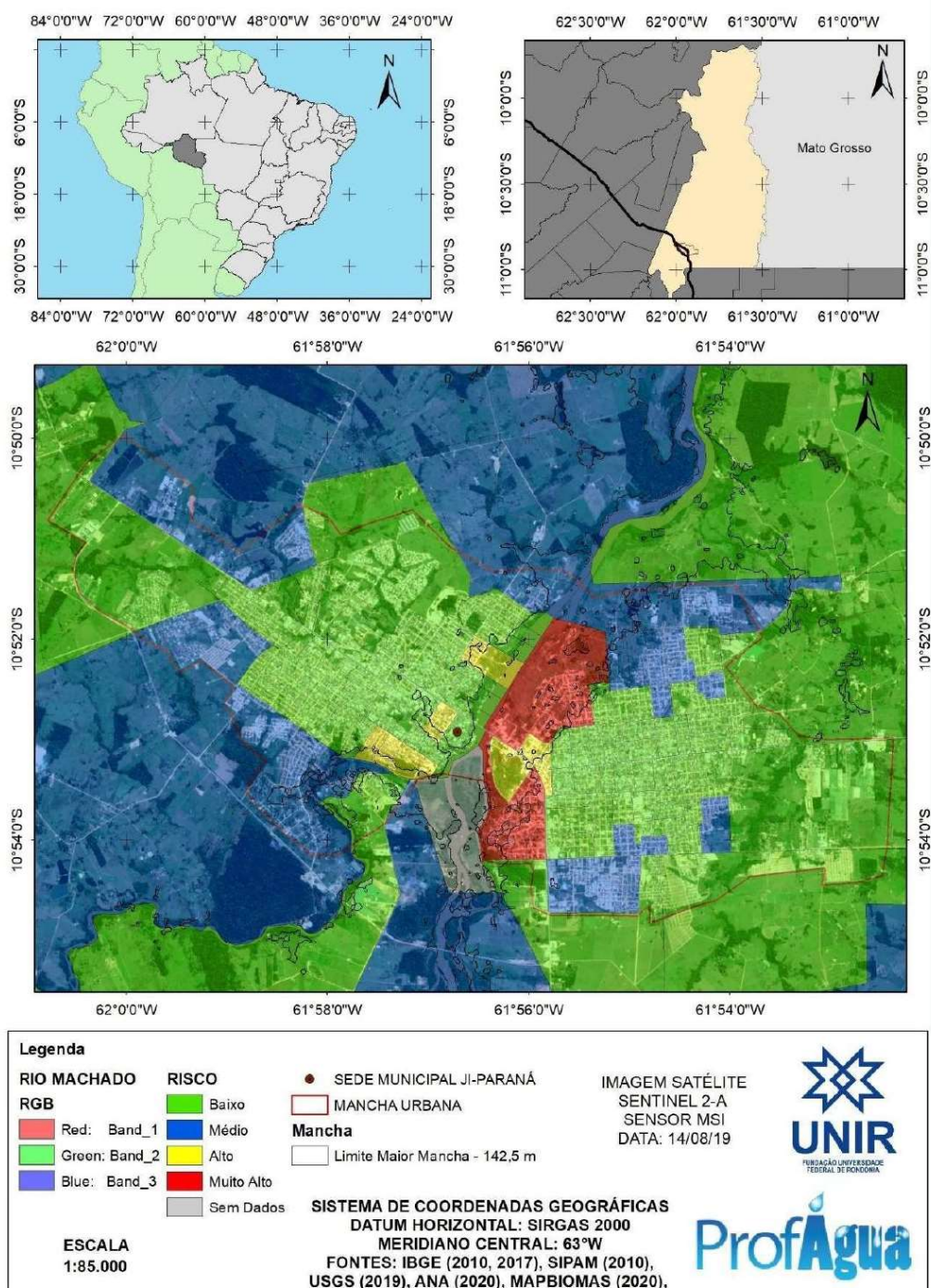
### Vulnerabilidade dos Setores Censitários de Ji-Paraná



P.18

## Diagnósticos

### Áreas de Risco a Inundação na Área Urbana de Ji-Paraná



P.19



## Diagnósticos

### *Áreas de Risco a Inundação na Área Urbana de Ji-Paraná*

Detectou-se que a classe de alta vulnerabilidade no espaço urbano está localizada sobretudo em áreas próximas a margem direita do rio Machado (2º distrito) e em áreas periféricas, enquanto que as áreas centrais da cidade, localizadas na margem esquerda do rio (1º distrito), são menos vulneráveis.

Ao relacionar os mapas, destacam-se os setores que apresentaram risco muito alto e alto, que correspondem a um total de 12.284 pessoas que residem em áreas de risco, de maneira vulnerável no município de Ji-Paraná, habitando principalmente na margem direita do rio Machado (2º distrito).

Neste sentido, as áreas classificadas com risco muito alto e alto a inundações necessitam de uma atenção mais urgente por parte do poder público, podendo adotar como ponto de partida as contribuições deste estudo.

## Correlação entre os Resultados da Pesquisa

Conforme as características fisiográficas da bacia de drenagem analisada há um forte indicativo da pouca influência do relevo no processo de inundações, indicando baixa suscetibilidade natural.

A elevação do nível do rio Machado em Ji-Paraná pode ocorrer em poucos dias. Esta situação pode ser explicada pela sua forma menor e mais estreita, que contribui para que uma chuva de abrangência maior atinja toda a bacia, gerando um grande volume de escoamento superficial, diminuindo o impacto das vantagens fisiográficas.

Ficou demonstrado também que os eventos de precipitação tem apresentado uma intensificação ao longo da série histórica, para a região de Ji-Paraná, e, com o consequente aumento no escoamento superficial, tem propiciado a ocorrência de eventos de alagamentos relacionados a ineficiência da drenagem urbana no município.

Notou-se ainda que os eventos de inundações estão se caracterizando por níveis maiores nas últimas décadas, o que pode estar intimamente relacionado com a diminuição da cobertura florestal da bacia de drenagem no decorrer dos anos, visto que pesquisas demonstram que as mudanças no uso e cobertura da terra interferem nos padrões locais e regionais de chuvas.

Como consequência do aumento das áreas com o solo descoberto, há o aumento do escoamento superficial e de perdas de solo. Sabendo-se que o solo predominante na área de estudo é sensível aos processos erosivos, pressupõe-se que há o aumento da carga sedimentar aos corpos hídricos. Nesta lógica, há a hipótese de que o rio Machado esteja passando por processos de assoreamento, que estariam agravando os fenômenos naturais de inundações devido à diminuição da profundidade da seção do rio, somados ao aumento dos picos de vazão ocasionados pela diminuição da infiltração da água no solo e por vezes pela ocorrência de eventos extremos.

Em vista dos argumentos apresentados, pode-se inferir a existência de conexão entre a exposição de solos frágeis, sobretudo pelo desmatamento, a ocupação irregular de áreas dentro do leito maior com a magnitude dos eventos de inundações e da vulnerabilidade humana, em concordância com o afirmado por Maffra e Mazzola (2007).

## Fatores Agravantes

Na história das políticas públicas nota-se como padrão que as precauções aos desastres naturais somente são tomadas após atingir centenas de pessoas e causar uma mobilização da sociedade. Neste contexto, algumas razões que agravam a problemática são:

- A falta de conhecimento sobre controle de enchentes e inundações por parte dos planejadores urbanos;
- Desorganização, a níveis federal e estadual, a respeito do gerenciamento dos diferentes aspectos da água no meio urbano;
- A ausência de interesse de prevenção;
- Escassez de informação técnica sobre o assunto a nível de graduação na Engenharia;
- A falta de entendimento por parte população perante a temática, priorizando junto ao administrador público obras hidráulicas e não medidas preventivas;
- A priorização de projetos localizados, sem uma visão da bacia hidrográfica.

P.20

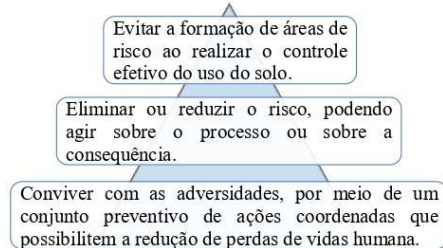
# PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES

## Gerenciamento das áreas de Risco

Com o objetivo de possibilitar o controle e a prevenção, o Ministério das Cidades em conjunto com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), sintetizam o gerenciamento de áreas de risco a inundações em cinco etapas:

- I. Caracterização dos Processos de Inundações;
- II. Mapeamento da Área;
- III. Correlações Hidrometeorológicas;
- IV. Definição de Medidas;
- V. Designação das Responsabilidades.

Ao saber como, onde e quando o processo poderá ocorrer, devem ser definidas as ações para mitigação dos impactos. Levando em consideração que há diversos fatores que contribuem para o avanço e a perpetuação do número de pessoas vivendo em áreas ameaçadas, as ações para controle dos riscos hidrológicos e a prevenção de acidentes se apresentam em três vertentes diferentes:



Apesar de serem três linhas distintas, exige-se um conjunto de medidas que pode englobar ou não todas as vertentes.

Os principais meios de implantar o gerenciamento são a Legislação Municipal, Estadual e Federal; o Plano Diretor de Drenagem Urbano; o Manual de Drenagem, e o Sistema de Alerta e Previsão (SAP). O Plano Diretor de Drenagem visa estabelecer as linhas principais locais, apoiado no controle feito pelas legislações. O manual é orientativo sobre um sistema já implantado e o SAP irá atuar nos locais afetados.

## Instrumentos e Responsabilidades

Cabe a administração pública controlar a urbanização e garantir a justiça espacial, para tal, a legislação brasileira já dispõe das diretrizes nas Leis Federais nº 6.766/79 (Parcelamento do Solo Urbano), nº 10.257/2001 (Estatuto da Cidade) e nº 12.651/2012 (Código Florestal).

Na Constituição Federal de 1988, por sua vez, no Art. 182, ficou estabelecido que a política de desenvolvimento urbano deve ser executada pelo poder público municipal, utilizando do plano diretor como instrumento básico.

Em complementação, o Estatuto da Cidade, consolidou o plano diretor como instrumento de gestão, juntamente com o parcelamento do uso do solo e o zoneamento ambiental.

Logo cabe ao poder público municipal as ações de adequação às legislações, eliminando ou reduzindo os riscos aos desastres naturais, por meio das instrumentos e assim garantir o bem-estar social, priorizando a atuação na vertente da prevenção.

Mediante a falta de preparo do poder público em responder apropriadamente aos desastres naturais, como inundações, há esforços que advém de organizações governamentais, como a ANA, CPRM, CENSIPAM, e da comunidade acadêmica que têm contribuído na mudança desse paradigma. Logo, este trabalho objetiva suprir parte da lacuna de estudos sobre a problemática no município de Ji-Paraná e assim fomentar uma gestão mais próxima do ideal.



Vista aérea de Ji-Paraná (RO).  
Fonte: Ji-Paraná (2021)

P.21



## Gerenciamento das áreas de Risco

Além da caracterização dos processos de inundações e o mapeamento da área, em face aos resultados desenvolvidos ao longo do estudo, é possível incutir soluções no que diz respeito à gestão das áreas de risco à inundações em Ji-Paraná-RO.

### *Medidas mitigadoras para áreas de **Risco Muito Alto***

Conforme os diagnósticos, as áreas justafluviais do Rio Machado abaixo da cota 140,73 (tempo de recorrência menor que 2 anos) tornam-se impróprias à ocupação urbana (residencial, comercial ou industrial), devendo a gestão pública controlar o processo, favorecendo os usos adequados, como, por exemplo, espaços públicos para atividades coletivas em área urbana, principalmente aqueles que favorecem a proteção do corpo hídrico, como parques naturais.

Portanto, fundado no interesse público e na responsabilidade pela ordenação das cidades, recomenda-se que os imóveis urbanos localizados no setor classificado com risco muito alto devem ser desapropriados pelo município, em conformidade com a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001, que o institui como instrumento da política urbana. Sendo indicado a esta população, em sua maioria, de menor poder aquisitivo, a realocação para novas habitações, e promover a regularização fundiária de assentamento urbanos irregulares, se houver, onde o uso habitacional for conveniente. No entanto, para tal tomada de decisão, há que se considerar, como um dos fatores primordiais, as particularidades regionais e sócio-culturais.

Ademais, a fim de evitar a formação de novas áreas de risco, bem como instrumentalizar o poder público frente às ações necessárias sugeridas, o município de Ji-Paraná deve acrescentar em seu plano diretor o mapeamento das áreas suscetíveis a inundações e os seus parâmetros de parcelamento, uso e cobertura do solo, complementando o zoneamento da cidade.

### *Medidas mitigadoras para áreas de **Risco Alto***

Apesar do perigo alto em ser atingido por inundações, estas áreas apresentam-se com menor vulnerabilidade aos eventos. Considera-se ainda a relação dos moradores de algumas áreas justafluviais que podem conter um vínculo histórico, a exemplo do que ocorre à margem esquerda do rio Ji-Paraná, em área central da cidade, na qual há uma comunidade fundada em torno de uma Colônia de Pescadores (colônia Z-9), sendo a base econômica das famílias dependente da sua localização.

Portanto, em virtude da consolidação da ocupação, indica-se a criação do Sistema de Alerta e Previsão, correlacionando os resultados apresentados neste estudo com o monitoramento hidrometeorológico em tempo real.

Em virtude das características físicas da bacia, torna-se pouco eficiente a aplicação de sistemas de previsão de cheias a curto prazo baseados apenas nas cotas do rio a montante da área urbana. Logo, a atenção preventiva para Ji-Paraná deve focar-se no deflagrador determinante, a precipitação, possibilitando assim uma maior antecedência na mobilização de alertas.

Em complementação, a coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil (COMPDEC) de Ji-Paraná detém um Plano de Contingência que traça as ações emergenciais para a proteção e defesa da população em caso de inundação, porém sugere-se a atualização do plano. Propõe-se a definição e utilização dos termos “Cota de Alerta” e “Cota de Emergência” para o gerenciamento de áreas de risco pelos diversos Sistemas de Proteção e Defesa Civil, bem como de Alerta e Previsões.

A cota de emergência deve ser instituída como o limiar para a ação do poder público frente aos os impactos que o nível do rio inflige à sociedade local. A cota de alerta, por sua vez, estabelece-se para sinalizar a elevação do nível do rio, de valor próximo a cota de inundação, possibilitando, em tempo hábil, o planejamento e preparação de ações para a inundação.

Entende-se que os termos “Cota de Enchente” e “Cota de Inundação” devem ser designados em função das características hidrológicas, desta maneira, a cota de emergência de uma determinada localidade pode ser enquadrada como uma cota de enchente, indicando que o evento de inundação em questão é natural, portanto, a adoção de medidas preventivas e mitigadores não devem focar em ações de controle dos processos hidrológicos.

P.22

Neste estudo, ficou definido como cota de inundação o nível de 10,61 m, que corresponde ao tempo de retorno igual a 2 anos, delimitando assim o leito maior do rio Machado.

Contudo, os atendimentos realizados pela COMPDEC em 2019 com cotas inferiores a cota de inundação indicam a necessidade de se utilizar uma cota de emergência, a qual já é instituída no Plano de Contingência de Ji-Paraná-RO em 10,30m, porém, neste estudo recomenda sua atualização para 10,05 m (TR igual a 1,10 anos). Esta recomendação visa a coordenação de ações que possibilitem a redução de perdas materiais e humanas com a devida antecedência, houveram pedidos de apoio à Defesa Civil antes da cota de 10,30m.

Dentre as ações para conviver com os eventos, propõe-se adequações estruturais para a elevação dos imóveis em área de risco alto acima da cota 141,59 (risco médio) que representa um tempo de retorno superior a 10 anos.

### *Sugestões de medidas mitigadoras para a bacia de drenagem*

Além de o município controlar a ocupação de áreas de risco a inundação, técnicas sustentáveis para a diminuição do volume de escoamento superficial contribuirão na gestão dos eventos extremos. Neste sentido, a fim de evitar os transbordamentos dos cursos d'água urbanos, sugere-se o emprego de dispositivos como lagos, pequenos reservatórios, poços e/ou trincheiras de infiltração integrados no sistema de drenagem urbana, bem como, o que preceitua o Plano Diretor do município, em que Ji-Paraná (2001, p. 23) determina: "zonas identificadas como problemáticas quanto à drenagem urbana, a critério do órgão técnico competente, deverão ser construídos, nos lotes edificados, reservatórios de retenção de águas pluviais".

No planejamento macro das ações mitigadoras, recomenda-se que novos estudos sejam realizados para analisar variáveis que corroborem com a hipótese do aumento de depósito de sedimentos na calha do rio em Ji-Paraná e assim atuar nos processos de antropização da região de maneira eficiente. Não obstante, as características pedológicas da bacia hidrográfica em estudo já apontam para a necessidade de estruturar medidas de controle dos processos erosivos preventivamente, necessidade esta agravada atualmente pela alta exposição do solo na região visto que em 2019 foi detectado 20.641,73 km<sup>2</sup> de área em Pastagem, representando 52% das UHG Alto e Médio Rio Machado.

O controle dos processos erosivos pode ser realizado, por meio do reflorestamento, da proteção das margens dos rios, por uso de práticas eficientes na agropecuária e por pequenos reservatórios integrados nos sistemas de drenagem urbana.

Sugere-se ainda que estudos de previsão da evolução do uso do solo e da cobertura do solo, resultando em prognósticos para a região, devem ser realizados para contribuir de maneira significativa na gestão da bacia, buscando antecipar os novos desequilíbrios que possam comprometer a segurança hídrica em função das atividades antrópicas, tal como já se observa a evolução de plantio de soja e outras lavouras na UHG Alto Rio Machado, que em 2019 somaram 776 km<sup>2</sup>.

Sabendo-se que a gestão dos recursos hídricos traz desafios em função de sua complexidade, torna-se fundamental a educação ambiental, particularmente, sobre a problemática dos desastres naturais, em conformidade com o discutido neste estudo, para elevar a participação ativa da comunidade e se obter as melhores soluções na gestão pública.

Em vista dos argumentos apresentados, a principal medida que se provoca é a criação do Plano de Ação, podendo apresentar-se como o Plano Diretor de Drenagem Urbana, com um conjunto de estudos, normas e medidas mitigadoras elaboradas a partir de uma visão holística, apresentando soluções estruturais e não estruturais que se baseiam em conceitos inovadores, ou seja, soluções que objetivem o desenvolvimento urbano em harmonia com a natureza, tal como o SUDS (Sustainable Urban Drainage Systems) definido como metodologias sustentáveis de drenagem urbana.

Para a perfeita eficiência de um plano de ação, além da estipulação de medidas, deve-se designar a entidade responsável pela execução de cada uma, com ações para curto, médio e longo prazo, devidamente compatibilizado com demais planos e projetos de infraestrutura, com o objetivo de promover o desenvolvimento urbano de forma harmônica com o rio.

P.23



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fim de compreender e propor ações de enfrentamento às inundações, buscou-se identificar os principais fatores que atuam na dinâmica por meio de estudos hidrometeorológicos, morfométricos, de uso e cobertura da terra e ainda sobre as desigualdades sociais no espaço urbano.

Atribui-se os impactos, primeiramente, a dinâmica da ocupação do município, que em partes, se desenvolveu no leito de maior do rio, áreas de grande risco às inundações.

Porém, ao analisar a ocorrência desses fenômenos de acordo com o registrado desde 1978, observou-se que a recorrência de eventos extremos tem sido maior nos últimos anos.



Vista aérea de Ji-Paraná (RO).

Fonte: DECOM (2018).

Tal intensificação apresenta relações com a modificação do uso e cobertura da bacia, visto que em 1985 predominava áreas florestadas, e em 2019 tornaram-se predominantes as áreas de pastagem, com isso pressupõe-se a ocorrência de processos de assoreamento, aumento dos picos de vazão ocasionados pela diminuição da infiltração da água no solo e maior ocorrência de eventos extremos de precipitação.

Diante disso, foi observado que as inundações não atingem igualmente o espaço urbano, pois a ineficiência no planejamento urbano e outros fatores modificadores do espaço, levaram a estabelecer regiões em que a população é mais vulnerável aos eventos, devendo estas áreas serem priorizadas no plano de ação.

A metodologia apresentada nesta dissertação analisou os fatores determinantes do cenário das inundações, resultando em uma alternativa de instrumento para gestão de áreas de risco às inundações, visto que não há como evitar os eventos, porém medidas de mitigação e prevenção podem e devem ser executadas.

A aplicação deste estudo ocorreu por meio da definição da cota de inundação; pelo resgate histórico dos eventos visando agregar a relação da sociedade com o espaço, promovido pelas fotografias em conjunto com as informações precisas, e principalmente, rememorando as experiências para o embasamento nas tomadas de decisão frente à problemática; e pela compreensão do tempo de retorno dos níveis de inundação, o que permite que os gestores avaliem a urgência do ordenamento territorial em função do risco para cada área, a fim de garantir a segurança hídrica.

Ainda, os resultados deste trabalho poderão servir de subsídio para a elaboração do plano diretor de drenagem urbana para o município de Ji-Paraná e também, como base para implantação de um sistema de alerta.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, Rosângela do; RIBEIRO, Rogério Rodrigues. Inundações e Enchentes. In: TOMINAGA, L. K; SANTORO, J; AMARAL, R. (Orgs.) **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 1. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 39-52. ISBN 978-85-87235-09-1.
- ARAUJO, Carlos. Vídeo mostra Ji-Paraná submersa, após 6h de chuva. **Expressão Rondônia**, Porto Velho, 22 fev. 2019. Disponível em: <https://www.expressaorondonia.com.br/video-mostra-ji-parana-submersa-apos-mais-de-seis-horas-de-chuva/>. Acesso em: 09 set. 2020.
- BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [2019]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 08 fev. 2020.
- BRASIL. Ministério das Cidades; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios**. Brasília: Ministério das Cidades; São Paulo: IPT, 2007. 176 p. ISBN 978-85-60133-81-9.
- BRILHANTE, Caique. Imagens da nova enchente em Ji-Paraná após muita chuva neste fim de semana. *Eu ideal*. 19 fev. 2019. Disponível em: <https://www.euideal.com/index.php/3956/Facebook.com/euideal?p=noticia/3956/Facebook.com/euideal>. Acesso em: 10 dez. 2021.
- CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384 p. ISBN 978-85-7975-160-8.
- CARAMELLO, N. D. A.; MARÇAL, M. dos S.; LIMA, F. L. M. Desafios para uma gestão ambiental dos recursos hídricos do estado de Rondônia. **Revista Geonordeste**, São Cristóvão, ano 23, n.1. p. 49-65, 2012.
- CARVALHO, D. F.; MELLO, J. L. P.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia**. Seropédica: UFRRJ, 2007. 86 p. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/jorge/it115-irrigacaodrenagem.htm>. Acesso em: 13 abr. 2020.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2. Ed. Porto Alegre: ABRH, 2015. 336 p. ISBN 978-85-8868-634-2. E-book. Disponível em: [https://www.abrhydro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=5&PUBLICACAO=LIVROS\\_DIGITAIS](https://www.abrhydro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=5&PUBLICACAO=LIVROS_DIGITAIS). Acesso em: 02 jun. 2020.
- DUARTE, Miqueias Lima; MENDONÇA, Janete Farias; BONFANTI, Dhuliani. Dinâmica do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pimenta, região sudeste do Estado de Rondônia: avaliação e cenários futuros. **Sociedade e Território**, Natal, v. 33, n. 1, p. 54–71. 2021. ISSN:2177-8396. DOI 10.21680/2177-8396.2021v33n1D22270.
- DECOM. Ji-Paraná comemora 41 anos de emancipação política e administrativa. *Vip Festa*. 22 nov. 2018. Disponível em: <https://www.vipfesta.net.br/2018/11/ji-parana-comemora-41-anos-de.html>. Acesso em: 10 dez. 2021.
- FLETCHER, T. D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**, v. 12, n.7, p. 525-542. 2015. DOI: 10.1080/1573062X.2014.916314.
- COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL (Ji-Paraná). **Plano de contingência de proteção e defesa civil: inundações e elagamentos**. Ji-Paraná: COMPEDC, 2018. 10 p.
- COORDENADORIA MUNICIPAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL (Ji-Paraná). **Relatório de enchente**. Ji-Paraná: COMPEDC, 2019. 3 p.
- CORSI, A. C.; AZEVEDO, P. B. M.; GRAMANI, M. F. Valoração de danos decorrente da inundação em São Luiz do Paraitinga. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 124-142, 2012. DOI 10.5585/geas.v1i2.26.
- GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; PELLERIN, J. R. G. M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de Rio Negrinho-SC. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 81-100, 2012.
- GUERRA, Franciele Caroline. **Mapeamento das áreas de vulnerabilidades socioambientais aos riscos hidrológicos: inundações em Bragança Paulista – SP**. 2020. 136f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2020.
- GUHA-SAPIR, D.; HOYOIS, P.; BELOW, R. **Annual disaster statistical review 2014: the numbers and trends**. Bruxelas: CRED; 2015. Disponível em: <https://www.emdat.be/publications?page=1>. Acesso em: 01 jun. 2019.
- GUIMARÃES, Rita Cabral. Escoamento superficial. In: GUIMARÃES, Rita Cabral; SHAHIDIAN, Shakib; RODRIGUES, Carlos Miranda (Orgs.). **Hidrologia agrícola**. 2 ed. Évora: ECT; ICAAM, 2017. p. 119-132. ISBN 978-989-8550-40-8.
- INSTITUTO FEDERAL DE RONDÔNIA. **Fatos e Fotos: análise iconográfica da história de Ji-Paraná**. Ji-Paraná, 2013. 240 fotografias. Banco de imagens.
- Ji-PARANÁ. **Lei nº 1136, de 21 de dezembro de 2001**. Dispõe sobre o desenvolvimento urbano no Município de Ji-Paraná, institui o Plano Diretor do Município e dá outras providências. Ji-Paraná: Gabinete do Prefeito, [2001]. Disponível em: <http://transparencia.ji-parana.ro.gov.br/transparencia/index.php?link=aplicacoes/publicacao/frmpublicacao&grupo=&nomeaplicacao=publicacao>. Acesso em: 09 mar. 2021.
- Ji-PARANÁ. Prefeitura Municipal. **História de Ji-Paraná**. Disponível em: <http://www.ji-parana.ro.gov.br/>. Acesso em: 28 jan. 2020.
- Ji-PARANÁ. Prefeitura Municipal. Disponível em: <http://www.site.ji-parana.ro.gov.br/cidade/>. Acesso em: 10 dez. 2021.
- KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLER, G. S. F.; RUDORFF, F. M. **Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109p.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia**: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Lavras: Ed. UFLA, 2013.

NOBRE, C. A.; OBREGÓN, G. O.; MARENGO, J. A.; FU, R.; POVEDA, G. Characteristics of Amazonian Climate: main features. **Amazonia and Global Change**, v. 186, p. 149-162, 2009. DOI 10.1029/2009GM000903.

PANOBIANCO, Daniel. Rio Machado passa de 11 metros e deixa desabrigados em Ji-Paraná. **Gente de Opinião**, Porto Velho, 14 de fev. 2010. Disponível em: <https://www.gentedeopinioao.com.br/municipios/panobianco-rio-machado-passa-de-11-metros-e-deixa-desabrigados-em-ji-parana>. Acesso em: 17 set. 2020.

PAULA, J. A. G. et al. Zonas inundáveis e quantificação do risco de inundação em meios urbanos: estudo em Coimbra. **GESTA**, v. 2, n. 1, p. 9-19, 2014.

PINTO, V. G. et al. Influência do número de classe de vulnerabilidade na determinação da suscetibilidade morfométrica à inundação. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 11, n. 3, p. 637-649, 2016.

PINHEIRO, Adilson. Enchente e inundação. In: SANTOS, R. F. dos (Org.). **Vulnerabilidade ambiental**. Brasília: MMA, 2007. p. 95-106. ISBN 978-85-7738-080-0.

POTT, Crisla Maciel; ESTRELA, Carina Costa. Histórico ambiental: desastres ambientais e um despertar de um novo pensamento. **Estudos Avançados**, v. 31, n. 89, p. 271-283, 2017. DOI 10.1590/s0103-40142017.31890021.

RIO Machado baixa 7 cm, mas ainda mantém alagamentos em Ji-Paraná. Imagem news, Porto Velho, 27 fev. 2009. Disponível em: <http://www.imagemnews.com.br/noticias.asp?cd=1960>. Acesso em: 16 set. 2020.

ROGÉRIO, J. P.; DEUS, L. A. B.; NUNES, R. T. S. Análise espacial da criticidade dos eventos hidrológicos extremos no estado do Rio de Janeiro. In: NUNES, R. T. S.; FREITAS, M. A. V.; ROSA, L. P. (Orgs.). **Vulnerabilidade dos recursos hídricos no âmbito regional e urbano**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p. 61-90. ISBN 978-85-7193-221-0.

RONDÔNIA. Decreto nº 10114, de 20 de setembro de 2002. Regulamenta a Lei Complementar nº 255, de 25 de janeiro de 2002, que "Institui a Política, cria o Sistema de Gerenciamento e o Fundo de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia, e dá outras providências, [2002]. Disponível em: <http://ditel.casacivil.ro.gov.br/COTEL/Livros/detalhes.aspx?coddoc=14105>. Acesso em: 30 dez. 2020.

RONDÔNIA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia**: Relatório Final. Curitiba: RHA, 2018. 579 p.

SILVA, Celso da. Caracterização da bacia do rio fiúza para avaliação na prevenção de enchentes. 2006. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006.

SOUZA, José Camilo Ramos de; ALMEIDA, Regina Araujo de. Vazante e enchente na Amazônia brasileira: impactos ambientais, sociais e econômicos. In: SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6., SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2., 2010, Coimbra. Anais [...]. Coimbra: Universidade Feral de Coimbra, 2010. 10 p.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Geophysical Union Trans.*, v. 38, p. 912-920, 1957. DOI 10.1029/TR038i006p00913.

STUDART, Ticiana Marinho de Carvalho. **Hidrologia**: notas de aula. Fortaleza: UFC, 2006. Disponível em: <http://www.deha.ufc.br/ticianagrahuacao.html>. Acesso: 15 jul. 2020.

SILVA, Celso da. Caracterização da bacia do rio fiúza para avaliação na prevenção de enchentes. 2006. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2006.

SOUZA, José Camilo Ramos de; ALMEIDA, Regina Araujo de. Vazante e enchente na Amazônia brasileira: impactos ambientais, sociais e econômicos. In: SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6., SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2., 2010, Coimbra. Anais [...]. Coimbra: Universidade Feral de Coimbra, 2010. 10 p.

STUDART, Ticiana Marinho de Carvalho. **Hidrologia**: notas de aula. Fortaleza: UFC, 2006. Disponível em: <http://www.deha.ufc.br/ticianagrahuacao.html>. Acesso: 15 jul. 2020.

SULAIMAN, Samia Nascimento; ALEDO, Antônio. Desastres naturais: convivência com o risco. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 88, p. 11-23, 2016. DOI 10.1590/S0103-40142016.30880003.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006a. p. 399-432.

TUCCI, C. E. M. Aspectos Institucionais no Controle de Inundações. In: SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO-OESTE, 1., 1999, Brasília. Disponível em: <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/12/aspectos-institucionais-do-controle-das-inundacoes-urbanas.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2018.

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e controle de erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSÃO, 6., 1998, Presidente Prudente. Anais [...]. São Paulo: Sonopress Indústria Brasileira, 1998. Disponível em: <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2016/12/drenagem-urbana-e-controle-de-erosao.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2018.

TUCCI, C. E. M. Gestão de águas pluviais urbanas. Brasília: Ministério das Cidades, 2006b. 194 p. ISBN 978-85-60133-35-2. Disponível em: <http://www.capacidades.gov.br/biblioteca/detalhar/id/219/titulo/gestao-de-aguas-pluviais-urbanas>. Acesso em: 13 nov. 2018.

TUNDISI, José Galizia; MATSUMURA-TUNDISI, Takako. **A água**. São Carlos: Scienza, 2020. 130 p. ISBN 978-65-5668-005-7. DOI 10.26626/978-65-5668-005-7/B0001.

VEJA dezenas de imagens exclusivas dos bairros afetados pela enchente, em Ji-Paraná. Comando 190, Ji-Paraná, 27 fev. 2014. Disponível em: <http://www.comando190.com.br/noticias-det.php?cod=3676>. Acesso em: 21 set. 2020.

A fim de compreender e propor ações de enfrentamento as inundações este trabalho traz uma análise da bacia hidrográfica pertencente a Ji-Paraná-RO como parte da dissertação apresentada ao PROFÁGUA – Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, com o título “Análise dos Fatores Contribuintes para Inundações Urbanas: Estudo de Caso do Município de Ji-Paraná-RO”.

