

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM GEOGRAFIA

RAFAEL HENRIQUE SERAFIM DIAS

**ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E DO COMPORTAMENTO DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MACHADO EM EVENTOS HIDROLÓGICOS
EXTREMOS**

Porto Velho

2015

RAFAEL HENRIQUE SERAFIM DIAS

**ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E DO COMPORTAMENTO DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MACHADO EM EVENTOS HIDROLÓGICOS
EXTREMOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado em Geografia – PPGG, Núcleo de Ciências Exatas e da Terra, Departamento de Geografia da Universidade Federal de Rondônia, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre.

Linha de Pesquisa: Paisagem, Natureza e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho

Porto Velho

2015

BIBLIOTECA CENTRAL PROF. ROBERTO DUARTE PIRES
FICHA CATALOGRÁFICA

D543a

Dias, Rafael Henrique Serafim.

Análise do uso e ocupação do solo e do comportamento da bacia hidrográfica do rio Machado em eventos hidrológicos extremos./ Rafael Henrique Serafim Dias. Porto Velho, 2015.

135 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2015.

1. Bacia Hidrográfica. 2. Uso e Ocupação do Solo. 3. Caracterização Morfométrica. 4. Tempo de Concentração. 5. Chuvas Intensas. I. Fundação Universidade Federal de Rondônia. II. Título.

CDU: 556.51

Bibliotecária Responsável: Eliane G. G. Barros – CRB-11/549

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO


RAFAEL HENRIQUE SERAFIM DIAS

A Banca de defesa de Mestrado presidida pelo orientador **Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho** e constituída pelos examinadores **Profa. Dra. Marília Locatelli** e **Prof. Dr. Rafael Rodrigues da Franca**, reuniram-se no dia 26 de novembro de 2015, às 9:30 horas na Sala Rosa Ester Rossini, Bloco 1N, sito no Campus Universitário José Ribeiro Filho, para avaliar a Dissertação de Mestrado intitulada **“Análise do Uso e Ocupação do Solo e do Comportamento da Bacia Hidrográfica do Rio Machado em Eventos Hidrológicos Extremos”** do mestrando **Rafael Henrique Serafim Dias**, matrícula 201310053. Após a explanação do mestrando e arguição pela Banca Examinadora, a referida DISSERTAÇÃO foi avaliada e de acordo com as normas estabelecidas pelo Regimento do Programa de Pós-Graduação Mestrado em Geografia foi considerada APROVADO. Conforme determinação do Colegiado do Programa de Pós-Graduação Mestrado em Geografia, o candidato tem o prazo de até 90 (noventa) dias, a contar desta data, para realizar as correções sugeridas pela banca e entregar as cópias definitivas de sua dissertação.

Porto Velho, 26 de novembro de 2015.



Prof. Dr. Eliomar Pereira da Silva Filho
Orientador/Presidente



Profa. Dra. Marília Locatelli
Examinadora Interna/PPGG/UNIR



Prof. Dr. Rafael Rodrigues da Franca
Examinador Interno/PPGG/UNIR

Dedico esta dissertação
a minha mãe, Eliete
Pereira Serafim.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar a oportunidade de superar mais esse desafio em minha vida, sempre me conduzindo pelo melhor caminho e me dando forças para continuar.

A minha mãe, por toda dedicação e apoio, especialmente nos momentos mais difíceis, e por ser meu exemplo de vida.

Aos meus padrinhos, por cuidarem de mim como um filho.

Aos meus familiares, por acreditar em mim e por contribuir na luta para alcançar meus objetivos.

Ao meu orientador, Professor Doutor Eliomar Pereira da Silva Filho, por compreender minhas dificuldades e me ajudar a superá-las ou trabalhá-las da melhor forma possível.

Ao Professor Doutor Rafael Rodrigues da Franca e a Professora Doutora Marília Locatelli, por contribuir para o aprimoramento desse trabalho.

A todos os demais professores, alunos e colaboradores do Programa de Pós-Graduação Mestrado em Geografia – PPGG, em especial, Patrícia Lopes Cardoso.

Aos meus amigos Vinicius Alexandre Sikora de Souza, Marlian Leão de Oliveira, Gisela Nascimento Coelho, Márcia Bay e a todos os demais, que de alguma forma, contribuíram pra que esse trabalho se tornasse possível.

A todos vocês, muito obrigado!

RESUMO

A bacia hidrográfica é definida pela Lei Nº 9.433/1997 como unidade de planejamento territorial, sendo o conhecimento de informações referentes às bacias hidrográficas, necessário à tomada de decisões. O presente estudo teve como objetivo analisar o uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Machado, através da utilização de ferramentas geotecnológicas, como o software ArcGIS 10.3, que foi empregado na elaboração dos mosaicos de imagens do satélite LANDSAT da área da bacia, para sete diferentes períodos entre os anos de 1973 e 2015, e o software SPRING, versão 5.2.7, que foi utilizado para classificação dessas imagens; proceder a análise de variáveis hidrológicas relacionadas à bacia, a partir de sua caracterização morfométrica, utilizando-se de dados mensurados e equações empíricas disponíveis na literatura técnica especializada; elaborar equações IDF – Intensidade-Duração-Frequência válidas para a bacia em estudo, a partir de séries históricas de dados de estações pluviométricas e ferramentas de hidrologia estatística, tendo sido utilizado o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov (KS) para verificar se os dados se ajustavam à distribuição estatística de Gumbel, Log-normal, Gama e/ou Weibull. No que tange ao processo de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Machado, entre os anos de 1973 e 2015, foi verificada uma redução da área classificada como Vegetação Arbórea e aumento da área classificada como Área Antropizada, com destaque para o período de 2010/2011. Os índices físicos mensurados da bacia hidrográfica do rio Machado apontam que a bacia possui um formato alongado, tendendo ao retangular; um valor de densidade de drenagem que remete a bacias com uma densidade de drenagem baixa; os valores da declividade equivalente do rio principal pelo método da compensação de área e da média harmônica/cinemático apresentaram valores muito similares; e o relevo da bacia foi classificado predominantemente como plano a suavemente ondulado. O tempo de concentração da bacia, calculado pelo método de George Ribeiro para os períodos referentes aos mosaicos de imagens entre os anos de 1973 e 2015, foi reduzido ao longo do tempo em função da diminuição da área vegetada. No teste de aderência foi verificado que os dados de chuvas intensas poderiam ser ajustados a qualquer uma das quatro distribuições testadas. As equações IDF foram elaboradas para 16 estações localizadas na área da bacia hidrográfica do rio Machado, tendo a análise dos resíduos indicado uma tendência das estimativas, mesmo que inexpressiva, de superestimar a intensidade. De forma geral, verifica-se que a remoção da cobertura vegetal da bacia do rio Machado, ao longo dos últimos quarenta anos, impacta diretamente seu comportamento frente a eventos hidrológicos, citando-se a redução de seu tempo de concentração e riscos de intensificação dos picos de cheias, mesmo com a indicação dos dados mensurados de baixa tendência a picos de enchente. Verifica-se também que as equações IDF elaboradas no presente estudo, por sua magnitude significativamente expressiva, podem contribuir para o conhecimento da distribuição espacial e temporal das chuvas, no planejamento de uso dos recursos hídricos.

Palavras-Chave: Bacia Hidrográfica; Uso e Ocupação do Solo; Caracterização Morfométrica; Tempo de Concentração; Chuvas Intensas.

ABSTRACT

The watershed is defined by Law No. 9,433 / 1997 as territorial planning unit, being aware of information concerning the river basins, required for decision-making. This study aimed to analyze the use and occupation of land in the basin of the Machado river through the use of geotechnical tools like ArcGIS 10.3 software, which was used in the preparation of Landsat satellite images of mosaics of the basin area, for seven different periods between 1973 and 2015 and the SPRING version 5.2.7 software used for classification of these images; undertake analysis of hydrological variables related to the river basin, from its morphometric characterization, using the measured data and empirical equations available in the specialized technical literature; preparing equations IDF - Intensity-Duration-Frequency valid for the basin under study from series historical data stations rainfall and tools hydrology statistics being used to test adherence Kolmogorov-Smirnov (KS) to verify that the data adjusted to the Gumbel, Log-normal, Gamma and / or Weibull statistical distribution . Regarding the process of use and occupation of land in the basin of Machado river, between 1973 and 2015, a reduction of the area was checked and classified as woody vegetation and increased area classified as anthropic area, especially for the period 2010/2011. The Machado River basin physical indices measured indicate that it has an elongated shape, tending to be rectangular; a drainage density value that refers to basins with a low drainage density; the values of the equivalent slope of the main river area by the method of compensation and harmonic / cinematic medium showed very similar values; and the basin relief has been classified as predominantly flat to gently rolling. The time of concentration of the basin calculated by George Ribeiro method for periods relating to the image tiles between the years 1973 and 2015, has been reduced over time due to the decrease of the vegetated area. In the adhesion test, it was found that the data of heavy rains could be adjusted to any of the four tested distributions. The IDF equations were developed for 16 stations located in the catchment area of the Machado river, and the analysis of waste indicated a tendency of the estimates, even meaningless, to overestimate the intensity. Overall, it appears that the removal of the vegetation in the Machado river basin, over the last forty years, directly affects its behavior to hydrological events, citing the reduction of their time of concentration and intensifying risks flood peaks, even indicating the same data measured low tendency to flood peaks. It also notes that the IDF equations developed in this study, in its significant magnitude, can contribute to the knowledge of the spatial and temporal distribution of rainfall in the water resources use planning.

Keywords: Watershed; Use and Occupation of Land; Morphometric Characterization; Time of Concentration; Heavy Rains.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA.....	Agência Nacional de Águas
BR.....	Rodovia Federal do Brasil
CCD.....	Câmera Imageadora de Alta Resolução
CEPLAC.....	Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira
CETESB.....	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CPRM.....	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DEPV.....	Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Voo do Ministério da Aeronáutica
EMBRAPA.....	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Ga.....	Giga anos
IBGE.....	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio.....	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IDF.....	Intensidade-Duração-Frequência
INCRA.....	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE.....	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LANDSAT.....	Land Remote Sensing Satellite
MAXVER.....	Máxima Verossimilhança
MMA.....	Ministério do Meio Ambiente
MSS.....	Multispectral Scanner System
OLI.....	Operational Land Imager
OMM.....	Organização Meteorológica Mundial
PDI.....	Processamento Digital de Imagens
SEDAM.....	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental
SIG.....	Sistema de Informações Geográficas
SIRGAS.....	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SPRING.....	Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas
SRTM.....	Shuttle Radar Topography Mission
PAEG.....	Programa de Ação Econômica do Governo
PIC.....	Projeto Integrado de Colonização
PIN.....	Programa de Integração Nacional
PND.....	Plano Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
PRODES.....	Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia
SENAI.....	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
ZSEE.....	Zoneamento Socioeconômico-Ecológico

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo hidrológico.	20
Figura 2. Tipos de chuvas.	22
Figura 3. Localização da bacia hidrográfica do rio Machado.	28
Figura 4. Mapa do clima na bacia hidrográfica do rio Machado.....	30
Figura 5. Caracterização geológica da bacia hidrográfica do rio Machado.	32
Figura 6. Caracterização geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Machado.....	38
Figura 7. Caracterização pedológica da bacia hidrográfica do rio Machado.	42
Figura 8. Aptidão agrícola da bacia hidrográfica do rio Machado.....	47
Figura 9. Mapa da vegetação na bacia hidrográfica do rio Machado.....	50
Figura 10. Zoneamento Socioeconômico-Ecológico da bacia do rio Machado.	56
Figura 11. Localização das estações pluviométricas na bacia do rio Machado.	68
Figura 12. Mosaico da bacia hidrográfica do rio Machado com imagens de 1973, 1975 e 1976.	79
Figura 13. Mosaico da bacia hidrográfica do rio Machado com imagens de 1979, 1980 e 1981.	81
Figura 14. Mosaico da bacia hidrográfica do rio Machado com imagens de 1989 e 1990.	83
Figura 15. Mosaico da bacia hidrográfica do rio Machado com imagens de 1996, 1997 e 1999.	85
Figura 16. Mosaico da bacia hidrográfica do rio Machado com imagens de 2005.	87
Figura 17. Mosaico da bacia hidrográfica do rio Machado com imagens de 2010 e 2011.	88
Figura 18. Mosaico da bacia hidrográfica do rio Machado com imagens de 2015.	90
Figura 19. Imagem classificada da bacia hidrográfica do rio Machado – 1973/1975/1976.....	94
Figura 20. Imagem classificada da bacia hidrográfica do rio Machado – 1979/1980/1981.....	96
Figura 21. Imagem classificada da bacia hidrográfica do rio Machado – 1989/1990.....	97
Figura 22. Imagem classificada da bacia hidrográfica do rio Machado – 1996/1997/1999.....	99
Figura 23. Imagem classificada da bacia hidrográfica do rio Machado – 2005.....	100
Figura 24. Imagem classificada da bacia hidrográfica do rio Machado – 2010/2011.....	101
Figura 25. Imagem classificada da bacia hidrográfica do rio Machado – 2015.....	103
Figura 26. Tempo de concentração na bacia do rio Machado para diferentes períodos.....	104
Figura 27. Perfil longitudinal do rio principal e declividades equivalentes (S1, S2 e S3).	108
Figura 28. Mapa altimétrico da bacia do rio Machado.....	110
Figura 29. Curva hipsométrica da bacia do rio Machado.....	112
Figura 30. Mapa de declividade da bacia do rio Machado.....	113
Figura 31. Maior valor de precipitação máxima de “um dia” observada na série histórica de cada estação pluviométrica na bacia hidrográfica.	114
Figura 32. Áreas de influência das equações IDF.	120
Figura 33. Distribuição dos valores de erro padrão médio (EPM).....	122
Figura 34. Distribuição dos valores de erro normalizado médio (ENM).	123
Figura 35. Distribuição dos valores de erro multiplicativo médio (EMM).	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Informações das imagens utilizadas na geração dos mosaicos.....	59
Tabela 2. Classificação da declividade segundo EMBRAPA (1979).	66
Tabela 3. Estações pluviométricas na bacia hidrográfica do rio Machado.	69
Tabela 4. Projetos federais de colonização em Rondônia, 1979.	82
Tabela 5. Desempenho geral e áreas mensuradas no processo de classificação e suas respectivas porcentagens.....	92
Tabela 6. Índices físicos da bacia hidrográfica do rio Machado.	106
Tabela 7. Dados da curva hipsométrica da bacia do rio Machado.	111
Tabela 8. Valor-p das distribuições de probabilidade testadas.....	116
Tabela 9. Equações IDF e suas respectivas constantes.	118
Tabela 10. Análise de resíduos e coeficiente de determinação das equações IDF.....	121

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
OBJETIVO GERAL	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
1.1. PLANEJAMENTO E OCUPAÇÃO REGIONAL.....	16
1.2. VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS	19
1.2.1. Ciclo hidrológico.....	19
1.2.1.1. Precipitação	21
1.2.1.2. Escoamento Superficial.....	23
1.2.2. Bacia Hidrográfica	24
1.3. EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS	24
1.3.1. Modelos estatísticos de valores extremos	26
CAPÍTULO 2 - MATERIAL E MÉTODOS	27
2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	27
2.1.1. Clima	28
2.1.2. Geologia	31
2.1.3. Geomorfologia	37
2.1.4. Solos	41
2.1.5. Aptidão Agrícola.....	45
2.1.6. Vegetação	49
2.1.7. Uso do Solo	54
2.2. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS.....	58
2.3. VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS	62
2.3.1. Análise Morfométrica	62
2.3.1.1. Forma da bacia	62
2.3.1.2. Sistema de drenagem.....	64
2.3.1.3. Relevo da bacia	64
2.3.2. Tempo de Concentração.....	66
2.3.3. Análise de Chuvas Intensas.....	67
2.3.3.1. Aquisição de Dados.....	67
2.3.3.2. Tratamento dos Dados.....	70
2.3.3.3. Distribuição Estatística.....	70

2.3.3.4. Teste de Aderência	74
2.3.3.5. Análise de resíduos.....	74
2.3.3.6. Elaboração das Equações IDF	75
CAPÍTULO 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
3.1. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MACHADO	78
3.1.1 Classificação de imagens	91
3.1.2 Tempo de Concentração.....	104
3.2. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA	105
3.3. CHUVAS INTENSAS	114
3.4.1. Teste de aderência	115
3.4.2. Equação IDF.....	117
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	125
REFERÊNCIAS	127

INTRODUÇÃO

O processo de ocupação da região Amazônica, em especial a região onde hoje está situado o estado de Rondônia, está associado a diversos fatos históricos como a atuação portuguesa para garantir a posse das terras definidas no Tratado de Tordesilhas de domínio espanhol, consolidada posteriormente com a assinatura do Tratado de Madri, os ciclos da borracha, a construção da Estrada de Ferro Madeira-Mamoré e da Linha Telegráfica, entre outros.

No entanto, foi a partir de 1964, no regime militar, que houve uma atuação marcante do governo no sentido de garantir a integração nacional a partir da questão regional, buscando garantir a ocupação do território Amazônico a partir de fluxos migratórios de contingentes populacionais da Região Sudeste, Sul e Centro Oeste, bem como incorporação da economia da região à do país, consolidando o mercado nacional.

Esse processo de planejamento e ocupação regional conseguiu garantir o domínio da terra pelo Estado, bem como a incorporação da economia regional ao mercado nacional, porém, uma série de questões associadas a esse processo fugiu do escopo dos planos e programas governamentais, trazendo consequências negativas em muitos casos, como o desmatamento descontrolado de boa parte da extensão territorial de Rondônia.

A alteração do uso dado ao solo interfere diretamente em seu comportamento diante de eventos hidrológicos, como a precipitação, o escoamento superficial e a infiltração. A ocupação das áreas de preservação permanente no entorno de cursos d'água, a remoção da cobertura vegetal e consequente impermeabilização do solo, realizadas sem planejamento adequado, são ações que intensificam os efeitos das inundações.

Nesse contexto, o conhecimento da dinâmica dos eventos hidrológicos, com ênfase à precipitação, é importante por fornecer subsídios ao planejamento hídrico e a elaboração de estudos e projetos de obras vinculadas à hidrologia e hidráulica. A análise de chuvas intensas, a partir da utilização de equações IDF – Intensidade, Duração e Frequência, é um elemento fundamental nos estudos e projetos de obras hídricas, por

fornecer uma estimativa da intensidade das chuvas, para diferentes durações e períodos de retorno desses eventos.

A Lei Nº 9433, de 08 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece, como um de seus fundamentos, a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Além disso, as bacias hidrográficas representam a unidade de avaliação das variáveis hidrológicas, uma vez que suas características interferem diretamente no comportamento de tais variáveis.

Tendo em vista que a bacia hidrográfica é definida como uma unidade de planejamento territorial e também permite a avaliação de variáveis hidrológicas, a bacia hidrográfica do rio Machado, maior bacia do estado de Rondônia e inserida na região Amazônica, foi definida como objeto do presente estudo. Cabe destacar que dos 52 municípios rondonienses, mais da metade está inserida nessa bacia hidrográfica, bem como grande parte da BR-364, principal rodovia que cruza o estado.

De acordo com Camargo e Reis Júnior (2007), a geografia física estabeleceu a superfície terrestre como seu objeto de estudo, na tentativa de entender a lógica dos fenômenos físicos e humanos em uma perspectiva sintética. Suertegaray e Nunes (2001) citam que a concepção de Geografia Física fragilizou-se ao longo do século XX, por conta da hegemonia do método positivista, porém, a emergência da questão ambiental vai definir novos rumos à Geografia Física, uma vez que os geógrafos não abandonam a compreensão da dinâmica da natureza, mas cada vez mais não desconhecem e incorporam a suas análises a avaliação das derivações da natureza pela dinâmica social. Nesse contexto, verifica-se a inserção da presente pesquisa na geografia, ao retratar a influência das ações humanas nos processos físicos, ou seja, relaciona os processos de ocupação e ordenamento territorial à fatores climáticos e ambientais.

Nessa perspectiva, tendo em vista a importância da bacia hidrográfica do rio Machado na hidrologia do estado de Rondônia, a presente pesquisa visa fomentar a geração de dados referente a tal bacia, como forma de subsidiar o processo de planejamento regional e de elaboração de novos estudos e projetos. Além disso, busca contribuir para o entendimento do processo de ocupação recente da bacia, associando o uso dado ao solo a seu comportamento em eventos hidrológicos extremos.

OBJETIVO GERAL

Analisar o processo de ocupação da bacia hidrográfica do rio Machado a partir da década de 1970 e avaliar seu comportamento diante de eventos hidrológicos extremos, com destaque às chuvas intensas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar e mensurar as alterações recentes no uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Machado.
- Avaliar a alteração do tempo de concentração, em função das mudanças no uso do solo.
- Caracterizar morfometricamente tal bacia hidrográfica, verificando, com base nos índices obtidos, sua tendência a inundações.
- Identificar as precipitações máximas de “um dia” registradas na área da bacia e seus respectivos períodos de retorno.
- Elaborar equações IDF – Intensidade-Duração-Frequência – válidas para a bacia.

CAPÍTULO 1 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1. PLANEJAMENTO E OCUPAÇÃO REGIONAL

O processo de formação do Estado brasileiro, na base de sua constituição, pautou-se em características institucionais de autoritarismo e elitismo, a partir do domínio da terra por essa elite e utilização de mão de obra escrava. Na região Amazônica, esse processo de ocupação não foi muito diferente, uma vez que historicamente, desde o período das drogas do sertão, a população indígena foi escravizada e explorada, bem como os caboclos locais no período do Império e da República (SOUZA; PESSÔA, 2010).

Souza e Pessôa (2010), a partir de uma adaptação dos períodos de ocupação do espaço amazônico estabelecidos por Becker (2006), propuseram um recorte temporal para descrever o processo de formação do território rondoniense, sendo o primeiro um período mais longo, de 1616 a 1930, que remete à ocupação do território brasileiro como um todo e do estado de Rondônia de forma particular; e o segundo um período mais curto, de 1930 a 1964, que se associa à fase de planejamento inicial de ocupação do território rondoniense.

As expedições portuguesas e criação de povoados como forma de assegurar o domínio das terras estabelecidas pela linha de Tordesilhas, posteriormente consolidadas pelo Tratado de Petrópolis; o fortalecimento da economia local com o primeiro ciclo da borracha; a alteração da dinâmica territorial com a construção da Estrada de Ferro Madeira-Mamoré; e a implantação de linhas telegráficas entre o estado do Mato Grosso ao Amazonas pela Comissão Rondon, são alguns dos fatos históricos associados ao primeiro período citado por Souza e Pessôa (2010). Já o segundo período, também citado pelos autores, que teve como destaque o período Vargas, é marcado pela reestruturação política do estado brasileiro no processo de transição de uma economia agroexportadora para uma urbano-industrial, com destaque ao Plano Rodoviário Nacional, a partir do qual houve o planejamento e implantação da rodovia atualmente conhecida como BR-364; a criação do Território Federal do Guaporé em 1943, no processo de reorganização territorial dos estados; o fortalecimento temporário da economia local com o segundo ciclo da borracha e a influência econômica e fluxos migratórios associados à extração de cassiterita.

Após 1964, o governo brasileiro orientou-se no sentido de promover o desenvolvimento e acumulação capitalista, com a modernização das instituições econômico-financeiras e a industrialização, mantendo a centralização do poder decisório nas mãos de segmentos da elite empresarial, alta tecnoburocracia estatal e segmentos cooptados da sociedade (PEREIRA, 1997). Tal orientação influenciou diretamente na definição de políticas públicas na Amazônia, principalmente a partir da década de 1970, uma vez que foi pautada nos interesses do Estado brasileiro, no sentido de conduzir e disciplinar o assentamento de camponeses e na implementação de grandes empreendimentos agropecuários ou agroindustriais na Amazônia Legal, utilizando-se para isso de programas de incentivos fiscais voltados para a região.

Costa (2000) destaca que após o golpe de 1964 e instauração do regime militar, a centralização do poder se baseava na necessidade alegada pelo Estado de coordenar suas políticas econômicas e ação estatal em geral, utilizando-se para isso da criação de “superórgãos”, incumbidos de integrar órgãos e políticas menores.

Dentre as ações tomadas pelo governo no que tange às políticas territoriais após 1964, objetivando a ocupação da Amazônia, Costa (2000) destaca algumas de grande relevância:

- I. Programa de Ação Econômica do Governo – PAEG, para os anos de 1964 a 1966, editado no primeiro ano do governo militar pelo Ministério de Planejamento e Coordenação Econômica do Governo, que dentre suas proposições, indicou a necessidade de criação de esferas de coordenação da ação governamental, no que tange à redução das disparidades regionais e ocupação econômica da Amazônia, uma vez que ela se exercia através de inúmeros órgãos estaduais e federais disseminados, resultando na criação do Ministério Extraordinário para a Coordenação de Organismos Regionais. O cargo de Ministro Extraordinário foi criado a partir da Lei Nº 4.344, de 21 de junho de 1964.
- II. Plano Decenal de Desenvolvimento Econômico e Social, de 1967 a 1976, que traz como estratégia de integração nacional o empreendimento de esforços sobre as políticas voltadas para a ocupação econômica da Amazônia e do Centro-Oeste, de forma articulada as demais regiões, como forma de consolidar o mercado nacional.
- III. Programa Estratégico de Governo, de 1968 a 1970, que mantêm as diretrizes do Plano Decenal no que tange às políticas territoriais, criando o Ministério do Interior para coordenar a ação regional.

IV. I Plano Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – I PND, vigente entre os anos de 1972 a 1974, cujos objetivos tem por base o Programa de Integração Nacional – PIN. O I PND ressaltou a tendência do Estado de procurar expandir a fronteira econômica do país; definia estratégias de planejamento urbano a nível nacional, a partir da criação de “Regiões Metropolitanas”; bem como considerava áreas desenvolvidas e subdesenvolvidas no desenvolvimento regional a partir dos “polos de desenvolvimento”.

V. II Plano Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – II PND, para os anos de 1975 a 1979, que altera o enfoque das diretrizes maiores do desenvolvimento nacional, cujas políticas passaram a dar enfoque ao grande empreendimento da fase monopolista do capitalismo, a partir de capitais privados nacionais e estrangeiros, tendo atrás de si estímulos governamentais de todo tipo, além dos investimentos em infraestrutura.

Segundo Turchi (1980), o movimento de integração nacional da fronteira Amazônica é oficialmente aberto a partir do início da década de 1970, quanto houve uma crescente influência do Estado no sentido de fomentar a ocupação e exploração da área, através da criação de órgãos coordenadores da ação estatal na região, da construção de eixos rodoviários ligando a Amazônia ao Nordeste e Centro-Sul, da implantação de projetos de colonização e da estruturação de dispositivos legais para estimular a atração de investimento privados para a região através de incentivos fiscais.

O avanço para a fronteira amazônica, incluído o estado de Rondônia, já estava sendo pensado desde o Estado Novo, destacando-se dentre as ações governamentais o Plano Rodoviário Nacional, com a construção da BR-364, refletindo a estratégia de interiorização da ocupação econômica brasileira, porém, até a segunda metade da década de 1960, esse avanço ainda não havia se concretizado de fato (SOUZA; PESSÔA, 2009).

É a partir da década de 1970, por intermédio da implementação do Programa de Integração Nacional – PIN, que o Estado brasileiro dá início aos esforços no sentido de conduzir e disciplinar o assentamento de camponeses na Amazônia, destacando-se que a maior parte dos Projetos Integrado de Colonização - PICs, acompanhada pelo INCRA, foi desenvolvida no estado de Rondônia (PEREIRA, 1997).

Binsztok et al. (2011) citam que os Projetos Integrados de Colonização ocuparam uma faixa de 100 quilômetros de cada lado da BR-364, sendo essa faixa cortada em lotes de aproximadamente de 100 hectares. Os autores relatam ainda que o centro do atual estado de Rondônia pode ser considerado uma região precursora de projetos de reforma agrária, particularmente no eixo ao longo da BR-364, abrangendo os atuais municípios de Jaru, Ouro Preto do Oeste, Ji-Paraná e Cacoal.

Locatelli et al. (2014) destacam que na década de 1970, a falta de apoio técnico e financeiros para que os colonos cultivassem as terras que receberam do INCRA, na região Amazônica, contribuiu para um processo severo de desmatamento na região, desrespeitando as áreas de preservação permanente, com derrubadas e queimadas de forma insensível.

1.2. VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

1.2.1. Ciclo hidrológico

A propriedade da água de renovar-se continuamente, que a diferencia dos demais recursos naturais, é possibilitada pelo ciclo hidrológico. A definição de ciclo hidrológico segundo Silveira (2009) é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado principalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre.

O ciclo hidrológico, que promove a movimentação de enormes quantidades de água ao redor do planeta, embora não tenha princípio nem fim, inicia geralmente seu estudo descritivo pela evaporação da água dos oceanos, seguida de sua precipitação e respectivo escoamento sobre a superfície que, coletada pelos cursos d'água ou infiltrada no solo, retorna ao local de partida. As principais fases do ciclo hidrológico são a precipitação, evaporação e transpiração, escoamento superficial e escoamento subterrâneo, conforme representação apresentada na Figura 1.

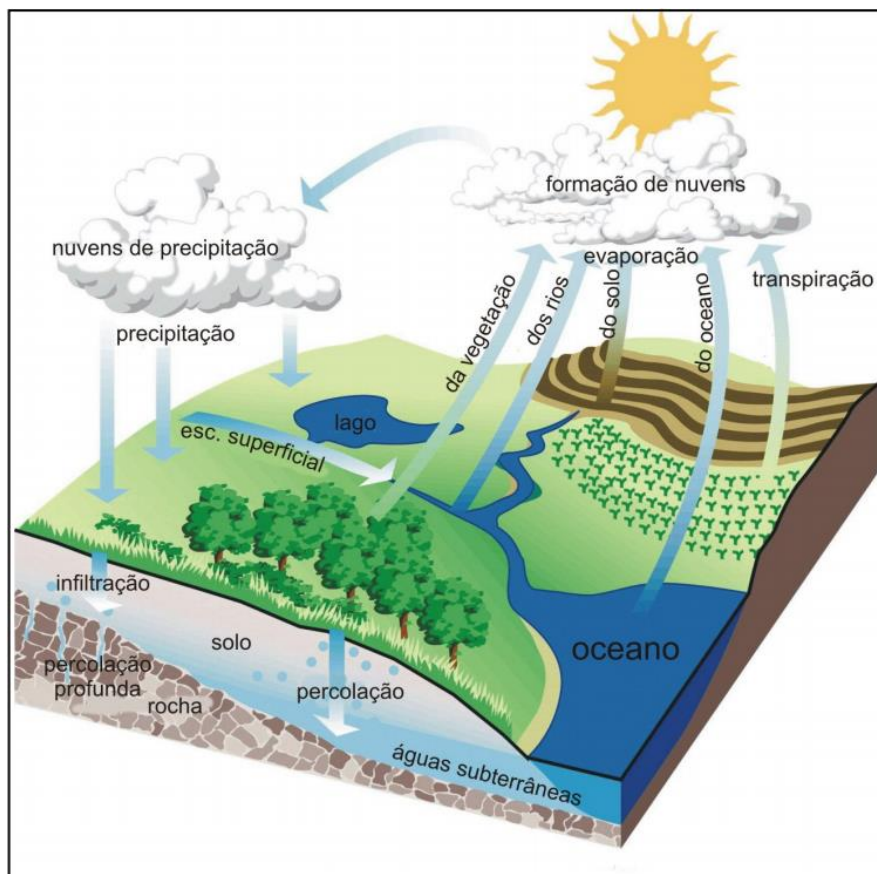


Figura 1. Ciclo hidrológico.

Fonte: EPA, 1998 adaptado por PAZ, 2004.

Cabe destacar que o comportamento e tempo de desenvolvimento de cada uma das fases do ciclo hidrológico são bastante diversificados. A aleatoriedade temporal e espacial do ciclo hidrológico configura a ele processos relativamente complexos, uma vez que as etapas precedentes à precipitação estão dentro do escopo da meteorologia (STUDART; CAMPOS, 2006).

Collischonn e Tassi (2008) mencionam que o ciclo hidrológico é fechado quando considerado em escala global, pois em escala regional podem existir alguns subciclos, sendo tal situação exemplificada pelo fato de que a água precipitada que escoar em determinado rio pode evaporar, condensar e novamente precipitar antes de retornar ao oceano.

Tendo em vista que a abordagem da presente pesquisa está relacionada a duas das principais fases do ciclo hidrológico, que são a precipitação e o escoamento superficial, elas serão abordadas de forma mais detalhada a seguir.

1.2.1.1. Precipitação

A precipitação é a variável mais importante nos sistemas hidrológicos. Esta variável, em sua forma mais comum que é a chuva, ocorre quando complexos fenômenos de aglutinação e crescimento das microgotículas, em nuvens com presença significativa de umidade (vapor de água) e núcleos de condensação (poeira ou gelo), formam uma quantidade significativa de gotas com tamanho e peso suficientes para que a força da gravidade supere a turbulência normal ou movimentos ascendentes do meio atmosférico (SILVEIRA, 2009). Segundo Tucci (2002), a precipitação depende de uma série de fatores vinculados às condições atmosféricas e de superfície, como a temperatura, pressão, umidade, vento e relevo.

Segundo Paz (2004), a precipitação pode ser descrita como qualquer forma de água advinda da atmosfera que atinge a superfície terrestre, sendo que as formas de precipitação são diferenciadas pelo estado em que a água se encontra, ou seja, se ela se encontra na forma de neve, granizo, chuva, orvalho, geada, etc.

Studart (2006) entende a precipitação como o processo pelo qual a água volta à superfície, pela condensação do vapor d'água na atmosfera, definindo as seguintes formas de precipitação:

- *Chuvisco (neblina ou garoa)*: forma de precipitação muito fina e de baixa intensidade;
- *Chuva*: volume de água (gotas) que desce das nuvens para a superfície, cuja medida utilizada é o milímetro;
- *Neve*: precipitação em forma de cristais de gelo, cujas dimensões variam durante a queda (pequenas dimensões);
- *Saraiva*: precipitação em forma de pequenas pedras de gelo arredondadas, com diâmetro de cerca de 5mm;
- *Granizo*: precipitação em forma de pedras redondas ou irregulares, com diâmetro superior a 5mm;
- *Orvalho*: gotículas d'água formadas durante o resfriamento noturno, que baixa a temperatura até o ponto de orvalho;
- *Geada*: camada geralmente fina de cristais de gelo, formada no solo ou na superfície vegetal, que ocorre quando a temperatura fica inferior a 0° C.

A atmosfera pode ser considerada um grande reservatório com um sistema de distribuição e transporte do vapor d'água, sendo que a formação das precipitações está

relacionada à ascensão de massas de ar, que podem ocorrer em função do relevo, da ação frontal de massas de ar ou devido à convecção térmica.

Os três mecanismos principais para a elevação de massas de ar são a elevação frontal, onde o ar quente é conduzido sobre o ar frio por uma passagem frontal; a elevação orográfica, mediante a qual uma massa de ar se eleva para passar acima de uma cadeia montanhosa; e a elevação convectiva, onde o ar se eleva por uma ação convectiva, ou seja, as células convectivas formadas pelo calor da superfície causam uma inesperada instabilidade vertical de ar húmido e se mantém pelo calor latente de vaporização que é liberado a medida que o vapor d'água sobe e condensa (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1994). A Figura 2 ilustra esses mecanismos de elevação de massas de ar que definem os tipos de chuvas.

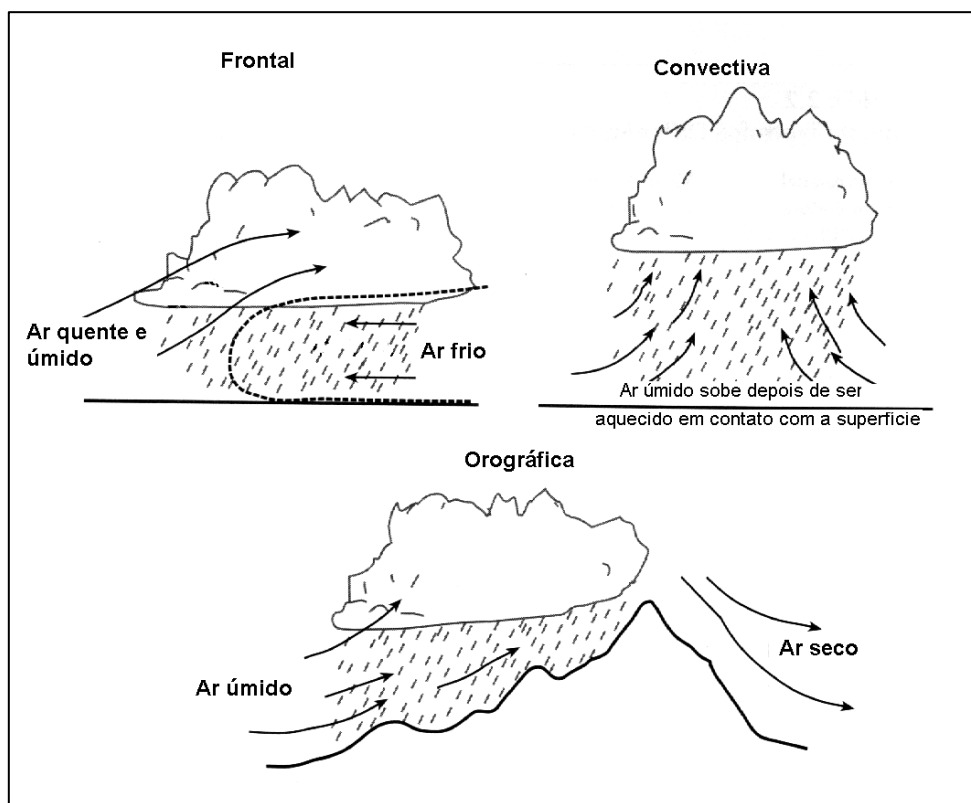


Figura 2. Tipos de chuvas.

Fonte: COLLISCHONN e TASSI, 2008.

A medição de dados pluviométricos pode ser realizada com a utilização de instrumentos específicos ou por metodologias que vem sendo desenvolvidas. O princípio dos pluviômetros, que são os equipamentos tradicionais de medição da chuva, e dos pluviógrafos, que realizam essa medição de forma automática, é a medição do volume de água precipitado em uma área unitária, sendo que a unidade normalmente

utilizada é o milímetro de chuva (mm), que equivale ao volume de 1 litro distribuído em 1 m². De acordo com São Paulo (2012), os pluviógrafos registram o volume precipitado continuamente no tempo, anotados geralmente em intervalos regulares a cada 24 horas ou 12 horas, de onde se pode obter diretamente a intensidade da chuva, representada pela relação entre a altura precipitada em um intervalo de tempo. A chuva também pode ser estimada a partir da utilização de radares meteorológicos ou através de imagens de satélite.

A previsão da precipitação em uma bacia, conforme Paz (2004), fornece uma noção da disponibilidade hídrica nela, sendo tais informações úteis na avaliação da necessidade de irrigação, na previsão de enchentes, na operação de hidroelétricas, no atendimento às demandas para abastecimento público, entre outros.

1.2.1.2. Escoamento Superficial

O escoamento superficial pode ser entendido como a fase do ciclo hidrológico que trata do deslocamento da água sobre a superfície da terra pela ação da gravidade, sendo diretamente relacionado às precipitações atmosféricas (GARCEZ; ALVAREZ, 1988). Segundo Villela e Matos (1975), o escoamento superficial envolve o excesso de precipitação gerado após uma chuva intensa que se desloca em direção a um curso d'água.

Segundo Arndt (2009), o volume de água escoado superficialmente varia de acordo com as características físicas da bacia, dentre as quais podem ser citadas a declividade da bacia, o uso dado ao solo e, conseqüentemente, seu grau de impermeabilização. Uma chuva de mesmo volume variando espacialmente produz mais escoamento superficial do que uma chuva espacialmente uniforme (MILLY; EAGLESON, 1988 apud CIRILO et al., 2007).

Segundo Collischonn e Tassi (2008), a geração do escoamento é um dos temas mais complexos da hidrologia devido a grande variabilidade das características de uma bacia e também pela possibilidade da água precipitada tomar vários caminhos desde o momento que atinge a superfície até chegar ao curso d'água.

1.2.2. Bacia Hidrográfica

Não há como se falar em ciclo hidrológico sem relacioná-lo as bacias hidrográficas. A bacia hidrográfica pode ser definida como um sistema físico onde a entrada é o volume de água proveniente da precipitação e a saída é o volume que escoo pelo exutório, podendo ser considerados como perdas intermediárias os volumes perdidos por evaporação, transpiração ou por infiltração profunda (SILVEIRA, 2009).

Para Rodrigues e Adami (2011), a bacia hidrográfica é um sistema que compreende um volume de materiais, predominantemente sólidos e líquidos, próximos à superfície terrestre, delimitado interna e externamente por todos os processos que, a partir do fornecimento de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e de energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais.

Os processos hidrológicos na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes de fluxo na bacia: vertical e horizontal, sendo que os processos de precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo no solo representam o vertical e o escoamento na direção dos gradientes da superfície e do subsolo, escoamento superficial e subterrâneo, representa o horizontal (TUCCI, 2003).

1.3. EVENTOS PLUVIOMÉTRICOS EXTREMOS

Com base em observações realizadas a eventos climáticos extremos desde 1950, o IPCC (2014) destacou que, de forma geral, houve um acréscimo nos eventos de precipitação intensa nas diversas regiões da Terra, indicando uma maior tendência ao acréscimo da frequência e intensidade de precipitações intensas na América do Norte e Europa, e uma tendência média nos outros continentes. De acordo com a Organização Meteorológica Mundial - OMM (2011), certos fenômenos climáticos e meteorológicos devastadores registrados nos últimos anos, tem atraído a atenção dos governos, do público em geral e dos meios de comunicação, sendo citado que alguns fenômenos extremos ocorridos no decênio de 2001 a 2010, foram equiparados ou considerados mais graves que eventos historicamente importantes, por sua intensidade, duração e/ou extensão geográfica.

Na região amazônica e em especial no estado de Rondônia, o estudo de Franca (2015) relata que a primeira década do século XXI foi marcada pela ocorrência de

eventos climáticos extremos na região amazônica, sendo que os anos de 2009, 2012 e 2014 se destacaram pelo excesso de chuva e cheias recordes de rios do bioma amazônico. Ainda segundo o autor, em 2014, a cheia histórica de rios do sudoeste da Amazônia, como Madeira, Mamoré, Guaporé, entre outros, desabrigou milhares de famílias, interditou rodovias, isolou municípios e agravou o risco da ocorrência de doenças, como leptospirose, diarreias, febre tifoide, entre outras.

No consoante aos eventos pluviométricos extremos, que são também denominados de chuvas intensas, os mesmos provocam cheias nos sistemas de drenagem, onde as vazões de pico atingem valores próximos da capacidade máxima desses sistemas. Para Cecílio et al. (2009), as chuvas intensas, em função de sua capacidade de geração de escoamento superficial, podem causar grandes prejuízos em áreas agrícolas, destacando a inundação de terras cultivadas, a erosão do solo, a perda de nutrientes, o assoreamento e a poluição de corpos d'água.

Cardoso et al. (1998) ressaltam que o conhecimento da distribuição espacial e temporal das chuvas, bem como suas variações, são de grande relevância para o planejamento de uso dos recursos hídricos, sendo o conhecimento das características das chuvas intensas muito importante e de grande aplicação em projeto hidráulicos.

Os eventos extremos caracterizam-se por serem ocorrências que apresentam uma incidência rara, se distanciando da média, variando em sua magnitude. Desta forma, uma solução para a caracterização e estimativa das precipitações é a utilização de curvas Intensidade-Duração-Frequência ou IDF, as quais consistem em modelos matemáticos semi-empíricos que preveem a intensidade precipitada por meio da duração e distribuição temporal.

Em função da grande variabilidade temporal e espacial das precipitações, Eltz et al. (1992) enfatizam que a análise de frequência é uma técnica estatística importante no estudo das chuvas, as quais não podem ser previstas em bases puramente determinísticas.

Todavia, para a determinação da relação IDF, é necessária uma longa série histórica de precipitações máximas de um posto pluviométrico com chuvas distribuídas em intervalos de tempo reduzidos, o que se torna impraticável em grande parte dos municípios brasileiros. Essa carência de conhecimento das características das chuvas é citada por Cardoso et al. (1998), os quais mostram que mesmo em regiões com satisfatória densidade de postos pluviométricos, os dados disponíveis são muitas vezes

inadequados para uma utilização imediata, devido a tais dados apresentarem apenas intensidades em espaços de tempo maiores ou iguais a um dia.

Uma das alternativas utilizadas para se obter chuvas de menor duração a partir de chuvas diárias é a utilização do método de desagregação da chuva de 24 horas, da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 1979 apud TUCCI, 2009). Oliveira et al. (2000), ao utilizar o método de desagregação da chuva de 24 horas na estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades do Estado de Goiás, ressaltam que tal metodologia permitiu a comparação dos resultados das intensidades de precipitação máximas obtidas pelas equações com as obtidas pelas equações ajustadas com base em dados de pluviogramas.

1.3.1. Modelos estatísticos de valores extremos

Outro aspecto importante na elaboração de relações IDF é o ajuste de uma distribuição teórica de probabilidade para a série de máximos do histórico pluviométrico usado. Diversos autores vêm estudando o comportamento do ajustamento deste processo hidrológico, destacando-se neste caso o trabalho de Back (2001), que indicou a existência de diversas teorias de probabilidade empregadas para análise de chuvas extremas, mas que há algumas justificativas teóricas para a aplicação da distribuição de Gumbel, distribuição Pearson e Log-Normal. Souza (2012) verificou que a distribuição de Weibull também é uma forte candidata ao ajustamento de séries pluviométricas máximas anuais, todavia descartou o uso da distribuição normal nesse processo para a região amazônica. Naghettini e Pinto (2007) relatam que a distribuição Gama também é um modelo probabilístico muito atraente para a representação de variáveis hidrológicas e hidrometeorológicas devido sua versatilidade de formas, por possuir o coeficiente de assimetria variável e positivo, além do fato da variável aleatória não ser definida para valores negativos.

CAPÍTULO 2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Estado de Rondônia, localizado na Região Norte do País, integrante da Amazônia Legal, tem como regiões limítrofes os estados do Amazonas, Mato Grosso e Acre, no Brasil, e os departamentos de Santa Cruz, Beni e Pando, na Bolívia. O estado é dividido em 52 municípios, possuindo de acordo com o IBGE (2015a) uma área de 237.590,543 km², uma população estimada em 2014 de 1.748.531 habitantes e uma densidade demográfica de 6,58 hab.km⁻².

A hidrografia do estado de Rondônia, que integra a Região Hidrográfica Amazônica, é formada por sete bacias hidrográficas, dentre as quais a do rio Madeira, que é o rio principal, e as de seus tributários, que são os rios Abunã, Jamari, Guaporé, Mamoré, Machado ou Ji-Paraná e Roosevelt. Os cursos d'água que nascem em território rondoniense são afluentes ou subafluentes do rio Madeira, possuindo, predominantemente, sua foz localizada dentro dos limites do estado (KUNZLER; BARBOSA, 2010).

A bacia hidrográfica do rio Machado é a que possui a maior extensão territorial do estado. Esta bacia, que corta o estado de norte a sul, compreende 34 municípios rondonienses integral ou parcialmente, destacando-se ainda que a principal rodovia que cruza o estado, a BR-364, está predominantemente localizada nesta bacia.

O rio Machado ou Ji-Paraná é assim identificado após a confluência dos rios Barão de Melgaço ou Comemoração e Pimenta Bueno ou Apediá, nas proximidades da cidade de Pimenta Bueno, estando suas nascentes localizadas no município de Vilhena e, sua foz, situada à margem direita do rio Madeira, próximo à vila Calama (KUNZLER; BARBOSA, 2010). Os principais afluentes do rio Machado são os rios Jaru, Machadinho, Urupá e Jacundá. A Figura 3, apresentada a seguir, indica a localização da bacia hidrográfica do rio Machado no estado de Rondônia.

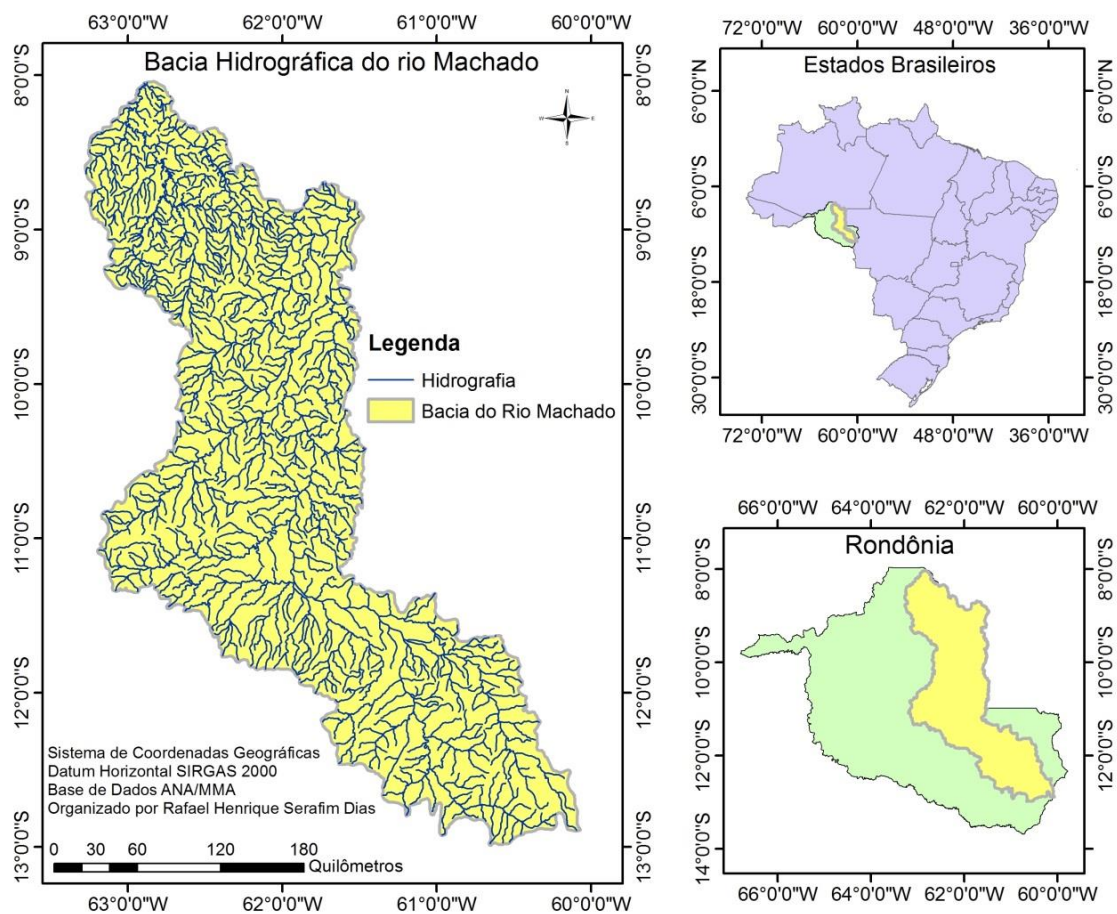


Figura 3. Localização da bacia hidrográfica do rio Machado.

Como a bacia hidrográfica do rio Machado representa o objeto de estudo da presente pesquisa, será apresentada a seguir uma breve descrição das características desta bacia.

2.1.1. Clima

A classificação do clima do Brasil, de acordo com o IBGE (2002), se baseia em três sistemas que integram métodos quantitativos e de dinâmica atmosférica. Com base nessa classificação, o estado de Rondônia pode ser classificado como *Equatorial* no sistema relativo à gênese climática, havendo apenas uma pequena área do sul do estado que compreende o clima *Tropical do Brasil Central*; como *Quente* pelo sistema fundamentado a partir da frequência e médias dos valores extremos mensais de temperatura, com temperatura média superior a 18°C em todos os meses; e como *Úmido* pelo sistema baseado nos padrões de umidade e seca mensais, compreendendo períodos

de 1 a 2 e 3 meses secos, destacando-se uma pequena área no sul do estado que classifica o clima como semiúmido, com período de 4 a 5 meses secos.

Na bacia hidrográfica do rio Machado, com base nos três sistemas, o clima pode ser classificado como Equatorial, Quente e Úmido, sendo visível, conforme Figura 4, que a maior parte da bacia possui um clima úmido, com período de três meses secos por ano e uma pequena área mais ao norte da bacia, com período de um a dois meses secos. Nimer (1979) cita ainda que o clima Equatorial possui elevado índice de chuvas diárias motivadas pela convergência intertropical - CIT e outras correntes de perturbação atmosférica de origem intertropical - IT ou linhas de instabilidades tropicais ou ondas de oeste - WW; que regiões de clima Quente possuem temperatura média para o mês mais frio superior à 18°C; e que os climas úmidos possuem de 1 a 2 ou 3 meses secos, sendo que a existência de 1 a 2 meses secos é quase sempre acompanhada de florestas, e as áreas de 3 meses secos estão mais relacionados às áreas de transição, geralmente verificando-se a existência de florestas semidecíduas.

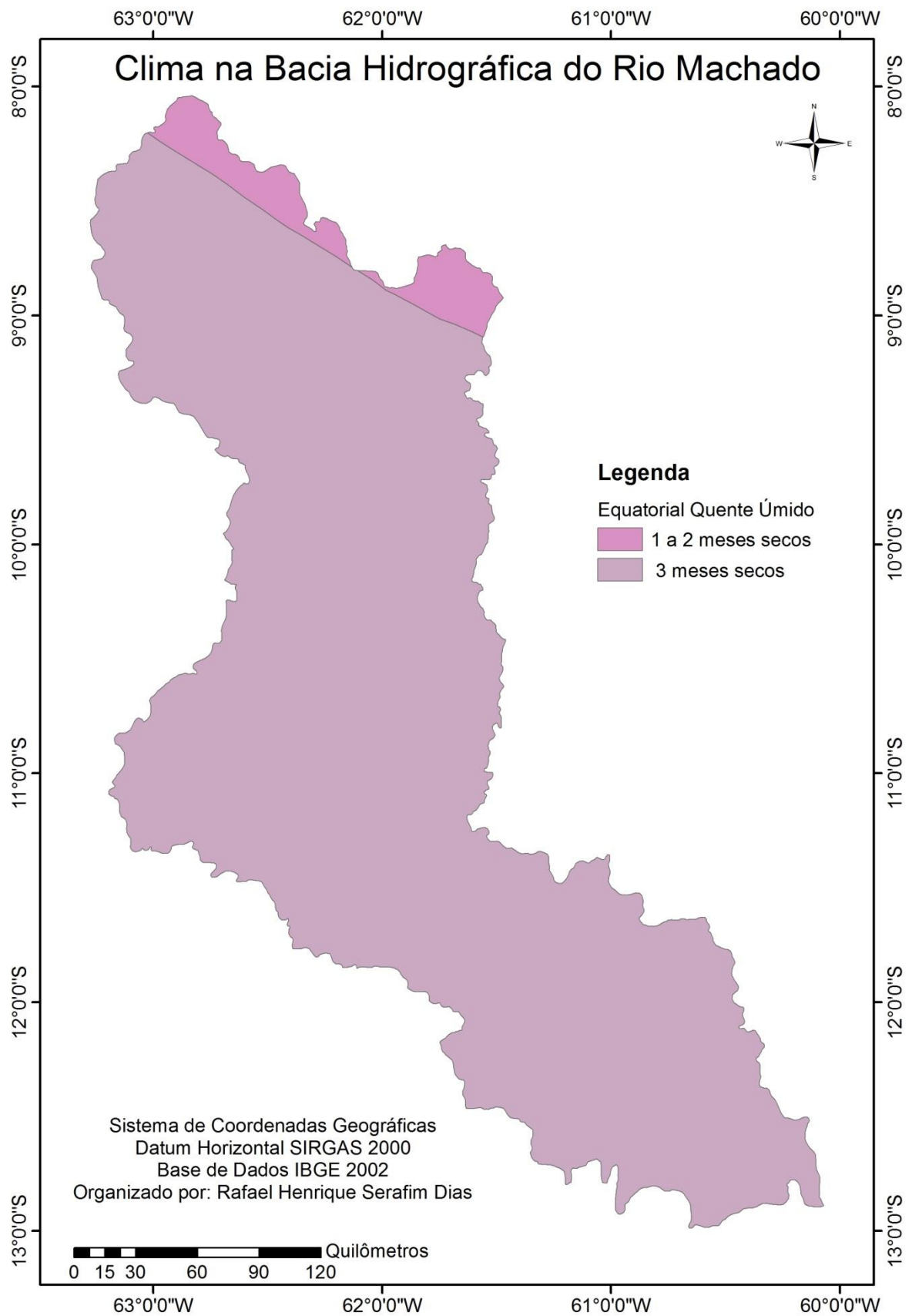


Figura 4. Mapa do clima na bacia hidrográfica do rio Machado.

2.1.2. Geologia

A geologia do estado de Rondônia, que compreende a porção sul-ocidental do Cráton Amazônico, possui registros de uma evolução geológica policíclica, tendo como resultado a formação de um substrato rochoso que foi submetido a sucessivos episódios de magmatismo, metamorfismo, sedimentação e deformação, com geração a partir de 1,78 Ga, culminando na formação de diversos materiais rochosos e de depósitos minerais (QUADROS, 2010).

A bacia do Rio Machado ou Ji-Paraná, em análise de seu contexto geotectônico, compreende parte das duas províncias geotectônicas existentes no Estado, que são a Rondônia-Juruena (1,82-1,42 Ga) e a Sunsás (1,45-0,90 Ga). Destacam-se ainda, na subdivisão da bacia de acordo com seus domínios, terrenos ou faixas que compreendem o Domínio Roosevelt-Juruena (1,82-1,66 Ga), Domínio Jamari (Inliers do Embasamento da Província Rondônia-Juruena) (1,76-1,66 Ga) – Prosseguimento do Cinturão de Cisalhamento Guaporé (1,35-1,31 Ga), Terreno Nova Brasilândia/Faixa Nova Brasilândia (1,25-0,97 Ga) e Cinturão de Cisalhamento Guaporé/Faixa Alto Guaporé (1,35-1,31 Ga).

O Serviço Geológico do Brasil, a partir de Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Rondônia, versão 2007, identificou 69 unidades litoestratigráficas no estado, estando elas hierarquizadas em Complexos, Suítes, Grupos, Formações, Unidades e Corpos (QUADROS, 2007). O mapa geológico indicado a seguir, apresenta uma caracterização das unidades litoestratigráficas que compõe a bacia hidrográfica do Rio Machado.

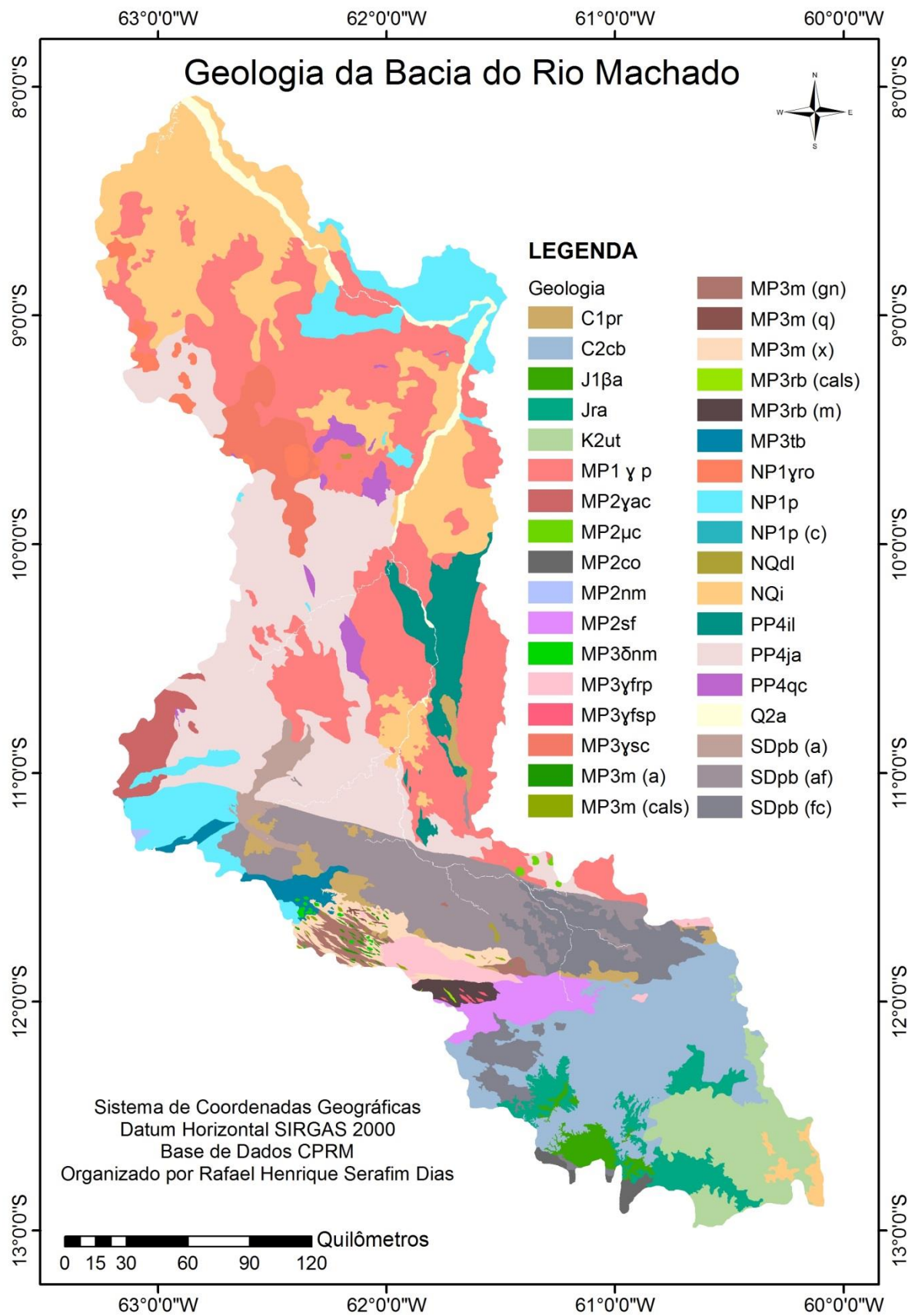


Figura 5. Caracterização geológica da bacia hidrográfica do rio Machado.

A caracterização das unidades litoestratigráficas, indicadas na Figura 5, foi baseada na nomenclatura apresentada no Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Rondônia, elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil (QUADROS, 2007), conforme descrição a seguir:

A. Éon Fanerozóico

I. Era Cenozóica

a) Período Quaternário – Holoceno

- **Q2a** - Depósitos Aluvionares: depósitos de fundo de canal, de barras fluviais e de planície de inundação, arenosos, siltosos e argilosos, com níveis de cascalho;

b) Período Quaternário – Pleistoceno

- **NQi** - Coberturas sedimentares indiferenciadas (i): depósitos de areia, silte, argila ou cascalho; restos de materiais lateríticos (horizontes mosqueado e argiloso, além de restos de crosta laterítica ferruginosa); sedimentos aluvionares, coluvionares e eluvionares indiferenciados, recobertos por cobertura de solos indiscriminados;
- **NQdl** – Coberturas detrito-lateríticas (dl): depósitos argilo-arenosos e síltico-arenosos, ricos em concreções ferruginosas; horizonte argiloso/moqueado, crosta laterítica ferruginosa, concrecionária ou colunar, além materiais coluvionares e eluvionares ricos em detritos lateríticos e fragmentos de quartzo;

II. Era Mesozóica

a) Período Cretáceo

- **K2ut** - Formação Utariti: arenito fino a médio, cor vermelha, amarela e branca, estratificação cruzada de pequeno a médio porte, conglomerado estratificado e pelito laminado a maciço;

b) Período Jurássico

- **Jra** - Formação Rio Ávila (a): arenito fino com estratificação cruzada de grande porte, arenitos com seixos de quartzo e conglomerados estratificados com seixos de quartzo arredondados. Arenitos com grãos bem selecionados, arredondados e exibindo bimodalidade. Ambiente desértico com fácies de dunas, fluvial de "wadi" e de lagos interdunas;

- ***J1βa*** - Formação Anari (βa): basalto, diabásio e gabro subordinado;

III. Era Paleozóica

a) Período Carbonífero

- ***C2cb*** – Formação Fazenda Casa Branca: arenito médio a grosso de coloração amarelada a avermelhada com estratificação cruzada de médio porte, conglomerado, argilito e folhelho. Ambiente fluvial entrelaçado;
- ***C1pr*** - Formação Pedra Redonda (pr): paraconglomerado e arenito de granulometria grossa (tilito e diamictito), matriz-suportado, com clastos variando de seixos a matacões de diversas litologias (xisto, gnaiss, granito, quartzito, metabásica, arenito, folhelho e calcário oolítico), com esporádicos seixos facetados e estriados (tipo "ferro-de-engomar"). Unidade "dropstone" representada por argilito laminado, cor creme, laminação plano-paralela, contendo seixos e matacões "pingados" de gnaiss, riolito, granito, quartzito e metabásica. Conglomerado polimítico estratificado, com seixos subarredondados de riolito, granito e folhelho. Ambiente glacio-lacustre e de leque aluvial;

b) Período Devoniano/Siluriano

- ***SDpb (a)*** – Formação Pimenta Bueno (pb): arenito fino a médio micáceo, arenito conglomerático e conglomerado, estratificados a maciços. Ambiente flúvio-deltaico e marinho/lacustre;
- ***SDpb (af)*** – Formação Pimenta Bueno (pb): arenito arcossiano micáceo, granulometria fina a média e estratificado, folhelho marrom-chocolate laminado e quebradiço, intercalado com arenito fino e siltito laminado. Ambiente flúvio-deltaico e marinho/lacustre;
- ***SDpb (fc)*** – Formação Pimenta Bueno (pb): predominância de intercalações rítmicas de folhelho marrom-chocolate com arenito fino-siltito com laminação plano-paralela, estratificação cruzada "micro-hummocky" e convoluções e, no topo, intercalações de camadas de folhelho com camadas de calcário dolomítico e siltito carbonático laminado. Ambiente flúvio-deltaico e marinho/lacustre.

B. Éon Proterozóico

I. Era Neoproterozóica

a) Período Toniano

- **NP1 γ ro** – Suíte Intrusiva Rondônia (ro): sienogranito equigranular, monzogranito porfirítico, ortoclásiogranito, ortoclásio-sienito, microssienito, topázio-albita-granito e topázio riolito;
- **NP1 p** – Formação Palmeiral: arenito arcoseano, quartzo-arenito, conglomerado oligomítico e níveis de manganês. Ambiente fluvial entrelaçado;
- **NP1 p (c)** – Formação Palmeiral (p): Conglomerado oligomítico, clasto-suportado, estratificado, com seixos e calhaus de quartzo-arenito, quartzo leitoso e eventualmente de vulcânica ácida/granito subvulcânico. Ambiente fluvial entrelaçado;

II. Era Mesoproterozóica

a) Período Esteniano

- **MP3 γ sc** – Suíte Intrusiva Santa Clara (sc): monzogranito porfirítico e biotita-sienogranito porfirítico com feições rapakivíticas, ortoclásio-granito, feldspato-quartzo pórfiro, traquito, albita leucogranito, microssienito, aplito e pegmatito;
- **MP3 δ nm** – Suíte Intrusiva Novo Mundo (nm): hornblenda gabros isótipos, gabros-noritos e microgabros, localmente foliados;
- **MP3 γ sp** – Suíte Intrusiva Rio Pardo - Fácies São Pedro (sp): hornblenda sienogranito e hornblenda monzogranito estratóide;
- **MP3 γ frp** – Suíte Intrusiva Rio Pardo - Fácies São Luiz (sl): quartzo-sienito, quartzo-monzonito, alcali-feldspato sienito;
- **MP3 tb** – Formação Terra Boa (tb): intercalações de metassiltito laminado e metarenito fino estratificado com marcas onduladas e convoluções, "hornfels" e quartzito, na forma de camadas contínuas lateralmente e lentes, em geral inclinadas a verticalizadas;
- **MP3 m (a)** – Grupo Nova Brasilândia - Formação Migrantinópolis (m): anfibolitos de granulação fina e metagabros foliados;
- **MP3 m (cals)** – Grupo Nova Brasilândia - Formação Migrantinópolis (m): calcissilicática maciça ou foliada com sulfetos disseminados e gnaiss calcissilicático com lentes de anfibolito;

- **MP3m (gn)** – Grupo Nova Brasilândia - Formação Migrantinópolis (m): biotita paragnaisse e localmente metaturbidito;
- **MP3m (q)** – Grupo Nova Brasilândia - Formação Migrantinópolis (m): epidoto-actinolita quartzito e quartzito micáceo;
- **MP3m (x)** – Grupo Nova Brasilândia - Formação Migrantinópolis (m): biotita-muscovita-quartzo xisto, granada-muscovitaquartzo xisto e sillimanita-granada-quartzo xisto;
- **MP3rb (m)** – Formação Rio Branco (rb): metagabro, metagabro-norito, metadiabásio e anfibolito com intercalações de gnaiss calcissilicático, magnetita quartzito e BIF's;
- **MP3rb (cals)** – Formação Rio Branco (rb): lentes de gnaiss calcissilicático;

b) Período Ectasiano

- **MP2γac** – Suíte Intrusiva Alto Candeias (ac): granito porfirítico com feições rapakivíticas, aplito, sienito, charnockito e subordinadamente augen-gnaiss;
- **MP2μc** - Suíte Intrusiva Cacoal (c): gabro, norito, troctolito, piroxenito, anortosito, peridotito, serpentinito e diabásio;
- **MP2co** – Complexo Colorado (co): plagioclásio-biotita-quartzo-paragnaisse migmatizado, xisto, BIF, quartzito, gnaiss calcissilicático, metagabro e anfibolito. Unidade Ferro-manganesífera;
- **MP2nm** – Complexo Nova Mamoré (nm): biotita paragnaisse quartzo-feldspático, granada-biotita paragnaisse, gnaiss calciossilicático, "granofels", sillimanitagranada-biotita-quartzo xisto;
- **MP2sf** – Suíte São Felipe (sf): augen-gnaiss de composição granodiorítica, granulação grossa; ortognaiss monzogranítico de granulação grossa; ortognaiss de composição tonalítica subordinado e granitoide foliado, em geral migmatizados;

c) Período Calimmiano

- **MP1γp** – Suíte Intrusiva Serra da Providência: granito rapakivi (anfíbólio-biotita monzogranito, biotita sienogranito), charnockito, mangerito, rocha máfica e augen-gnaiss;

III. Era Paleoproterozóica

- a) Período Estateriano
- *PP4qc* – Suíte Metamórfica Quatro Cachoeiras: migmatito pelítico, granada leucognaisse, sillimanita-quartzo xisto, gnaisse calcissilicático, kinzigito e raro hematita quartzito;
 - *PP4ja* – Complexo Jamari: ortognaisse tonalítico e quartzo-diorítico dominantes, além de enderbito, migmatito ortoderivado, gnaisse granodiorítico e anfibolito;
 - *PP4il* – Formação Igarapé Lourdes: Metassiltito, filito, metarenito, xisto, metatufo, metavulcânica e formação ferrífera.

2.1.3. Geomorfologia

O Relevo do Estado de Rondônia apresenta desde localidades com altitudes inferiores a 100 m até cotas superiores a 1.000 m. As altitudes mais baixas são observadas no vale do rio Madeira na divisa com o estado do Amazonas, com cotas abaixo de 100 m de altitude, bem como o vale do rio Guaporé com extensas áreas que ocupam níveis topográficos muito baixos, entre 100 e 150 metros, configurando extensas áreas alagáveis, mapeadas como Deltas/Cones e Áreas Alagadas, além das planícies e terraços fluviais (RONDÔNIA, 2000). Segundo ICMBio (2009), o ponto de maior altitude do estado é o Pico do Tracoá, situado no Parque Nacional de Pacaás Novos.

A Figura 6, indicada a seguir, apresenta a caracterização das unidades geomorfológicas da bacia hidrográfica do rio Machado, sendo claramente verificada a predominância de superfícies de aplanamento em tal caracterização.

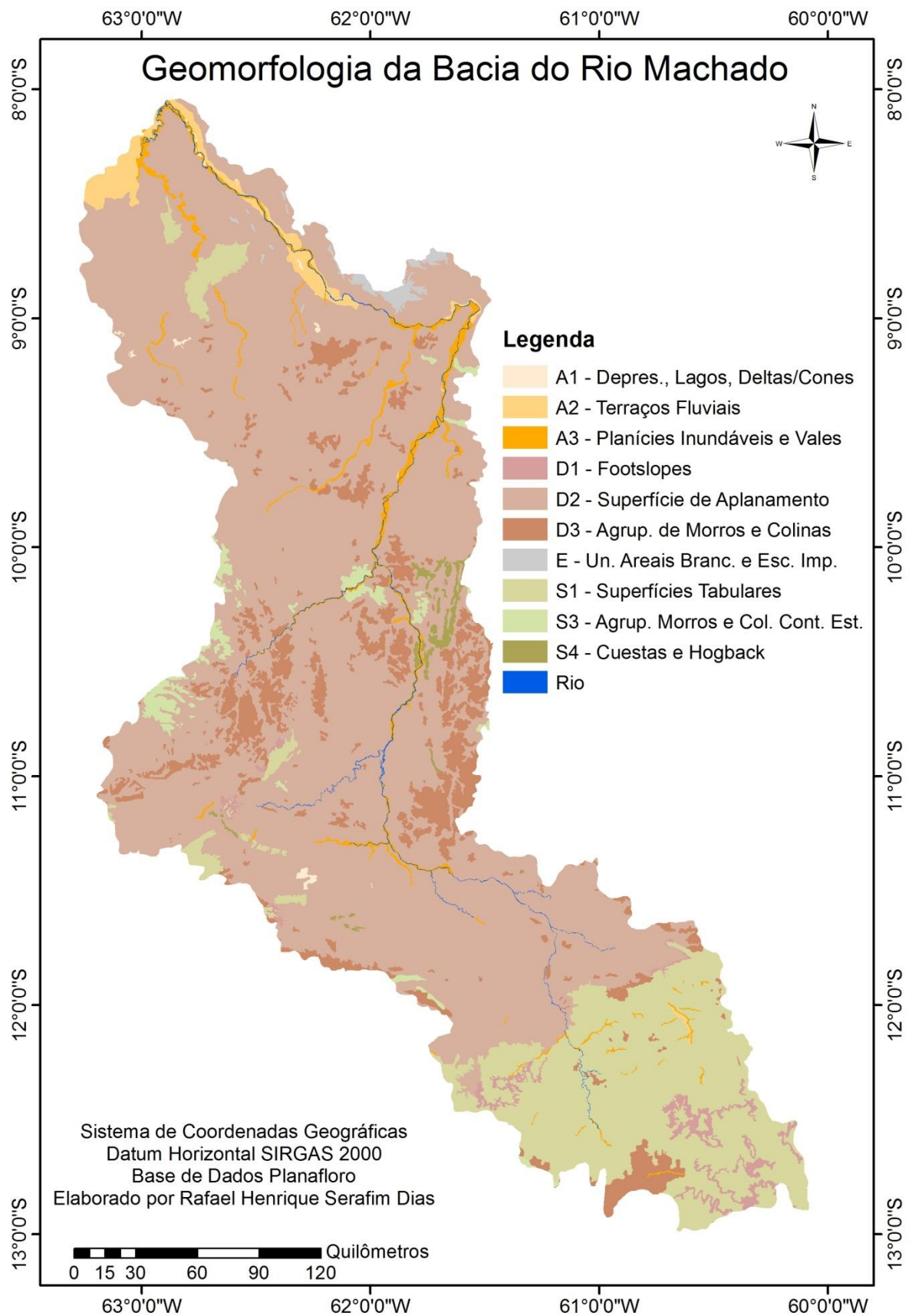


Figura 6. Caracterização geomorfológica da bacia hidrográfica do rio Machado.

A descrição das unidades geomorfológicas indicadas na legenda da Figura 6 se baseou na classificação utilizada para o Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia (RONDÔNIA, 2000), no Mapeamento Geomorfológico do estado de Rondônia, sendo descritas a seguir as unidades geomorfológicas da bacia do rio Machado.

I. A - Planícies Aluviais e Depressões

➤ **A1** - Depressões, Lagos, Deltas/Cones: São áreas onde o sistema fluvial se comporta de forma similar a um padrão distributário, ou onde as baixas declividades não permitem o escoamento concentrado em canais fluviais, estando sujeitas a inundações excepcionais.

➤ **A2** - Terraços Fluviais: Foram delimitados em função da rede de drenagem existente, compreendendo terrenos alçados em até 15/20 metros acima das planícies fluviais. Estes terraços foram subdivididos, em função de suas características morfológicas e da dinâmica atual, em terraços altos não dissecados, altos com dissecação baixa, baixos com dissecação baixa, e baixos com presença de leitos abandonados e pântanos.

➤ **A3** - Planícies Inundáveis e Vales: em função da baixa declividade destes terrenos, sofrem processos de inundação pelo transbordamento do canal a cada período chuvoso que ocorre na bacia hidrográfica. O lençol freático é subaflorante na maior parte do período de vazante. As planícies fluviais elaboradas por rios com padrão retilíneo, como a do rio Ji-Paraná, não apresenta marcas de paleocanais em forma de meandros. Localmente são observadas faixas marginais ao rio, prováveis diques marginais, que acompanham o curso atual. Também são observadas pequenas soleiras, fato que ocasiona pequenas discontinuidades na planície, servindo de anteparo para os sedimentos depositados a montante e também para dinamizar o fluxo a jusante.

II. D - Unidades Denudacionais

➤ **DI** – Footslopes: Compreende áreas posicionadas topograficamente abaixo de uma superfície que está sendo erodida, podendo sofrer processos de erosão, mas também de deposição a partir de processos gravitacionais. Muitas vezes chegam a conformar escarpas erosivas, com presença de free face e depósitos gravitacionais no sopé. Também pode corresponder a áreas de transição entre unidades geomorfológicas,

ou áreas de transição entre os níveis de suave e média dissecação de uma mesma unidade.

➤ **D2** - Superfície de Aplanamento: Compreende extensas superfícies aplanadas, elaboradas por processos de pediplanação. Têm caimento geral no sentido dos grandes rios que cortam o estado, no Ji-Paraná para o nordeste, possuindo pendentes regionais geralmente abaixo de 1%.

➤ **D3** - Agrupamentos de Morros e Colinas: Compreende relevos em formas de morros e colinas dispersos pelo Estado, representando relevos residuais, associado a diferentes embasamentos litológicos e não possuindo controle estrutural evidente. Este sistema apresenta-se como uma área de colinas e morros dissecados pela ação fluvial, recebendo a denominação de serras, em função de desníveis de até 150 metros.

III. **E** - Unidades em Areais Brancos e Escoamento Impedido: Compreendem áreas interfluviais, subhorizontalizadas, sem dissecação, com altitudes próximas a 160 metros e inseridas dentro de manchas da Superfície de Aplanamento Nível II. As declividades são inferiores a 1%. A principal característica destas formas está associada aos processos de intemperismo físico-químico que aí atuam, ocorrem nestas áreas extensas formações arenosas, com níveis plínticos em subsuperfície.

IV. S - Unidades Estruturais/Denudacionais

➤ **S1** - Superfícies Tabulares: Compreende uma série de relevos elaborados sobre rochas sedimentares de idade cretácica e formações terciário-quadernárias. O padrão de formas predominantes é composto por interflúvios amplos e levemente tabulares, com fundos de vale geralmente abertos e amplos. Pequenas planícies fluviais formam-se em setores restritos da rede de drenagem. Há também uma série de relevos tabulares elaborados sobre rochas meta-vulcano sedimentares, com diferentes graus de dissecação e dimensões interfluviais, que se enquadram como superfícies tabulares. Engloba grande parte das bacias de drenagem dos rios Ji-Paraná e seus formadores Pimenta Bueno e Comemoração.

➤ **S3** - Agrupamentos de Morros e Colinas com Controle Estrutural: Corresponde a unidades geomorfológicas associadas a forte controle estrutural que resulta em alinhamento das formas de relevo. Ocorrem em dois padrões nitidamente distintos. É encontrado nas folhas Ji-Paraná e Alto Jamari, compreendendo um grande adensamento de morros, entremeados por vales abertos e conectados com a superfície de aplanamento circundante. Também compreende uma série de morros isolados, mas com grande

distinção em relação aos mais baixos de entorno. Encontram-se alçados geralmente a mais de 100 metros dos relevos aplanados que geralmente os circundam.

➤ **S4** - Cuestas e Hogback: Compreendem relevos assimétricos, associadas a faixas de dobramentos, com grande amplitude e correspondendo, nesta área, a relevos de caráter residual circundados por superfícies de aplanamento.

2.1.4. Solos

De acordo com Shinzato et al. (2010), os Argissolos e os Latossolos constituem ordens de solo de grande expressão geográfica no estado de Rondônia, destacando que os Argissolos predominam sobre as Superfícies Aplainadas do Sul da Amazônia e Planaltos Dissecados do Sul da Amazônia, bem como sobre o Planalto e Chapada dos Parecis; já a ocorrência dos Latossolos é verificada, principalmente, sobre as unidades geomorfológicas Tabuleiros da Amazônia Centro-Occidental, Superfícies Aplainadas do Sul da Amazônia, Depressão do Rio Guaporé e Planalto e Chapada dos Parecis.

A Figura 7, indicada a seguir, mostra a caracterização do solo na bacia hidrográfica do rio Machado.

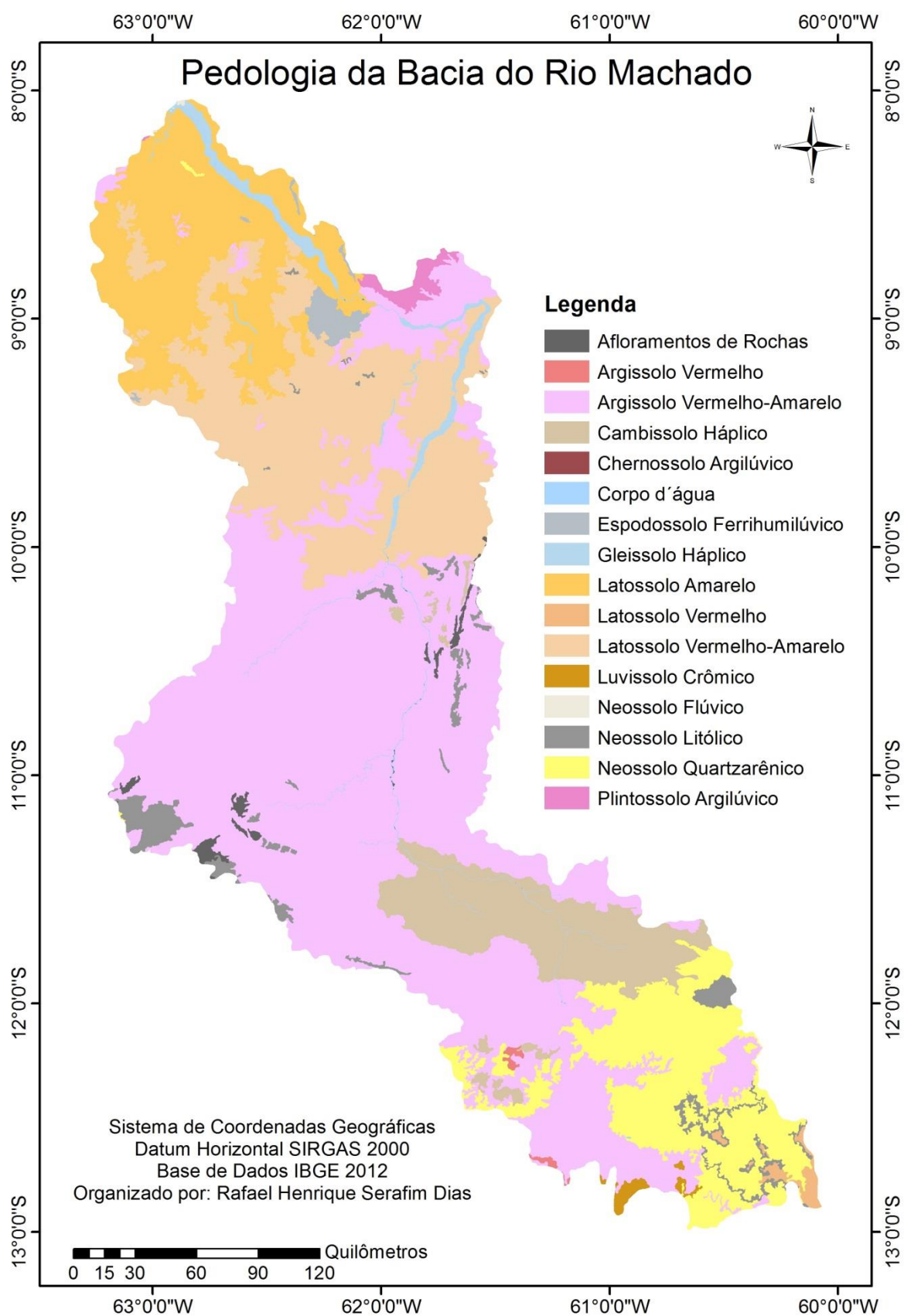


Figura 7. Caracterização pedológica da bacia hidrográfica do rio Machado.

A descrição das classes de solos indicados na Figura 7 se baseou na classificação apresentada pelo Manual Técnico de Pedologia – 3ª Edição, elaborado pelo IBGE (2015c).

➤ Afloramento de Rochas – Se refere à exposição do substrato rochoso, lajes de rochas, parcelas de camadas delgadas de solos sobre rochas e/ou predominância de boulders com diâmetro médio maior que 100 cm, na superfície ou na massa do solo, em quantidades tais, que tornam impraticável o uso de máquinas agrícolas. A fase rochosa pode ser atribuída aos solos enquadrados nas seguintes classes de rochosidade: rochosa, muito rochosa e extremamente rochosa.

➤ Argissolo – São os solos mais expressivos do Brasil, juntamente com os Latossolos, sendo verificados em praticamente todas as regiões. Essa classe de solos, que possui profundidade variável, tem como uma de suas principais características um aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B que é do tipo textural (Bt), normalmente acompanhado de boa diferenciação de cores e outras características. Há variação das cores do horizonte Bt, de acinzentadas a avermelhadas, enquanto as do horizonte A são sempre mais escuras.

➤ Cambissolo – Também tem ocorrência em todas as regiões do Brasil, sendo mais observados em regiões serranas ou montanhosas, sendo muitas vezes pedregosos, cascalhentos e mesmo rochosos. Essa classe de solos apresenta grande variação com relação à profundidade e demais características. Sua drenagem varia de acentuada a imperfeita, sendo possível a ocorrência de qualquer tipo de horizonte A sobre um horizonte B incipiente (Bi), com cores diversas.

➤ Chernossolo – Estes solos são observados em várias partes do Brasil, mas possuem concentração expressiva na região da Campanha Gaúcha, onde são utilizados com pasto e lavouras. Esta classe de solos possui espessura de pequena a mediana, sendo caracterizada pela presença de um horizonte superficial A do tipo chernozêmico - que possui teores consideráveis de matéria orgânica, cores escuras e boa fertilidade - sobre horizontes subsuperficiais avermelhados ou escurecidos com argila de alta atividade.

➤ Espodossolo – Por sua gênese, os solos desta classe são bastante característicos, apresentando normalmente uma diferenciação significativa entre os horizontes e um horizonte espódico de cores escuras ou avermelhadas/amareladas,

precedido de um horizonte eluvial E - muitas vezes alábico. O horizonte espódico, que ocorre a profundidades variáveis, encontra-se a profundidades superiores a 3 metros em alguns pontos da região Amazônica. Em geral, são muito pobres no tocante a nutrientes minerais e têm textura predominantemente arenosa.

➤ Gleissolo – Têm ocorrência observada em quase todas as regiões brasileiras, principalmente nas planícies de inundação de rios e córregos. Essa classe de solos, que é característica de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento, apresenta cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, com profundidade variando até 50 cm da superfície. Sua maior limitação de uso são as condições de má drenagem, podendo ser de alta ou baixa fertilidade natural.

➤ Latossolo – Essa classe dispõe de solos geralmente muito intemperizados, profundos e de boa drenagem. Possui grande homogeneidade de características ao longo do perfil, com mineralogia da fração argila predominantemente caulínica ou caulínica-oxídica, e praticamente ausência de minerais primários de fácil intemperização. Tem ampla distribuição por todas as regiões do Território Nacional, sendo diferenciada em quatro classes distintas ao nível de subordem no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, principalmente a partir da coloração e teores de óxidos de ferro. Os latossolos amarelos são solos profundos, de coloração amarelada, muito homogêneos, com boa drenagem e baixa fertilidade natural na maioria das vezes. Os latossolos vermelhos são solos vermelhos, geralmente com grande profundidade, homogêneos, de boa drenagem e quase sempre com baixa fertilidade natural. Os latossolos vermelho-amarelos têm cores vermelho-amareladas, são profundos, com boa drenagem e normalmente baixa fertilidade natural, embora se tenha verificado algumas ocorrências de solos eutróficos.

➤ Luvisolo – São solos encontrados em boa parte do território brasileiro, de forma mais expressiva em regiões como o semiárido nordestino, Região Sul e mesmo na região Amazônica, no estado do Acre. Essa classe de solos possui profundidade mediana, com coloração de vermelha a acinzentada, horizonte B textural ou nítico abaixo de horizonte A fraco, moderado ou horizonte E, argila de atividade alta e alta saturação por bases. Em geral, apresentam razoável diferenciação entre os horizontes superficiais e os subsuperficiais, sendo que a mineralogia das argilas condiciona certo fendilhamento em alguns perfis nos períodos secos. São solos moderadamente ácidos a ligeiramente alcalinos.

➤ Neossolo – Os solos desta classe são constituídos por material mineral ou material orgânico pouco espesso, normalmente menos de 30 cm de espessura, sem apresentar qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. A presença de boa parte dos neossolos é verificada em praticamente todas as regiões do País, porém, não constitui representatividade espacial expressiva, ocorrendo de forma dispersa em ambientes específicos, como planícies à margem de rios e córregos (Neossolos Flúvicos) e nos relevos muito acidentados de morrarias e serras (Neossolos Litólicos). Os Neossolos Quartzarênicos são comuns na região litorânea e em alguns estados do Nordeste, ocupando também grandes concentrações em alguns estados do Centro-Oeste e Norte.

➤ Plintossolo – Os solos desta classe apresentam como uma de suas principais características a presença de expressiva plintitização com ou sem petroplintita, que são as concreções de ferro ou cangas. Subdivide-se em Plintossolos Argilúvicos e Háplicos, que apresentam drenagem restrita, e Plintossolos Pétricos, geralmente de melhor drenagem. Os Plintossolos Argilúvicos têm como característica diagnóstica a presença do horizonte plíntico, identificado principalmente por cores mosqueadas ou variegadas, compostas de tons desde vermelhos a acinzentados.

2.1.5. Aptidão Agrícola

Nos estudos do Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia (RONDÔNIA, 2000), para uma avaliação mais detalhada da potencialidade agrícola dos solos, foi realizada a caracterização física, em que as terras foram classificadas e codificadas em termos de declividade, profundidade, drenagem, regime térmico, regime pluvial, capacidade de retenção de umidade, presença de material grosso incluindo pedra e cascalho, presença de horizontes restritivos e outros parâmetros, bem como verificação das propriedades químicas em diversos perfis do solo.

Segundo o IBGE (2007), o sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras, de Ramalho Filho e Beek (1995), é a aproximação mais recente do modelo de classificação da aptidão de terras, para a agricultura tropical, sendo este uma avaliação física das terras, baseada nas suas qualidades e em níveis de manejo para diferentes usos da terra. Nessa metodologia, com o objetivo de diagnosticar o comportamento das terras em diferentes níveis tecnológicos, são considerados três níveis de manejo – A, B e C, sendo que o nível A (Primitivo) se baseia em práticas agrícolas que expressam um baixo nível

técnico-cultural; o nível B (Pouco desenvolvido) reflete a utilização de práticas agrícolas com um nível tecnológico intermediário; e o nível C (Desenvolvido), cujas práticas agrícolas refletem um alto nível tecnológico.

No que tange a estrutura do sistema, o IBGE (2007) identifica seis grupo de aptidão agrícola, que funcionam como um artifício cartográfico que identifica no mapa o tipo de utilização mais intensivo das terras, ou seja, sua melhor aptidão. A representação dos grupos de aptidão agrícola é feita com números de 1 a 6, em escalas decrescentes segundo a possibilidade de utilização das terras, sendo que os números de 1 a 3 qualificam a aptidão para a produção agrícola, enquanto que os grupos 4, 5 e 6 apenas identificam tipos de utilização – pastagem plantada, silvicultura e/ou pastagem natural e preservação da flora e da fauna -, independente da classe de aptidão. Ainda são mencionadas as classes de aptidão agrícola, que expressam a aptidão agrícola das terras para um determinado tipo de utilização, com um nível de manejo definido em seu subgrupo de aptidão, sendo definidas quatro classes de Aptidão: Boa, Regular, Restrita e Inapta.

A Figura 8 mostra o comportamento dos solos na bacia hidrográfica do rio Machado, no que tange à sua potencialidade agrícola.

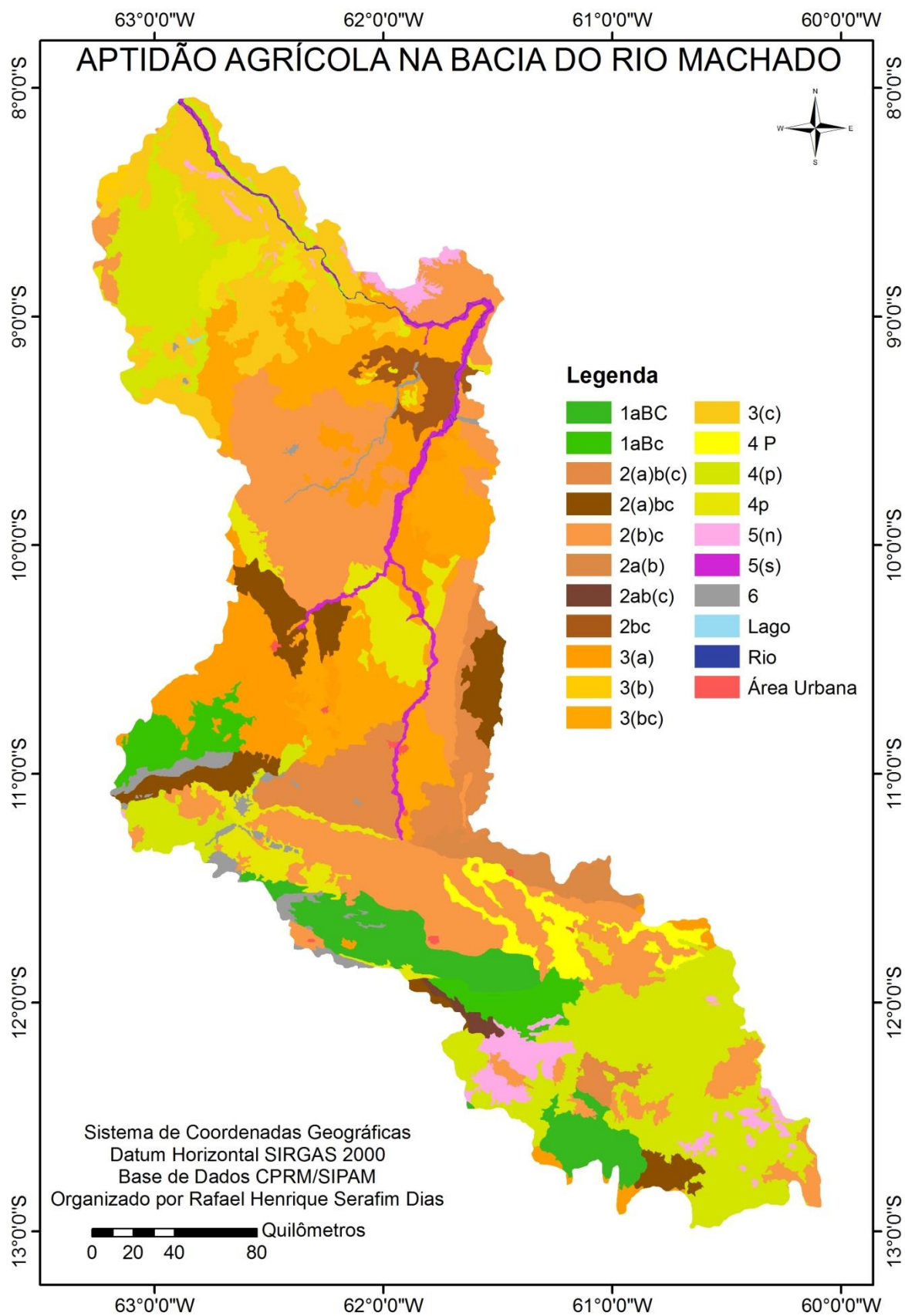


Figura 8. Aptidão agrícola da bacia hidrográfica do rio Machado.

A metodologia utilizada para descrever as categorias de aptidão agrícola, indicada na Figura 8, teve como referência Ramalho Filho e Beek (1995), considerando os níveis de manejo, grupos, subgrupos e classes de aptidão agrícola das terras.

Os números de 1 a 3 qualificam a aptidão para a produção agrícola, o 4 para pastagens, o 5 para exploração florestal e/ou pastagem natural, e o 6 significa carência de aptidão para atividades agropecuárias (as terras desta categoria deveriam permanecer como áreas de preservação da flora e da fauna). Para cada uma das três primeiras categorias (1, 2 e 3), se definem subclasses relacionadas com o nível de manejo, o qual é definido em termos dos literais A (manejo primitivo), B (manejo de tecnologia média) e C (manejo de alto nível tecnológico). Os grupos 4 e 5, aptos para pastagens cultivadas (P), exploração florestal (S) e/ou pastagens nativas (N), se subdividem em grupos segundo sua aptidão – boa, regular, restrita – para cada um dos usos citados. Note-se, que as convenções A, B, C, N, P e S, tal como usadas no sistema significam uma boa aptidão agrícola nos três níveis de manejo; que a, b, c, n, p e s traduzem aptidão moderada; enquanto (a), (b), (c), (n), (p) e (s) dizem respeito à aptidão restrita. Os grupos e subgrupos de aptidão agrícola, segundo o nível de manejo, são indicados a seguir.

- Grupo 1 - Terras com “boa” aptidão agrícola em, pelo menos, um dos três níveis de manejo A, B ou C;
- Grupo 2 - Terras com aptidão agrícola “moderada” em, pelo menos, um dos três níveis de manejo A, B e C;
- Grupo 3 - Terras com aptidão agrícola “restrita” em, pelo menos, um dos três níveis de manejo;
- Grupo 4 – Terras com aptidão agrícola “boa”, “moderada” ou “restrita” para pastagens cultivadas;
- Grupo 5 – Terras com aptidão “boa”, “moderada” e/ou “restrita” para pastagens nativas;
- Grupo 6 – Terras não aptas para agricultura.

2.1.6. Vegetação

A vegetação do estado de Rondônia, de acordo com o ICMBio (2009), é caracterizada pelo contato entre as formações vegetais das Florestas Tropicais da Região Amazônica e as do Cerrado do Brasil Central, sendo predominante a floresta ombrófila aberta.

Na bacia hidrográfica do rio Machado, conforme se pode verificar na Figura 9, no que tange à cobertura vegetal, há predominância da Floresta Ombrófila Aberta Submontana, porém, as áreas de pastagens também compreendem uma fração relevante da área da bacia.

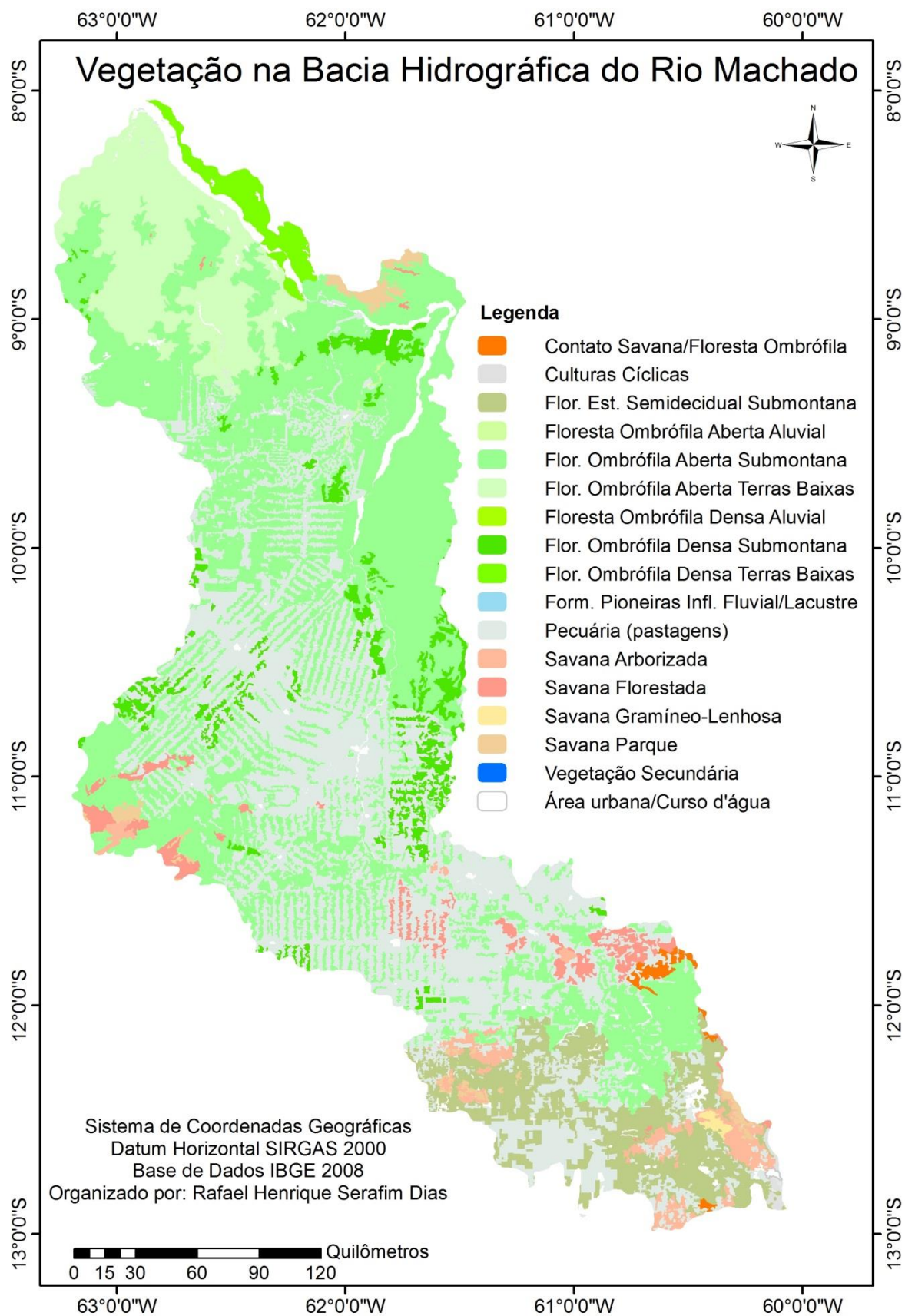


Figura 9. Mapa da vegetação na bacia hidrográfica do rio Machado.

A descrição da legenda indicada na Figura 9, apresentada a seguir, se baseou nos critérios do Manual Técnico da Vegetação Brasileira – 2ª Edição, elaborado pelo IBGE (2012). Para complementar a descrição, em alguns casos, utilizou-se também dados disponibilizados no Manual Técnico de Uso da Terra – 3ª Edição, também elaborado pelo IBGE (2013). As formações vegetais identificadas na bacia do rio Machado são:

➤ Contato Savana/Floresta Ombrófila – Constitui as transições florística, também chamadas de ecótonos, das formações relacionadas. Nesta transição, como os elementos que se misturam são indivíduos isolados e dispersos, formando conjuntos geralmente muito homogêneos ou uniformes, torna-se difícil de ser detectado no mapeamento por simples fotointerpretação.

➤ Culturas Cíclicas – Corresponde ao cultivo de plantas de curta ou média duração, com ciclo vegetativo normalmente inferior a um ano, que após a produção deixam o terreno disponível para novo plantio. Nas culturas cíclicas, destacam-se as de grãos e cereais, as de bulbos, raízes, tubérculos e hortaliças, bem como as plantas hortícolas, floríferas, medicinais, aromáticas e condimentares de pequeno porte, que muitas vezes são cultivadas em estruturas como estufas, ripados e telados. O mapeamento de culturas cíclicas, em escala regional e exploratória, bem como das culturas permanentes em áreas menores, devem ser englobadas ou então simplificadas para o devido mapeamento.

➤ Floresta Estacional Semidecidual Submontana – Esta formação, ao contrário das florestas ombrófilas, é constituída por fanerófitos com gemas foliares protegidas da seca por escamas e cujas folhas adultas são esclerófilas ou membranáceas decíduais. O conceito ecológico deste tipo florestal se estabelece em função da ocorrência de clima estacional que determina semidecuidade da folhagem da cobertura florestal. O mapeamento contínuo de grandes áreas com formação Submontana, a partir das faixas altimétricas, indicou que esta se situa na faixa altimétrica que varia de 100 a 600 m, de acordo com a latitude de 4° Norte até 16° Sul; de 50 a 500 m entre 16° até 24° de latitude Sul; e de 30 a 400 m após 24° de latitude Sul.

➤ Floresta Ombrófila Aberta Aluvial – Esta formação fica estabelecida ao longo dos cursos de água, ocupando as planícies e terraços periodicamente ou permanentemente inundados, que constituem respectivamente fisionomias de matas-de-várzea ou matas-de-igapó, na Amazônia. Sua composição florística e características

ecológicas predominantes são semelhantes às da Floresta Ombrófila Densa Aluvial, porém, se destaca em sua fisionomia por apresentar um grande número de palmeiras de grande porte, e em alguns casos pela dominância de lianas lenhosas e herbáceas, cobrindo um rarefeito estrato de árvores.

➤ Floresta Ombrófila Aberta Submontana – A distribuição dessa formação pode ser observada por toda a Amazônia e, fora dela, principalmente com a faciação floresta com palmeiras. Na Amazônia, ocorre com as quatro faciações florísticas, ou seja, com palmeiras, com cipó, com sororoca e com bambu, entre 4° de latitude Norte e 16° de latitude Sul, situadas acima de 100 m de altitude e não raras vezes chegando a cerca de 600 m.

➤ Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas – Esta formação, que apresenta predominância da faciação com palmeiras, está compreendida na região entre 4° de latitude Norte e 16° de latitude Sul, em altitudes que variam de 5 até 100 m. Faz parte da vegetação secundária, nos estados do Piauí e do Maranhão, com a *Attalea speciosa* (babaçu), originando o “babaçual” que domina inteiramente a paisagem, bem como é encontrada em estado natural, em associação com outras *angiospermae*, em comunidades isoladas dos Estados do Maranhão e do Pará.

➤ Floresta Ombrófila Densa Aluvial – Esta formação ocorre ao longo dos cursos de água, ocupando os antigos terraços das planícies quaternárias, sendo constituída por macro, meso e microfanerófitos de rápido crescimento, geralmente de casca lisa e tronco cônico, por vezes com a forma característica de botija e raízes tabulares. Apresenta um dossel emergente frequentemente uniforme, porém, em função da exploração madeireira, sua fisionomia torna-se bastante aberta. Essa formação apresenta muitas lianas lenhosas e herbáceas, além de grande número de epífitas e poucos parasitas, possuindo grande quantidade de palmeiras no estrato dominado e na submata.

➤ Floresta Ombrófila Densa Submontana – É caracterizada por espécies que variam de acordo com a latitude, sendo o fator tempo um elemento de grande importância nesta variação ambiental. Nesta formação, as áreas dissecadas do relevo montanhoso e dos planaltos com solos medianamente profundos são ocupadas por uma formação florestal que apresenta fanerófitos de alto porte, com altura aproximadamente uniforme. Sua submata é integrada por plântulas de regeneração natural, com a presença de palmeiras de pequeno porte e lianas herbáceas em maior quantidade.

➤ Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas – Esta formação geralmente ocupa as planícies costeiras, capeadas por tabuleiros pliopleistocênicos do Grupo Barreiras, que apresentam uma florística bastante típica, caracterizada por ecótipos dos gêneros *Ficus*, *Alchornea*, *Handroanthus* e pela espécie *Tapirira guianensis* Aubl. Sua ocorrência é verificada desde a Amazônia, estendendo-se por toda a Região Nordeste até proximidades do Rio São João, no Estado do Rio de Janeiro.

➤ Formações Pioneiras Influência Fluvial/Lacustre – Essa formação compreende uma vegetação de primeira ocupação de caráter edáfico, que ocupa terrenos rejuvenescidos pelas seguidas deposições dos solos ribeirinhos aluviais e lacustres. São comunidades vegetais das planícies aluviais que refletem os efeitos das cheias dos rios nas épocas chuvosas, ou, então, das depressões alagáveis todos os anos. Nos terrenos aluviais, conforme a quantidade de água empoçada e ainda o tempo que ela permanece na área, as comunidades vegetais vão desde a pantanosa criptofítica até os terraços alagáveis temporariamente de terófitos, geófitos e caméfitos, onde, em muitas áreas, as *Arecaceae* dos gêneros *Euterpe* e *Mauritia* se agregam, constituindo o açazal e o buritizal da Região Norte do Brasil.

➤ Pecuária (Pastagens) – A cobertura vegetal é composta de gramíneas e/ou leguminosas, cuja altura pode variar de alguns decímetros a alguns metros, sendo tais áreas destinadas ao pastoreio do gado, formadas mediante plantio de forragens perenes ou aproveitamento e melhoria de pastagens naturais. O mapeamento de pastos nas escalas regional e exploratória não é fácil, devido à dificuldade de separá-los da agricultura cíclica, sendo mais conveniente englobá-los no item “agropecuária”.

➤ Savana Arborizada – Este subgrupo, que pode ser de formação natural ou antropizada, caracteriza-se por apresentar uma fisionomia nanofanerofítica rala e outra hemicriptofítica graminóide contínua, sujeito ao fogo anual. As sinúsias dominantes formam fisionomias ora mais abertas (Campo Cerrado), ora com a presença de um *scrub* adensado, constituindo o Cerrado propriamente dito. Já sua composição florística, apesar de semelhante à da Savana Florestada, possui espécies dominantes que caracterizam os ambientes de acordo com o espaço geográfico ocupado.

➤ Savana Florestada – Esse subgrupo de formação apresenta fisionomia típica e característica restrita a áreas areníticas lixiviadas com solos profundos, ocorrendo em um clima tropical eminentemente estacional. Possui sinúsias lenhosas de micro e nanofanerófitos, tortuosos com ramificação irregular, providos de macrófitos

esclerófitos perenes ou semidecíduos, ritidoma esfoliado corticoso rígido ou córtex maciamente suberoso, com órgãos de reserva subterrâneos ou xilopódios, cujas alturas variam de 6 a 8 m, sendo que em alguns locais, apresenta sinúsias lenhosas de meso e microfanerófitos com altura média superior aos 10 m.

➤ Savana Gramíneo-Lenhosa – Neste subgrupo, quando natural, a fisionomia prevalecente é a dos gramados entremeados por plantas lenhosas raquílicas, que ocupam extensas áreas dominadas por hemicriptófitos e que quando manejados através do fogo ou pastoreio, vão sendo substituídos por geófitos que se distinguem por apresentar colmos subterrâneos, portanto mais resistentes ao pisoteio do gado e ao fogo.

➤ Savana Parque – Esse subgrupo de formação é constituído basicamente por um estrato graminóide, integrado por hemicriptófitos e geófitos de florística natural ou antropizada, entremeadado por nanofanerófitos isolados. Enquanto a Savana Parque de natureza antrópica é encontrada em todo o País, a natural ocorre algumas vezes com feição de campos litossólicos e/ou rupestres, sendo que em áreas encharcadas de depressões periodicamente inundadas, ocorrem as tipologias naturais de Cerrado-de-Pantanal.

➤ Vegetação Secundária – Compreende todas as comunidades secundárias brasileiras, compreendendo as áreas onde houve intervenção humana para o uso da terra, seja com finalidade mineradora, agrícola ou pecuária, descaracterizando a vegetação primária. A Vegetação Secundária que surge reflete sempre, e de maneira bastante uniforme, os parâmetros ecológicos do ambiente, de forma que a sucessão vegetal obedece ao ritmo de recuperação do solo degradado pela ação predatória do homem.

2.1.7. Uso do Solo

O Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia - ZSEE-RO pode ser entendido como um instrumento de planejamento, onde se buscou dividir o estado em zonas de acordo com as características de uso de cada região que o compõe, considerando suas potencialidades e restrições. Seu objetivo principal foi orientar a implementação de medidas de elevação do padrão socioeconômico das populações, por meio de ações que levassem em conta as potencialidades, as restrições de uso e a

proteção dos recursos naturais, permitindo que fosse realizado o pleno desenvolvimento das funções sociais e do bem-estar de todos, de forma sustentável (RONDÔNIA, 2007).

O ZSEE-RO foi aprovado pela Lei Complementar nº 233, de 06 de junho de 2000 (RONDÔNIA, 2000), constituindo-se no principal instrumento de planejamento da ocupação e controle de utilização dos recursos naturais do estado, sendo esta lei posteriormente alterada pela Lei Complementar nº 312, de 06 de maio de 2005 (RONDÔNIA, 2005).

A Figura 10 permite a identificação de cada uma das zonas que compõem o ZSEE-RO, na área da bacia hidrográfica do rio Machado.

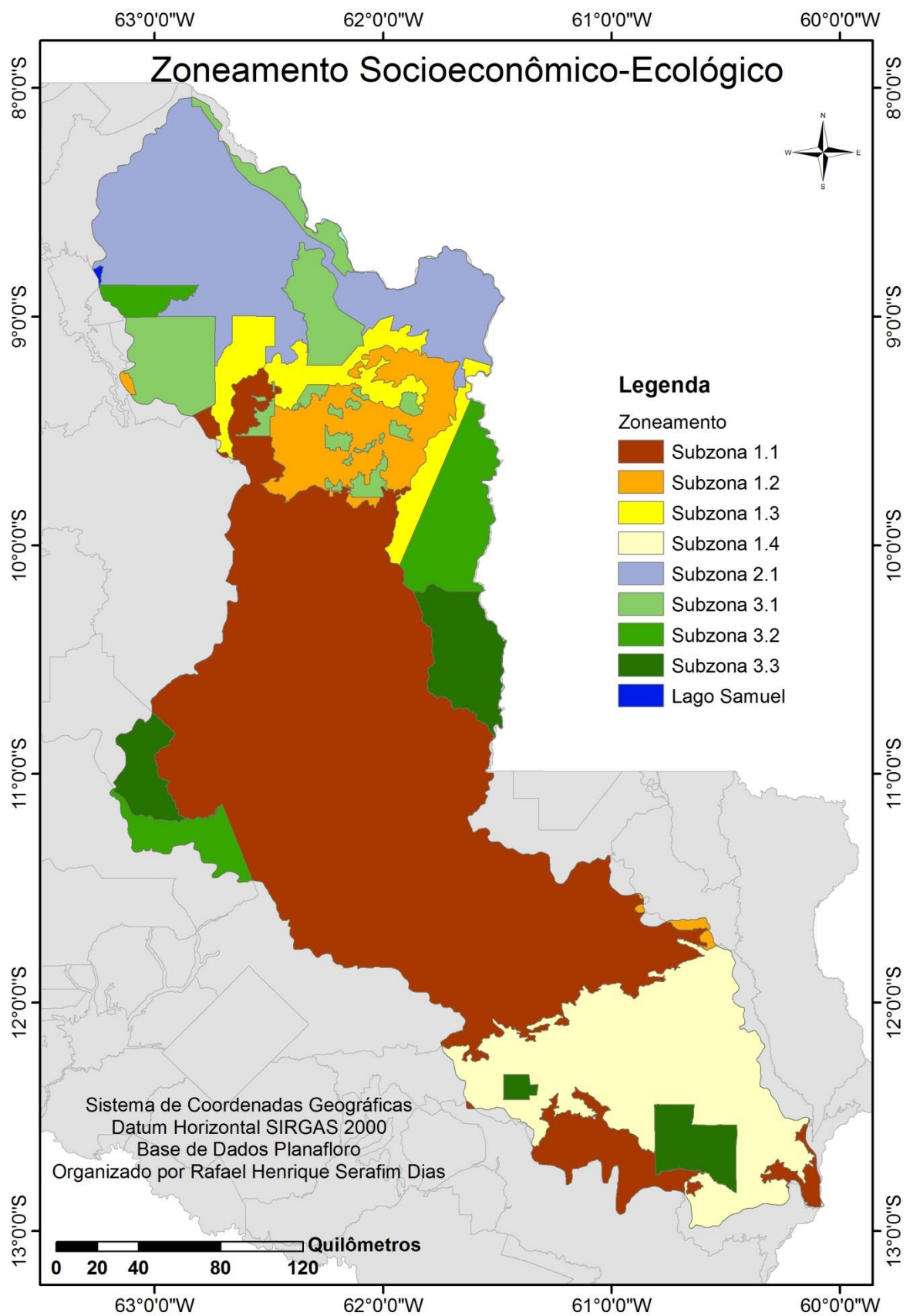


Figura 10. Zoneamento Socioeconômico-Ecológico da bacia do rio Machado.

A descrição da legenda da Figura 10 foi baseada na Lei Complementar Nº 233, de 06 de junho de 2000, que dispõe sobre o Zoneamento Socioeconômico - Ecológico do Estado de Rondônia - ZSEE.

A Zona 1, cujas áreas são destinadas ao uso com fim agropecuário, agroflorestal e florestal, abrange as seguintes subzonas:

➤ Subzona 1.1 - Áreas com grande potencial e dotadas de infraestrutura para o desenvolvimento urbano (maiores densidades populacionais), bem como para o desenvolvimento rural (potencial agropecuário), com áreas de alto custo de preservação e baixa vulnerabilidade a erosões.

➤ Subzona 1.2 - Áreas com cobertura florestal em acelerado processo de ocupação e desmatamentos descontrolados, com médio potencial social e agrícola, bem como baixa e média vulnerabilidade à erosão.

➤ Subzona 1.3 - Áreas de expressivo potencial florestal, com predomínio da cobertura vegetal, em processo de ocupação incipiente e descontrolado, com aptidão agrícola predominantemente restrita e médio potencial erosivo.

➤ Subzona 1.4 - Áreas com infraestrutura propícia a exploração de terras, de alta vulnerabilidade a erosão, com restrições a conversão da cobertura vegetal em função da relevância dos ecossistemas na preservação dos recursos hídricos, ressaltando-se seu potencial para hidrelétricas de pequeno porte.

A Zona 2, que compreende as áreas destinadas à conservação dos recursos naturais, passíveis de uso sob manejo sustentável, possui duas subzonas, sendo uma delas, integrante da bacia em estudo, descrita abaixo.

➤ Subzona 2.1 - Áreas de baixo e médio custo de preservação, com inexpressiva conversão florestal e grande possibilidade de valorização das terras devido o alto potencial de exploração de produtos madeireiros e não madeireiros. Também possui setores de alto potencial para o ecoturismo e para atividades de pesca.

A Zona 3 compreende as áreas institucionais, constituídas pelas Unidades de Conservação de uso restrito e controlado, dividindo-se nas seguintes subzonas:

➤ Subzona 3.1 - Áreas constituídas pelas unidades de conservação de uso direto.

➤ Subzona 3.2 - Áreas formadas pelas unidades de conservação de uso indireto.

➤ Subzona 3.3 - Áreas formadas pelas terras indígenas.

2.2. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

A análise do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Machado teve como principal ferramenta o Processamento Digital de Imagens – PDI. O processamento digital de imagens de sensoriamento remoto, segundo Crósta (1992), compreende as técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para determinados fins. As etapas do PDI abordadas nesta pesquisa foram: Aquisição de imagens, pré-processamento, realce de imagens e análise de imagens.

As imagens de satélite utilizadas foram adquiridas gratuitamente no sítio eletrônico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. As referidas imagens são dos satélites LANDSAT-1, sensor MSS; LANDSAT-2, sensor MSS; LANDSAT-5, sensor TM e LANDSAT-8, sensor OLI. Inicialmente, a proposta compreendia a elaboração de mosaicos da área de estudo, em intervalos de oito em oito anos, como forma de acompanhar as alterações no uso e ocupação do solo na bacia, ou seja, nos anos de 1973, 1981, 1989, 1997, 2005, 2013 e uma imagem recente, do ano de 2015. Destaca-se que o ano de 1973 foi definido como início da série histórica, pois as imagens da área de estudo passaram a ser disponibilizadas nesse período.

Como pode ser observado na Tabela 1, foram elaborados mosaicos da bacia hidrográfica do rio Machado para sete diferentes períodos. Cabe destacar que para a elaboração dos mapas, foi utilizado o datum SIRGAS 2000, que desde 25 de fevereiro de 2015 é o único sistema geodésico de referência oficialmente adotado no Brasil (IBGE, 2015b).

Uma observação a se fazer é que a presença de nuvens e a ausência de imagens de boa qualidade nos períodos previamente determinados inviabilizaram a elaboração dos mosaicos conforme proposto. Assim sendo, a aquisição de imagens para elaboração dos mosaicos tomou como referência os anos propostos, tendo sido adquiridas também imagens de anos próximos para determinadas órbitas/pontos nos casos de indisponibilidade. A Tabela 1 relaciona os dados dos satélites, sensores, períodos dos mosaicos, bem como as órbitas, pontos, composições coloridas e datas das imagens utilizadas.

Tabela 1. Informações das imagens utilizadas na geração dos mosaicos.

<i>Satélite</i>	<i>Sensor</i>	<i>Mosaico</i>	<i>Composição Colorida</i>	<i>Órbita/Ponto</i>	<i>Data</i>
LANDSAT 1	MSS	1973/1975/1976	RGB-465	246/68	10/08/1973
				246/69	23/09/1975
				247/67	29/08/1973
				247/68	24/07/1973
				247/69	24/07/1973
				248/66	07/07/1973
				248/67	25/07/1973
				248/68	25/07/1973
				249/66	17/05/1976
				249/67	28/06/1975
249/68	08/07/1973				
LANDSAT 2	MSS	1979/1980/1981	RGB-465	246/68	23/09/1980
				246/69	26/07/1981
				247/67	09/07/1981
				247/68	01/08/1980
				247/69	09/07/1981
				248/66	13/09/1979
				248/67	13/09/1979
				248/68	13/09/1979
				249/66	12/04/1981
				249/67	12/04/1981
249/68	12/04/1981				
LANDSAT 5	TM	1989/1990	RGB-543	229/69	19/07/1989
				230/68	10/07/1989
				230/69	13/07/1990
				231/66	17/07/1989
				231/67	17/07/1989
				231/68	17/07/1989
				232/66	24/07/1989
				232/67	08/07/1989
				232/68	08/07/1989
LANDSAT 5	TM	1996/1997/1999	RGB-543	229/69	09/07/1997
				230/68	13/07/1996
				230/69	30/08/1996
				231/66	29/07/1999
				231/67	29/07/1999
				231/68	07/07/1997
				232/66	28/06/1997
				232/67	14/07/1997
232/68	28/06/1997				

Continua...

Tabela 1. Continuação.

<i>Satélite</i>	<i>Sensor</i>	<i>Mosaico</i>	<i>Composição Colorida</i>	<i>Órbita/Ponto</i>	<i>Data</i>
LANDSAT 5	TM	2005	RGB-543	229/69	16/08/2005
				230/68	22/07/2005
				230/69	22/07/2005
				231/66	13/07/2005
				231/67	13/07/2005
				231/68	13/07/2005
				232/66	02/06/2005
				232/67	05/08/2005
				232/68	20/07/2005
LANDSAT 5	TM	2010/2011	RGB-543	229/69	16/07/2011
				230/68	23/07/2011
				230/69	23/07/2011
				231/66	27/07/2010
				231/67	25/06/2010
				231/68	25/06/2010
				232/66	06/08/2011
				232/67	06/08/2011
				232/68	06/08/2011
LANDSAT 8	OLI	2015	RGB-654	229/69	27/07/2015
				230/68	18/07/2015
				230/69	02/07/2015
				231/66	25/07/2015
				231/67	25/07/2015
				231/68	11/09/2015
				232/66	16/07/2015
				232/67	30/06/2015
				232/68	01/08/2015

Após a aquisição das imagens, na etapa de pré-processamento, foi realizado o registro ou georreferenciamento das imagens e posterior elaboração dos mosaicos para os períodos estudados. Para a realização desta etapa do PDI, foi utilizado o software *ArcGIS for Desktop Advanced (formerly ArcInfo) One Year Timeout for Home Use License*, versão 10.3.

Segundo Santos et al. (2010), o objetivo da técnica de realce é a modificação dos níveis de cinza ou dos valores digitais de uma imagem, através de funções matemáticas, de modo a destacar certas informações espectrais, melhorando sua qualidade visual. Como foram utilizadas órbitas e pontos de diferentes períodos na elaboração de

mosaicos, foram utilizadas ferramentas disponibilizadas pelo software ArcGIS para o realce das imagens.

Na etapa de análise das imagens, que está diretamente relacionada à extração de informações de imagens, foi realizada sua classificação. Segundo Carvalho (2003), a classificação consiste em um processo de extração de informações da imagem, através de sua divisão em classes, podendo ser realizada de forma supervisionada, a partir da coleta de amostras na imagem, e não supervisionada, onde o programa utiliza de propriedades estatísticas para sua classificação.

Para a realização do processo de classificação de imagens, foi utilizado o software SPRING, versão 5.2.7 (CÂMARA et al., 1996), disponibilizado gratuitamente pelo INPE.

O método de classificação utilizado foi o da máxima verossimilhança – MAXVER, com treinamento supervisionado. Esta técnica de classificação multiespectral *pixel a pixel* é uma das mais comuns e considera a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos (CÂMARA et al., 1996). Foi adotado um limiar de aceitação de 100%. Além disso, como forma de monitorar a classificação errônea dos pixels, foi gerada uma matriz de classificação para cada uma das imagens, sendo as informações consideradas mais relevantes apresentadas ao longo do presente trabalho.

Para o processo de classificação supervisionada, que objetivou permitir a visualização e mensuração do uso dado ao solo na bacia do rio Machado, foram estabelecidas quatro classes de análise, que são: Água, Vegetação Arbórea, Vegetação Rasteira e Área Antropizada. Uma breve descrição de cada classe é indicada a seguir:

- Água: Compreende o rio Machado e seus afluentes, bem como pequenos cursos d'água existentes na área da bacia. Destaca-se que o comportamento espectral do solo saturado é similar ao da água, implicando em confusão na classificação.
- Vegetação Arbórea: É composta pela vegetação de cor verde mais escura, de textura geralmente rugosa e formato irregular, que indica uma composição predominante de vegetação primária ou secundária mais antiga.
- Vegetação Rasteira: Compreende a vegetação de tom verde mais claro, de textura mais lisa e forma regular/geométrica em parte dos casos, indicando uma

vegetação mais jovem, proveniente de culturas agrícolas, reflorestamentos ou áreas em processo de regeneração natural.

- Área Antropizada: Engloba as áreas com solo exposto, tanto rural quanto urbana, geralmente na cor magenta, de textura lisa e forma regular, bem como as áreas impermeabilizadas.

A modelagem do terreno no presente estudo foi realizada com imagens geradas pela Embrapa, a partir de uma base de dados numéricos de relevo e da topografia do Brasil, obtidos pela nave espacial americana durante a missão conhecida como *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM*, cuja resolução espacial é de 90 metros (MIRANDA, 2015). Tais imagens foram utilizadas na elaboração do mapa altimétrico e de declividade da bacia do rio Machado.

2.3. VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

2.3.1. Análise Morfométrica

A caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Machado foi realizada a partir da extração de informações do *shapefile* da bacia hidrográfica, dos cursos d'água e da representação do relevo do terreno, disponibilizados gratuitamente pela Agência Nacional de Águas – ANA, Ministério do Meio Ambiente – MMA e Embrapa. Para a extração de tais informações, foi utilizado o software ArcGIS, versão 10.3.

A partir da extração dos dados referentes à bacia, estes foram transferidos para o software Excel e a partir das equações determinadas na literatura, foram mensurados os índices necessários à caracterização morfométrica da bacia, conforme descrito a seguir.

2.3.1.1. Forma da bacia

Dentre os índices propostos para a caracterização da forma de uma bacia hidrográfica, estão o fator de forma, o coeficiente de compacidade e o índice de conformação. Segundo Porto et al. (1999), estes índices são utilizados para a comparação de bacias e também para a composição de parâmetros das equações empíricas de correlações entre vazões e características físicas das bacias.

A forma superficial apresentada por uma bacia hidrográfica influencia significativamente o escoamento superficial, possuindo grande relevância na determinação do hidrograma resultante de uma determinada chuva, bem como na determinação do tempo de concentração, que representa o tempo necessário para que toda a água precipitada alcance o exutório, ou seja, é o tempo que leva para que a água que choveu no ponto mais distante da bacia hidrográfica possa chegar até sua foz.

2.3.1.1.1 Coeficiente de Compacidade - K_c

Representa a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia, relacionando a forma da bacia com um círculo. Pode ser determinado a partir da seguinte equação:

$$k_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Em que:

P - perímetro da bacia (km);

A - área da bacia (km²).

De acordo com Porto et al. (1999), bacias que possuem um formato mais próximo de um círculo, com K_c igual a 1, convergem o escoamento superficial simultaneamente para um trecho relativamente pequeno do rio principal, com maior potencialidade de produção de picos de enchente elevados.

2.3.1.1.2 Fator de forma – F_f

Também conhecido como fator de Gravellius, é expresso como sendo a razão entre a largura média da bacia (B) e o comprimento axial (L) da mesma, como na equação a seguir:

$$F_f = \frac{B}{L} \quad (2)$$

Sendo que a largura e o comprimento são mensurados Km.

Este índice também indica a maior ou menor tendência à enchentes de uma bacia, pois uma bacia estreita e longa, com F_f baixo, terá menor propensão a enchentes

que outra com mesma área e Ff maior, havendo menor possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda a sua extensão.

2.3.1.1.3 Índice de conformação - Fc

Compara a área da bacia com a área do quadrado de lado igual ao comprimento axial, sendo expresso pela equação:

$$F_c = \frac{A}{L^2} \quad (3)$$

Em que:

A - área (km²);

L - comprimento axial da bacia (km).

2.3.1.2. Sistema de drenagem

No que tange ao sistema de drenagem da bacia, a densidade de drenagem é um dos parâmetros mais relevantes. Segundo Villela e Mattos (1975), este índice pode variar de 0,5 Km.Km⁻², em bacias com baixa drenagem a 3,5 ou mais nas bacias excepcionalmente bem drenadas.

2.3.1.2.1 Densidade de drenagem – Dd

Esse índice denota o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, ou seja, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia, sendo expresso pela relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede (perenes, intermitentes ou temporários) e a área total da bacia.

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \quad (4)$$

Onde:

$\sum L$ ou L_T - comprimento total dos rios da bacia (km);

A - área da bacia (km²).

2.3.1.3. Relevo da bacia

2.3.1.3.1 Declividade do curso d'água principal

A declividade do curso d'água é responsável pela velocidade de escoamento da água de um rio. O cálculo dessa declividade ou inclinação entre dois pontos extremos do talvegue principal, pode ser realizado pelos métodos da média aritmética (S1), compensação de área (S2) e da média harmônica (S3), conforme as equações apresentadas a seguir:

$$S_1 = \frac{\Delta H}{L} \quad (5)$$

em que:

ΔH – variação da cota entre os dois pontos extremos (m);

L – comprimento do rio principal (m).

$$S_2 = \frac{2.A_{bp}}{L^2} \quad (6)$$

em que:

A_{bp} – área abaixo do perfil (m²);

L – comprimento do rio principal (m).

$$S_3 = \left(\frac{L}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{\sqrt{I_i}}} \right)^2 \quad (7)$$

Em que:

L – comprimento do rio principal (m);

L_i – comprimento em cada um dos trechos (m);

I_i : declividade em cada um dos n trechos (m.m⁻¹).

Segundo Garcez e Alvarez (1988), o valor de S1 representa a declividade média obtida a partir da diferença total de elevação do leito pela extensão territorial do curso d'água entre dois pontos; o valor de S2 determina uma área entre a linha de declividade e o eixo das abcissas, que apresenta área igual à compreendida entre a curva do perfil e o mesmo eixo; o valor de S3 representa a linha de declividade equivalente do álveo, sendo um índice idealizado para indicar o tempo de translação da água ao longo da extensão do perfil longitudinal.

2.3.1.3.2 Declividade média da bacia

A declividade dos terrenos de uma bacia controla em boa parte a velocidade com que se dá o escoamento superficial. Quanto mais íngreme for o terreno, mais rápido será o escoamento superficial, o tempo de concentração será menor e os picos de enchentes maiores.

Assim, a declividade média do terreno pode ser expressa como a variação de altitude entre dois pontos do terreno, em relação à distância que os separa. A partir da elaboração do mapa de declividades no software ArcGIS, as classes de declividade geradas neste tema foram reclassificadas em seis intervalos distintos sugeridos pela EMBRAPA (1979), conforme Tabela 2.

Tabela 2. Classificação da declividade segundo EMBRAPA (1979).

Declividade (%)	Discriminação
0 – 3	Relevo plano
3 – 8	Relevo suave ondulado
8 – 20	Relevo ondulado
20 – 45	Relevo forte ondulado
45 – 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo forte montanhoso

2.3.2. Tempo de Concentração

O tempo de concentração é considerado pela ANA (2009) como o tempo necessário para que toda a água precipitada na bacia hidrográfica passe a contribuir na seção considerada, sendo este um dos elementos que define as características do relevo de uma bacia.

Segundo Farias Júnior e Botelho (2011), existem duas abordagens metodológicas utilizadas para a estimativa do tempo de concentração, sendo a primeira a metodologia direta, que consiste na utilização de dados primários para a estimativa do tempo de concentração, e a segunda a metodologia indireta, que é baseada em informações secundárias provenientes de formulações matemáticas previamente estabelecidas para uma determinada região.

Na presente pesquisa, como foi realizada a classificação de uma série histórica de imagens com vistas a identificar o uso dado ao solo ao longo do tempo, buscou-se utilizar uma formulação para o cálculo do tempo de concentração que levasse em consideração tais características. Dentre as formulações existentes, optou-se pela utilização do método de George Ribeiro, que é descrito por Garcez e Alvarez (1988) como um método de razoável precisão, uma vez que não define o tamanho da área de sua aplicação, considerando em seu cálculo além do comprimento e declividade do talvegue, a relação entre a área recoberta por vegetação e a área total.

Moutinho (2011) apresenta a formulação de George Ribeiro, conforme Equação 8, relacionada a seguir:

$$t_c = \frac{16.L}{(1,05-0,2.p_r).(100.I)^{0,04}} \quad (8)$$

Em que:

L = Comprimento do rio principal da bacia (km);

I = Declividade média da bacia (m.m⁻¹);

pr = Porcentagem da bacia com cobertura vegetal.

2.3.3. Análise de Chuvas Intensas

2.3.3.1. Aquisição de Dados

Para o desenvolvimento da presente pesquisa, as séries históricas dos índices pluviométricos foram obtidos a partir do portal HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas, gerenciado pela Agência Nacional de Águas – ANA. O portal HidroWeb, que opera desde 01 de fevereiro de 2005, disponibiliza um banco de dados com todas as informações coletadas pela rede hidrometeorológica e reúne dados sobre cotas, vazões, chuvas, evaporação, perfil do rio, qualidade da água e sedimentos, permitindo através desses dados, a elaboração de estudos, definição de políticas públicas e avaliação da disponibilidade hídrica (ANA, 2015).

Tendo em vista que a área de estudo é a bacia hidrográfica do Rio Machado, foram identificadas todas as estações pluviométricas instaladas nessa bacia, conforme indicado na Figura 11. Além disso, as informações das estações pluviométricas apresentadas na Figura 11 são descritas na Tabela 3.

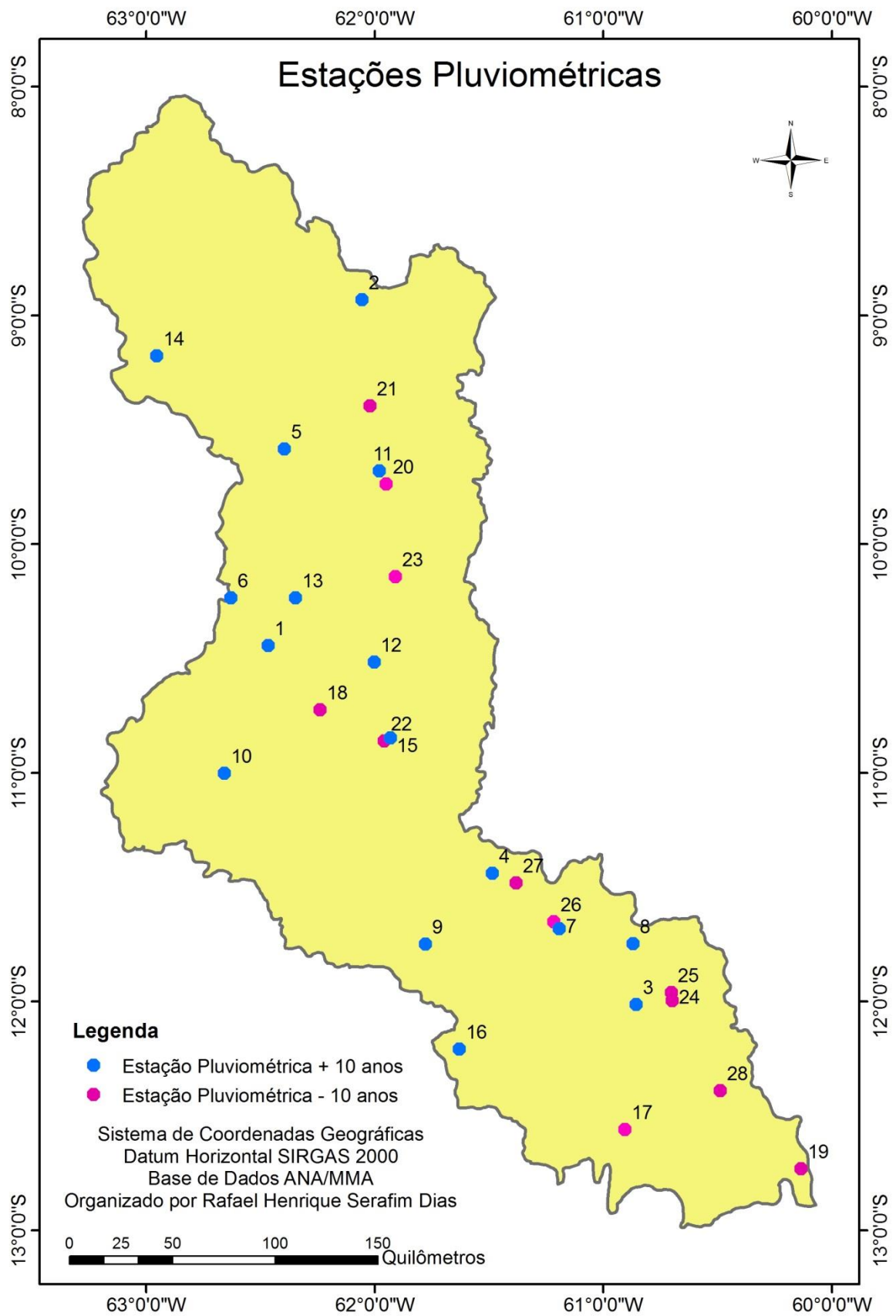


Figura 11. Localização das estações pluviométricas na bacia do rio Machado.

Tabela 3. Estações pluviométricas na bacia hidrográfica do rio Machado.

Número	Código	Nome da Estação	Município	Entidade	Anos (Dados)
1	1062001	Jaru	Jaru	ANA	36
2	862000	Tabajara	Machadinho d'Oeste	ANA	35
3	1160000	Marco Rondon	Pimenta Bueno	ANA	35
4	1161000	Vista Alegre	Cacoal	ANA	35
5	962000	Mineração Oriente Novo	Machadinho d'Oeste	ANA	34
6	1062002	Seringal 70	Jaru	ANA	34
7	1161001	Pimenta Bueno	Pimenta Bueno	ANA	33
8	1160002	Fazenda Flor do Campo	Pimenta Bueno	ANA	30
9	1161002	Rolim de Moura	Rolim de Moura	ANA	30
10	1062003	Mirante da Serra	Mirante da Serra	ANA	29
11	961003	Fábio (Boliche)	Machadinho d'Oeste	ANA	26
12	1061003	Rondoninas (Barrocas)	Ouro Preto do Oeste	ANA	26
13	1062004	Theobroma	Theobroma	ANA	26
14	962001	Mineração Jacundá	Porto Velho	ANA	25
15	1061001	Ji-Paraná	Ji-Paraná	ANA	21
16	1261001	Parecis	Parecis	ANA	13
17	1260006	Chupinguaia	Chupinguaia	ANA	7
18	1062000	Ouro Preto do Oeste	Ouro Preto do Oeste	CEPLAC	6
19	1260000	Vilhena	Vilhena	DEPV	6
20	961004	Fábio Barragem (Ex JP-14)	Ji-Paraná	ANA	-
21	962005	Machadinho d'Oeste - Est. Experimental	Machadinho d'Oeste	SEDAM	-
22	1061004	Ji-Paraná - Ulbra/Iles	Ji-Paraná	SEDAM	-
23	1061005	Rebio Jaru	Machadinho d'Oeste	ANA	-
24	1160003	R-1 Barragem	Pimenta Bueno	ELETROGOES S/A	-
25	1160004	R-2 Jusante	Pimenta Bueno	ELETROGOES S/A	-
26	1161004	Sítio Bela Vista	Pimenta Bueno	ANA	-
27	1161005	Cacoal - Escola Agrícola Alta Raupp	Cacoal	SEDAM	-
28	1260004	R-4 Montante	Pimenta Bueno	ELETROGOES S/A	-

A Tabela 3 apresenta uma relação com 28 estações pluviométricas localizadas na bacia do rio Machado. Porém, conforme pode ser observado, os dados pluviométricos de nove estações não estão disponíveis através do HidroWeb e em três estações o período de dados coletados é inferior a 10 anos, o que inviabiliza sua utilização. Fietz e Comunello (2006), ao estudar a probabilidade de ocorrência de chuva em Mato Grosso do Sul, utilizaram séries históricas com no mínimo 10 anos de dados diários de chuva. Nóia (2013) destaca que a Organização Mundial de Meteorologia recomenda uma série histórica mínima para estudos de chuvas intensas de 30 anos, porém, geralmente são inferiores em decorrência da grande dificuldade na obtenção dos dados pluviométricos, citando o caso de Aron et al. (1987), que utilizaram séries históricas de 10 anos na determinação de curvas regionais de IDF para o Estado da Pennsylvania (EUA); e o caso de Button e Ben-Asher (1983), que utilizaram séries com oito anos de dados na elaboração da equação para a região de Avdat, em Israel. Por essa razão, para a análise dos dados das chuvas intensas, foram utilizados os dados pluviométricos das 16 estações que possuem série histórica com mais de 10 anos de dados coletados.

2.3.3.2. Tratamento dos Dados

Após a aquisição dos dados das estações pluviométricas e identificação das séries históricas com mais de 10 anos de medições registradas, foi realizada a análise de consistência dos dados, que consiste em um controle mínimo de qualidade, correções e eventual preenchimento de falhas.

O método de consistência de dados pluviométricos adotado foi o da “dupla massa” ou “curva dupla acumulativa”. Essa técnica de análise de dados pluviométricos é a mais utilizada no Brasil, sendo possível verificar pela análise de dupla massa, para séries mensais e/ou anuais, o grau de homogeneidade dos dados disponíveis na estação em análise com relação às observações registradas nas estações vizinhas, permitindo a correção dos dados caso seja necessário (ANA, 2014).

2.3.3.3. Distribuição Estatística

É apresentada a seguir uma breve descrição das distribuições empregadas no presente estudo, considerando as observações de trabalhos anteriores, conforme relatado

no Referencial Teórico. Menciona-se que foram utilizadas as distribuições de Gumbel, Log-normal, Gama e Weibull.

2.3.3.3.1. Distribuição Gumbel

A distribuição de Gumbel, também denominada de distribuição de dupla exponencial ou distribuição Fisher-Tippet Tipo I, faz parte dos valores extremos do Tipo I, o qual tem suas caudas em função da constante de Euler.

A função de probabilidades acumuladas, conforme Gumbel (1958) apud Watanabe (2013), é representada pela Equação 9, indicada a seguir:

$$F_X(x) = P\{X < x\} = e^{-e^{-y}} \quad (9)$$

Sendo x o evento que depende de um tempo de recorrência de ser igualado ou superado (Tr), o qual é dado pela Equação 10 e y a variável reduzida de Gumbel dada pela Equação 11.

$$x(Tr) = \beta - \alpha \left\{ \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{Tr} \right) \right] \right\} \quad (10)$$

$$y = \frac{x - \beta}{\alpha} \quad (11)$$

Em que α e β são parâmetros característicos da reta de Gumbel; α representa o parâmetro de escala e β o parâmetro de posição.

A forma assintótica de máximos do Tipo I, de acordo com Naghettini e Pinto (2007), tem grande utilização na análise de frequência de eventos hidrológicos.

2.3.3.3.2. Distribuição Log-Normal

Silvino et al. (2007) relatam que a distribuição log-normal é obedecida por uma amostra quando o logaritmo de seus valores obedecem a distribuição normal, referenciando Clarke (1993), que cita que essa distribuição tem sido largamente utilizada em hidrologia com a finalidade de modelar cheias anuais.

Desta forma, a mesma apresenta a função densidade de uma variável log-normal X é dada pela Equação 12.

$$f_X(x) = \frac{1}{x\sigma_{\ln(X)}\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(X)-\mu_{\ln(X)}}{\sigma_{\ln(X)}}\right]^2\right\}} \text{ para } x > 0 \quad (12)$$

Onde:

$\sigma_{\ln(X)}$ – logaritmo neperiano do desvio padrão da série de dados;

$\mu_{\ln(X)}$ – logaritmo neperiano da média da série de dados.

A distribuição Log-Normal, segundo Tucci (2009), apresenta melhores resultados na modelagem de processos hidrológicos quando comparada com a distribuição normal.

Uma justificativa utilizada por Chow (1954) apud Naghettini e Pinto (2007) para a utilização da distribuição Log-Normal é que os fatores causais de diversas variáveis hidrológicas agem de forma multiplicativa, ao invés de aditiva, e como consequência do teorema central limite da teoria de probabilidades, a soma dos logaritmos desses fatores tende a ser normalmente distribuída.

2.3.3.3.3. Distribuição Gama

O parâmetro de escala η é o responsável pela grande diversidade de formas da densidade Gama, sendo citado por Naghettini e Pinto (2007), que à medida que η decresce, a densidade Gama torna-se cada vez mais positivamente assimétrica; quando η igual a 1 se configura o caso particular em que a distribuição Gama torna-se exponencial; para valores crescentes do parâmetro de forma η , a função densidade Gama torna-se menos assimétrica, com o seu valor modal deslocando-se cada vez mais para a direita e para valores muito elevados de η , a distribuição Gama aproxima-se da forma de uma distribuição Normal. Tais autores citam ainda que Haan (1977) destacou diversas aplicações bem sucedidas da distribuição Gama a alturas de precipitação de durações diárias, semanais, mensais e anuais.

A função densidade de probabilidade desta distribuição é dada pela Equação 13.

$$f_X(x) = \frac{1}{\beta^\vartheta \cdot \Gamma(\vartheta)} \cdot x^{\vartheta-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (13)$$

Onde:

Γ é a função gama, a qual consiste na integral que intercepta a função fatorial para valores inteiros, e β e ϑ parâmetros determinados pela Equações 14 e 15 e dependentes do desvio padrão (s) e média (\bar{x}) da amostra.

$$\beta = \frac{s^2}{\bar{x}} \quad (14)$$

$$\vartheta = \frac{\bar{x}^2}{s^2} \quad (15)$$

2.3.3.3.4. Distribuição Weibull

Pereira (2010) considera a distribuição Weibull muito parecida com a distribuição gama, definindo a distribuição Weibull como uma distribuição contínua, com dois parâmetros positivos, que são o de forma e o de escala.

A distribuição de Weibull é uma derivação da distribuição Assintótica de Valores Extremos. Sua função densidade de probabilidade é dada pela Equação 16.

$$f_X(x) = \lambda \cdot \beta \cdot x^{\beta-1} \cdot e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (16)$$

Os parâmetros λ e β são obtidos associando as Equações 17 e 18, as quais dependem da função gama (Γ), do desvio padrão (s) e média (\bar{x}) da amostra.

$$\left(\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) = \bar{x} \quad (17)$$

$$\left(\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{2}{\beta}} \cdot \left\{ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left[\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \right]^2 \right\} = s^2 \quad (18)$$

Catalunha et al. (2002) citam que há grande utilização da distribuição Weibull na análise hidrológica para eventos extremos, porém, sua utilização ainda é pouco difundida em séries climáticas.

2.3.3.4. Teste de Aderência

Após a aquisição e tratamento dos dados de precipitação das estações localizadas na bacia do rio Machado, foi extraída das séries históricas a altura máxima de chuva de “um dia” para cada ano, constituindo, dessa forma, a série de chuvas máximas anuais de cada estação. Esses dados foram organizados em ordem decrescente, sendo calculados a média aritmética e o desvio-padrão da amostra.

Na geração das equações IDF, tornou-se necessário verificar se os eventos pluviométricos máximos anuais registrados nos dados coletados se ajustariam a alguma das distribuições estatísticas escolhidas. Para tanto, se utilizou um teste de aderência. As distribuições testadas, descritas anteriormente, foram as distribuições Log-Normal, Gama, Gumbel e Weibull.

Dentre os testes de aderência indicados por Naghettini e Pinto (2007), optou-se pelo teste Kolmogorov-Smirnov (KS), que é um teste não paramétrico que tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica, de variáveis aleatórias contínuas, sendo o mesmo conservador quanto à magnitude do erro do tipo I.

Assim, o teste Kolmogorov-Smirnov para as distribuições analisadas, seguiu-se, primeiramente, pela afirmação da hipótese nula (H_0), de que a distribuição empírica, ou seja, distribuição dos valores amostrais pode ser ajustada pelo modelo de distribuição estatística, ou, secundariamente, pelo enunciado da hipótese alternativa (H_1), onde a assertiva da hipótese nula não seria verdadeira, ou seja, a distribuição dos dados analisados não corresponderia à distribuição estatística analisada.

No teste de hipótese, foi utilizado um nível de significância (α) de 0,05 para obter um valor reduzido do erro do tipo I, ou seja, minimizar as chances para aproximadamente 95% de descartar a hipótese nula sendo a mesma verdadeira (BORGES; FERREIRA, 2003). O critério de decisão foi a comparação dos parâmetros valor-p e α , onde para $\alpha >$ valor-p, rejeita-se a hipótese H_0 em favor de H_1 .

2.3.3.5. Análise de resíduos

A eficiência das equações IDF foi verificada a partir da utilização do coeficiente de determinação (r^2). Já os resíduos produzidos pelas diferenças na magnitude dos dados pluviométricos extremos desagregados e modelados pela

distribuição Gumbel (x_M), bem como os dados estimados pelas equações IDF confeccionadas neste estudo (x_E), foram verificados a partir da utilização da análise de erro padrão médio – EPM (Equação 19), do erro normalizado médio – ENM (Equação 20) e do erro multiplicativo médio - EMM (Equação 21). As equações apresentadas a seguir foram apresentadas no trabalho de Moog e Jirka (1998) apud Souza (2012).

$$EPM = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n \frac{(x_E - x_M)_i^2}{N} \right]} \quad (19)$$

$$ENM = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_E - x_M}{x_M} \right)_i \quad (20)$$

$$EMM = e^{\left[\frac{\sum_{i=1}^n |\ln(x_E/x_M)_i|}{n} \right]} \quad (21)$$

2.3.3.6. Elaboração das Equações IDF

A partir desses valores, tornou-se possível analisar estatisticamente a probabilidade e o período de retorno das chuvas intensas, utilizando-se a distribuição de Gumbel.

A variável reduzida de Gumbel (y) foi obtida pela equação abaixo, como preconizado por Gumbel (2004).

$$y = \frac{s_y}{s_x} \left[x_i - \left(x_m - s_x \frac{y_m}{s_y} \right) \right] \quad (22)$$

Onde:

s_x – desvio-padrão da série;

x_i – valor de um elemento da amostra;

x_m – média da amostra da série anual finita de n valores;

s_y – desvio-padrão, valor tabelado;

y_m – média da variável reduzida (y), a qual é tabelada em função do número de dados da amostra.

O período de retorno - T_r , definido como o intervalo médio, em anos, em que um valor qualquer de chuva é igualado ou superado pelo menos uma vez, é estimado pela equação abaixo, sendo tal expressão função da base dos logaritmos neperianos (e).

$$T_r = \frac{1}{1 - e^{-e^{-y}}} \quad (23)$$

Em que:

T_r – período de retorno (anos);

y – variável reduzida de Gumbel.

Para que os dados apresentassem as mesmas características do papel log-probabilístico, conhecido também como papel de Gumbel, foram plotados em um gráfico, de forma que os pontos correspondentes às alturas máximas de chuva (p) ficassem na ordenada em escala aritmética, e o período de retorno (anos) correspondente na abscissa em escala logarítmica-probabilística.

Após a plotagem dos dados no gráfico, buscou-se ajustar uma reta que compreendesse a amplitude dos dados analisados, de forma a obter um coeficiente de ajuste aceitável. Assim tornou-se possível estimar, para diversos períodos de retorno, as chuvas máximas de “um dia”, podendo até mesmo extrapolar informações para períodos de retorno maiores do que os contidos no intervalo desses dados.

Depois de obtidas as alturas das chuvas para os períodos de 2 a 100 anos, estimou-se as prováveis intensidades máximas médias para todas as durações de chuva de 5 minutos a 24 horas, por meio da desagregação de chuva diária, sendo para tal procedimento utilizado os quocientes das relações médias a nível nacional obtidos por CETESB (1979), explicitado em Tucci *et al.* (2004).

Ao obter as informações de alturas máximas para os períodos e durações pretendidos, foram geradas as equações Intensidade-Duração-Frequência - IDF da bacia do rio Machado por meio do estabelecimento das constantes - K , a , b e c - pelo método da redução dos erros mínimos quadrados usando buscas com algoritmos genéticos, para a equação IDF geral, apresentada abaixo. A Equação 24, segundo Villela e Mattos (1975) é o modelo matemático mais utilizado para expressar a relação IDF da precipitação.

$$i_m = \frac{K.T_r^a}{(t+b)^c} \quad (24)$$

Onde:

i_m – intensidade máxima média de precipitação, mm.h⁻¹;

K, a, b, c – parâmetros relativos à localidade;

t – tempo de duração da chuva (min);

Tr – período de retorno (anos).

A escolha do período de retorno da tormenta de um projeto indica a determinação de um risco aceitável para a obra desejada, sendo que tal parâmetro está associado ao custo da obra, uma vez que um nível de segurança alto para a obra exige um custo elevado, havendo em sua definição uma tarefa carregada de subjetividade, o que torna necessário um balanceamento de custos e benefícios vinculados ao projeto em questão (SÃO PAULO, 2012, v. 2). Segundo Arndt (2009), os períodos de retorno (Tr) para projetos de drenagem, em geral, são de 2 anos para áreas residenciais, 5 anos para áreas comerciais e 20 anos para canais de drenagem urbanos.

CAPÍTULO 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MACHADO

Na bacia do rio Machado, a ocupação do solo se deu inicialmente no entorno da BR-364 e na região central do estado, especialmente na área dos atuais municípios de Ji-Paraná, Ouro Preto do Oeste, Presidente Médici, Jaru e Teixeiraópolis, como pode ser observado na Figura 12. Esta constatação também é destacada por Binsztok et al. (2011), ao citarem que o centro do atual estado de Rondônia pode ser considerado uma região precursora de projetos de Reforma Agrária, particularmente no eixo ao longo da BR-364. Além dos municípios da região central do estado, no entorno da BR-364 também foi possível observar uma ocupação na área dos atuais municípios de Pimenta Bueno e Vilhena.

A Figura 12, apresentada a seguir, permite a visualização da situação do processo de ocupação na bacia hidrográfica do rio Machado, maior bacia do estado, na metade da década de 1970.

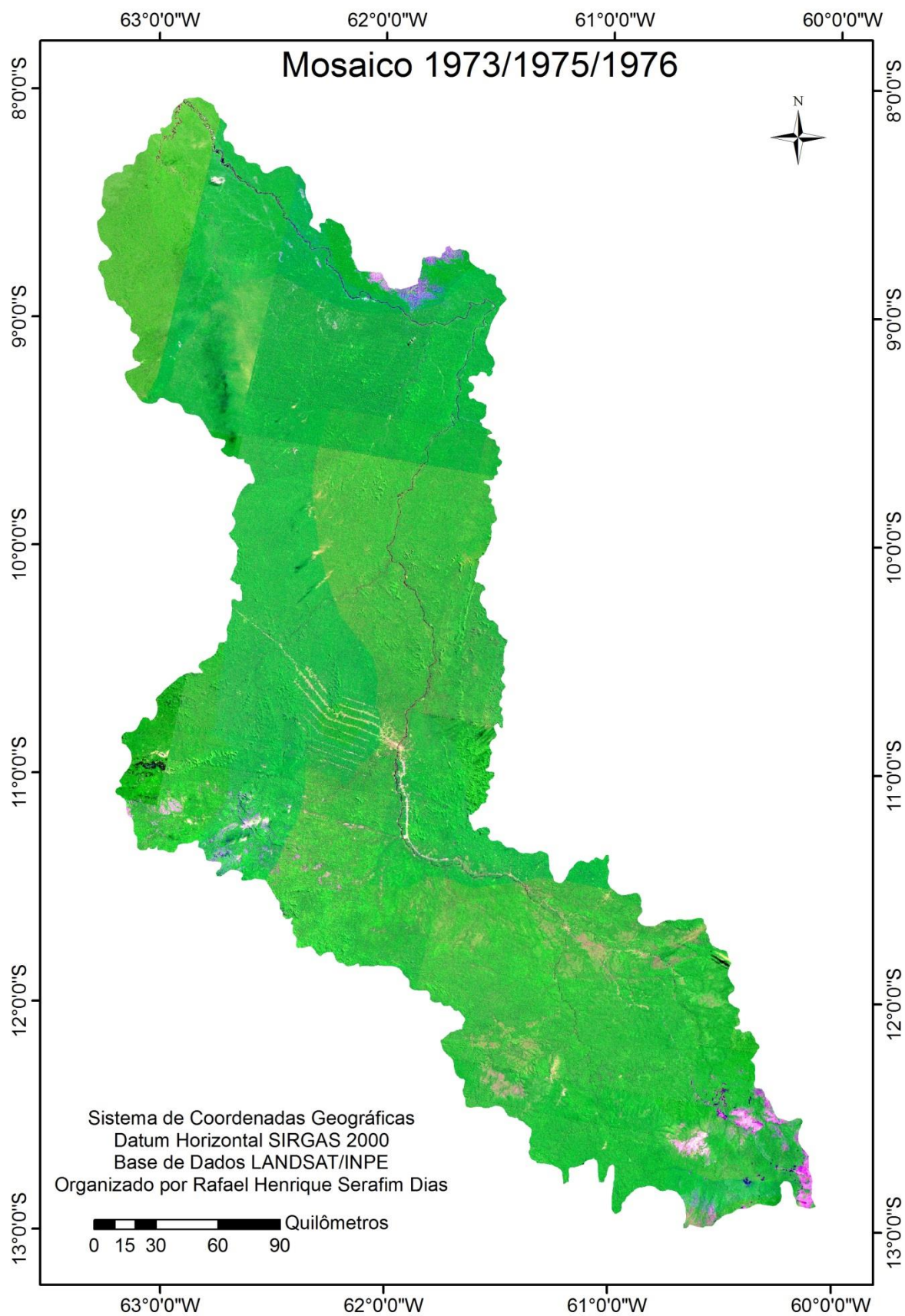


Figura 12. Mosaico da bacia hidrográfica do rio Machado com imagens de 1973, 1975 e 1976.

Através dos PICs, a população do até então Território Federal do Guaporé, passou a ter um crescimento bastante expressivo. Segundo Turchi (1980), enquanto o censo de 1970 mostrou uma população de 116.620 habitantes na área do atual estado de Rondônia, a Secretaria de Planejamento do Território indicou que em 1973 chegou ao território uma média de 100 famílias por mês, sendo esse fluxo intensificado em 1974, registrando-se em 1976 a entrada da ordem de 900 famílias por mês e estimando a população nesse ano em 450.000 habitantes. Tais dados demonstram que entre 1970 e 1976, ou seja, em um período de seis anos, a população do estado teve um acréscimo de quase 400%. Além disso, o fluxo migratório observado no ano de 1976 foi nove vezes maior que em 1973.

Comparando a Figura 12 com a Figura 13, pode-se observar que houve uma alteração visivelmente expressiva entre a metade da década de 1970 e o início da década de 1980. Na Figura 13, verifica-se que há uma intensificação da ocupação no centro do estado, que se expande para outros municípios próximos, bem como dos municípios localizados próximos à BR-364, citando-se os municípios atualmente conhecidos como Ji-Paraná, Ouro Preto do Oeste, Presidente Médici, Jaru, Teixeirópolis, Theobroma, Cacoal, Rolim de Moura, Espigão d'Oeste, Pimenta Bueno, Vilhena, São Felipe d'Oeste, Primavera de Rondônia, Santa Luzia d'Oeste, Parecis, Castanheiras e outros onde o processo de ocupação é menos perceptível.

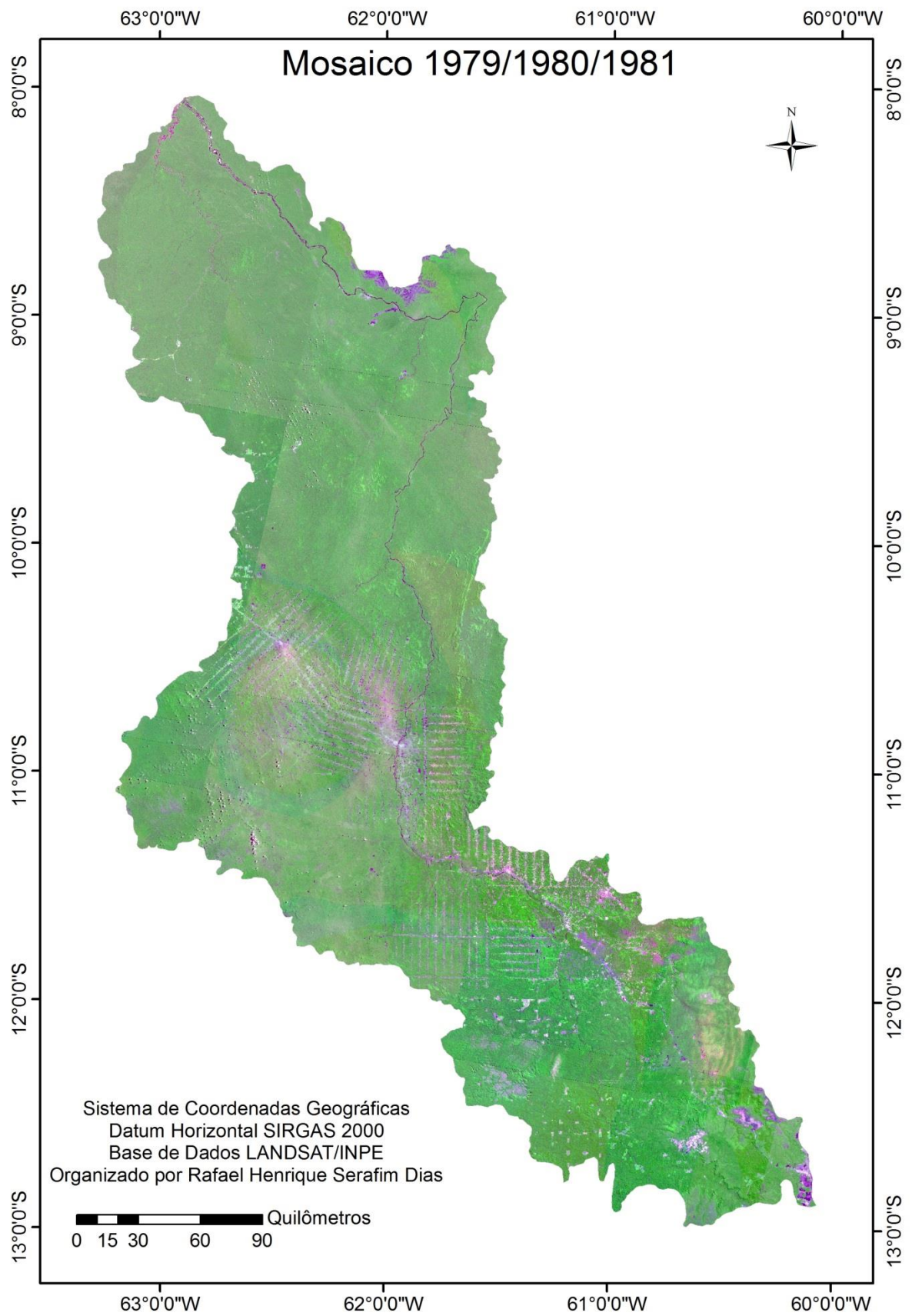


Figura 13. Mosaico da bacia hidrográfica do rio Machado com imagens de 1979, 1980 e 1981.

Turchi (1980) relata que a necessidade de disciplinar a ocupação da terra, diante do fluxo contínuo de famílias que precisavam ser assentadas, transformou Rondônia na maior área de colonização oficial do país, destacando que até o ano de 1979, haviam sido implantados no Território sete Projetos de Colonização Dirigida. Os dados de tais projetos, apresentados pela autora, são indicados na Tabela 4.

Tabela 4. Projetos federais de colonização em Rondônia, 1979.

Projeto	Área Total (ha)	Número de Famílias Assentadas		
		Até 1978	Previsão 1979	Objetivo Final – 1980
Ouro Preto	512.585	4.414	719	5.133
Gy-Paraná	486.137	3.922	834	4.755
Paulo de A. Ribeiro	293.580	2.463	511	2.974
Adolpho Rohl	413.552	2.247	500	4.341
Sidney Girão	60.000	485	15	500
Marechal Dutra	494.661	2.220	703	4.520
Burareiro	304.925	731	203	1.214
TOTAL	2.565.440	16.482	3.485	23.437

Fonte: INCRA PO, 1978 apud TURCHI, 1980.

Com base na Tabela 4, apresentada por Turchi, verifica-se que os setes Projetos de Colonização Dirigida no território objetivavam o assentamento de 23.437 famílias até 1980, porém, conforme mencionado pela mesma autora, este número era insuficiente, uma vez que em 1977 já havia 30.000 famílias a espera de lotes.

Pereira (1997), baseado em dados dos relatórios do INCRA, constatou que o estado de Rondônia, em 1986, compreendia 80% da área total dos projetos de colonização e 88,1% da área dos projetos de assentamento rápido na Amazônia Legal.

Na Figura 14, observa-se uma ocupação bastante consolidada na área do estado compreendida pela bacia hidrográfica do rio Machado, sendo possível identificar a existência de determinado padrão no processo de loteamento e abertura de estradas adotado pelo INCRA. Tal padrão de desmatamento, conhecido como espinha de peixe, pode ser avaliado na Amazônia Legal como um dos principais padrões de ocupação do uso da terra (METZGER, 2001 apud PRIST, 2011). O padrão de desmatamento espinha de peixe, segundo Saito (2011), é caracterizado por possuir manchas grandes alongadas e lineares com ramificações semelhantes à vértebra de peixe, bem como média densidade.

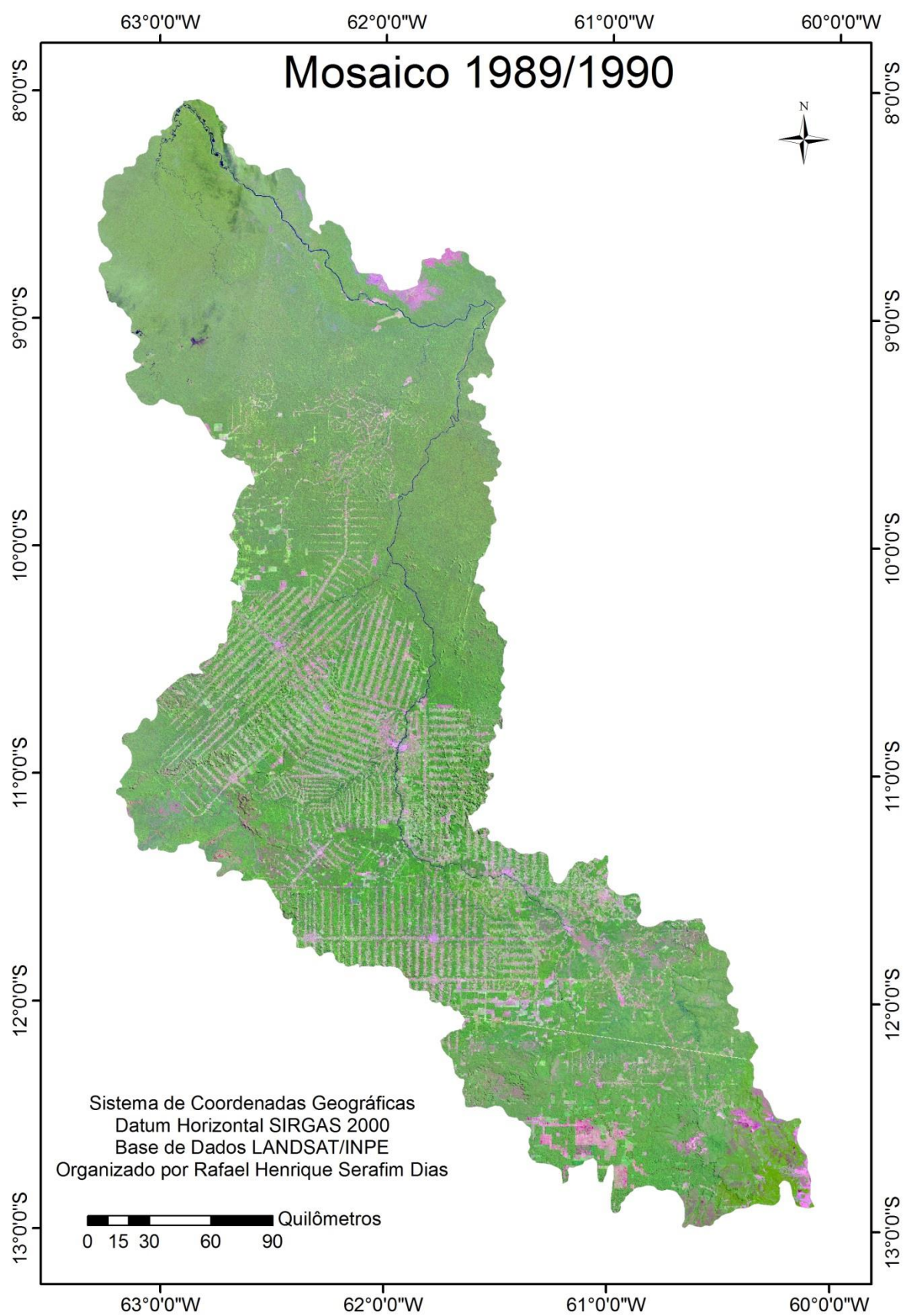


Figura 14. Mosaico da bacia hidrográfica do rio Machado com imagens de 1989 e 1990.

Além disso, já é possível identificar na Figura 14 a estruturação urbana de algumas das cidades que integram a bacia, como a cidade de Ji-Paraná, Ouro Preto, Jaru, Presidente Médici, Cacoal, Pimenta Bueno, Rolim de Moura, Nova Brasilândia do Oeste e Vilhena.

Miranda (1987) relata que os vinte anos de programa de colonização resultou em uma ocupação que transformou Rondônia no espaço mais expressivo de mudanças econômicas, sociais e políticas na região. Destaca ainda que a dinâmica do fluxo migratório originou, paralelamente ao processo dirigido, uma busca espontânea por terras nas áreas destinadas à colonização, ocasionando um extravasamento pela ocupação dos limites dos PICs, que por sua vez deu origem a conflitos pela disputa de terra, envolvendo diversos segmentos sociais, como fazendeiros, colonos, índios e madeireiros.

Enquanto na imagem do início da década de 1990 se tem uma clara distinção das estradas criadas e possível localização dos lotes, a imagem da segunda metade da década de 1990 deixa evidente a remoção da cobertura vegetal desses lotes criados, bem como o acréscimo nas áreas ocupadas. Costa (2000) cita que a ocupação baseada predominantemente em grandes projetos agropecuários tem sido a principal responsável por parte dos problemas ecológicos que atingem a região, provenientes especialmente do desmatamento indiscriminado.

A Figura 15, apresentada a seguir, mostra a situação do uso e ocupação do solo parcial do estado de Rondônia, na área compreendida pela bacia do rio Machado. Destaca-se que nessa imagem as áreas de cultivo de soja no sul do estado já podiam ser claramente identificadas.

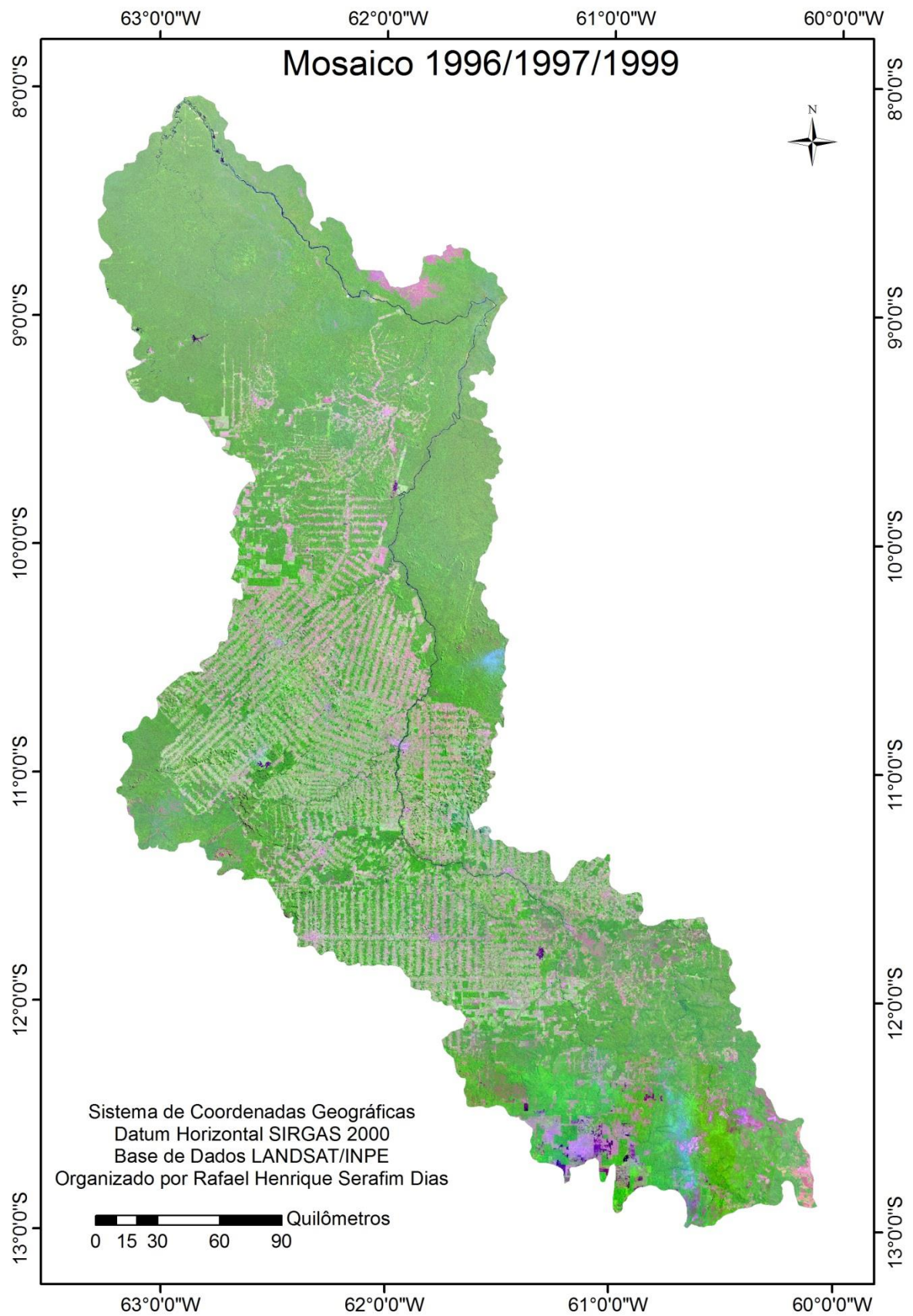


Figura 15. Mosaico da bacia hidrográfica do rio Machado com imagens de 1996, 1997 e 1999.

As características do processo de migração para o estado de Rondônia foram se modificando, desde sua intensificação na década de 1970. Enquanto na década de 1970 a migração se caracterizava por ser eminentemente rural-rural, ou seja, com procedência e destino rural, houve uma modificação gradativa na década de 1980, sendo observado na década seguinte um comportamento rural-urbano ou mesmo urbano-urbano, havendo inclusive a desativação dos Centros de Triagem e Migração no início dos anos 1990, em função da redução da intensidade do fluxo migratório (SENAI, 1997).

Em virtude dessa intensificação no processo de urbanização do estado de Rondônia a partir da década de 1990, uma análise comparativa entre as imagens da segunda metade da década de 1990 e do ano de 2005 não trazem alterações de grandes proporções como as observadas nos períodos anteriores. Dados apresentados pelo IBGE (2015d) mostram que a população urbana de Rondônia passou de 47,6% em 1980 para 58,2% em 1991, alcançando 64,1% em 2000 e chegando à 73,5% em 2010.

A imagem do ano de 2005 (Figura 16) e a de 2010/2011 (Figura 17) demonstram um incremento no uso do solo na região mais ao sul do estado. Essa característica é proveniente do desenvolvimento de atividades agropecuárias, com destaque a intensificação no cultivo de soja.

Segundo Costa (2013), as terras na região sul do estado de Rondônia, a partir de 1997, passaram por um processo de supervalorização em decorrência do grande potencial para o cultivo da soja, levando grande parte dos pequenos produtores que residiam no sul do estado a arrendar ou vender suas terras para grandes produtores de soja e migrar para o norte de Rondônia, com destaque para a região de Buritis e Porto Velho, onde havia terras mais baratas. Esse fato pode ser associado ao aumento do desmatamento nas áreas mais ao norte da bacia em estudo.

A Figura 16 e a Figura 17 demonstram a situação do uso do solo no estado de Rondônia, na área compreendida pela bacia do rio Machado, para os anos de 2005 e 2010/2011, respectivamente.

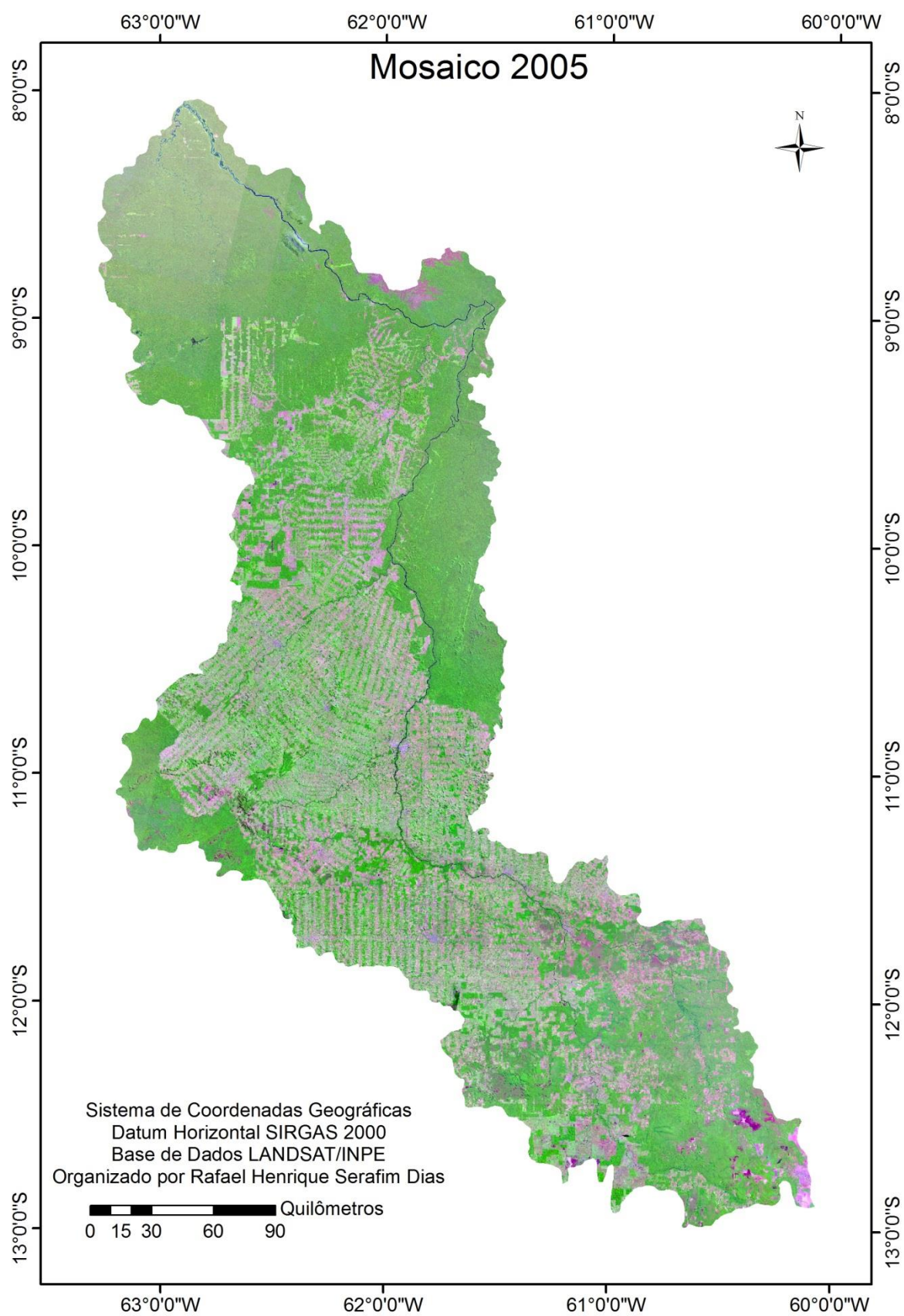


Figura 16. Mosaico da bacia hidrográfica do rio Machado com imagens de 2005.

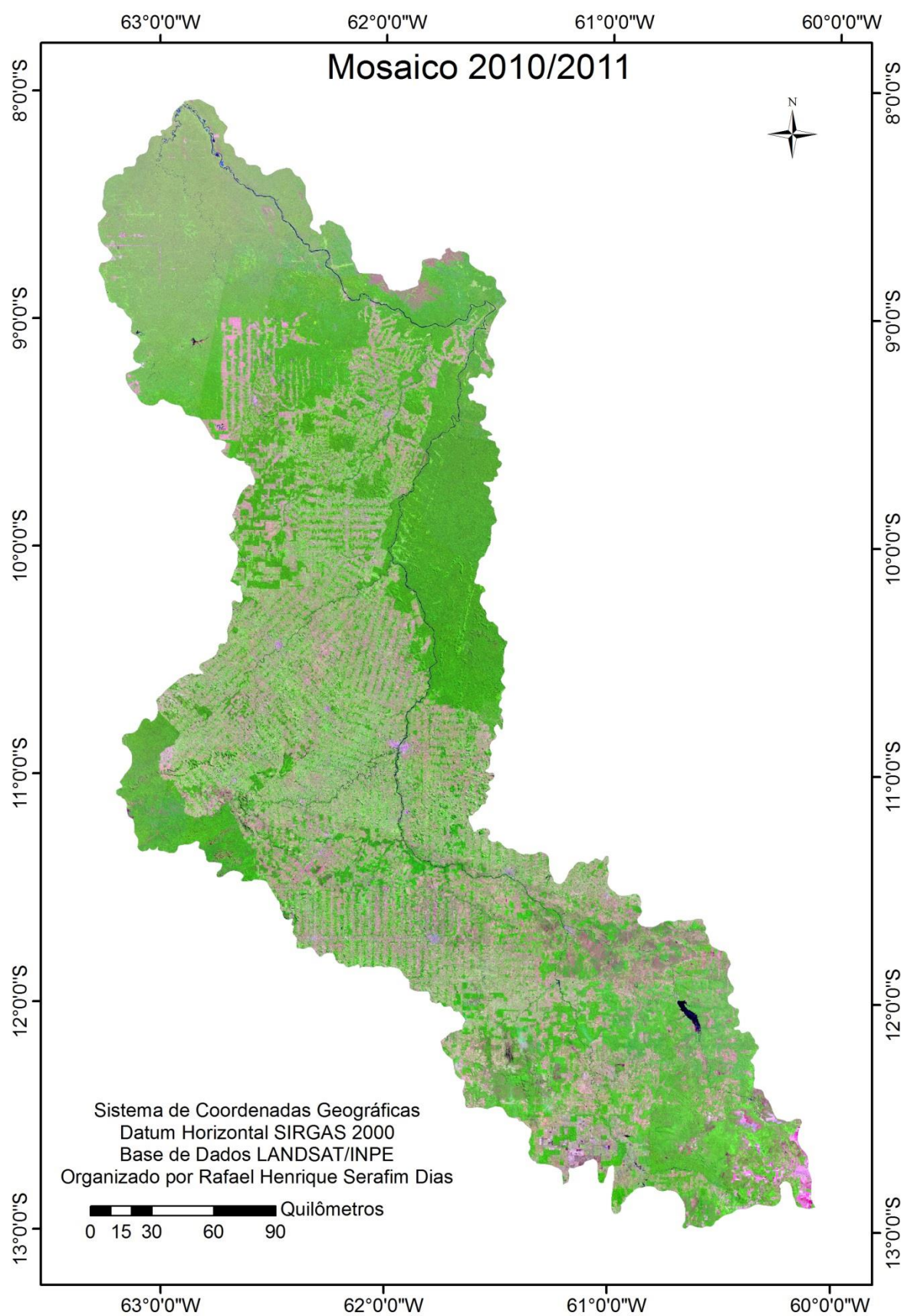


Figura 17. Mosaico da bacia hidrográfica do rio Machado com imagens de 2010 e 2011.

Costa (2013), baseando-se em dados do INPE, relata que o estado de Rondônia, até o ano de 2011, apresentava 37% de sua extensão territorial desmatada, que equivale a 88.816 km² desmatados, citando ainda que os principais agentes das mudanças do uso da terra em Rondônia são os pequenos produtores, pecuaristas, mineradores e os extratores de madeira.

A Figura 18 mostra a situação atual do uso e ocupação do solo na bacia do rio Machado. Nesta imagem, fica evidente que a bacia encontra-se predominantemente antropizada, de forma que as áreas onde se verifica um maior predomínio de vegetação arbórea correspondem às unidades de conservação e terras indígenas, dentre as quais pode ser citada a Reserva Biológica do Jaru e a Terra Indígena Igarapé Lourdes.

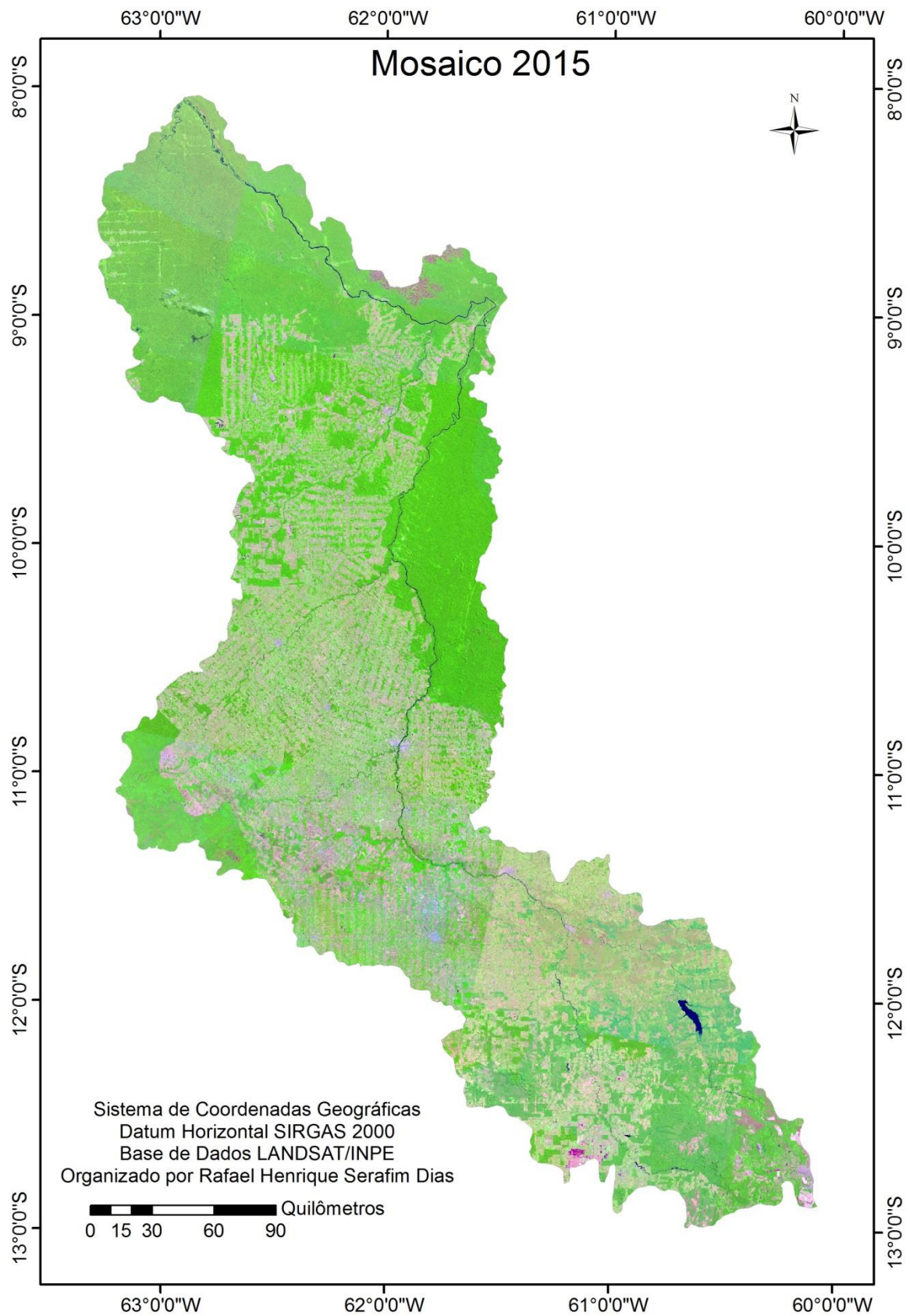


Figura 18. Mosaico da bacia hidrográfica do rio Machado com imagens de 2015.

Furlan (2009) destaca que os dados históricos do desmatamento no estado de Rondônia, nos últimos 30 anos, alertam para o fato de que as alterações da cobertura vegetal, em um futuro próximo, podem contribuir para as mudanças climáticas em escala regional.

Com base nesse cenário, verifica-se que o uso recente do solo no estado de Rondônia é resultante de um processo de ocupação planejado pelo Governo Federal, que já não condiz com a visão de planejamento atual, servindo de alerta para as próximas ações vinculadas ao planejamento. Tais ações, se não forem efetivas, podem refletir em diversas outras variáveis, como as hidrológicas, contribuindo para a alteração do regime de chuvas e possível intensificação de inundações em determinadas áreas.

3.1.1 Classificação de imagens

Tomando como base a série histórica de imagens da bacia hidrográfica do rio Machado, apresentada no decorrer do item anterior, foi realizada a classificação dessas imagens, com o objetivo de visualizar e mensurar o uso dado ao solo ao longo do tempo. Para essa análise temporal do uso do solo, foram definidas quatro classes: Água, Vegetação Arbórea, Vegetação Rasteira e Área Antropizada.

A Tabela 5, apresentada a seguir, relaciona a área e respectiva porcentagem para cada classe analisada na bacia, a partir do mosaico de imagens de cada período relacionado. Cabe destacar que nesta tabela está indicado o desempenho geral da classificação, que foi superior a 90% em todos os mosaicos.

Conforme verificado na Tabela 5, os percentuais de cada classe variaram consideravelmente ao longo do tempo, sendo observada em linhas gerais uma redução da fração de área com vegetação arbórea e um acréscimo no percentual de área antropizada. Esses números, de certa forma, refletem o processo de ocupação da bacia hidrográfica do rio Machado, uma vez que foi a partir da década de 1970 que houve uma intensificação no crescimento do estado de Rondônia. A seguir, são apresentadas as imagens classificadas da bacia ao longo do tempo e tecidos comentários a seu respeito.

Uma consideração relevante a se fazer na análise das imagens classificadas diz respeito ao período das imagens que constituem cada mosaico, pois como o estado de Rondônia possui duas estações bem definidas, ou seja, período chuvoso e seco, o comportamento da vegetação, especialmente da vegetação rasteira, varia ao longo do ano. Bernini (2012) relata que o período chuvoso no sul da Amazônia vai de outubro a março. Já Andrade (2011), em trabalho realizado em uma sub-bacia integrante da bacia do rio Machado, citou que o período de estiagem é evidenciado de maio a outubro, sendo os meses de junho, julho e agosto os mais críticos. Tal consideração se faz relevante uma vez que durante o período de estiagem, ocorre a preparação do solo para o plantio, com uma remoção de parte da cobertura vegetal existente, bem como há uma redução da atividade vegetal em função da menor disponibilidade hídrica. Já no período chuvoso, verifica-se um desenvolvimento considerável da vegetação rasteira, principalmente de áreas de plantio ou com regeneração natural da vegetação.

Na imagem classificada, gerada a partir do mosaico de imagens dos anos de 1973/1975/1976, Figura 19, verifica-se que sua área é predominantemente constituída por vegetação arbórea, com um percentual superior a 90%. Nessa imagem, pode-se verificar um baixo grau de antropização na bacia, mais concentrado em sua região sul e central.

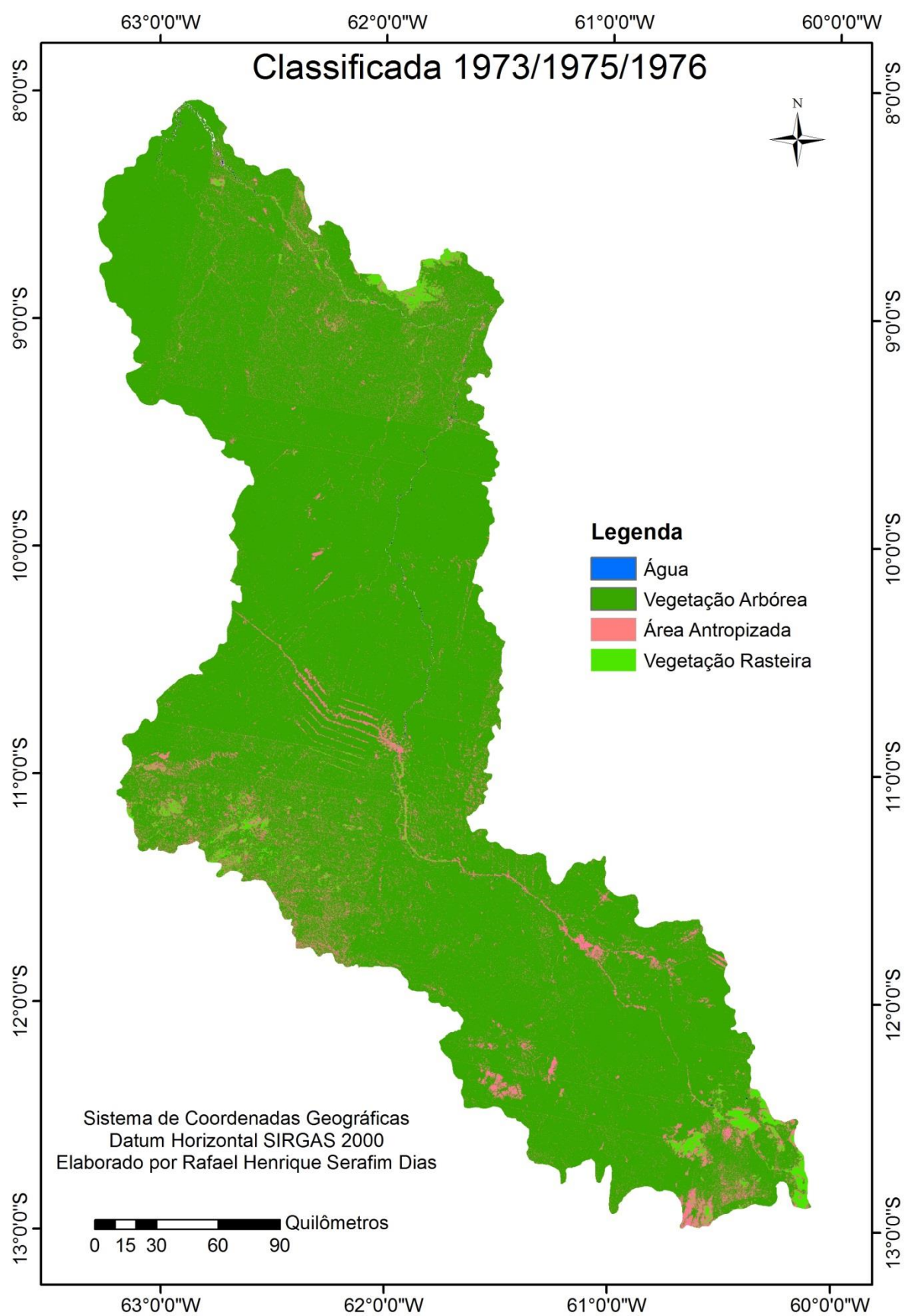


Figura 19. Imagem classificada da bacia hidrográfica do rio Machado – 1973/1975/1976.

O mosaico das imagens dos anos de 1973/1975/1976 é constituído por imagens dos meses de junho a setembro, compreendendo desta forma o período de estiagem. Cabe destacar que ao analisar os dados da estação pluviométrica Ji-Paraná, código 1061001, foi observado elevado índice pluviométrico no mês de setembro nos anos de 1975 e 1976, ajudando a explicar a existência de um percentual de vegetação rasteira superior a 7%.

A Figura 20 apresenta a classificação do mosaico de imagens dos anos de 1979/1980/1981. Ao comparar essa imagem com a Figura 19, verifica-se que houve uma intensificação da ocupação na região centro-sul da bacia, sendo visível o formato regular correspondente à abertura de estradas. Segundo Franco (2011), a terceira fase da construção da BR-364, que objetivava complementar a conservação e melhoria, com asfaltamento dos trechos construídos, foi concluída em setembro de 1984, compreendendo a pavimentação de 1.442 km entre Cuiabá e Porto Velho.

Tanto o mosaico indicado na Figura 19 quanto o indicado na Figura 20 são provenientes de imagens do sensor MSS, cuja resolução espacial é de 80 m, o que reduz a precisão da classificação.

Na imagem classificada do mosaico de 1989/1990 (Figura 21), percebe-se o deslocamento da ocupação em direção à região norte da bacia, bem como sua intensificação na região centro-sul e centro-leste, com o percentual de áreas antropizadas se aproximando de 10%. Todas as imagens que constituem esse mosaico são do mês de julho dos anos indicados, porém, mesmo assim foi observado um percentual considerável de áreas com vegetação rasteira. Destaca-se que a linha existente na Figura 21 que corta o sul da bacia, refere-se a uma falha decorrente do processo de elaboração do mosaico, não correspondendo a uma alteração do uso do solo na bacia.

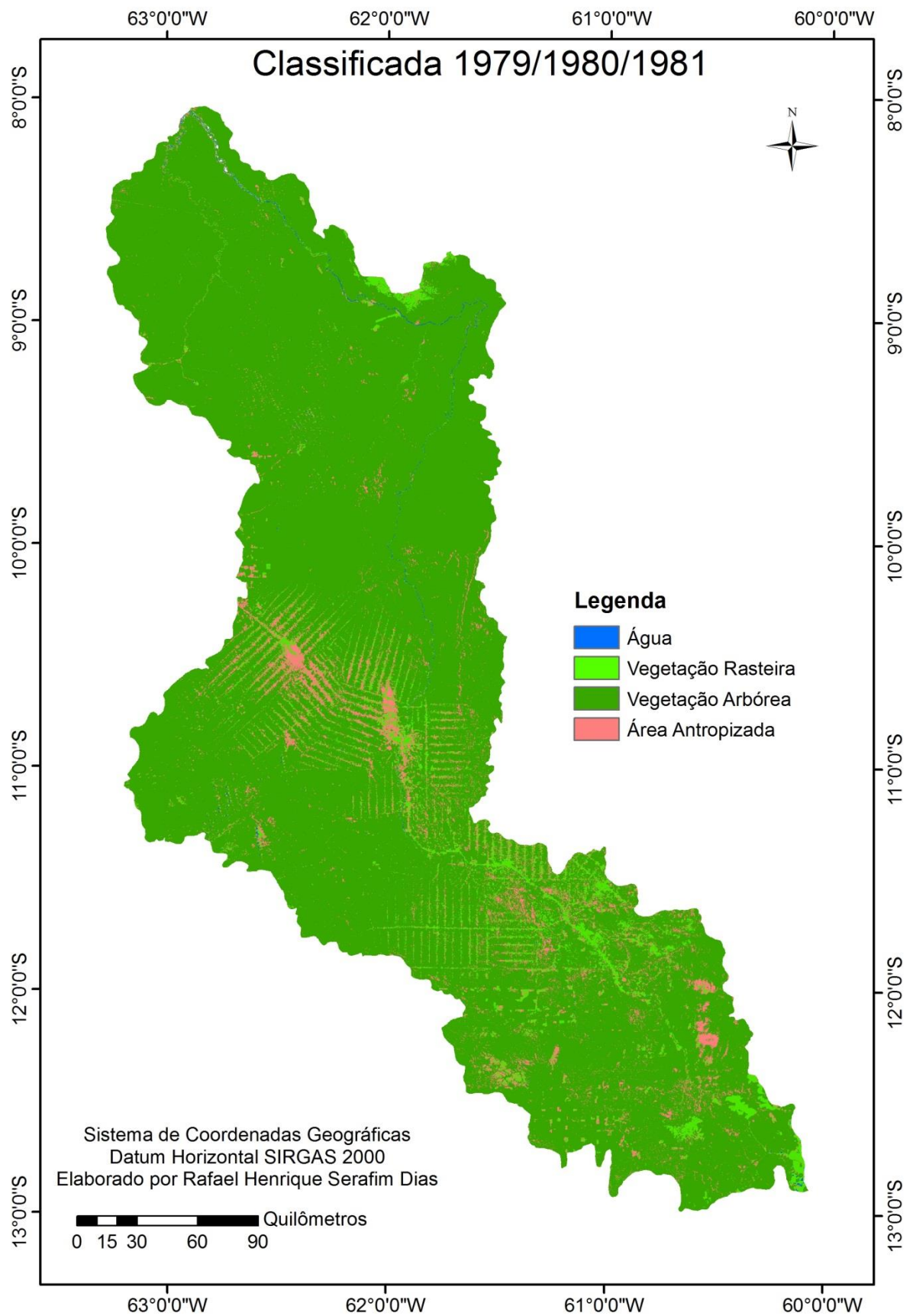


Figura 20. Imagem classificada da bacia hidrográfica do rio Machado – 1979/1980/1981.

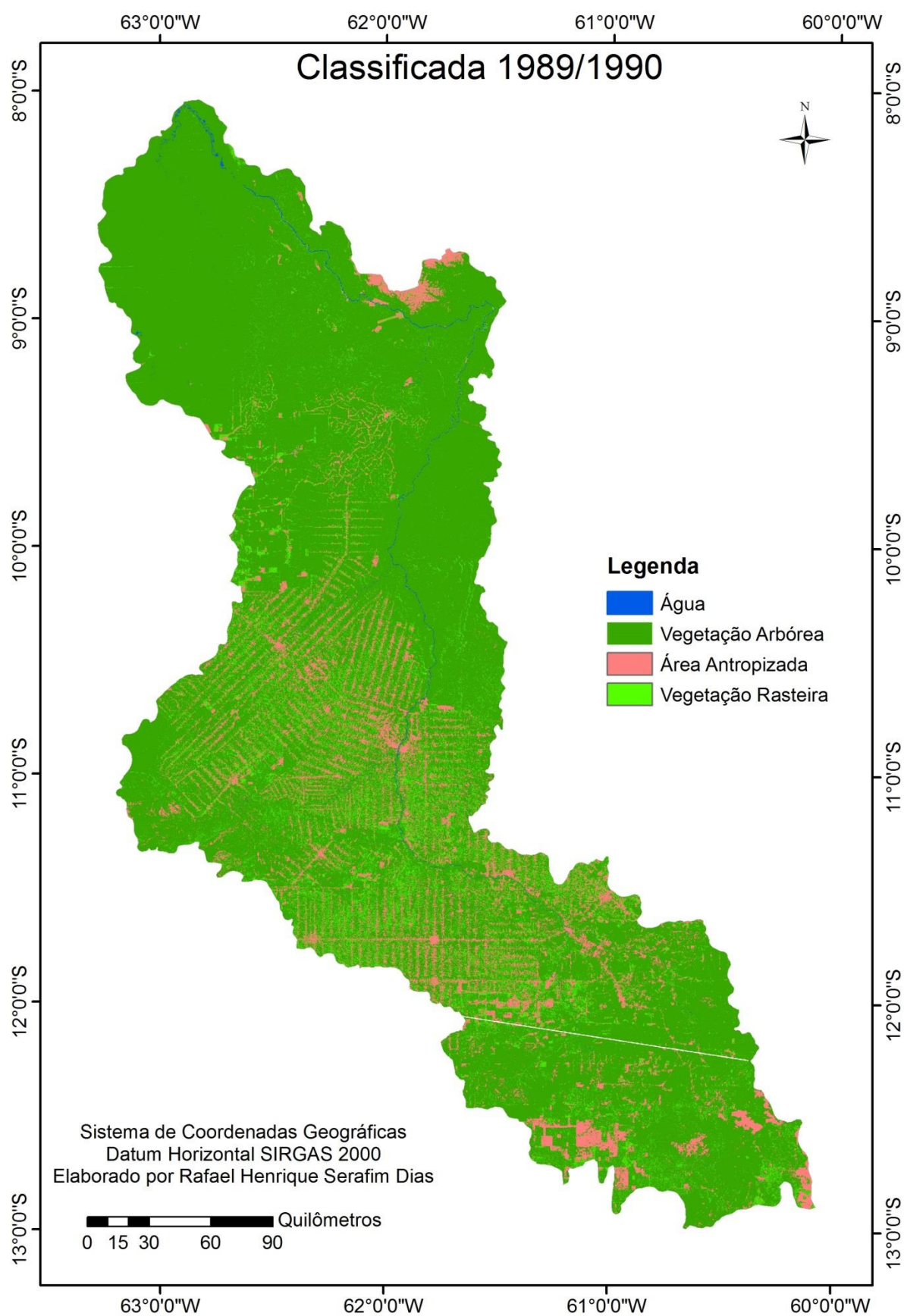


Figura 21. Imagem classificada da bacia hidrográfica do rio Machado – 1989/1990.

Na Figura 22, resultante do processo de classificação do mosaico de imagens dos anos de 1996/1997/1999, torna-se mais evidente o adensamento das áreas antropizadas, ultrapassando o percentual de 15% da área total da bacia, havendo também um aumento na área de vegetação rasteira. Nessa imagem, há um acréscimo da área total identificada como água, quando comparada aos demais períodos, sendo visíveis, além dos cursos d'água, algumas áreas no centro-oeste e sul da bacia integrantes dessa classe. Cabe destacar que a área indicada como água no centro-oeste da bacia, que diverge das imagens dos demais períodos, trata-se de uma nuvem e as áreas no sul da bacia correspondem a solo saturado, fatores estes que levaram à confusão no processo de classificação.

Na Figura 23, gerada a partir da classificação do mosaico de 2005, verifica-se uma intensificação da ocupação na região centro-norte da bacia, com percentual de áreas urbanizadas superior a 20% e de áreas com vegetação rasteira superior a 10%. Menciona-se que uma parte da vegetação na região mais ao norte da bacia foi classificada como vegetação rasteira, porém, pelas características da mesma, ou seja, por sua textura e forma, poderia ser classificada como vegetação arbórea.

Na Figura 24, resultante da classificação do mosaico de imagens de 2010/2011, o percentual de áreas antropizadas mensurado se aproxima dos 29%. Analisando comparativamente as imagens classificadas no intervalo de 1973 a 2011, verifica-se que nesse período houve uma ocupação expressiva da bacia hidrográfica do rio Machado, com alteração marcante do uso dado ao solo. O acréscimo observado na área antropizada no período mencionado foi superior a 25% e mesmo considerando às áreas com vegetação rasteira no primeiro e último período dessa análise, os valores são superiores a 20%.

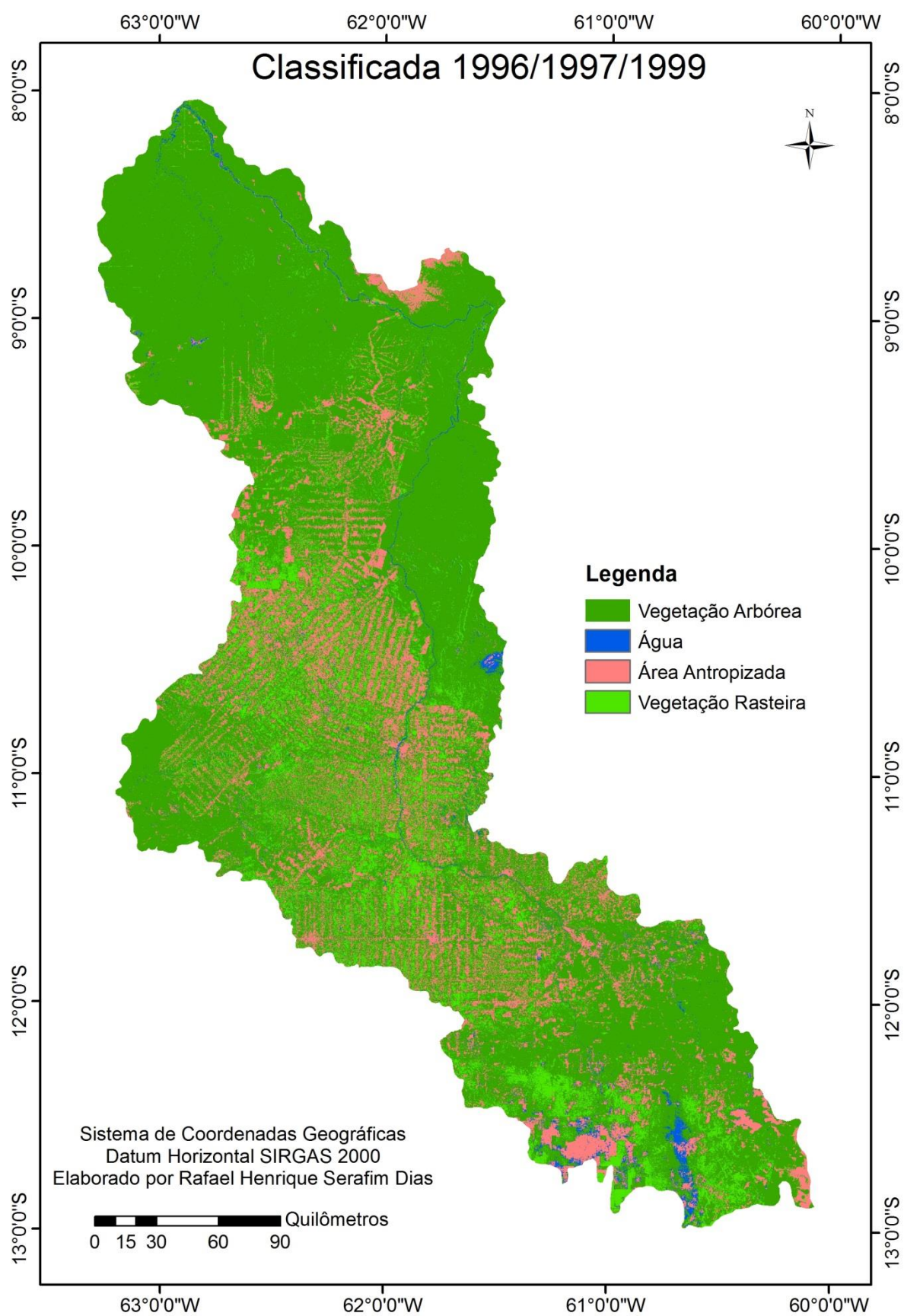


Figura 22. Imagem classificada da bacia hidrográfica do rio Machado – 1996/1997/1999.

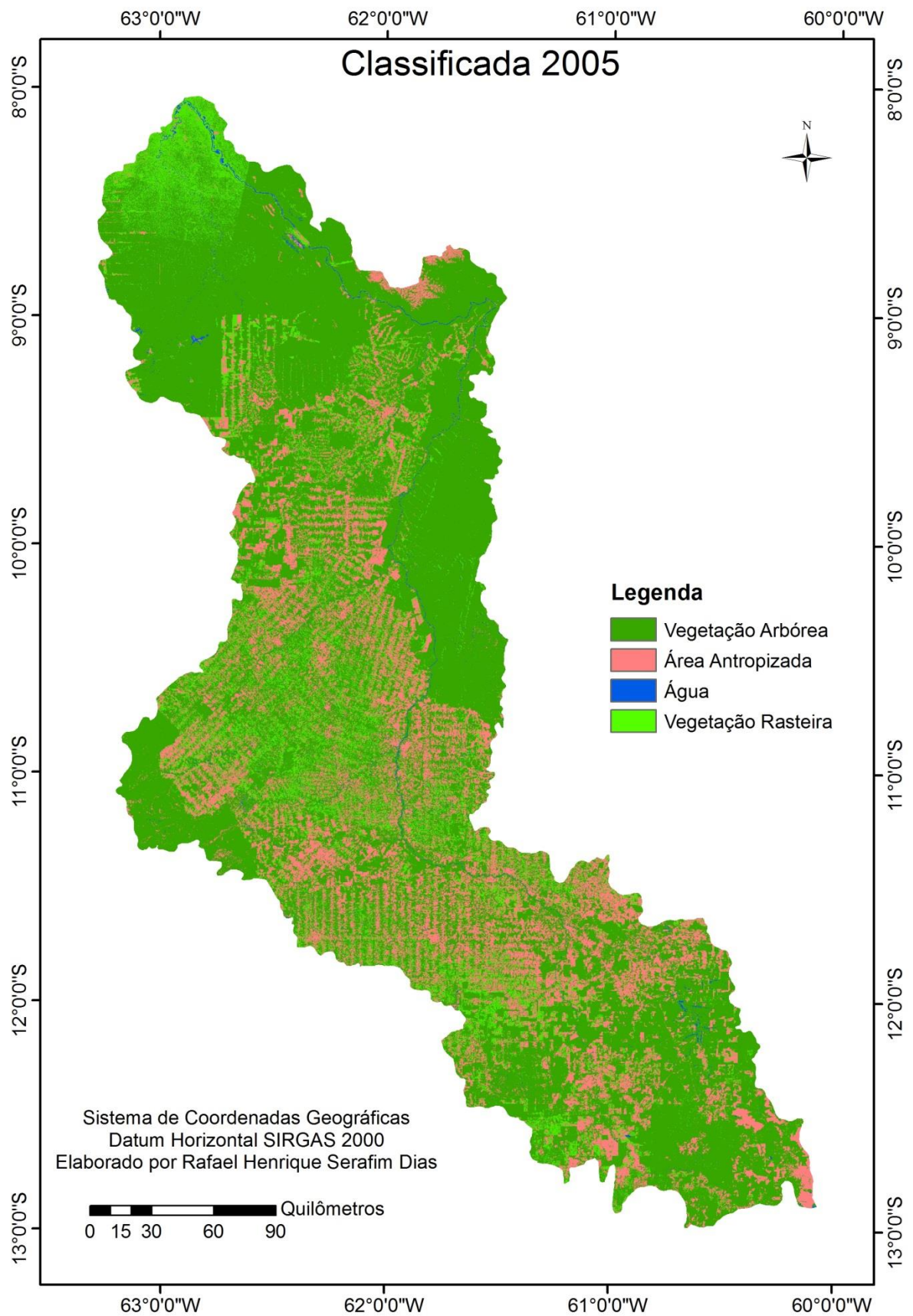


Figura 23. Imagem classificada da bacia hidrográfica do rio Machado – 2005.

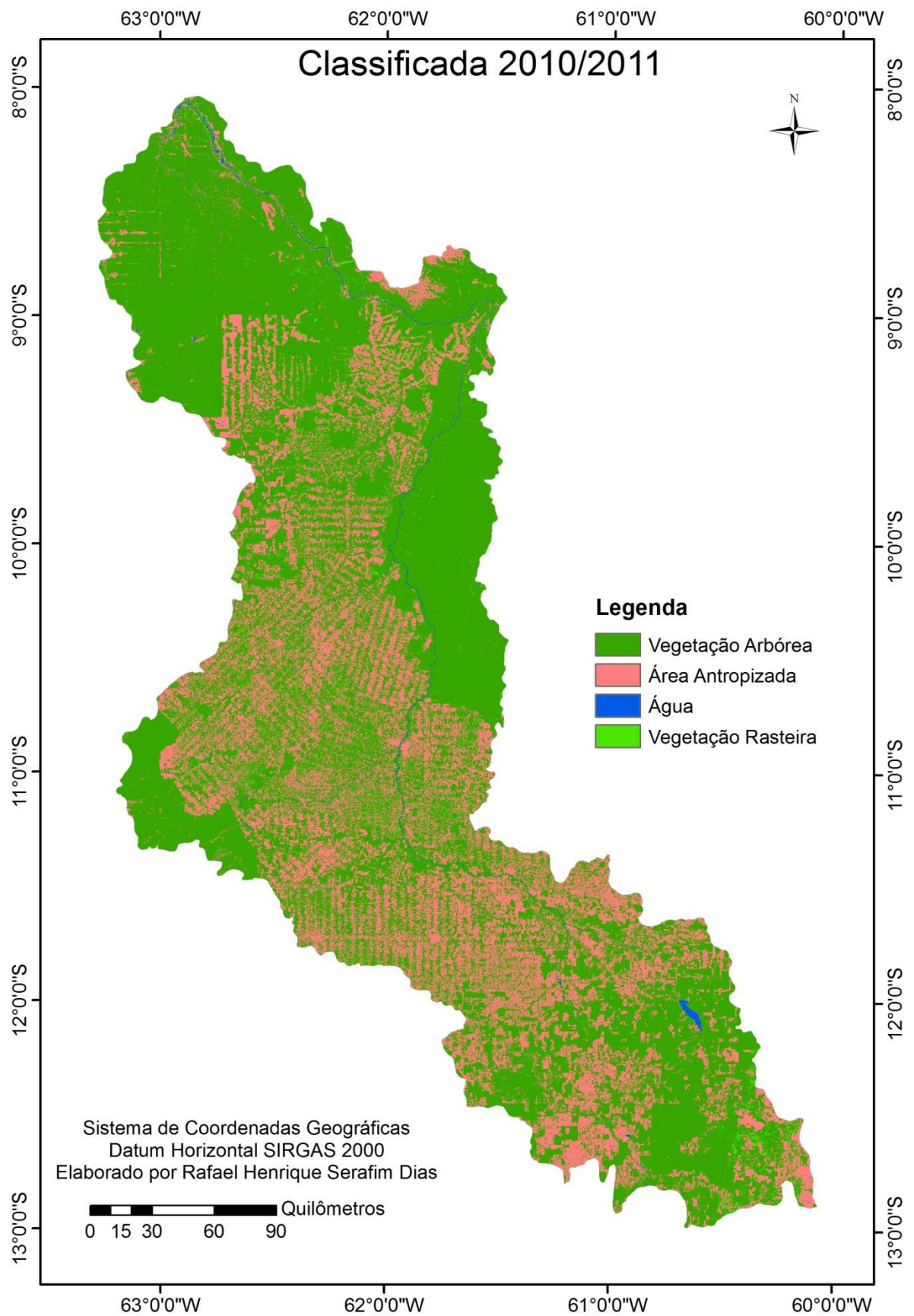


Figura 24. Imagem classificada da bacia hidrográfica do rio Machado – 2010/2011.

A Figura 25, apresentada a seguir, traz a classificação da imagem mais recente da bacia hidrográfica do rio Machado. Ao confrontar os dados da classificação referentes às áreas antropizadas da Figura 24 e da Figura 25, nota-se que houve uma redução no percentual de áreas antropizadas, que passou de 28,63% para 24,61%. Como houve um acréscimo nas áreas classificadas como vegetação rasteira, parte dessa redução pode ser relacionada ao crescimento de vegetação nas áreas antropizadas. Porém, como também houve um acréscimo de 1,47% nas áreas classificadas como vegetação arbórea, a utilização de uma imagem proveniente de outro sensor/satélite pode ser uma das razões que levou a tal alteração. Bastos (2014) cita que o sensor OLI possui um desempenho radiométrico melhor que o sensor TM, através da discretização da imagem em 12 bits, mencionando que tanto a resolução espectral como a resolução radiométrica podem afetar as respostas dos alvos.

A antropização da bacia do rio Machado fica evidente na Figura 25. Dados do Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia – PRODES, disponibilizados pelo INPE (2015), mostram que no estado de Rondônia, entre os anos de 1988 e 2014, foi desmatada uma área total de 55.455 km².

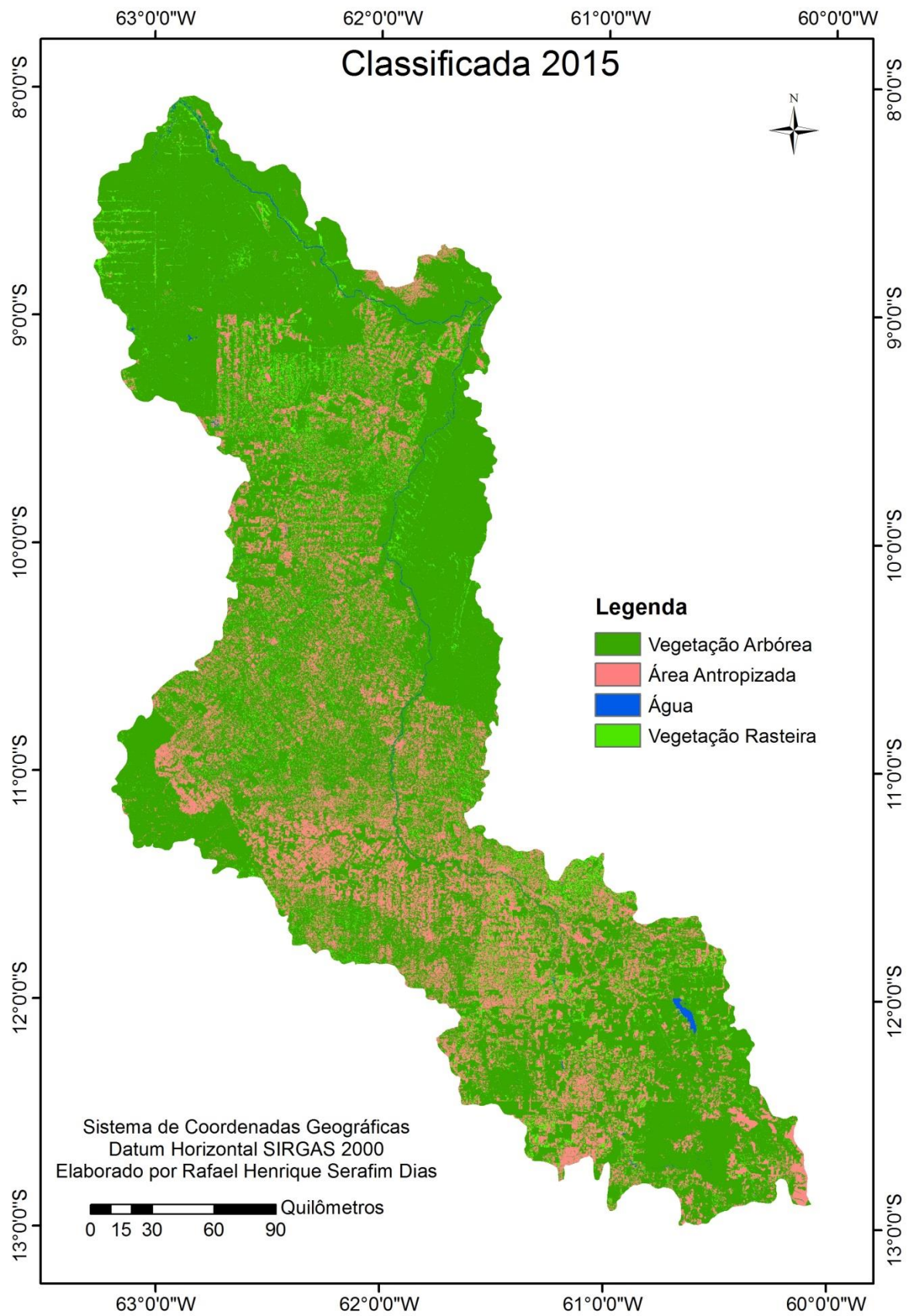


Figura 25. Imagem classificada da bacia hidrográfica do rio Machado – 2015.

3.1.2 Tempo de Concentração

O tempo de concentração da bacia do rio Machado, calculado pela formulação de George Ribeiro, é apresentado na Figura 26.

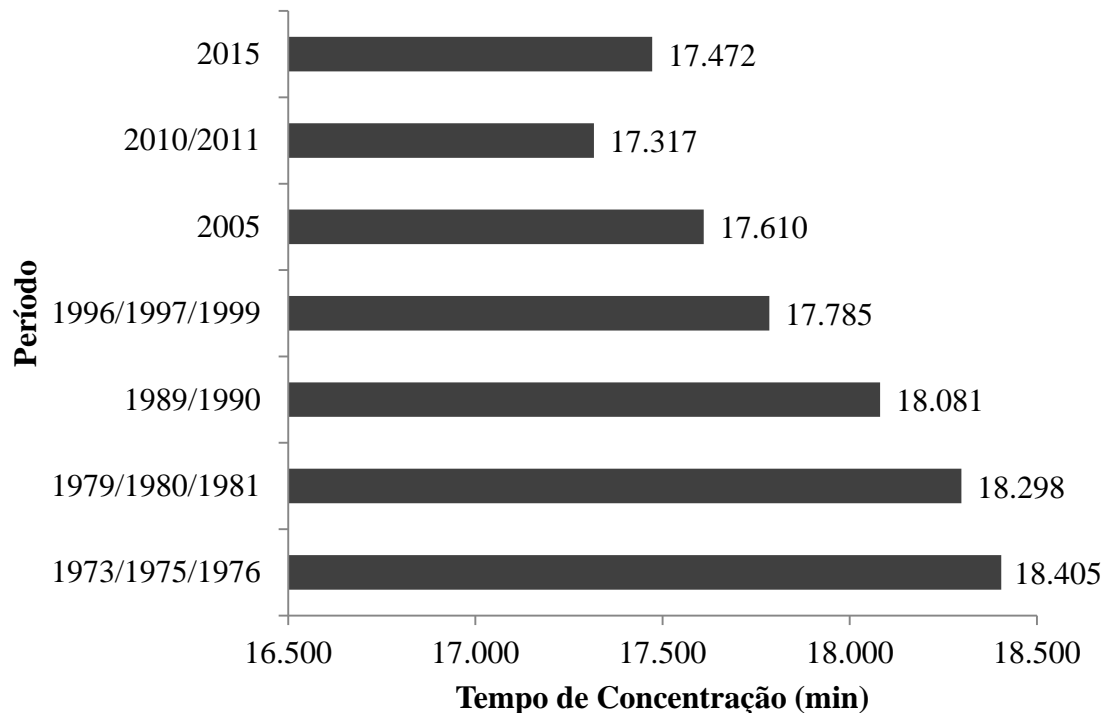


Figura 26. Tempo de concentração na bacia do rio Machado para diferentes períodos.

Como o cálculo do tempo de concentração pelo método de George Ribeiro, dentre outros fatores, leva em conta o percentual de área vegetada da bacia, apresentado na Tabela 5, fica evidente, a partir da Figura 26, que a redução da área vegetada leva a uma diminuição do tempo de concentração. Para Bacellar (2005), existe uma tendência de crescimento do fluxo de chuva e dos picos de cheia com o desmatamento, que pode ser pelo aumento do fluxo superficial hortoniano quando o desmatamento é executado sem critérios técnicos ou pelo aumento do fluxo superficial de saturação quando bem executado.

Com a remoção da cobertura vegetal, parte da água precipitada deixa de ser interceptada pelo dossel, passando a contribuir diretamente com o escoamento superficial, que também é influenciado por uma redução na capacidade de infiltração do solo. Silva Filho (2009), ao estudar a degradação do solo em áreas de pastagens no município de Porto Velho – RO, observou que a velocidade de infiltração básica em

áreas de pastagens foi significativamente inferior à observada em áreas de floresta, em função da compactação dos solos, ressaltando que a presença de raízes e dutos gerados por antigas raízes apodrecidas em ambiente de floresta, contribuem com a maior eficiência da infiltração da água no solo.

Comparando o tempo de concentração com dados da imagem de 1973/1975/1976, que apresenta o maior percentual de área vegetada, com o tempo de concentração verificado a partir da imagem de 2010/2011, que apresenta o menor percentual de área vegetada, verifica-se que houve uma redução no tempo de concentração da bacia do rio Machado de aproximadamente 1.088 minutos, que equivale a pouco mais de 18 horas.

Pode-se extrair também dos resultados que, em média, a cada 18,6 km² desmatados, ou seja, quando há remoção da cobertura vegetal, ocorre um acréscimo no tempo de concentração de 1 minuto. Cabe citar que esta não é uma relação direta, havendo oscilação desse valor em função do percentual de área vegetada.

Além disso, transformando o tempo de concentração no ano de 2015, que corresponde à situação atual da bacia, verifica-se que são necessários 12 dias, 3 horas e 12 minutos para que a água precipitada no ponto mais longínquo da bacia alcance seu exutório.

3.2. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA

A determinação dos índices físicos da bacia do rio Machado tomou como base dados geoespaciais, gerenciados através de Sistemas de Informações Geográficas – SIG, disponibilizadas por instituições como a Embrapa, ANA, Ministério do Meio Ambiente e outros.

Para a realização da caracterização morfométrica da bacia, foram mensurados índices relacionais à forma da bacia, ao sistema de drenagem e ao relevo da Bacia, bem como sua aplicação em equações disponíveis na literatura. A Tabela 6 apresenta um resumo dos índices físicos da bacia em estudo.

Tabela 6. Índices físicos da bacia hidrográfica do rio Machado.

Índices Físicos	Valores Mensurados
Área (km ²)	74.943,17
Perímetro (km)	2.084,92
Comprimento Axial (km)	618,20
Largura Média (km)	146,04
Coefficiente de Compacidade – Kc	2,13
Fator de Forma – Ff	0,24
Índice de Conformação – Fc	0,20
Comprimento dos Cursos d'água (km)	16.011,56
Densidade de Drenagem (km.km ⁻²)	0,21
S1 (m.km ⁻¹)	0,685
S2 (m.km ⁻¹)	0,283
S3 (m.km ⁻¹)	0,276
Altitude Máxima (m)	631,00
Altitude Média (m)	324,00
Altitude Mínima (m)	17,00
Declividade Média (m.km ⁻¹)	0,99

A bacia do rio Machado, que é a maior bacia hidrográfica do estado de Rondônia, possui uma área de 74.943,17 km² e um perímetro de 2.084,92 km. Cabe destacar que a área mencionada foi calculada a partir do modelo digital de elevação da bacia, levando em consideração, desta forma, as variações do relevo existentes.

Com relação à forma da bacia em estudo, uma observação inicial de seu comprimento axial, que é de 618,20 km e de sua largura média, que é de 146,04 km, dá uma ideia do formato retangular que a mesma apresenta.

Os índices avaliados no que tange à forma da bacia são o Fator de Forma - Ff, o Coeficiente de Compacidade - Kc e o Índice de Conformação – Fc. No presente estudo, o valor obtido para o coeficiente de Compacidade – Kc foi de 2,13. Porto et al. (1999) relatam que em bacias que apresentam um formato alongado, tendendo ao retangular, o valor de Kc fixa próximo a 1,4 e o de Ff e Fc próximo a 0,25. Os valores do fator de forma e do índice de conformação encontrados reforçam a tendência da bacia do rio

Machado a um formato tendendo ao retangular, uma vez o valor encontrado de Ff foi de 0,24 e o de FC igual a 0,20.

De acordo com Porto et al. (1999) e Tonello et al. (2006), a determinação de valores elevados para o coeficiente de compacidade e baixos valores para o índice de conformação indicam uma bacia com formato mais alongado, com baixa possibilidade de picos de enchentes. Segundo Cardoso et al. (2006), há maiores possibilidades de que ocorram chuvas intensas de forma simultânea em toda a extensão das bacias que apresentam formato circular, com a concentração mais rápida de um grande volume de água no tributário principal. Os índices físicos encontrados, relacionados à forma da bacia, indicam uma menor tendência a enchentes que bacias circulares. Garcez e Alvarez (1988) ajudam a reforçar essa consideração, ao citar que valores menores do índice de compacidade e maiores do índice de conformação indicam maior potencialidade de picos de enchente elevados.

O valor da densidade de drenagem encontrada para a bacia do rio Machado foi de $0,21 \text{ km.km}^{-2}$, que remete a bacias com uma densidade de drenagem baixa e um tempo de concentração mais elevado. Garcez e Alvarez (1988) mencionam que em bacias com um número elevado de cursos d'água em relação a sua área o deflúvio atingirá mais rapidamente os rios, havendo provavelmente picos de enchentes altos e deflúvios de estiagem baixos.

Cabe destacar que no cálculo da densidade de drenagem, o *shapefile* da drenagem utilizado considera apenas os cursos d'água mais expressivos, porém, em uma extração de drenagem considerando mais ordens de cursos d'água, provavelmente seriam indicados mais cursos d'água, o que levaria a um aumento desse índice. Porto et al. (1999) citam que quanto mais eficiente for o sistema de drenagem, mais rapidamente a água do escoamento superficial originada da chuva chegará à saída da bacia, gerando hidrogramas com picos maiores em instantes mais cedo.

Dentre as características relacionadas ao relevo da bacia, a declividade do rio principal é de grande relevância, uma vez que a velocidade de escoamento da água de um rio depende da declividade dos canais fluviais.

Na mensuração da declividade equivalente do rio Machado (rio principal), o valor encontrado pelo método da média aritmética (S1) foi de $0,685 \text{ m.km}^{-1}$, pelo método da compensação de área (S2) foi de $0,283 \text{ m.km}^{-1}$ e pelo método da média harmônica ou cinemático (S3) foi de $0,276 \text{ m.km}^{-1}$, conforme valores indicados na

Tabela 6. Segundo Garcez e Alvarez (1988), o valor mais representativo e racional da declividade do perfil longitudinal é o encontrado pelo método da compensação de área (S2). O valor de S1 não representa o desenvolvimento real do curso d'água pelo fato de expressar a declividade entre dois pontos extremos. Já o valor de S3 é uma espécie de índice idealizado para representar o tempo de translação da água ao longo da extensão do perfil longitudinal (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Cabe destacar que no cálculo da declividade equivalente pelo método da compensação de área (S2) e da média harmônica ou cinemático (S3), os valores encontrados foram muito próximos, o que indica um valor representativo da declividade equivalente.

O perfil longitudinal e a declividade do rio principal pelos três métodos são apresentados na Figura 27.

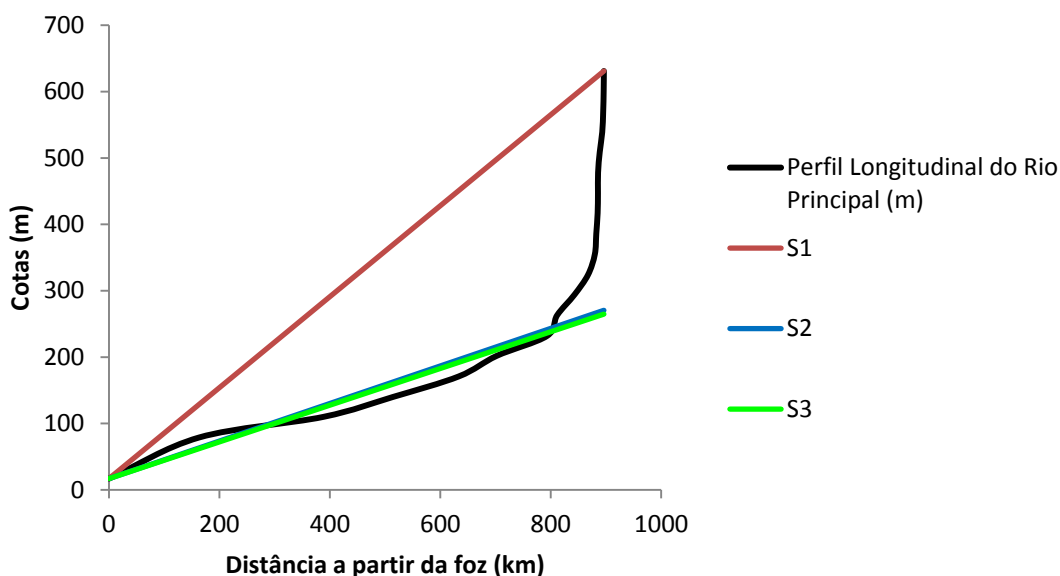


Figura 27. Perfil longitudinal do rio principal e declividades equivalentes (S1, S2 e S3).

A partir da análise do perfil longitudinal do rio principal, é possível verificar que o curso d'água possui um declive mais acentuado no início de seu percurso, ou seja, nas regiões de maior altitude, adquirindo a partir daí uma variação de declividade praticamente constante até o exutório.

A velocidade dos cursos d'água está diretamente relacionada à declividade dos canais fluviais. Desta forma, quanto maior for a declividade, maior será a velocidade de escoamento e conseqüentemente os hidrogramas de enchentes terão ascensão mais

rápida e picos mais elevados. A partir da análise do perfil longitudinal, é possível verificar que o rio principal apresenta uma maior velocidade de escoamento no trecho próximo a nascente, em função da variação de altitude mais acentuada, e logo após esse trecho, uma declividade mais regular, o que indica uma velocidade mais constante.

A maioria dos elementos meteorológicos e hidrológicos, como a precipitação e a temperatura, é função da altitude (GARCEZ; ALVAREZ, 1988), o que torna o estudo das características topográficas da bacia hidrográfica de grande relevância.

A bacia hidrográfica do rio Machado corta o estado de Rondônia de norte a sul, compreendendo dessa forma as variações do relevo do estado, desde a Chapada dos Parecis, na Microrregião de Vilhena, até desaguar no Madeira, na Microrregião de Porto Velho. A representação da altimetria da área de estudo pode ser visualizada na Figura 28.

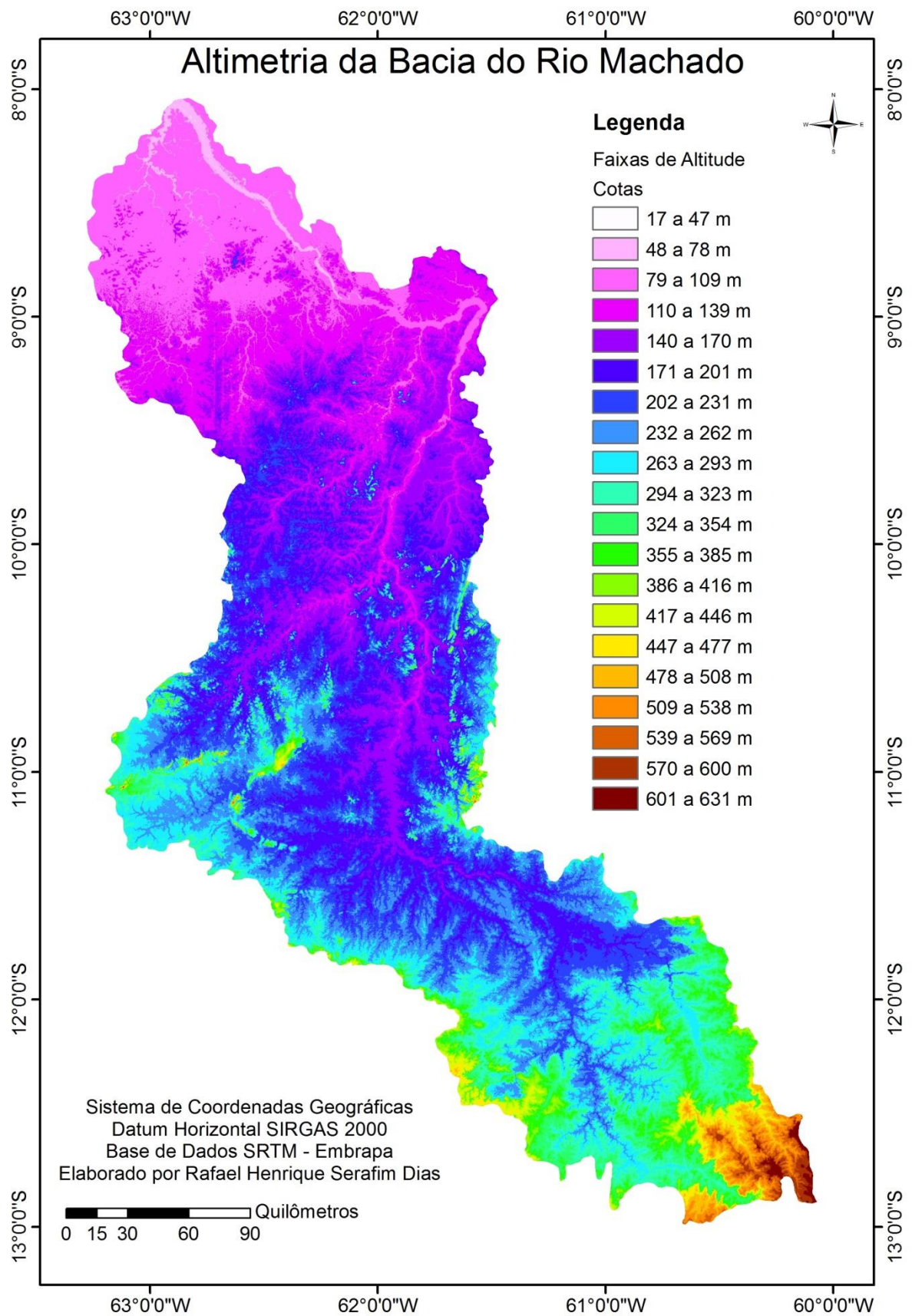


Figura 28. Mapa altimétrico da bacia do rio Machado.

Como pode ser observado no mapa altimétrico da bacia do rio Machado, sua altitude varia de 17 a 631 m, sendo possível identificar que a maior parte da bacia possui altitude inferior a 300 m. A representação da topografia da bacia foi dividida em 20 classes, com variação de altitude média de 30 m, como forma de facilitar a visualização e entendimento da legenda.

Como forma de ampliar o conhecimento a respeito do comportamento do relevo da bacia do rio Machado, a partir do modelo digital de elevação da bacia, foram mensuradas as áreas compreendidas em cada uma das 20 classes estabelecidas. A tabela indicada a seguir apresenta a cota máxima, mínima e média de cada uma das classes definidas, bem como suas áreas e respectivos percentuais.

Tabela 7. Dados da curva hipsométrica da bacia do rio Machado.

Intervalo	Cota Mínima (m)	Cota Máxima (m)	Cota Média (m)	Área (km²)	Área Acumulada (km²)	% Área	% Área Acumulada
1	17	47	32	8,14	74.943,17	0,01%	100,00%
2	48	78	63	636,14	74.935,03	0,85%	99,99%
3	79	109	94	8551,15	74.298,89	11,41%	99,14%
4	110	139	124,5	8387,28	65.747,75	11,19%	87,73%
5	140	170	155	10261,61	57.360,46	13,69%	76,54%
6	171	201	186	11282,80	47.098,85	15,06%	62,85%
7	202	231	216,5	9332,88	35.816,05	12,45%	47,79%
8	232	262	247	7657,12	26.483,17	10,22%	35,34%
9	263	293	278	5669,25	18.826,04	7,56%	25,12%
10	294	323	308,5	4207,09	13.156,79	5,61%	17,56%
11	324	354	339	3280,63	8.949,70	4,38%	11,94%
12	355	385	370	1743,56	5.669,07	2,33%	7,56%
13	386	416	401	927,74	3.925,51	1,24%	5,24%
14	417	446	431,5	584,33	2.997,77	0,78%	4,00%
15	447	477	462	480,05	2.413,44	0,64%	3,22%
16	478	508	493	594,55	1.933,40	0,79%	2,58%
17	509	538	523,5	578,47	1.338,85	0,77%	1,79%
18	539	569	554	358,00	760,38	0,48%	1,01%
19	570	600	585	251,11	402,38	0,34%	0,54%
20	601	631	616	151,27	151,27	0,20%	0,20%

Com base nos dados da Tabela 7, foi possível verificar que mais de 90% da área total da bacia possui cotas variando entre 79 m e 354 m. Além disso, com base na cota média de cada classe e respectiva área, foi calculada a elevação média da bacia do rio Machado, que é de 213,51 m. Utilizando-se ainda os dados dessa tabela, foi traçada a curva hipsométrica da bacia do rio Machado, indicada na Figura 29. Studart (2006) cita que a curva hipsométrica representa o estudo da variação da elevação dos vários terrenos da bacia com referência ao nível do mar.

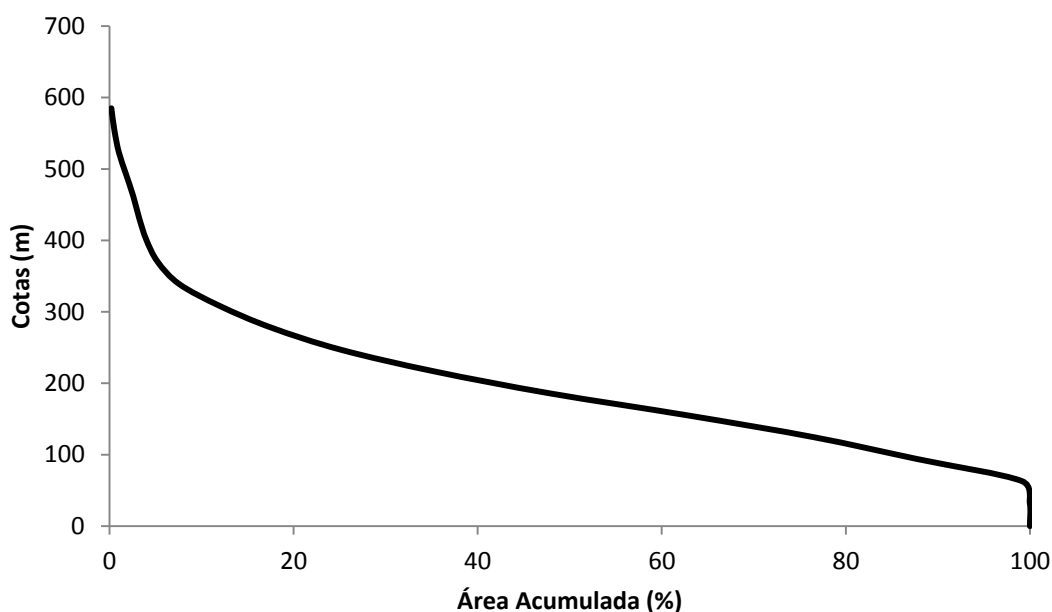


Figura 29. Curva hipsométrica da bacia do rio Machado.

A curva hipsométrica é traçada através da plotagem no sistema cartesiano da cota do terreno versus o percentual da área de drenagem com cota superior. A partir da curva hipsométrica, verifica-se que os pontos de maior e menor altitude possuem áreas pouco representativas quando comparadas a área total da bacia.

De acordo com Villela (1975) apud Studart (2006), a velocidade do escoamento superficial em uma bacia é controlada em grande parte pela declividade de seus terrenos, logo, quanto mais íngreme for o terreno, mais rápido será o escoamento superficial, menor será o tempo de concentração e maiores serão os picos de enchentes. Porto et al. (1999) também asseguram que a declividade da bacia ou de seus terrenos é um dos fatores mais importantes que controla o tempo do escoamento superficial e da concentração da chuva e tem uma importância direta em relação à magnitude da enchente. A Figura 30 traz uma representação da declividade da bacia do rio Machado.

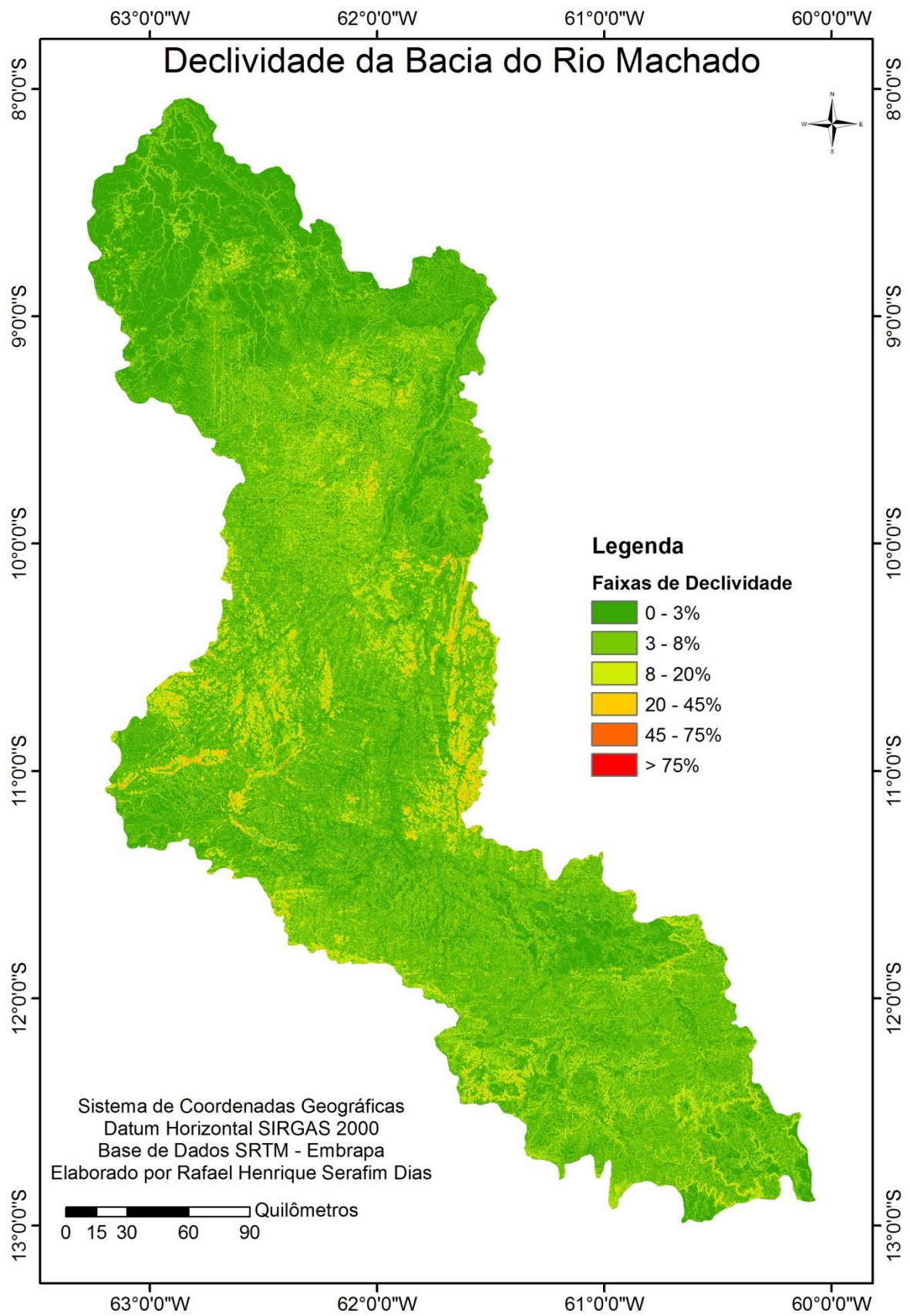


Figura 30. Mapa de declividade da bacia do rio Machado.

Ao se enquadrar o relevo da bacia de acordo com a classificação estabelecida pela Embrapa (1979), verifica-se que a maior parte da bacia possui declividade entre 0 e 8%, ou seja, um relevo plano a suavemente ondulado. Convertendo essa informação em percentuais, foi verificado que aproximadamente 40,32% da bacia possui relevo plano (0 – 3%), 45,77% possui relevo suave ondulado (3 – 8%), 12,02% possui relevo ondulado (8 – 20%), 1,83% possui relevo forte ondulado (20 – 45%), 0,06% possui relevo montanhoso (45 – 75%) e pouco mais de 0,0003% possui relevo forte montanhoso.

3.3. CHUVAS INTENSAS

A partir da análise da série histórica dos valores de precipitação máxima de “um dia” de cada estação pluviométrica com mais de 10 anos de dados, foi possível identificar o maior valor registrado para cada estação, conforme indicado na Figura 31.

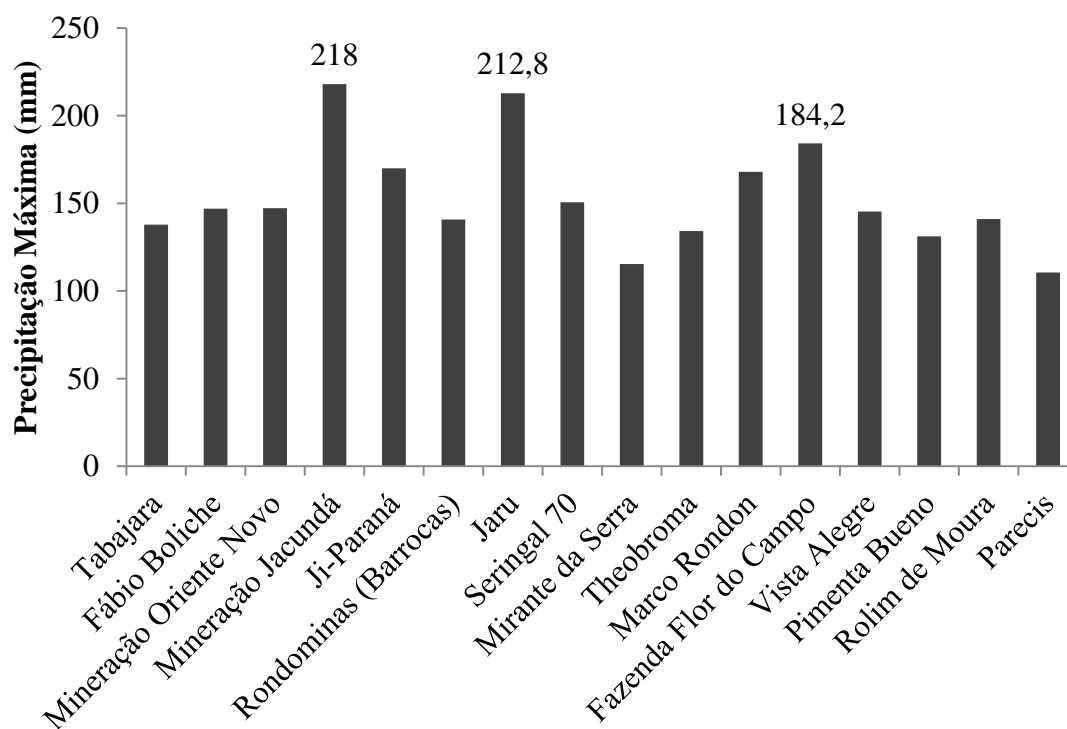


Figura 31. Maior valor de precipitação máxima de “um dia” observada na série histórica de cada estação pluviométrica na bacia hidrográfica.

O maior valor de precipitação máxima de “um dia” registrado na série histórica das estações estudadas, como demonstrado na Figura 31, foi na estação Mineração Jacundá, no ano de 1991, com um índice pluviométrico de 218 mm, seguida pela estação Jaru, com um índice pluviométrico de 212,8 mm no ano de 1983, e pela estação Fazenda Flor do Campo, com uma precipitação de 184,2 mm no ano de 1997.

De acordo com a UFSC (2013), no período de 1991 a 2012, o ano de 1997 foi um dos que apresentou maior incidência de enxurradas excepcionais caracterizadas como desastre, com três ocorrências registradas, sendo relatado que tal ano teve o primeiro trimestre chuvoso, com uma média de 16 dias de chuva em cada mês, o que fez com que três municípios decretassem situação de emergência. Souza et al. (2013), ao analisar os dados de precipitação máxima de um dia para o município de Ouro Preto do Oeste/RO, entre os anos de 1987 a 2009, constataram que o ano de 1991 foi um dos que apresentou maior magnitude de chuvas intensas.

Por meio da distribuição de Gumbel, foi possível estimar a frequência ou período de retorno dessas precipitações máximas, que se aproxima dos 61 anos para a precipitação de 218 mm, registrada na Mineração Jacundá, dos 96 anos para uma altura precipitada de 212,8 mm, registrada na estação Jaru, e de 83 anos para uma precipitação de 184,2 mm, registrada na estação Fazenda Flor do Campo.

3.4.1. Teste de aderência

Os resultados do Teste de Kolmogorov-Smirnov são indicados na Tabela 8. Como o critério de decisão utilizado foi a comparação dos parâmetros valor-p e α , sendo os valores apresentados na tabela superiores ao nível de significância definido de 0,05, não se rejeita a hipótese nula, considerando-se que as séries de dados podem ser ajustadas as distribuições de probabilidade empírica testadas.

Tabela 8. Valor-p das distribuições de probabilidade testadas.

Estação	Valor-p			
	Gumbel	Weibull	Gama	Log-normal
Tabajara	0,3379	0,7139	0,6053	0,4309
Fábio Boliche	0,7288	0,6598	0,8669	0,7822
Mineração Oriente Novo	0,3658	0,7094	0,7025	0,6047
Mineração Jacundá	0,4465	0,6277	0,6041	0,5541
Ji-Paraná	0,9825	0,9437	0,9758	0,9977
Rondonias (Barrocas)	0,2925	0,3573	0,4165	0,3203
Jaru	0,964	0,8665	0,7354	0,9224
Seringal 70	0,6356	0,9576	0,9499	0,8725
Mirante da Serra	0,462	0,8632	0,7794	0,5746
Theobroma	0,3094	0,7865	0,6168	0,4953
Marco Rondon	0,7331	0,4818	0,6745	0,3985
Fazenda Flor do Campo	0,5796	0,8043	0,6798	0,879
Vista Alegre	0,6755	0,3497	0,8642	0,4293
Pimenta Bueno	0,7522	0,5343	0,7683	0,7263
Rolim de Moura	0,5283	0,6613	0,7178	0,6583
Parecis	0,5021	0,8326	0,7882	0,7123

A distribuição Gama apresentou aceite em todos os casos analisados, confirmando assim a afirmação de Naghettini e Pinto (2007), os quais explicitam que a versatilidade de formas, o coeficiente de assimetria variável e positivo, aliados ao fato da variável aleatória não ser definida para valores negativos, fazem da distribuição Gama um modelo probabilístico aplicável a variáveis hidrológicas e hidrometeorológicas. Tais autores indicam ainda que essa constatação reforça a eficiência da distribuição Gama descrita por Haan (1977) na modelação de alturas de precipitação de durações diárias, semanais, mensais e anuais.

O modelo Weibull mostrou-se passível de uso de acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov. Trabalhos anteriores, como os de Catalunha et al. (2002) e Souza (2012), também verificaram esse mesmo resultado, todavia, em ambos os trabalhos, verificou-se uma superioridade deste modelo em relação a distribuição Gama, algo que não foi visto para essa região dado que a mesma também sofreu aceite.

Para os modelos estáticos de Log-Normal e Gumbel, o trabalho de Back (2001), confirma as constatações da Tabela 8, pois tal autor, ao selecionar uma distribuição estatística para descrever as chuvas extremas do estado de Santa Catarina dentre os diversos modelos, chegou à conclusão que as distribuições de Gumbel e Log-

Normal apresentaram o melhor ajuste para a maioria das estações pluviométricas estudadas.

No que tange ao aceite para a distribuição Log-Normal, revela-se que possivelmente as probabilidades dos dados pluviométricos analisados se encontram dispostos nos núcleos das curvas de distribuições e não em suas caldas, pois Tucci (2009) destaca que as caldas das distribuições Log-Normal e Gama, possuem similaridades, o que provocou aceites de mesma natureza.

De acordo com Cargnelutti Filho et al. (2004), menores valores da estatística fornecem maiores valores de p-valor e, conseqüentemente, maior evidência de não-rejeição da hipótese nula (H_0), ou seja, maior aderência dos dados à distribuição em teste. Porém, cabe frisar que segundo Naghettini e Pinto (2007) o teste de aderência é apenas uma das ferramentas que deve ser levada em conta na seleção de uma distribuição probabilística empírica na representação de dados hidrológicos, destacando-se também as características físicas do fenômeno em foco e as possíveis deduções teóricas quanto às propriedades distributivas da variável em questão.

Naghettini e Pinto (2007) consideram a distribuição de valores extremos do Tipo I ou distribuição de Gumbel como a distribuição extremal mais usada na análise de frequência de variáveis hidrológicas, com diversas aplicações na determinação de relações intensidade-duração-frequência de precipitações intensas e estudos de vazões de enchentes. Back (2001) relata que muitos autores utilizam a distribuição de Gumbel em seus estudos, assumindo a hipótese de que os dados amostrais seguem a distribuição de Gumbel, sem testar esta hipótese ou procurar outra distribuição que poderia proporcionar um melhor ajuste. Assim, considerando que as séries de dados se ajustaram a distribuição de Gumbel, conforme verificado no teste de aderência, bem como em função da sua larga aplicabilidade na análise de chuvas intensas, esta distribuição foi adotada na estimativa das equações IDF para o presente estudo.

3.4.2. Equação IDF

As constantes da forma geral da equação IDF (Equação 24), apresentadas na Tabela 9, foram obtidas por este estudo utilizando a intensidade das precipitações máximas com durações de 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 480, 600, 720 e 1.440 minutos, além de períodos de retorno do fenômeno de 2, 5, 10, 20 e 100 anos. A amplitude dos intervalos de tais estimativas conferem às equações IDF uma larga faixa de aplicação.

Tabela 9. Equações IDF e suas respectivas constantes.

Estação	Código	Constantes da curva IDF				Equação IDF
		K	a	b	c	
Tabajara	P1	186,6627	0,313992	0	0,432422	$i_m = \frac{186,6627 \cdot Tr^{0,313992}}{t^{0,432422}}$
Fábio Boliche	P2	196,9713	0,301531	0	0,432449	$i_m = \frac{196,9713 \cdot Tr^{0,301531}}{t^{0,432449}}$
Mineração Oriente Novo	P3	210,6489	0,306345	0	0,432087	$i_m = \frac{210,6489 \cdot Tr^{0,306345}}{t^{0,432087}}$
Mineração Jacundá	P4	214,6442	0,247036	0	0,433253	$i_m = \frac{214,6442 \cdot Tr^{0,247036}}{t^{0,433253}}$
Ji-Paraná	P5	211,958	0,294945	0	0,432277	$i_m = \frac{211,958 \cdot Tr^{0,294945}}{t^{0,432277}}$
Rondonimas (Barrocas)	P6	213,5122	0,3161	0	0,431864	$i_m = \frac{213,5122 \cdot Tr^{0,3161}}{t^{0,431864}}$
Jaru	P7	203,5937	0,2438	0	0,433613	$i_m = \frac{203,5937 \cdot Tr^{0,2438}}{t^{0,433613}}$
Seringal 70	P8	208,9362	0,307646	0	0,432095	$i_m = \frac{208,9362 \cdot Tr^{0,307646}}{t^{0,432095}}$
Mirante da Serra	P9	171,5871	0,315715	0	0,432748	$i_m = \frac{171,5871 \cdot Tr^{0,315715}}{t^{0,432748}}$
Theobroma	P10	199,3147	0,316342	0	0,432115	$i_m = \frac{199,3147 \cdot Tr^{0,316342}}{t^{0,432115}}$
Marco Rondon	P11	195,4602	0,29959	0	0,432521	$i_m = \frac{195,4602 \cdot Tr^{0,29959}}{t^{0,432521}}$
Fazenda Flor do Campo	P12	180,6743	0,237331	0	0,434501	$i_m = \frac{180,6743 \cdot Tr^{0,237331}}{t^{0,434501}}$
Vista Alegre	P13	200,5137	0,315891	0	0,432101	$i_m = \frac{200,5137 \cdot Tr^{0,315891}}{t^{0,432101}}$
Pimenta Bueno	P14	196,9065	0,309495	0	0,432293	$i_m = \frac{196,9065 \cdot Tr^{0,309495}}{t^{0,432293}}$
Rolim de Moura	P15	206,2055	0,312511	0	0,432056	$i_m = \frac{206,2055 \cdot Tr^{0,312511}}{t^{0,432056}}$
Parecis	P16	186,3621	0,321895	0	0,432273	$i_m = \frac{186,3621 \cdot Tr^{0,321895}}{t^{0,432273}}$

Os coeficientes obtidos denotaram as tendências típicas de curvas IDF, ou seja, intensidades indiretamente proporcionais ao tempo de duração do evento e diretamente proporcionais ao período de retorno.

Um fato curioso na construção das equações foi que a constante “b” de cada localidade, são iguais numericamente, sendo que o mesmo não se mostrou nada expressivo de interferência na determinação da intensidade, pois o valor deste foi de 0. O mesmo aspecto foi observado para a constante “c”, que apresentou valores bem próximos entre si.

Isso reflete o uso dos coeficientes de desagregação, que ao serem utilizados forçam o coeficiente de ajuste de duração a tender a essa igualdade, visto que o mesmo

emprega quocientes de desagregação idênticos para todas as séries históricas. Fatos semelhantes aos descritos anteriormente foram registrados no estudo de Souza (2012), na elaboração de equações de chuvas intensas em localidades da Amazônia Ocidental e no trabalho de Oliveira et al. (2000), para equações de chuvas intensas em algumas localidades no estado de Goiás.

A Figura 32 mostra as áreas de influências das equações IDF, sendo a identificação das estações a mesma apresentada no campo “Código” da Tabela 9.

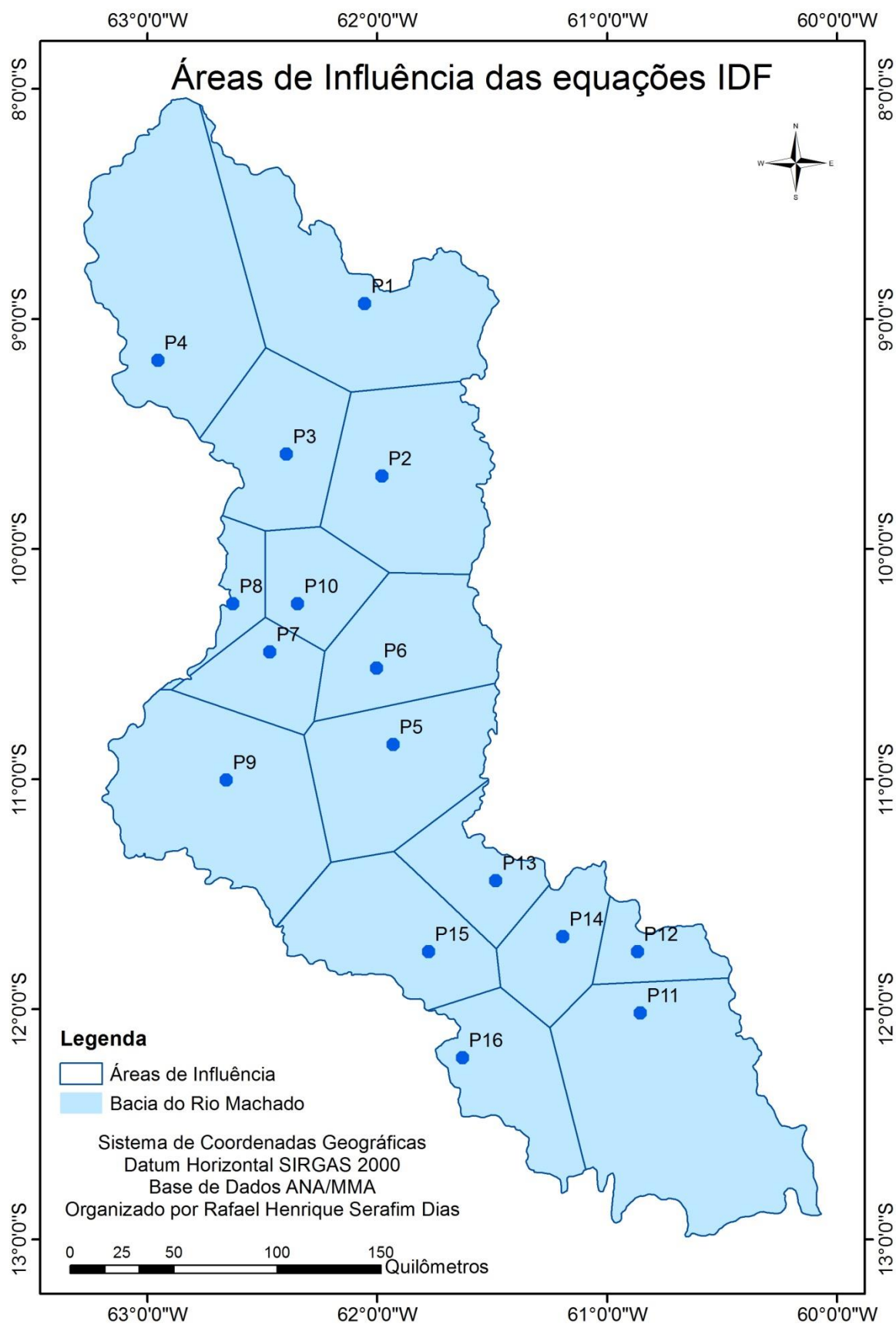


Figura 32. Áreas de influência das equações IDF.

Na Tabela 10 está expressa a análise dos resíduos gerados por cada equação IDF ao estimar os dados medidos e modelados pela distribuição de Gumbel, os quais foram utilizados na confecção deste modelo matemático de chuvas extremas.

Tabela 10. Análise de resíduos e coeficiente de determinação das equações IDF.

Estação	Código	EPM	ENM (%)	EMM	r²
Tabajara	P1	52,6865	64,78711	1,35226	0,718101
Fábio Boliche	P2	52,96335	63,72438	1,344159	0,716238
Mineração Oriente Novo	P3	58,22075	65,37304	1,349805	0,713522
Mineração Jacundá	P4	46,20188	59,47631	1,317688	0,714312
Ji-Paraná	P5	55,8258	63,90072	1,341837	0,713388
Rondoninas (Barrocas)	P6	61,61452	67,1371	1,358195	0,713006
Jaru	P7	42,92211	58,67748	1,31499	0,717274
Seringal 70	P8	58,02515	65,44161	1,350551	0,713822
Mirante da Serra	P9	48,36086	63,98162	1,351388	0,721519
Theobroma	P10	57,209	66,09636	1,35622	0,715512
Marco Rondon	P11	52,07513	63,36541	1,342551	0,716605
Fazenda Flor do Campo	P12	36,39766	57,18849	1,30974	0,724686
Vista Alegre	P13	57,47391	66,11206	1,356015	0,715292
Pimenta Bueno	P14	54,80014	64,84342	1,35017	0,716083
Rolim de Moura	P15	58,40474	65,99119	1,354038	0,714279
Parecis	P16	54,4416	66,06308	1,359178	0,717967

A partir dos dados apresentados na Tabela 10, observa-se que a flutuação dos resultados das equações quando comparados aos dados utilizados em sua estimação apresenta uma taxa de erros padrão médio - EPM oscilando entre 36,39 a 61,61.

Naghetini e Pinto (2007) destacam que quando o erro padrão da estimativa se aproxima de zero, a equação de regressão se ajusta bem aos dados amostrais; no entanto, o ajuste entre os dados amostrais e a equação de regressão será muito ruim se o erro padrão da estimativa tiver valor próximo do desvio padrão da variável dependente.

Tais autores citam ainda que o modelo de regressão ideal é aquele com o menor número de variáveis explicativas e que apresenta pequeno erro padrão de estimativa com alto coeficiente de determinação. Na presente pesquisa, os valores do EPM não ficaram muito próximos de zero, porém, ficaram muito inferiores aos valores

do desvio padrão da variável dependente, indicando uma possibilidade de aceitação do ajuste.

A distribuição pontual desses erros é exibida na Figura 33, onde se observa que o comportamento dos resíduos deu-se de forma semelhante em todas as estações, com uma variação apenas na série P12, que apresentou uma magnitude inferior as demais, conferindo-lhe um erro menor.

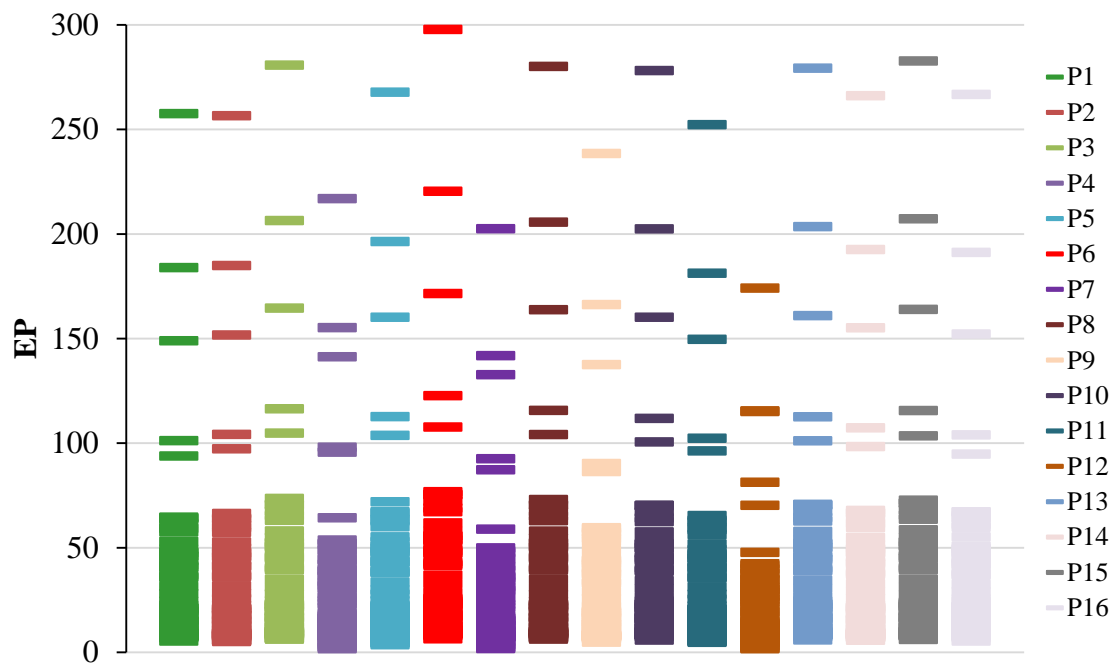


Figura 33. Distribuição dos valores de erro padrão médio (EPM).

Os valores de erro normalizado médio - ENM, que se encontram na faixa de 57,18% a 67,13%, tem sua distribuição descrita na Figura 34, sendo verificada uma tendência das estimativas, mesmo que inexpressiva, de superestimar a intensidade, em função do valor ser superior a zero. Souza (2012), ao encontrar valores negativos para ENM, revelou que as equações propostas em seu estudo tendiam a subestimar os dados medidos. Destaca-se que obras projetadas com dados superestimados provavelmente apresentarão um aspecto construtivo mais oneroso, contudo, tendem a ser mais resistentes aos eventos extremos.

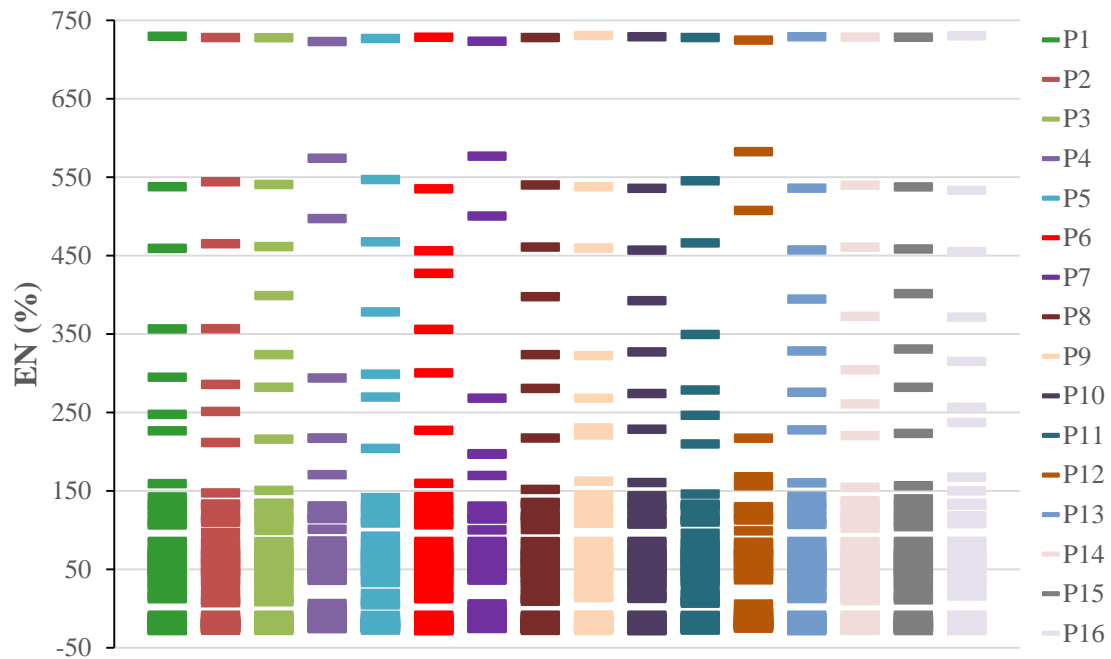


Figura 34. Distribuição dos valores de erro normalizado médio (ENM).

Os índices relacionados ao erro multiplicativo médio – EMM, de acordo com Moog e Jirka (1998) são muito sensíveis a pequenas disparidades. Os valores identificados na presente pesquisa, conforme indicado Tabela 10, ficaram próximos a 1, o que evidencia que as diferenças, nos resultados fornecidos pelos modelos matemáticos quando comparados aos dados medidos, não são expressivas.

Além disso, ao se avaliar a distribuição destes, conforme Figura 35, verifica-se novamente uma tendência de superestimação dos eventos, mesmo que de forma inexpressiva, visto que os valores pontuais tenderam a ser superiores a 1.

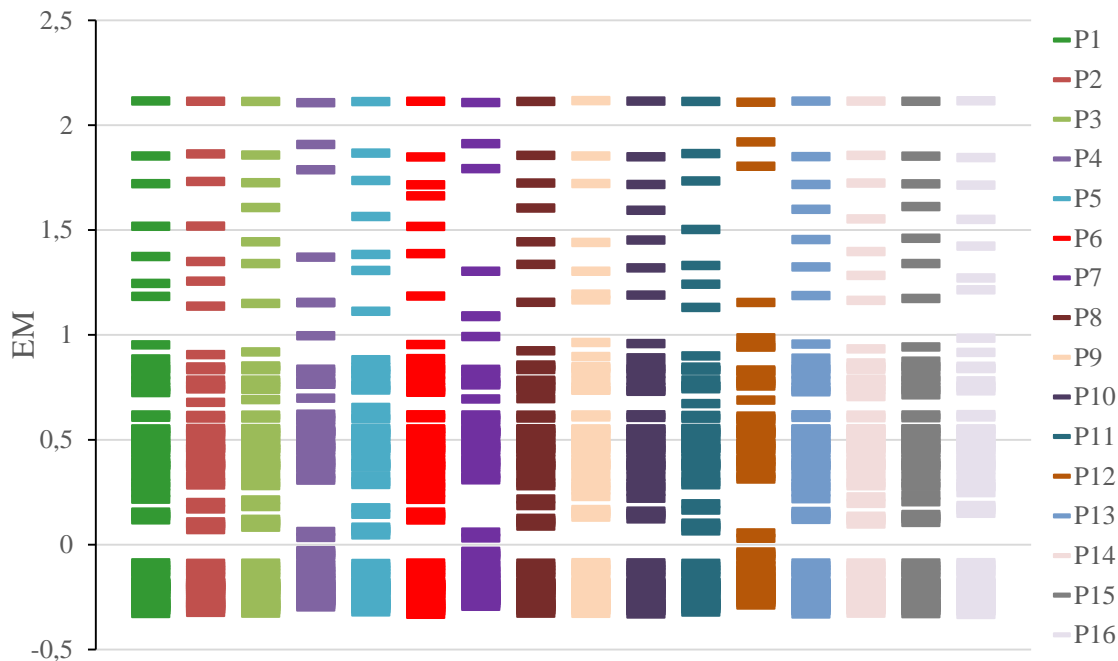


Figura 35. Distribuição dos valores de erro multiplicativo médio (EMM).

Naghetini e Pinto (2007) destacam que em uma análise de regressão, o coeficiente de determinação (r^2) deve ser avaliado, uma vez que expressa a proporção da variância total da variável dependente que é explicada pela equação de regressão. Tais autores citam ainda que o coeficiente de determinação deve se aproximar de 1, pois quanto maior o valor desse coeficiente, maior será a proporção da variância que pode ser explicada pelo modelo.

As equações propostas por este estudo apresentaram um coeficiente de determinação, conforme indicado na Tabela 10, de aproximadamente 0,72, indicando assim que aproximadamente 72% das variações na magnitude dos dados pluviométricos extremos desagregados e modelados pela distribuição Gumbel podem ser explicadas pelos dados estimados pelas equações IDF confeccionadas neste estudo. Este índice demonstra o potencial de aplicabilidade das equações, visto que representa uma magnitude significativamente expressiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise do uso e ocupação do solo na bacia do rio Machado no período de 1973 a 2015, foi verificada uma relação direta não proporcional entre a redução da área classificada como vegetação arbórea e o acréscimo da área classificada como área antropizada. Essa alteração no uso do solo expressa o resultado das ações do Estado no sentido de garantir a ocupação da região, sendo possível citar como um de seus impactos, a alteração do comportamento da bacia frente a eventos hidrológicos.

A redução do tempo de concentração da bacia em função da alteração no uso do solo, com a redução da área vegetada, foi um dos impactos observados na presente pesquisa. Essa redução, além de indicar uma maior probabilidade de intensificação de picos de enchentes na área da bacia, mostra que a bacia está mais suscetível aos efeitos desses eventos, como erosão e assoreamento de cursos d'água.

Os índices físicos da bacia, mensurados em sua caracterização morfométrica, pressupõem que ela apresenta baixa tendência a picos de enchentes, uma vez que possui um formato alongado, tendendo ao retangular, baixa densidade de drenagem e um relevo classificado como uma transição de plano a suave ondulado. Cabe destacar que esses índices por si só não levam em conta as alterações no uso do solo, e ao considerar tais dados, bem como avaliar a tendência do tempo de concentração, extrai-se que esses picos de enchentes podem ser intensificados, servindo como um alerta para o planejamento de estudos e implantação de medidas não estruturais e estruturais na área da bacia para o controle de inundações.

Nos registros das precipitações máximas anuais de “um dia”, os três maiores índices pluviométricos observados foram próximos ou superiores a 200 mm, com um período de retorno associado inferior a 100 anos. Esses valores devem ser observados no planejamento de obras hidráulicas na área da bacia, por influenciar diretamente, dentre outros fatores, no risco e custo das obras.

Já as equações IDF, elaboradas para 16 estações pluviométricas localizadas na área da bacia hidrográfica do rio Machado, demonstram um potencial de aplicabilidade a uma grande faixa de períodos de retorno e tempos de duração das chuvas, por sua magnitude significativamente expressiva. Em função da grande importância do

conhecimento da distribuição espacial e temporal das chuvas para o planejamento de uso dos recursos hídricos, as equações IDF elaboradas podem ser de grande utilidade nos estudos desenvolvidos na área da bacia, especialmente em projeto hidráulicos.

Cabe ressaltar que uma série de análises complementares deve ser realizada antes da utilização dos dados desta pesquisa na realização de estudos e/ou projetos relacionados ao controle de enchentes e inundações, bem como avaliadas as restrições apresentadas por sua metodologia.

Além disso, em função da delimitação dada ao presente estudo e diante das restrições da metodologia utilizada, algumas questões importantes e/ou complementares ao presente estudo deixaram de ser avaliadas. Desta forma, como proposta para estudos futuros, sugere-se a realização da classificação de imagens por diferentes metodologias, como forma de comparar sua eficiência, especialmente ao se utilizar imagens de satélites diferentes; a utilização de diferentes métodos de cálculo do tempo de concentração, buscando verificar a influência dos parâmetros utilizados nos resultados obtidos; a utilização de mecanismos ou novas ferramentas para vincular os índices físicos da bacia ao uso dado ao solo de forma direta; a elaboração de equações IDF a partir da utilização de diferentes distribuições, bem como englobando as demais bacias hidrográficas do estado de Rondônia.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Princípios de Hidrologia Ambiental**. ANA. 2009. Disponível em: <http://capacitacao.ana.gov.br/Lists/Editais_Anexos/Attachments/23/03.PHidrologiaAmb-GRH-220909.pdf>. Acesso em: 01 março 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Procedimentos para Consistência de Dados Pluviométricos** – Anexo I. Brasília: Gerência de Informações Hidrometeorológicas/Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Sistema de Informações Hidrológicas**. ANA. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrológicas/redehidro.aspx>>. Acesso em: 14 ago 2015.

ANDRADE, L. R. **Análise temporal do uso e ocupação da terra como subsídio à gestão da Bacia do Rio Boa Vista, Ouro Preto do Oeste, Rondônia**. 2011. Monografia (Graduação) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2011.

ARNDT, M. A. **Uso e ocupação do solo e escoamento superficial na Bacia Hidrográfica do Rio Cascavel**. 2009. 35 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

BACELLAR, L. A. P. O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas. **Geo.br**, v. 1, p. 1-39, 2005. ISSN 1519-5708

BACK, A. J. Seleção de distribuição de probabilidade para chuvas diárias extremas do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 16, n. 2, p. 211-222, 2001.

BASTOS, M. A. **Índices de vegetação para o mapeamento de lavouras de arroz irrigado na bacia do rio Gravataí no estado do Rio Grande do Sul**. 2014. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

BERNINI, H. **Diagnóstico da perda de solo por erosão hídrica para planejamento de conservação e manutenção de mananciais de abastecimento público: o caso de Espigão d'Oeste – RO**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2012.

BINSZTOK, J. et al. Projetos Integrados de Colonização: Paradigma da contra-reforma agrária promovida pelo regime militar nos anos 70 na Amazônia. In: **Simpósio Internacional de Geografia Agrária**, 5, 2011.

BORGES, L. C.; FERREIRA, D. F. Poder e taxas de erro tipo I dos testes Scott-Knott, Tukey e Student-Newman-Keuls sob distribuições normal e não normais dos resíduos. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 67-83, 2003.

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. **Portal da Legislação** - Governo Federal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 26 set 2015.

BRASIL. Lei nº 4.344, de 21 de junho de 1964. Cria o cargo de Ministro Extraordinário e dá outras providências. **Câmara dos Deputados**. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1960-1969/lei-4344-21-junho-1964-353371-publicacaooriginal-1-pl.html>>. Acesso em: 26 set. 2015.

CÂMARA, G. et al. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling**. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CAMARGO, J. C. G.; REIS JÚNIOR, D. F. C. A filosofia (neo)positivista e a Geografia Quantitativa. In: VITTE, Antonio Carlos (org.). **Contribuições à História e à Epistemologia da Geografia**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

CARDOSO, C. O.; ULLMANN, M. N.; BERTOL, I. Análise de chuvas intensas a partir da Desagregação das chuvas diárias de Lages e de Campos Novos (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 131-140, 1998.

CARDOSO, C. A. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; TRINDADE, J. K. Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 1, p. 1157-1166, 2004.

CARVALHO, A. A. **Fundamentação Teórica para Processamento Digital de Imagens**. 2003. Monografia (Graduação em Ciência da Computação) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

CATALUNHA, M. J. et al. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.153-162, 2002.

CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; PRUSKI, F. F.; HOLLANDA, M. P.; PEZZOPANE, J. E. M. Avaliação de interpoladores para os parâmetros das equações de chuvas intensas no Espírito Santo. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 82-92, 2009.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Hidrología Aplicada**. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill, 1994.

CIRILO, J. A.; GÓES, V. C.; ASFORA, M. C. Integração das águas superficiais e subterrâneas. In: CIRILO, J. A. et al. **O uso sustentável dos recursos hídricos em regiões semi-áridas**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2007. cap. 06, p. 167-275.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. Porto Alegre: IPH UFRGS, 2008. 149 p.

COSTA, O. B. Avaliação espaço-temporal da expansão do plantio de soja na dinâmica do uso da terra no estado de Rondônia - RO. 2013. 130 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

COSTA, W. M. **O Estado e as políticas territoriais no Brasil**. 9. ed. São Paulo: Contexto, 2000. ISBN 85-85134-19-4

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. 1992. 173 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Campinas, Campinas. DOMJP 873.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10., 1979, Rio de Janeiro. **Súmula...** Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

ELTZ, F. L.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A. Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.265-269, 1992.

FARIAS JÚNIOR, J. E. F.; BOTELHO, R. G. M. Análise comparativa do tempo de concentração: um estudo de caso na bacia do rio Cônego, município de Nova Friburgo/RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. **Anais...** Maceió: ABRH, 2011. p. 1-20.

FIETZ, C. R.; COMUNELLO, É. **Probabilidade de ocorrência de chuva em Mato Grosso do Sul**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. 184 p.

FRANCA, R. R. **Eventos pluviais extremos na Amazônia Meridional: riscos e impactos em Rondônia**. 2015. 186 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

FRANCO, R. A. **A importância da construção da BR-364 para o desenvolvimento socioeconômico de Rondônia**. Artigo (Licenciatura em História) – Faculdades Integradas de Ariquemes, Ariquemes, 2011.

FURLAN, D. N. **Variabilidade temporal e espacial das chuvas e do balanço hídrico no estado de Rondônia**: caracterização e análise de tendência. 2009. 129 f. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente Agrícola) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11131/tde-22062009-153955/>>. Acesso em: 2015-09-26.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1988, 291 p. ISBN 978-85-212-0169-4

GUMBEL, E. J. **Statistics of extremes**. New York: Dover Publications, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estados**. 2015. IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=ro>>. Acesso em: 31 jan. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **FAQ**. 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm#2>>. Acesso em: 30 set. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências/Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais (Manuais técnicos em geociências), 2 ed., 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências/Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais (Manuais técnicos em geociências), 3 ed., 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências/Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais (Manuais técnicos em geociências), 2 ed., 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências/Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais (Manuais técnicos em geociências), 3 ed., 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de Clima do Brasil** (Metadados). Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências/ Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2002. Disponível em: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:LABvzJ3BJ7YJ:ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/shapes/clima/Metadados_Mapa%2520de%2520Clima%2520do%2520Brasil.pdf+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 31 ago. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do Censo Demográfico de 2010**. 2015. IBGE. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em: 16 dez. 2015.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Revisão do Plano de Manejo do Parque Nacional de Pacaás Novos**. Brasília: Diretoria de Unidades de Conservação de Proteção Integral/Coordenação do Bioma Amazônia, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Taxas anuais do desmatamento – 1988 até 2014**. Coordenação-Geral de Observação da Terra (Projeto

PRODES). INPE. Disponível em:
<http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2014.htm>. Acesso em: 06 out. 2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva: IPCC, 2014. 151 p.

KUNZLER, J. C. S.; BARBOSA, F. A. R. Recursos Hídricos Superficiais. In: ADAMY, A. (Org.). **Geodiversidade do estado de Rondônia**. Porto Velho: CPRM, 2010. cap. 5, p. 79-92.

LOCATELLI, M. et al. Avaliação das características do solo em uma recuperação de mata ciliar no município de ouro preto d'oeste, Rondônia. In: REUNIÃO DE CIÊNCIA DO SOLO DA AMAZÔNIA OCIDENTAL, 2., 2014, Porto Velho. **Anais...** Porto Velho: Núcleo Regional Amazônia Ocidental da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2014. p. 17-22.

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 21 out. 2015.

MIRANDA, M. Colonização e Reforma Agrária. In: **Boletim de Geografia**, a. 5, n. 1, UEM: mar. 1987.

MOOG, D. B.; JIRKA, G. H. Analysis of reaeration equations using mean multiplicative error. **Journal of Environmental Engineering**, v. 124, p. 104-110, 1998.

MOUTINHO, V. M. **Avaliação e reabilitação de redes de microdrenagem**. 2011. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p. ISBN 978-85-7499-023-1.

NIMER, E. Um modelo metodológico de classificação de climas. In: **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. ano 41, n. 4, p. 59-82. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?view=detalhes&id=7115>>. Acesso em: 31 ago. 2015.

NÓIA, C. P. Z. **Estimativa de precipitação pluvial máxima para o Estado de Mato Grosso do Sul**. 2013. 61f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2013.

OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; BARBOSA, F. O. A.; ROMÃO, P. A.; CARVALHO, D. F. Estimativa das equações de chuvas intensas para algumas localidades no estado de Goiás pelo método da desagregação de chuvas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 30, n. 1, p. 23-27, 2000.

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. **Los Extremos Meteorológicos y El Cambio Climático: Restrospectivas de las Predicciones**. Ginebra: OMM, n. 1075, 2011. 17 p.

PAZ, A. R. **Hidrologia Aplicada**. Caxias do Sul: UERGS, 2004. Disponível em: <http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/apostila_HIDROLOGIA_APLICADA_UERGS.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2015.

PEREIRA, J. M. O processo de ocupação e de desenvolvimento da Amazônia – A implementação de políticas públicas e seus efeitos sobre o meio ambiente. In: **Revista de Informação Legislativa**. a. 34, n. 134, Brasília: abr./jun. 1997.

PEREIRA, S. C. **Sistema de Análise de Risco Operacional** - Aplicação de modelos de risco operacional para empresas de produção e serviços não financeiros. 2010. 91 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia de Controle e Automação) - Departamento de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2010.

PORTO, R. L. L.; ZAHED FILHO, K.; SILVA, R. M. Bacias Hidrográficas. 1999. **PHD 307 – Hidrologia Aplicada**, Departametro de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da USP. Disponível em: <www.phd.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=6572>. Acesso em 03 out. 2015.

PRIST, P. R. **Análise espacial da distribuição da fauna de vertebrados de médio e grande porte frente a dois padrões de desmatamento típicos da floresta Amazônica, na região de Alta Floresta - MT**. 2011. Dissertação (Mestrado em Ecologia: Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41134/tde-14122011-093351/>>. Acesso em: 26 set. 2015.

QUADROS, M. L. E. S. Contexto Geológico. In: ADAMY, A. (Org.). **Geodiversidade do estado de Rondônia**. Porto Velho: CPRM, 2010. cap. 2, p. 15-36.

QUADROS, M. L. E. S. Geologia e recursos minerais do Estado de Rondônia: Sistema de Informações Geográficas – SIG: Texto Explicativo do Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado de Rondônia. Organizado por Marcos Luiz do Espírito Santo Quadros [e] Gilmar José Rizzotto. Porto Velho: CPRM, 2007. 153p. Programa Geologia do Brasil (PGB).

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. CNPS, 1995. 65 p.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. F. Técnicas em Hidrografia. In: VENTURI, L. A. B. **Geografia: Práticas de Campo, Laboratório e Sala de Aula**. São Paulo: Sarandi, 2011 (Coleção Praticando).

RONDÔNIA (Estado). Lei Complementar n. 233, de 06 de junho de 2000. Dispõe sobre o Zoneamento Socioeconômico - Ecológico do Estado de Rondônia - ZSEE e dá outras providências. In: **Secretaria de Desenvolvimento Ambiental**. Disponível em:

<<http://www.sedam.ro.gov.br/index.php/component/content/article/109-cogeo/168-acervo-tecnico>>. Acesso em: 30 set. 2015.

RONDÔNIA (Estado). Lei Complementar nº 312, de 06 de maio de 2005. Acrescenta e revoga dispositivos da Lei Complementar nº 233, de 06 de junho de 2000. **Assembleia Legislativa do Estado de Rondônia**. Disponível em: <http://sapl.al.ro.leg.br/consultas/norma_juridica/norma_juridica_mostrar_proc?cod_no_rma=445>. Acesso em: 30 set. 2015.

RONDÔNIA (Estado). **Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia**: Um Instrumento de Gestão Ambiental a Serviço do Desenvolvimento Sustentável de Rondônia. Porto Velho: SEDAM, 2007. 58 p.

SAITO, É. A. **Caracterização de trajetórias de padrões de ocupação humana na Amazônia Legal por meio de mineração de dados**. 2011. 158 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2010/12.01.16.33-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/38MM2TL>>. Acesso em: 26 set. 2015.

SANTOS, A. R.; PELUZIO, T. M. O.; SAITO, N. S. **SPRING 5.1.2**: passo a passo: aplicações práticas. Alegre: CAUFES, 2010, 152 p, 30 cm. Inclui índice. ISBN 978-85-61890-06-3.

SÃO PAULO (cidade). **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; fundamentos**. São Paulo: SMDU, v. 2, 2012. Disponível em: <<http://www.habisp.inf.br/theke/documentos/outros/manuais-de-drenagem/volume2/index.html>>. Acesso em: 04 ago. 2014.

SENAI. **Perfil Socioeconômico e Industrial do Estado de Rondônia**. Federação das Indústrias do Estado de Rondônia, Porto Velho: 1997.

SHINZATO, E.; TEIXEIRA, W. G.; MENDES, A. M. Solos. In: ADAMY, A. (Org.). **Geodiversidade do estado de Rondônia**. Porto Velho: CPRM, 2010. cap. 4, p. 55-78.

SILVA FILHO, E. P. **Estudo da degradação de solos em áreas de pastagens no município de Porto Velho (RO)**. 2009. 159 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2009.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, 4 ed. Porto Alegre: ABRH, 2009. Cap. 2, p. 35-51.

SILVINO, A. N. O. et al. Determinação de vazões extremas para diversos períodos de retorno para o rio Paraguai utilizando métodos estatísticos. **Geociências**: UNESP, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 369-378, 2007.

SOUZA, M. M. O.; PESSÔA, V. L. S. O processo de formação do território rondoniense revisitado: da colônia ao golpe de 1964. In: **ACTA Geográfica**, Boa Vista, v. 4, n. 8, p. 143-160, jul./dez. 2010.

SOUZA, M. M. O.; PESSÔA, V. L. S. A Contra-Reforma Agrária em Rondônia: colonização agrícola, expropriação e violência. In: **Encontro de Grupo de Pesquisa**, V, Agricultura, Desenvolvimento Regional e Transformações Socioespaciais, UFSM: 2009.

SOUZA, V. A. S. **Eventos de precipitações extremas na Amazônia Ocidental: Rondônia – Brasil**. 2012. 64 f. Monografia (Graduação) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Rondônia, Ji-Paraná, 2012.

SOUZA, V. A. S. et al. Equação de Intensidade-Duração e Frequência de chuvas para o município de Ouro Preto do Oeste, Rondônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013. p. 1-6.

STUDART, T.; CAMPOS, N. Hidrologia Aplicada. In: STUDART, T. **Hidrologia**. Fortaleza: UFC, 2006. cap. 1, p. 1-11. Disponível em: <http://www.barramentos.ufc.br/Hometiciana/Arquivos/Graduacao/Apostila_Hidrologia_grad/Cap_1_Introducao_2004.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2015.

STUDART, T. **Hidrologia**. Fortaleza: UFC, 2006. cap. 5. Disponível em: <http://www.barramentos.ufc.br/Hometiciana/Arquivos/Graduacao/Apostila_Hidrologia_grad/Cap_1_Introducao_2004.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2015.

SUERTEGARAY, D. M. A.; NUNES, J. O. R. A natureza da Geografia Física na Geografia. **Revista Terra Livre**, n. 17, p. 11-23, 2001.

TONELLO, K. C. et al. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões – MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n. 5, p. 849-857, 2006.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia. Ciências e aplicação**. 4. Ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 2009.

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. **Clima e Recursos Hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, 2003. 348 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos). ISBN: 85-88686-11-2.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3 ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2002. 943 p.

TUCCI, C. E. M. et al. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre, UFRGS/ABRH, 943 p., 2004.

TURCHI, L. M. A colonização dirigida no processo de expansão e ocupação da fronteira agrícola: Território Federal de Rondônia. In: Encontro Nacional de Estudos Populacionais, II, 1980, Águas de São Pedro, Anais... São Paulo: ABEP, 1980.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. 2. ed. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2013. 77 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 1975. 245 p.

WATANABE, F. M. **Análise do método de Gumbel para cálculo de vazões de dimensionamento de vertedouros**. 2013. 87 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.