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

THIAGO BORTOLETO RODRIGUES

CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ DO CONTRA, PORTO VELHO-RO: IMPLICAÇÕES A PARTIR DA VULNERABILIDADE À EROSÃO.

Porto Velho, RO

2015

THIAGO BORTOLETO RODRIGUES

CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DO USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ DO CONTRA, PORTO VELHO-RO: IMPLICAÇÕES A PARTIR DA VULNERABILIDADE À EROSÃO.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Departamento de Geografia, do Núcleo de Exatas e da Terra da Fundação Universidade Federal de Rondônia, como requisito a obtenção de Título de Mestre em Geografia na linha de pesquisa: Paisagem, Natureza e Sustentabilidade – PNS**.**

Orientador: Prof. Dr. Dorisvalder Dias Nunes

Porto Velho, RO

2015

FICHA CATALOGRÁFICA

BIBLIOTECA PROF. ROBERTO DUARTE PIRES

R696c

Rodrigues, Thiago Bortoleto

Caracterização e análise do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do igarapé do Contra, Porto Velho, RO: implicações a partir da vulnerabilidade à erosão./ Thiago Bortoleto Rodrigues. Porto Velho, Rondônia, 2015.

110 f.

Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Rondônia/UNIR.

Orientador: Prof. Dr. Dorisvalder Dias Nunes

1. Cobertura e uso da terra. 2. Vulnerabilidade à erosão. 3. Bacia Hidrogáfica. I. Nunes, Dorisvalder Dias. II. Título.

CDU: 91:556

Bibliotecária Responsável: Cristiane Marina Teixeira Girard/ CRB 11-897

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

THIAGO BORTOLETO RODRIGUES

A Banca de defesa de Mestrado presidida pelo orientador ***Prof. Dr. Dorisvalder Dias Nunes*** e constituída pelos examinadores **Profa. Dra. Maria Madalena de Aguiar Cavalcante e Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos,** reuniram-se no dia 01 de setembro de 2015, às 9 horas no Auditório Milton Santos, Bloco 1T, sito no Campus Universitário José Ribeiro Filho, para avaliar a Dissertação de Mestrado intitulada **"Caracterização e análise do uso e cobertura da Terra na Bacia Hidrográfica do Igarapé do Contra, Porto Velho: implicações a partir da vulnerabilidade à Erosão"** do mestrando **Thiago Bortoleto Rodrigues,** matrícula 201310055. 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, 01 de setembro de 2015.

Prof. Dr. Dorisvalder Dias Nunes
Orientador/Presidente

Profa. Dra. Maria Madalena de Aguiar Cavalcante
Examinadora Interna/PPGG/UNIR

Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos
Examinador Externo/PGDRA/UNIR

DEDICATÓRIA

Dedico, em especial, a meu Pai Cesar (*in memoriam*) e minha mãe Cleide pela oportunidade que me deram, permitindo que eu chegasse até este momento.

Dedico a minha esposa, Janaina, e a minha filha, Flávia, pela paciência e apoio em todos os momentos desta jornada.

EPÍGRAFE

"Quem és tu?

Tu és um indivíduo entre outros 6,4 bilhões de indivíduos, compondo uma única espécie entre outras 3 milhões de espécies já classificadas, entre 30 milhões possíveis, que vive em um planetinha que gira em torno de uma estrelinha entre outras 100 bilhões de estrelas, compondo uma única galáxia entre outras 200 bilhões de galáxias, em um dos universos possíveis, e que um dia vai desaparecer.

Tu és o vice-treco do sub-troço".

Mário Sérgio Cortella (2005)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os meus familiares, amigos do CENSIPAM, amigos do Laboratório de Geografia e Planejamento Ambiental, aos Professores do Mestrado em Geografia, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e a todos aqueles que direta ou indiretamente apoiaram essa trajetória de formação.

Agradeço, em especial, ao meu orientador pela compreensão nos momentos difíceis e pelo grande apoio e discussão na construção da dissertação.

RESUMO

Com o advento da Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) tornaram-se cada vez mais importantes estudos que levem em consideração a bacia hidrográfica como recorte geográfico de análise, onde se integre todos os tipos e fontes de dados, gerando informações de qualidade o suficiente para uma gestão adequada deste espaço. Desta forma o presente estudo tem o objetivo de analisar a bacia hidrográfica do Igarapé do Contra − BHIC enquanto recorte geográfico, de modo a entender a sinergia entre os processos de ação antrópica na busca do desenvolvimento e a necessidade de conservação e proteção ambiental, de forma integrada e/ou sistêmica, caracterizando os impactos da Cobertura e Uso da Terra e sua influência na vulnerabilidade a erosão da Bacia, através da elaboração de dois cenários, (1) natural e (2) antrópico, utilizando do conceito de Ecodinâmica, das geotecnologias e Análise Hierárquica Multicriterial. A Bacia está inserida no domínio Morfoclimático Amazônico, localizando-se na porção Noroeste do estado de Rondônia, entre os paralelos (Latitude) 9°55’30’’S e 9°30'30’’S e os meridianos (Longitude) 64°29'W e 64°52’30’’W, Datum WGS 1984. Possui uma área 94.489,1 ha que, originalmente, eram cobertos por Floreta Ombrófila Aberta e suas faciações (99% da área) sobre a Unidade Geomorfológica Depressão do Madeira – Jaci-Paraná e seus modelados. Seu perímetro é de aproximadamente 176,55 km. Em linha reta, possui 45 km na direção Norte-Sul e 38 km na direção Leste-Oeste. A metodologia adotada neste trabalho foi a de Crepani (2001) conjugada com método Multicriterial AHP – *Analystic Hierarchy Process*, proposto por Saaty (1977). Foram utilizadas imagens aerotransportadas e de satélites, de diversas plataformas e sensores, principalmente: satélite Landsat-5, sensor Thematic Mapper (TM) e satélite Landsat-8, sensor Operational Land Imager (OLI). Os resultados possibilitaram concluir que a aplicação da metodologia da vulnerabilidade natural à erosão associada ao método de análise multicriterial AHP é uma importante ferramenta para a análise dos impactos ambientais e dos desmatamentos, a partir da abordagem sistêmica na BHIC, permitindo uma melhor integração dos dados qualitativos e quantitativos da área. No cenário um (01), mais de 97% da bacia foi classificada como estável, para os processos morfodinâmicos. Para o cenário dois (02), os dados indicaram que no momento as atividades produtivas da bacia, em especial a pecuária, se manejadas de forma adequada não representam problemas quanto ao desencadeamento de processos erosivos, uma vez que mais de 80% da área se mantém estável aos processos morfodinâmicos, com predomínio dos processos pedogenéticos. Contudo, o cenário não é animador considerando a tendência crescente das taxas de desmatamento e práticas agrícolas convencionais, com manejo inadequado do solo na BHIC, o que exige intervenção imediata dos órgãos para o melhor equacionamento da problemática aqui observada.

Palavras chave: Rondônia; Cobertura e uso da terra; Vulnerabilidade natural a erosão; Bacia Hidrográfica.

ABSTRACT

With the advent of the National Policy of the Hydric Resource (PNRH) studies that consider hydrographic basin as an analysis of the geographic cut has become important, due to the integration of all data source, creating information with enough quality to a proper management of the space delimited by the topographic watersheds. Thus, the present study intends to contribute with those discussion carrying out an analysis of the Igarapé do Contra hydrographic basin in while geographic cut to understand the synergy between the processes of the anthropogenic action to reach the development and the necessity of the conservation and environmental protection, on an integrated and/or systemic way. The general objective is to characterize and analyze the impact of the land use and covers modification and its influence on the vulnerability of the Hydrographic Basin of the Igarapé do Contra – BHIC erosion, using the Ecodynamic theory, geotechnologies and Multicriterial Hierarchy Analysis concepts as pieces on the elaboration of the planning basin proposal. The Hydrography Basin of the Igarapé do Contra – BHIC is inserted on the Amazonian Morph Climatic domain, located on the northwest of the Rondônia State, between the parallels (Latitude) 9°55’30’’S and 9°30'30’’S and the meridians (Longitude) 64°29'W and 64°52’30’’W, Datum WGS 1984. Detains an area of 94.489,1 hectares (ha) which, originally used to be covered by Open Ombrophilous forest and its subtypes (99% of the area) on the Geomorphological Depression of the Madeira Unity – Jaci-Paraná and its modelers. The perimeter has nearly 176,55 km. In a straight line, posses 45 km on the North – South direction and 38 km on the East – West direction. To developed this study the methodology proposed by Crepani (2001) conjugated with Multispectral AHP – Analytic Hierarchy Process method proposed by Saaty (1977), have been used. Were used satellite and aero transported imageries, from many different platforms and sensors, such as: Landsat 5 satellite; Thematic Mapper (TM) sensor; Landsat 8 satellite; Operation Land Imager sensor (OLI); images from RapidEye mission, RapidEye Earth Imaging System sensor (REIS) and images from the aero transported Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). The results have allowed conclude that the application of the methodology of the natural erosion vulnerability associated to the multispectral analysis method AHP is an important tool to analyze the environment impact of the deforestation, from the systemic approach in the BHIC, consenting the best integration of the area qualitative and quantitative data. On first scenery (01), more than 97% of the basin was classified as stable for the morph dynamic process. To the second scenery (02), the data have indicated that on the moment of the productive activities of the basin, in special cattle raising, when achieved on the correct way, do not show problem in concern to the erosive process triggering. Since more than 80% of the area are kept stable to the morph dynamic process, with dominance of the pedogenetics processes. Although, the scenery is not encouraging considering the uptrend of the deforestation taxes and conventional agricultural practices, with an unappropriated soil management in the BHIC, which demands immediately intervention of the institutions to a better comprehension of the here observed problem.

Keywords: Rondônia; Land cover and use; Natural vulnerability to the erosion, Hydrographic Basin.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características das classes escolhidas na análise 54
Quadro 2 − Valores das categorias morfodinâmicas. 57
Quadro 3 − Escala do grau de vulnerabilidade. 57
Quadro 4 − Escala dos comparadores 63
Quadro 5 − Valores de IR para matrizes quadradas de ordem (*n*) 65
Quadro 6 – Escala de interpretação da erosividade da chuva 85
Quadro 7 – Valores de interpretação do índice de erosividade 86
Quadro 8 – Índices de Erosividade da BHIC 86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 − Mapa de localização bacia hidrográfica do Igarapé do Contra. 18
Figura 2 – Mapa temático da bacia hidrográfica do Igarapé do Contra. 35
Figura 3 – Mapa temático da BHIC com o recorte do ZSEE-RO. 35
Figura 4 – Mapa da área de influência da Estação meteorológica de Jirau. 37
Figura 5 – Mapa temático de Solos da BHIC. 38
Figura 6 − Mapa Geomorfológico da BHIC. 41
Figura 7 – Mapa hipsométrico da BHIC. 41
Figura 8 – Mapa temático de Geologia da BHIC. 43
Figura 9 − Mapa temático de vegetação da BHIC. 46
Figura 10 − Fluxograma simplificado do trabalho. 47
Figura 11 – Desmatamento até o ano de 1985 da BHIC. 75
Figura 12 − Desmatamentos até ano de 1995 da BHIC. 76
Figura 13 − Desmatamentos até ano de 2001 da BHIC 77
Figura 14 – Início da ocupação de União Bandeirantes 78
Figura 15 - Mapa temático da cobertura e uso de 2014 79
Figura 16 – Vulnerabilidade do tema Geologia. 83
Figura 17 – Vulnerabilidade: tema Geomorfologia 87
Figura 18 – Vulnerabilidade tema solo. 89
Figura 19 – Vulnerabilidade: tema Vegetação nativa. 90
Figura 20 – Mapa de Vulnerabilidade do tema Vegetação/cobertura e uso 91
Figura 21 − Mapa de Vulnerabilidade do Cenário 1. 92
Figura 22 − Mapa de Vulnerabilidade do Cenário 2. 95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 − Matriz com os valores de importância de cada sistema componente da BHIC 64
Tabela 2 − Matriz de comparação ou Matriz de decisão 64
Tabela 3 − Matriz de comparação normalizada 64
Tabela 4 − Valores dos pesos calculados para a BHIC 65
Tabela 5 − Matriz do vetor soma ponderado 66
Tabela 6 − Valores dos vetores de consistência 66
Tabela 7 – Incremento anual e total antropizado de Rondônia - 1988 a 2014 69
Tabela 8 − Incremento anual da BHIC e do município de Porto Velho, de 2009 a 2014 73
Tabela 9 − Incremento anual e total antropizado da BHIC, de 1997 a 2014 74
Tabela 10 − Área desmatada por classe da BHIC, ano de 2014 80
Tabela 11 − Vulnerabilidade do componente Geologia 84
Tabela 12 – Graus de Vulnerabilidade do Tema Geomorfologia 88
Tabela 13 − Graus de Vulnerabilidade do Tema Solos 88
Tabela 14 − Graus de Vulnerabilidade do Tema Vegetação Nativa 89
Tabela 15 − Graus de Vulnerabilidade do Tema Vegetação/cobertura e uso 91
Tabela 16 – Porcentagem dos graus de vulnerabilidade do Cenário 1 93
Tabela 17 – Porcentagem dos graus de vulnerabilidade do Cenário 2 94

LISTA DE SIGLAS E ABREVIAÇÕES

AHP	-*Analystic Hierarchy Process*
APP	-Área de Preservação Permanente
Aw	-Tipo de clima equatorial, com transição tropical
BHIC	-Bacia Hidrográfica do Igarapé do Contra
CNPq	-Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA	-Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPAF	-Campo experimental de Porto Velho
CPRM	-Serviço Geológico do Brasil
DNPM	-Departamento Nacional da Produção Mineral
EI	-Índice e erosividade
EIA	-Estudo de Impacto Ambiental
EMBRAPA	-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETM+	-*Enhanced Thematic Mapper Plus*
FTP	-*File Transfer Protocol*
GPTI	-Grupo Permanente de Trabalho Interministerial
ha	-Hectares
IBAMA	-Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
$\mathbf{I_{30}}$	-Intensidade máxima da chuva medida em 30 minutos
IC	-Índice de Consistência
INMET	-Instituto Nacional de Meteorologia
IR	-Índice Randômico
LABOGEOPA	-Laboratório de Geografia e Planejamento Ambiental
LANDSAT	-*Land Remote Sensing Satellite*
LDCM	-*Landsat Data Continuity Mission*
MAXVER	-máxima Verossimilhança
MCDM	-*Multiple-Criteria Decision Method*
MDE	-Modelo Digital de Elevação
MDS	-Modelo Digital de Superfície
MDT	-Modelo digital de Terreno

MJ	Megajoules
MMA	-Ministério do Meio Ambiente
mm	-milímetros
MSS	-*Multispectral Scanner System*
NASA	-*Aeronautics and Space Administration*
OCTA	-Organização do Tratado de Cooperação Amazônica
OLI	-*Operational Land Imager*
ONU	-Organização das Nações Unidas
PAH	-Processo Analítico Hierárquico
PDI	-Processamento Digital de Imagens
PDL	-Projeto de Decreto Legislativo
PLANAFLORO	-Plano Agropecuário e Florestal de Rondônia
PNRH	-Política Nacional Dos Recursos Hídricos
POLONOROESTE	-Programa de Desenvolvimento Integrado para o Noroeste do Brasil
PPCDAm	-Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal
PPG7	-Programa de Proteção das Florestas Tropicais Brasileiras
PRODES	-Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélites
RADAMBRASIL	-Projeto de imageamento - Radar na Amazônia
RadidEye	-Missão comercial Alemã, formada por uma constelação de 5 microssatélites
R	-Fator de erosividade
RC	-Razão de Consistência
REIS	-*RapidEye Earth Imaging System*
RESEX	-Reserva Extrativista
RIMA	-Relatório de Impacto Ambiental
SAR	-*Synthetic Aperture Radar*
SEDAM	-Secretária de Estado do Desenvolvimento Ambiental de Rondônia
SiBCS	-Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos
SIG	-Sistema de Informações Geográficas
SIPAM	-Sistema de Proteção da Amazônia
SIRGAS2000	-Sistema de Referencia Geocêntrico para as Américas, ano 2000
SRTM	-*Shuttle Radar Topography Mission*

TGS	-Teoria Geral dos Sistemas
TI	-Terra Indígena
TIRS	-*Thermal Infrared Sensor*
TM	-*Thematic Mapper*
TOPODATA	-Banco de dados Geomorfométricos do Brasil
UC	-Unidade de Conservação
UCH	-Unidades de Conhecimento Hidrológico
UHE	-Usinas Hidrelétricas
UNIR	-Universidade Federal de Rondônia
USGS	-*United States Geological Survey*
UTB	-Unidade Territorial Básica
WGS84	-*World Geodetic System de 1984*
ZSEE-RO	-Zoneamento Socioeconômico e Ecológico de Rondônia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16
1.1 OBJETIVO GERAL 19
1.1.1 Objetivos Específicos 19
2 ABORDAGEM SISTÊMICA NA GEOGRAFIA: TEORIA GERAL DOS SISTEMAS (TGS), ECOLOGIA DA PAISAGEM, GEOSSISTEMAS E ECODINÂMICA 20
2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS COMO UNIDADE DE ANÁLISE 27
2.2 GEOTECNOLOGIAS PARA ESTUDOS AMBIENTAIS 29
2.3 ANÁLISE MULTICRITERIAL PARA ESTUDOS AMBIENTAIS 30
2.4 VULNERABILIDADE NATURAL A EROSÃO 31
3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ DO CONTRA 34
3.1 CLIMA: CONSIDERAÇÕES SOBRE A PRECIPITAÇÃO 36
3.2 GRANDES GRUPOS DE SOLOS DA BHIC 38
3.3 MODELADOS GEOMORFOLÓGICOS DA BHIC 40
3.4 UNIDADES LITOLÓGICAS DA BHIC 42
3.5 FORMAÇÕES VEGETACIONAIS NATIVA DA BHIC 45
4 MATERIAIS E MÉTODOS 47
4.1 MATERIAIS 48
4.1.1 Imagens Orbitais 48
4.1.1.1 Imagens Landsat. 48
4.1.1.2 Imagens RapidEye 49
4.1.1.3 Imagens SRTM 49
4.1.2 Dados vetoriais e dados auxiliares 50
4.2 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS 51
4.2.1 Edição da hidrografia e do limite da BHIC 51
4.2.2 Mapeamento da Cobertura e Uso da Terra na BHIC 52
4.2.3 Mapeamento da vulnerabilidade da BHIC. 55
4.2.4 Definição dos critérios para a atribuição do grau de vulnerabilidade a erosão 58

4.2.5 Atribuição da importância relativa entre os temas 61
4.2.6 Aplicação do Processo de Análise Hierárquica para os dados da BHIC 62
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 68
5.1 EVOLUÇÃO TEMPORAL DA COBERTURA E USO DA TERRA 68
5.1.1 Desmatamento do Estado de Rondônia 68
5.1.2 Desmatamento da BHIC 73
5.2 ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DA BHIC 82
5.2.1 Vulnerabilidade natural do tema Geologia. 83
5.2.2 Vulnerabilidade do tema Clima 85
5.2.3 Vulnerabilidade do tema Geomorfologia. 87
5.2.4 Vulnerabilidade do tema Solo. 88
5.2.5 Vulnerabilidade do tema Vegetação Nativa. 89
5.2.6 Vulnerabilidade do tema Vegetação/cobertura e uso. 90
5.2.7 Cenário 1: BHIC sem ação antrópica 92
5.2.8 Cenário 2: BHIC com ação antrópica 94
6 CONCLUSÕES 97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 100

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia é o maior mosaico de biomas[1] tropicais do mundo onde se concentra a maior porção remanescente de florestas tropicais em seu estado original e um quinto da água doce do planeta. Cobre aproximadamente 60% do território brasileiro, possui 12% de sua população total e seu Produto Interno Bruto (PIB) gira em torno de 6% do total nacional, abrangendo os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia e Roraima, além de partes do Maranhão, Mato Grosso e Tocantins (THÉRY, 2005).

Com esta representatividade territorial, estes biomas são afetados pelas dinâmicas socioeconômicas as quais têm causado profundas mudanças ambientais na Amazônia evidenciadas pelo rápido desmatamento[2] e frequentes queimadas, que convertem extensas e contínuas áreas com vegetação nativa em áreas produtivas, configurando-se em paisagens antropizadas[3] com diferentes coberturas e usos para o avanço da fronteira agrícola, acentuado por um processo de ocupação, em tese, planejada (Políticas públicas para ocupação do território), mas que vêm gerando impactos negativos (FEARNSIDE, 1993; VALENTE, 2001; MARGULIS, 2003; SOARES FILHO *et al*., 2005; COUTINHO, 2008).

São mais de 20 anos de registros, principalmente dados de desflorestamento do Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite – PRODES (INPE, 2014), que indicam que as políticas públicas para a Amazônia Legal – AML[4], não resolvem,

---

[1] Considera-se que um bioma é uma área do espaço geográfico, com dimensões de até mais de um milhão de quilômetros quadrados, que tem por características a uniformidade de um macroclima definido, de uma determinada fitofisionomia ou formação vegetal, de uma fauna e outros organismos vivos associados, e de outras condições ambientais, como a altitude, o solo, alagamentos, o fogo, a salinidade, entre outros. Estas características todas lhe conferem uma estrutura e uma funcionalidade peculiares, uma ecologia própria. Para dar alguns exemplos, pode-se começar por aqueles biomas que compõem o domínio Morfoclimático e fitogeográfico amazônico. Ao contrário do senso comum, este não é constituído por um único tipo de floresta, por um único bioma, em toda sua vastíssima extensão [...] O domínio amazônico não é, portanto, um bioma único. Ele é um mosaico de biomas (COUTINHO L. M, 2006).

[2] Desmatamentos ou desflorestamento, estes termos serão usados como sinônimos, e entendidos como descaracterização da vegetação nativa pela ação antrópica identificada por Sensoriamento Remoto.

[3] Para esta Dissertação o termo "paisagem antropizada" é entendido como sendo as alterações das coberturas terrestres, provocada pela ação da espécie humana em busca do modelo de desenvolvimento, passiveis de identificação e diferenciação por Sensoriamento Remoto, como exemplo temos: culturas temporárias e perenes, pastagens, vegetação secundária, floresta plantada, manejo florestal, sistema agroflorestal, queimadas, áreas urbanas, mineração, bancos de areia.

[4] A Amazônia Brasileira com o dispositivo legal, Lei nº 1.806, de 6 de Janeiro de 1953, passou a ser conhecida como AML, abrangendo os Estados do Pará e do Amazonas, pelos territórios federais do Acre, Amapá, Guaporé e Rio Branco, e ainda, a parte do Estado de Mato Grosso a norte do paralelo 16º, a do Estado de Goiás a norte do paralelo 13º e do Maranhão a oeste do meridiano de 44º, fruto de um conceito político e não de um imperativo geográfico, devido a necessidade do governo de planejar e promover o desenvolvimento da região que, posteriormente, com a consolidação da Constituição Federal de 1988 passou a abranger os Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do Maranhão (oeste do meridiano de 44º).

apenas minimizam os problemas de ocupação ilegal das terras da União e constantes crimes ambientais, mantendo a região como fronteira de expansão agrícola do modelo econômico vigente, com uma "falsa" reforma agrária[5] – expansão do agronegócio, fuga para o problema agrário de outras regiões, "legalização" (grilagem) de terras públicas da União – que afetam negativamente, principalmente na escala local, os recursos naturais.

Rondônia foi o estado da AML mais intensamente explorado por estes processos de ocupação (mais de 36% de sua área desmatada, até 2013) incentivados pelo poder público, que se iniciou nos governos militares e vai até os governos civis mais atuais, inicialmente materializados pela abertura, construção e pavimentação da BR-364 e pelas efetivações de diversos projetos de colonização numa tentativa de ordenamento para a região, marco para a ocupação agrícola, associada à pecuária e a exploração de madeira, causando um intenso crescimento populacional e degradação ambiental

O recurso natural mais importante e, amplamente afetado pela ação do homem, é a água, que é vital para a sobrevivência de todos os organismos vivos e para o funcionamento dos sistemas ambientais, economias, culturas e, nas últimas décadas, vem sendo muito disputada, tanto em termos quantitativos como qualitativos, principalmente pelo acentuado crescimento demográfico e pelo desenvolvimento econômico. Segundo José Graziano da Silva, diretor-geral da Organização da Organização das Nações Unidas (ONU) para a Alimentação e a Agricultura (FAO), "se o atual ritmo de consumo continuar, em 2050 será necessário 60% a mais de comida, 50% a mais de energia e 40% a mais de água" (ONU, 2015, p. 1).

O governo brasileiro há muito tempo vem se preocupando com a questão da água e, em 1997, instituiu Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), lei nº 9433, tendo como fundamento principal assegurar a disponibilidade dos recursos hídricos e o seu uso racional (BRASIL, 1997; 2006a). Uma contribuição muito importante desta política foi a de considerar a bacia hidrográfica como unidade territorial (principal unidade de gestão) para implantação das políticas ambientais e também socioeconômicas, provendo a possibilidade de planejamento e gestão adequada das áreas.

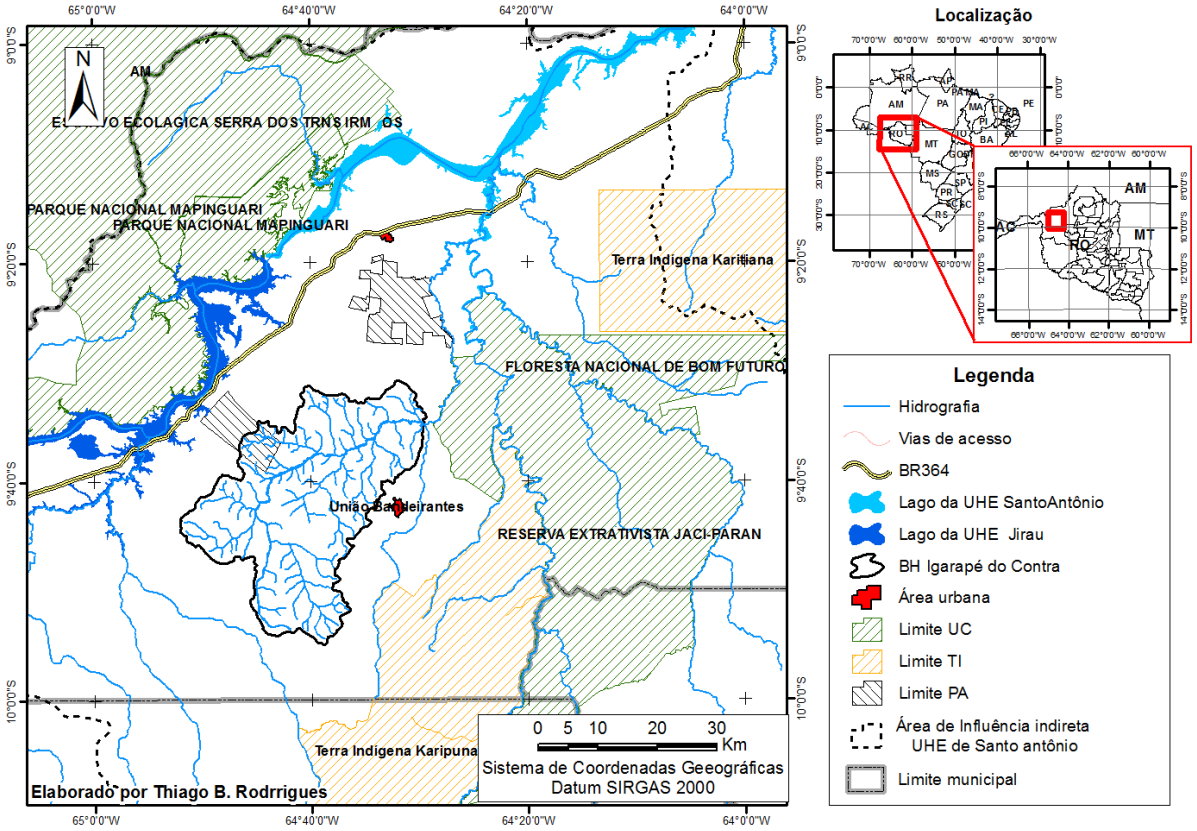
Com o advento desta Política Nacional tornaram-se cada vez mais importantes estudos que levem em consideração a bacia hidrográfica como recorte geográfico de análise, onde se integre todos os tipos e fontes de dados, gerando informações de qualidade o suficiente para

[5] [...] Comporta uma acepção ampla e por isso engloba em seu conceito o conjunto de medidas que visam promover uma melhor distribuição de terras, mediante modificações no regime de sua posse e uso, a fim de atender aos princípios de justiça social e ao aumento de produtividade – conceituação retirada, inclusive, do art. 1º, § 1º, do Estatuto da Terra (Lei n. 4.504, de 30 de novembro de 1964) [...] (BRAGA, 2014, p. 3).

uma gestão adequada deste espaço delimitado pelos divisores de água topográficos efetivando assim a PNRH.

Na perspectiva da PNRH e da análise sistêmica na geografia, onde a bacia é um sistema aberto, ou unidade territorial básica de análise, tomou-se a Bacia do Igarapé do Contra (BHIC) como área focal, pois apresentou, nos últimos 15 anos, crescente e desordenada[6] antropização com elevadas taxas de desmatamento, necessitando de estudos mais acurados sobre os reflexos da expansão das atividades humanas na área da bacia, que se localiza no município de Porto Velho-RO, próximo ao núcleo urbano de União Bandeirantes (Figura 01), local conhecido regionalmente como foco de conflitos socioambientais provocados, principalmente, pela disputa e posse de terras, além de se encontrar totalmente inserida na área de influência indireta da Usina Hidrelétrica (UHE) de Santo Antônio.

Figura 1 − Mapa de localização bacia hidrográfica do Igarapé do Contra.



[6] A noção de ***Desordenado*** será aqui entendida como inobservância da legislação ambiental corrente e inobservância do principal ordenamento territorial e ambiental homologado para Rondônia: o ZSEE, chancelado pela Lei 233/2000, cujas ações antrópicas vêm ocorrendo (em alguns casos intencionalmente) à margem do poder púbico

Segundo Cavalcante (2012) essa região foi considerada como uma área de tensão, motivada pela mobilização do capital dos grandes projetos de infraestrutura implantados (principalmente o Complexo hidrelétrico do Madeira), que funcionaram como vetores de expansão da antropização desordenada, estimulando à especulação fundiária, a exploração madeireira ilegal e apropriação de terras públicas da União para, principalmente, desenvolver a pecuária extensiva, desconsiderando as potencialidades e vulnerabilidades da área. Esses fatores vêm contribuindo para os processos de degradação ambiental, principalmente, desmatamentos e erosão, como resultado da inobservância jurídica das diretrizes estabelecidas pelo Zoneamento Socioeconômico Ecológico de Rondônia – ZSEE-RO o que estimulou estes processos (NUNES, 2004; 2012; 2014).

Este estudo pretende contribuir com esta discussão fazendo uma análise da bacia hidrográfica enquanto recorte geográfico, de modo a entender a sinergia entre os processos de ação antrópica na busca do desenvolvimento e a necessidade de conservação e proteção ambiental, de forma integrada e/ou sistêmica, com vistas ao desenvolvimento com sustentabilidade da área da bacia.

1.1 OBJETIVO GERAL

O estudo tem como objetivo a caracterização e análise dos impactos do Cobertura e Uso da Terra e sua influência na vulnerabilidade a erosão da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Contra − BHIC, subsidiando a elaboração de uma proposta de planejamento para a bacia.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Gerar o mapa atual (2014) de cobertura e uso da BHIC;
- Analisar a temporalidade da cobertura e uso na BHIC em relação ao estado, identificando os fatores e as tendências das ações antrópicas;
- Elaboração de dois cenários analíticos: cenário 1 − vulnerabilidade a erosão natural e; cenário 2 − vulnerabilidade a erosão antrópica da BHIC.

2 ABORDAGEM SISTÊMICA NA GEOGRAFIA: TEORIA GERAL DOS SISTEMAS (TGS), ECOLOGIA DA PAISAGEM, GEOSSISTEMAS E ECODINÂMICA

A dinâmica que rege os fenômenos naturais está contida no "extrato geográfico" definido por Grigoriev (1968) *apud* Spörl (2001) como sendo o espaço limitado pela estratosfera, onde está à camada de ozônio (comparada ao teto), e pela litosfera (comparada a um piso), a crosta terrestre. Constituem o produto direto da atuação entre duas principais fontes conhecidas de energia: energia solar que atua na superfície terrestre aquecendo a atmosfera (fonte e emissão de energia, aproveitada diretamente pelos seres vivos: fotossíntese) comandando o clima, no tempo e no espaço. E as energias tectônicas, do interior da Terra, que agem mudando a estrutura da crosta terrestre, modelando formas de relevo, de dimensões também variáveis no tempo e no espaço. O extrato geográfico é o "espaço vital a sobrevivência humana", não estático, onde a dinâmica é diferente para os seres vivos (biótico) e para o abiótico (terra, ar, água). Este intervalo, o estrato geográfico, se configura como objeto máximo da preocupação da Geografia – "o homem e suas complexas relações, vivendo e interferindo na biosfera" (ROSS, 2011, p.15).

A diversidade de fisionomias presentes no extrato geográfico ao interagirem através dos mecanismos de trocas de matéria e energia, principalmente, pela radiação solar somada as características geoquímicas e hidrotermais, deu suporte ao aparecimento e evolução da vida. A paisagem natural é fruto da diferença de atuação, às vezes antagônicas dessas fontes de energia, tectônica e solar. Em última análise, é a intensidade de troca de energia e matéria a responsável pela diversidade e dinâmica das paisagens naturais (ROSS, *op. cit*.).

O estudo da diversidade e dinâmica da BHIC possui como base teórico-metodológica a análise sob a perspectiva sistêmica (holística) do conceito de Unidades Ecodinâmicas desenvolvidos por Tricart (1977).

Muitas das análises holísticas da paisagem, na perspectiva da Geografia são aplicadas com base nos preceitos teóricos da Teoria Geral dos sistemas (TGS), proposta pelo biólogo Karl Ludwig Von Bertalanffy (1969), que pressupunha a busca de uma linguagem científica integradora que incorporasse todos os campos do conhecimento, permeando a Física, a Matemática, Ciências Biológicas, as Ciências da Terra, as Ciências Sociais, através da definição e análise de componentes e estruturas funcionais inerentes ao meio ambiente, os quais se

colocam como suporte para a compreensão dos diversos sistemas (VICENTE & PERES FILHO, 2003; DO VALE, 2013).

O objeto de estudo da TGS é a formulação de princípios que são válidos para os "sistemas" em geral, independentemente da natureza de seus elementos componentes e das (inter) relações ou forças entre eles, portanto, é uma ciência geral da "totalidade". Simplificadamente seria uma disciplina lógico-matemática em si, puramente formal, mas aplicável às várias ciências empíricas (VON BERTALANFFY, 1969).

Segundo Tricart (1977) o conceito de sistema, deriva da Termodinâmica proposto a mais de 200 anos, como sendo conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxo (*inputs* e *outputs*) de matéria e energia. Esses fluxos originam relações de dependência mútua, apresentando propriedades que lhes são inerentes e que diferem da soma das propriedades de seus componentes, um processo holístico.

Bertalanffy (*op. cit*.) foi quem difundiu o conceito de sistemas e o definiu como complexos de elementos que estão em interação, ou melhor, são organizações intrincadas caracterizadas pela existência de fortes relações ou por interações não triviais, isto é, não lineares, sendo que o desenvolvimento deste conceito chave seria capaz de fornecer modelos a serem utilizados e transmitidos entre às disciplinas, protegendo-as do perigo das analogias superficiais.

As interações não lineares dos componentes, (ou elementos, ou unidades) dos sistemas criam laços de realimentação negativas e positivas que controlam os estados dos sistemas (as trocas de matéria e energia) gerando os fluxos, que são ações inerentes aos sistemas na constate busca de uma estabilidade, que não é definitiva, mas que prevalecem até a próxima perturbação, antrópica ou não, iniciando outro processo de trocas, realimentações negativas e positivas, até o alcance de nova estabilidade, que pode ser diferente da estabilidade anterior (CHRISTOFOLETTI, 1999; BETIOL, 2012).

Os sistemas devem ter suas partes componentes dependentes umas das outras, através das relações que evidenciam os fluxos, apresentando características que só são identificadas na análise global dos componentes considerados na área de estudo, não sendo a característica perceptível na análise individual de cada componente pertencente ao sistema. Estas características, atributos ou qualidades podem ser: comprimento, área, volume, processos de erosão, desmatamentos, densidade dos fenômenos observados, que caracterizam o sistema analisado (DO VALE, *op. cit*.).

Este conceito é tão importante que Tricart (*op. cit*., p.19), o considera como:

> [...] o melhor instrumento lógico de que dispomos para estudar os problemas do meio ambiente. Ele permite adotar uma atitude dialética entre a necessidade da análise − que resulta do próprio progresso da ciência e das técnicas de investigação − e a necessidade, contrária, de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse meio ambiente. Ainda mais, o conceito de sistema é, por natureza, de caráter dinâmico e por isso adequado a fornecer os conhecimentos básicos para uma atuação – o que não é o caso de um inventário, por natureza estática. [...]

Os sistemas ambientais apresentam variadas ordens de escala (magnitude) e complexidade, podendo ser considerado desde a geosfera, até ao nível molecular. (CHRISTOFOLETTI, 1999). Este amplo espectro de atuação dos sistemas exigem uma noção de limiar, limite em que os fenômenos ocorrem e que podem ser arbitrários (CHRISTOFOLETTI, 1979).

A noção de limiar e a gama de atuação da TGS fizeram com que os conhecimentos geográficos e ecológicos evoluíssem concomitantemente, onde o conceito de ecossistema[7] incorporado ao domínio do geógrafo propiciou o aparecimento de novas perspectivas teórico-metodológicas mais abrangentes sobre as características das unidades (componentes) da paisagem (TRICART, 1977; DO VALE, 2013).

Segundo do Vale (*op. cit.),* uma das primeiras proposições foi a Ecologia da Paisagem, proposta pelo geógrafo alemão Carl Troll em 1938, que gerou um elo importante entre a Paisagem (geografia) e a Ecologia (biologia), pois além de considerar as paisagens naturais, considerou as paisagens antrópicas, percebendo a importância das paisagens culturais e dos aspectos socioeconômicos na transformação do meio ambiente, sendo fatores importantes a serem considerados nas análises do extrato geográfico.

Com o surgimento desta disciplina vislumbrou-se a possibilidade de uma maior integração entre as diferentes formas de conhecimento científico, pois esta área do conhecimento pretende estudar a paisagem (conceito mais geográfico) de forma ecológica (conceito biológico) com o objetivo de entendimento da complexidade do ambiente (NUCCI, 2007).

A Ecologia da Paisagem é marcada pela existência de duas principais abordagens: uma geográfica, que privilegia o estudo da influência do homem sobre a paisagem e a gestão do território, uma abordagem horizontal e; outra ecológica (abordagem vertical), que enfatiza a importância do contexto espacial sobre os processos ecológicos (geração de modelos), e a

---

[7] Termo que surgiu da incorporação e utilização da TGS na Ecologia (TRICART, *op.cit.*). Definido basicamente como sendo uma área relativamente homogênea de organismos interagindo com seu ambiente (CHRISSTOFOLETTI, *op.cit.*). Outras definições de ecossistema ver, Tansley (1935), Odum *et al*. (1971) e Townsend *et al*. (2006).

importância destas relações em termos de conservação biológica (METZGER, 1997; SOARES-FILHO, 1998; METZGER, 2001).

Esta área do conhecimento é muito utilizada como base científica para o planejamento, manejo, conservação, desenvolvimento e melhoria das paisagens, pois fornecem teorias e conceitos para entender problemas ambientais em diversas escalas e permite uma reciprocidade entre conceito e objeto pertinente a cada escala de análise, superando os objetivos puramente naturais da Ecologia clássica e tem tentado incluir as áreas nas quais o ser humano é o centro da questão, como a sóciopsicologia, economia e cultura (NAVEH & LIEBERMAN, 1984; TURNER & GARDNER, 1991). Esses fatores integrados pelo uso das geotecnologias possibilitam que a investigação demande dados conceitualmente coerentes com os modelos que descrevem e explicam as escalas desde locais, até regionais e continentais (SOARES FILHO, *op. cit*.; SANDERSON & HARRIS, 2000).

As paisagens são o foco do estudo dessa nova área do conhecimento, e é entendida, basicamente, como sendo um mosaico heterogêneo, das mais diversas formas e localização, de tipos de vegetação natural e coberturas e usos antrópicos da terra (URBAN *et al*. 1987; HARRISON & FAHRING, 1995). Já em termos mais abrangentes, paisagem é definida como sendo “mosaico heterogêneo formado por unidades interativas, sendo esta heterogeneidade existente para pelo menos um fator, segundo um observador e uma determinada escala de observação” (METZGER, *op. cit*., p. 4.). Soares-Filho (*op. cit*.) e Christofoletti (1999) apontam em seu conceito de paisagem, além da presença da heterogeneidade, a importância da mensuração e do arranjo espacial do conjunto formado pelos diferentes elementos que devem ser discerníveis na superfície terrestre e identificadas e circunscritas pelas suas fronteiras.

Nesta mesma tendência teórico-metodológica, subsidiada pelo conceito sistêmico, nas décadas de 1960 e 1970, desenvolveram-se outras metodologias unificadoras de estudo da paisagem para a Geografia, entre elas: os Geossistemas e a Teoria Ecodinâmica (DE SOUZA & MARIANO, 2008; BACANI, 2010).

O suporte teórico para os geossistemas também são oriundos das noções de "paisagem ecológica", da Ecologia da Paisagem ("*Landschaftsökologie*", termo em alemão) e pela ampliação do conceito de ecossistema, proposto por Tansley (1935), desenvolvendo tanto na geografia russa quanto a francesa nas décadas seguintes (BERTRAND, 1972; DO VALE, 2013). Os geossistemas tem a proposição básica de resolver o problema teórico-metodológico da Geografia Física que surge com a necessidade de a disciplina lidar com os princípios da interdisciplinaridade, síntese, a abordagem multe-escalar e dinâmica, sendo as prognoses a

respeito desta última, fundamentais e mais importantes (RODRIGUES, 2001; CAVALCANTE, 2005).

Um dos precursores desta teoria foi o geografo russo Sotchava (1977), que definiu geossistema como uma classe peculiar de sistemas abertos e hierarquicamente organizados, considerando-os como fenômenos naturais, onde os fatores econômicos e sociais afetariam a sua estrutura e peculiaridades espaciais. Assim, a paisagem era considerada como uma formação sistêmica constituída por atributos fundamentais: estrutura, funcionamento, dinâmica, evolução e informação.

Dois princípios básicos da teoria geossistêmica são essenciais: o primeiro é considerar a natureza como sistema aberto e hierarquicamente organizado passível de delimitação (noção de limiar) e o segundo é o princípio dual, onde se analisa a estrutura homogênea e a diferenciação. Isso mostra toda a influência da TGS, dentre os quais se destaca a integração (troca de matéria e energia) entre os sistemas abertos (variáveis extrínsecas), e a interdependência de suas variáveis intrínsecas, identificando-se também, internamente, as trocas de matéria e energia, qualidade integrativa dos geossistemas (RODRIGUES, *op. cit*.).

O geossistema não apresenta necessariamente uma grande homogeneidade fisionômica, pois sua evolução no espaço-tempo, de um estágio para outro, constitui a essência de sua dinâmica, na qual os componentes naturais independentes revelam diferentes fragilidades, aptidões, vulnerabilidades, risco e índices de mutabilidade. Tais componentes podem se tornar críticos e serem responsáveis pela intensidade dos processos físico-geográficos. De maneira experimental ou visual, a área reconhecida por certa homogeneidade é um "geoindicador"[8], o ponto de partida para a classificação do geossistema (DO VALE, 2013).

As delimitações de áreas homogêneas, necessárias à classificação dos geossistemas, são arbitrárias, pois é muito difícil achar um sistema geral do espaço que delimitem com exatidão cada ordem de fenômenos (BERTRAND, 1972). Considerando isso, Bertrand propõe um sistema taxonômico hierárquico, para as "delimitações" das paisagens com dominância física, com intuito de diferenciá-las no espaço e no tempo (DO VALE, *op. cit*.). Inspirada na concepção espaço-temporal de Andre Cailleux e Jean Tricart, Bertrand (*op. cit*.) definiu seis unidades taxinômicas: três Unidades Superiores denominadas, em ordem hierárquica: Zona, Domínio e Região Natural, onde os elementos climáticos e estruturais são mais relevantes,

[8] Devido sua especialidade e dos objetivos da pesquisa, o pesquisador pode escolher uma ou outra característica para ser um geoindicador, exemplo: o geomorfólogo pode considerar as unidades de relevo; o botânico, os tipos de fitofisionomias; geólogo as formações rochosas; geógrafo, polígonos de uso e ocupação, sendo importante compatibilizar este geoindicador com o objetivo do estudo em questão.

sendo mantidas as denominações mais usadas e usuais e; três Unidades Inferiores: o geossistema, o geofácies e o géotopo, caracterizados por elementos biogeográficos e antrópicos, sendo muito vantajoso o uso destas três últimas uma vez que são inéditas.

O geossistema, assim proposto, situa-se entre a 4ª e a 5ª grandeza espaço-temporal, tratando-se de uma unidade dimensional compreendida numa escala em que se situa a maior parte dos fenômenos de interferência entre os elementos da paisagem, na qual ocorrem as combinações dialéticas mais interessantes para o geógrafo (BERTRAND, 1972).

Bertrand (*op. cit.)* em sua obra, "*Paysage et geographie physique globale. Esquisse méthodologique*", originalmente publicada em 1968, definiu a paisagem como:

> [...] uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução [...] (p.141).

Para Passos (1997) e Pissinati & Archela (2009), Bertrand incorporou de forma clara e direta o elemento antrópico nos seus estudos da paisagem, através do resgate do conceito de geossistemas, criado por Sotchava.

Foi o grande naturalista Alexander Von Humboldt quem introduziu o termo “Paisagem” como científico-geográfico no início do século XIX (1839), entendido naquele momento como "característica total de uma região terrestre". Na língua alemã, o termo *Landschaft*, contém uma conotação geográfico-espacial no prefixo “*land*”, diferentemente da paisagem com significado de cenário encontrado nas artes e na literatura (SOARES-FILHO, 1998; CHRISTOFOLETTI, 1999; METZGER, 2001; NUCCI, 2007). Os biogeógrafos europeus viram na paisagem uma entidade espacial e visual da totalidade do espaço de vida humana, integrando geosfera, biosfera e noosfera (grego “*noos*” - mente) (NUCCI, *op. cit*.).

Sauer (1925) *apud* Christofoletti (*op. cit*., BACANI, 2010) define paisagem como um “organismo complexo”, feito pela associação especifica de formas e apreendida pela análise morfológica. Este mesmo autor propôs a separação de paisagem natural e paisagem cultural, pois, para ele, o homem é o agente transformador da natureza, onde as paisagens culturais são formadas pelo resultado das ações da cultura e dos meios sociais ao longo do tempo sobre as paisagens naturais.

Independente do conceito de paisagem utilizado, desde que atrelado aos preceitos teórico-metodológicos e aos objetivos da pesquisa, ele exige a análise holística de seus

componentes, e essa perspectiva da análise integrada dos sistemas é marcante na proposta Ecodinâmica de Tricart (1977).

A proposta Ecodinâmica ao incorporar o conceito de ecossistema e o instrumental lógico da teoria geral dos sistemas para estudar as relações entre os diversos componentes dos sistemas ambientais, chamando a dinâmica dos ecótopos[9] de Ecodinâmica, possibilitou a classificação da paisagem em três tipos básicos de Unidades Ecodinâmicas ou meios morfodinâmicos, em função dos seus processos atuais: os meios estáveis, meios *intergrade* (ou transição) e meios instáveis, que se caracteriza por certa dinâmica que afetam de forma inegável a biocenose, os seres vivos (incluindo o homem) do ecossistema.

A estabilidade, dos meios estáveis, relaciona-se ao modelado geomorfológico do extrato geográfico caracterizados pela sua lenta evolução, levando a permanência de uma combinação de fatores. Esta noção é muito próxima da ideia de clímax utilizado em fitoecologia. Os meios estáveis estão sempre associados à vegetação clímax, pois as aparições de formações vegetais em fitoestasia dependem de certa permanência da estabilidade morfogenética do relevo (TRICART, 1977).

Os meios *intergrades*, cuja terminologia é derivada do vocábulo geológico, significando transição, são caracterizados pela interferência permanente da morfogênese e da pedogênese de forma concorrente em um mesmo espaço, assegurando a passagem gradual entre os meios estáveis e os meios fortemente instáveis. As interferências variam de forma qualitativa e quantitativa, o que nos permite introduzir subdivisões e hierarquias neste meio biogeodinâmico, evidenciando justamente a dinâmica dos sistemas ambientais. Já os meios fortemente instáveis são regidos pela morfogênese, responsável pela dinâmica natural, fator determinante dos sistemas ambientais, a qual os outros elementos são subordinados. São geralmente encontrados em ambientes de forte ação vulcânica, que tem uma ação mais imediata, catastrófica, ou tectônica que comanda os processos que a força da gravidade intervém, como exemplo aumento da dissecação, processos erosivos (TRICART, *op. cit*.).

Através dos princípios da Ecodinâmica é possível realizar integração das características das unidades de paisagem, pois estabelecem uma gradação (hierarquização) entre a morfogênese, onde prevalecem os processos erosivos modificadores das formas de relevo, e a pedogênese, onde prevalecem os processos formadores de solos. (CREPANI *et al*., 1996), integração muito útil no planejamento e ordenamento territorial.

---

[9] [...] Ecótopo: meio ambiente de um ecossistema [...] (TRICART, *op. cit.*, p.20).

Neste contexto, os reforços teórico-metodológicos da Ecologia da Paisagem, Geossistemas e Ecodinâmica, se mostram muito úteis para o desenvolvimento e o planejamento ambiental, devido à noção implícita de dinâmica, pela qual conseguimos classificar e localizar as unidades de paisagem de acordo com seu estado ou estados sucessivos, assim como propor hipóteses ou cenários sobre a dinâmica atual e futura.

O caráter preditivo destas propostas é um dos principais pontos de apoio de sua aplicabilidade, o que permite identificar a direção ou balanço de processos, inclusive por incorporar o fator antrópico (FORMAN, 1997; RODRIGUES, 2001). Desta forma todos os elementos da paisagem influenciam, de forma expressiva, os processos sócio-econômico-ecológicos.

2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS COMO UNIDADE DE ANÁLISE

Tem sido proposta a utilização da bacia hidrográfica como recorte espacial básico para os estudos ambientais, pois verifica-se que as alterações ambientais decorrentes das atuações humanas sobre o meio refletem em partes ou na bacia hidrográfica como um todo (BRASIL, 2009).

O conceito de bacia hidrográfica é utilizado amplamente em pesquisas ambientais, principalmente como unidade de planejamento e gestão, conforme indicado nos trabalhos de Lima (1996), Valente (2001); Schiavetti & Camargo (2008); de Oliveira *et al* (2012); Melo (2012); Bacani (2010); Watanabe (2012), Lobato (2010), Nunes (2012; 2014) entre outros.

A Bacia hidrográfica representa uma área de captação natural da água da precipitação, onde os escoamentos convergem para seu exutório, o único ponto de saída. É considerada como um sistema fluvial composto por um conjunto de superfícies (áreas) e vertentes, com as mais variadas coberturas, e de uma drenagem que escoa dos afluentes para um rio principal (TAMANINI, 2008; PIRES & DOS SANTOS, 2008; TUCCI, 2009), representando uma unidade adequada para estudos qualitativos e quantitativos que envolvem as questões ambientais. Este conceito abrange conhecimentos biofísicos e da dinâmica da cobertura e usos da terra conservação, principalmente quando tratamos de gestão e planejamento (PIRES & DOS SANTOS, *op. cit*.).

A partir da interação com o meio e a rede de drenagem, a água influencia no modelado do relevo, na vegetação, na dinâmica do solo e na organização social. Por isso, a bacia de drenagem é uma unidade importante para o conhecimento dos processos hidrológicos,

geomorfológicos, culturais e sociais, portanto processos ambientais, importantes para a gestão e o planejamento local e regional (SANTOS & DE OLIVEIRA, 2013).

Podemos considerar do ponto de vista sistêmico, que a bacia hidrográfica é um sistema aberto, pois depende de "*inputs*" de energia externa (clima, precipitação, forças endógenas). Seus principais "*outputs*" são evapotranspiração e a vazão de água e sedimentos pelo exutório, sustentando-se em um equilíbrio dinâmico dependente de ciclos e flutuações de processos não lineares (CHRISTOFOLETTI, 1999; BACANI, 2010).

A atenção voltada para problemas ambientais associados aos "*outputs*" (processos erosivos, assoreamento, evapotranspiração excessiva e inundações) estão se tornando recorrentes em análises de bacias hidrográficas, exigindo que os estudos sejam de natureza interdisciplinar, envolvendo especialistas das mais diversas áreas como Agronomia, Biologia, Engenharia (civil e florestal), Geografia, Geologia, Geomorfologia, Paisagismo e Planejamento Regional (SILVA, 2010).

Usar a bacia hidrográfica como unidade de estudo e gerenciamento da paisagem tende a ser mais eficaz, pois localmente é mais fácil aplicar uma abordagem que compatibilize desenvolvimento socioeconômico com a proteção e conservação ambiental, considerando suas interdependências, além da democratização das decisões, envolvimento de todos os usuários do recurso na região, principalmente, com o advento da PNRH, lei nº 9.433 de 1997.

Trabalhar com conceito de bacia hidrográfica, significa ter o foco no planejamento do uso e conservação de recursos múltiplos; possibilita a avaliação do potencial da produtividade e do desenvolvimento ecológico-econômico de uma determinada área (bacias, sub-bacias, microbacias) para melhor escolher as formas de aproveitamento dos mesmos, com o mínimo de impacto ambiental, formando um "espaço-físico-funcional", sobre o qual devem ser desenvolvidos os mecanismos de gerenciamento das áreas (BROOKS *et al.*, 1991; LIMA 1996; PIRES & SANTOS, 2008).

A partir da análise integrada da bacia hidrográfica geramos subsídios para organizar sua ocupação, que consiste na análise da distribuição dos locais destinados à habitação e as atividades produtivas num dado espaço (neste caso a bacia hidrográfica), bem como das formas de utilização pelos diversos agentes envolvidos, organizando e orientando os usos múltiplos da terra e de outros recursos naturais, produzindo bens e serviços sem destruir ou afetar adversamente o solo e a água, principalmente (LIMA, *op. cit.*; MAFRA & SILVA, 2004).

A adoção do conceito de bacia hidrográfica, tendo por escopo a TGS aplicada à análise geográfica, apresenta-se como uma interessante perspectiva de unidade espacial para a

integração, a nível prático, das diferentes abordagens dos componentes do sistema, quer sejam relativas ao meio natural ou antrópico. As ferramentas de geotecnologia auxiliarão o desenvolvimento desta abordagem, possibilitando uma integração de diferentes fontes e tipos de dados, qualitativos e quantitativos, além de proporcionar a sua análise através de uma série de métodos e técnicas diversas, tanto empíricas como através de algoritmos matemáticos e estatísticos, ou junção de ambos.

2.2 GEOTECNOLOGIAS PARA ESTUDOS AMBIENTAIS

Para a aplicação prática dos estudos sobre bacias hidrográficas, é necessária à sua prévia caracterização por meio da integração dos dados de diferentes tipos e fontes para uma posterior análise e prognoses. Neste sentido, as "Geotecnologias" apareceram como ferramentas de extrema importância, pois são as tecnologias relacionadas com todas as etapas do Geoprocessamento − coleta; armazenamento; análise e uso integrado da informação − principalmente as tecnologias relacionadas ao Sensoriamento Remoto[10] (SR) e ao Sistema de Informações Geográficas[11] (SIG), que vêm assumindo papel estratégico nesse ramo da ciência e em praticamente todos outros campos do conhecimento (CASIMIRO, 2000, FLORENZANO, 2002; 2005). Outra característica importante do geoprocessamento é a sua capacidade de suporte à decisão, pois permitem combinar uma série de dados para obter informações que auxiliam no planejamento e gestão do território (CAVALCANTE *et al*., 2010).

O termo Geoprocessamento é aplicado ao conjunto de tecnologias utilizadas para o tratamento da informação espacial, que utiliza técnicas matemáticas e computacionais, influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais e planejamento urbano e rural (CAMARA & MEDEIROS, 1998; CAMARA *et al*., 2001).

Segundo Rocha (2002) geoprocessamento é transdisciplinar, que através da axiomática da localização e processamento do dado geográfico integra várias disciplinas, equipamentos, processos, programas entidade, dados, metodologias e profissionais para coleta, tratamento, análise e apresentação das informações em meios digitais. É uma linguagem comum utilizada

---

[10] [...] uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres", sendo que "nenhum outro tipo de sensor que obtenha imagens que não seja pela detecção da radiação eletromagnética deve ser classificado como sensoriamento remoto [...] (MENESES & ALMEIDA, 2012 p.3).

[11] São sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações, através de sua localização espacial e/ou de características alfanuméricas oferecendo ao seu usuário uma visão completa de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis, sobre um determinado assunto, estão inter-relacionadas com base na localização geográfica (CAMARA *et al*., *op. cit*.).

nas mais diversas áreas do conhecimento que necessitam da utilização de computadores para representar os dados georreferenciados.

A transdisciplinaridade[12] é obtida pela redução dos conceitos de cada disciplina a algoritmos e estruturas de dados, que estão cada vez mais complexos[13], utilizados para representação, armazenamento e tratamento dos dados geográficos, trazendo consigo o problema de implementação das diferentes formas de representação computacional de um espaço geográfico (CAMARA & MEDEIROS, 1998; CAMARA *et al*., 2001). Com isso, temos de associar a cada tipo de informação geográfica uma escala de medida e de referência, que será utilizada pelo SIG para caracteriza-la, extremamente necessária para sua representação computacional, devido as característica lógico-matemática herdada dos sistemas de informação (CAMARA *et al*., *op. cit*.).

As geotecnologias referentes ao SIG e ao SR estão cada vez mais interligadas, tendo nas imagens um exemplo fundamental na obtenção de dados para estudos geográficos, pois proporcionam uma visão sinóptica do meio ambiente, visão de conjunto multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre, possibilitando estudos regionais integrados, envolvendo vários campos do conhecimento, facilitando a inter-relação entre ele (FLORENZANO, 2002; 2005; MENESES & ALMEIDA 2012). Desta maneira, o crescente desenvolvimento das geotecnologias contribui para a evolução das ciências da terra e ambientais, ao mesmo tempo em que facilitam a inter-relação entre elas (FLORENZANO, *op. cit.*).

2.3 ANÁLISE MULTICRITERIAL PARA ESTUDOS AMBIENTAIS

A análise multicriterial pode ser definida como um conjunto de técnicas matemáticas aplicadas ao auxílio à tomada de decisão envolvendo a inferência espacial, dada a uma diversidade de variáveis disponíveis, estabelecendo relações de importância (preferencia) entre os critérios, comparados dois-a-dois, através da construção de uma matriz de decisão (SAATY 1977; SALOMON & MONTEVECHI, 1999; SPÖRL, 2007).

Tomar decisões em problemas ambientais, cada vez mais complexos, é difícil devido à necessidade em atender múltiplos objetivos e critérios, cujos métodos de análise multicriterial são uma opção, que possibilitam a integração de critérios diferentes e por vezes conflitantes (SILVA, 2010).

---

[12] Vem no sentido de transcender a disciplina. É uma construção de um único domínio linguístico, a partir da identificação de áreas de não resistência epistêmica entre as disciplinas, bem como do foco dado pela temática, com a qual se faz a observação do objeto (DA SILVA, 2000).

[13] A complexidade vem justamente da necessidade de não "simplificar muito" as disciplinas, com e modelos aceitando cada vez mais componentes integrantes dos sistemas para uma análise mais confiável.

Existem vários exemplos de análise multicriterial que possibilitam esta integração, um dos mais conhecidos e amigáveis é o *Analystic Hierarchy Process* (AHP ou Processo de Análise Hierárquica) (GUGLIELMETTI, *et al.*, 2003). Este método foi desenvolvido por Saaty (1977) para auxílio ao processo de tomada de decisão, devido à importância e a dificuldade de se atribuir pesos (preferencias; ponderar os fatores utilizados na elaboração do problema), de acordo com a relevância de cada critério utilizado, no processo analisado.

Aplicada a estudos ambientais a AHP permite que o ambiente seja analisado de forma unificada, abordando a área como um sistema composto por variáveis que se inter-relacionam entre si e com outros sistemas (MELO, 2012), além de possuir uma base matemática que organiza e avalia a importância relativa entre os critérios (fatores, sistemas componentes) e que mede a consistência dos julgamentos (CAMARA *et al.*, 2001; CAVALCANTE D. *et al*., 2010). O método tem como objetivo facilitar a incorporação de considerações qualitativas e subjetivas dentro de fatores quantitativos para o processo de tomada de decisão (SILVA *et al*., 2006).

A hierarquização dos sistemas componentes, exigida pelo método AHP, divide os problemas complexos, com o auxílio da construção de uma matriz de decisão, simplificando-os, através das comparações paritárias entre os sistemas, onde para cada variável é atribuído um valor relativo de importância, nas escalas de um (1) a nove (9). O valor um (1) representa o mínimo e o nove (9) o máximo de importância de uma variável em relação à outra (SAATY *op. cit*.; CAMARA *et al., op. cit*.).

A análise e definição da hierarquia são úteis para formular problemas, incorporando conhecimentos e julgamentos às questões quantitativas, de forma que as questões envolvidas sejam claramente articuladas, avaliadas, debatidas e priorizadas. Os julgamentos podem ser apurados por meio de contínua aplicação de um processo de realimentação, sendo conduzido para cada aplicação um aprimoramento das comparações paritárias. O nível mais alto em uma hierarquia, no método AHP, reflete o objetivo geral ou o foco do problema de decisão, e o nível mais baixo na hierarquia contém as alternativas competitivas ou atributos, através das quais o objetivo final deve ser atendido (SILVA *et al., op. cit*.).

2.4 VULNERABILIDADE NATURAL A EROSÃO

A atenção voltada para problemas de vulnerabilidade, entendida como o grau de perda para um dado elemento ou conjunto de elementos dentro de uma área qualquer, mediante processo considerado (MACEDO & BRESSANI, 2013), está em função dos processos provocados pelos desmatamentos e processos erosivos em bacias hidrográficas, associados à

intensificação da ocupação antrópica das áreas naturais afetam adversamente o meio ambiente, causando destruição dos recursos naturais, interferindo na produção de bens e serviços necessários à sobrevivência.

Algumas propostas metodológicas que analisam a “fragilidade” ou “vulnerabilidade” do ambiente, respectivamente, as metodologias de Ross (1994) e Crepani *et al.* (1996, 2001), são amplamente aplicadas em bacias hidrográficas como instrumento de planejamento e gestão ambiental (KAWAKUBO *et al*., 2005; BACANI, 2010). Estas metodologias são baseadas no conceito de Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977). Dentro dessa concepção, como já discutido, o ambiente é analisado sob a ótica da TSG, onde na natureza, as trocas de energia e matéria acontecem em equilíbrio dinâmico, mas esse equilíbrio é frequentemente alterado pelas intervenções humanas (DE OLIVEIRA, *et al*., 2012).

Para avaliar a vulnerabilidade, tanto Crepani *et al*. (*op. cit.),* quanto Ross (*op. cit*.), levam em consideração o meio ambiente como produto dinâmico da interação entre os seus elementos: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, cobertura/uso do solo e o clima, sendo delineadas as unidades ecodinâmicas, conforme propôs Tricart (*op. cit*.).

Essas informações analisadas de forma integrada geram um produto (mapa) síntese que expressa os diferentes graus de vulnerabilidade à erosão que o ambiente possui em função de suas características genéticas (KAWAKUBO *et al., op. cit*.; SPÖRL, 2007), representando as inter-relações dos atributos originários dos mapas de análise temáticos de cada tema (BACANI, *op. cit*.).

Os mapas síntese indicam, basicamente, três tipos de unidades ecodinâmicas possíveis: a) unidades ecodinâmicas **estáveis** estão em equilíbrio dinâmico, pois geralmente foram poupadas da ação humana, predominando os processos de intemperismo físico-químico sob a vegetação densa; b) unidades ecodinâmicas **instáveis** são locais onde as forças endógenas são ativas e, também, paisagens intensamente antropizadas, onde o equilíbrio dinâmico natural é desestabilizado de forma que a morfogênese prevalece sobre a pedogênese, processos modeladores do terreno; enquanto as c) unidades ***intergrades***, seria um meio termo entre as outras duas unidades permitindo, assim, a hierarquização e gradação do processo (TRICART, 1977; ROSS, 1994; SPÖRL, 2007).

Em suas concepções teórico-metodológicas, as propostas de estudo da “fragilidade” de Ross (*op. cit*.) e o estudo da “vulnerabilidade” de Crepani *et al*. (*op. cit.*) possuem princípios metodológicos semelhantes – são **relativas** e **empíricas**, baseadas na Ecodinâmica de Tricart (*op. cit*.), mais apresentam diferenças em sua na operacionalização, nas variáveis utilizadas

(Ross, não usa geologia) e na atribuição de pesos relativos (importância) para cada uma das variáveis envolvidas (SPÖRL, 2007*)*. Independente da nomenclatura que se use, fragilidade, suscetibilidade, vulnerabilidade, a intensão é realizar uma análise integrada do ambiente, onde posamos realmente compreender os sistemas e suas relações, propiciando uma utilização sustentável do mesmo.

A ligação entre as terminologias fica bem clara na colocação de Spörl (*op. cit*. p.24): "[...] o mapeamento da fragilidade ambiental através do estudo integrado dos componentes da natureza classifica o sistema em diferentes níveis (graus) de vulnerabilidade [...]". Reconhecendo assim, as áreas mais suscetíveis, instáveis, ou seja, aquela área que pelas suas características "genéticas" podem facilmente ser alteradas pelos processos naturais de erosão ou intensificadas pela ação antrópica.

Desde 1991, quando o Governo Federal estabeleceu o programa de Zoneamento Ecológico Econômico – ZEE para a Amazônia Legal, os estudos de vulnerabilidade são extremamente necessários, pois juntamente com os estudos das potencialidades, as áreas são classificadas, tendo, assim, gestor político uma informação técnica-cientifica de qualidade para definir suas ações e tomada de posição. Estes estudos devem ser sempre atualizados devido ao dinamismo da sociedade, que a todo o momento busca novos padrões de desenvolvimento. Segundo Becker & Engler (1997), no procedimento metodológico da elaboração do ZEE envolve a elaboração de três cartas: a Carta de temática de vulnerabilidade natural, a carta temática de potencialidade social e a carta temática síntese, mais uma vez mostrando a importância dos estudos sobre vulnerabilidade à erosão.

3 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO IGARAPÉ DO CONTRA

A Bacia Hidrográfica do Igarapé do Contra (BHIC) está inserida no domínio Morfoclimático Amazônico (AB'SABER, 2003), localizando-se na porção Noroeste do estado de Rondônia, entre os paralelos (Latitude) 9°55'30'' S e 9°30'30'' S e os meridianos (Longitude) 64°29' W e 64°52'30'' W, Datum[14] WGS 1984. Possui uma área 94.489,1 hectares (ha) que, originalmente, eram cobertos por Floreta Ombrófila Aberta e suas faciações (99% da área) sobre a Unidade Geomorfológica Depressão do Madeira – Jaci-Paraná e seus modelados. Seu perímetro é de aproximadamente 176,55 km. Em linha reta, possui 45 km na direção Norte-Sul e 38 km na direção Leste-Oeste.

A bacia está localizada no município de Porto Velho, próximo às divisas dos municípios de Nova Mamoré e Buritis, em uma região margeada por áreas protegidas: a Nordeste pela RESEX Jaci-Paraná[15], a Sudeste pela TI Karipuna e a Noroeste o PARNA Mapinguari. Em suas redondezas, também se encontram, ao Norte, o PA Nilson Campos, criado em 2000 e, a Sudoeste o plano de assentamento mais antigo, o PA São Francisco, criado em 1995, que tem 40% de sua área dentro da BHIC. O núcleo urbano mais próximo da bacia é o da vila de União Bandeirantes, hoje com mais de 25 mil habitantes representando uma das principais fontes da pressão antrópica na região devido a seu histórico: um local de invasão de terras públicas a partir final dos anos de 1990 (NUNES, 2014) e, intensificado com as expectativas de desenvolvimento, principalmente o econômico, trazidos pelos empreendimentos do complexo hidrelétricos do Madeira (Figura 2).

O Zoneamento Sócio Ecológico Econômico (ZSEE[16]) estadual, que define de forma macro as zonas (distribuição geográfica) onde certas tipologias de uso seriam permitidas, está representado na BHIC pela Zona 1, subzonas: 1.2 – área considerada de uso agropecuário e florestal e processo avançado de ocupação, e a Zona 2, 2.1 – área de uso especial destinado a conservação dos recursos naturais e passiveis de uso sob manejo sustentável (Figura 3).

---

[14] Modelo matemático teórico da representação da superfície da Terra ao nível do mar.

[15] Teve seus limites alterados pela Lei Complementar Estadual (LC) nº 633 de 13 de setembro de 2011, devido às áreas serem alagadas pela UHE de Santo Antônio e, em 2014, com a publicação da LC nº 770 de 07 de abril, ela foi excluída totalmente, com a revogação do seu decreto de criação (NUNES, 2014).

[16] Publicado como Lei Complementar Estadual (LC) nº 52 de 20/12/1991 (1ª aproximação), e consolidado na LC nº 233 de 06/06/2000 (2ª aproximação)

Figura 2 – Mapa temático da bacia hidrográfica do Igarapé do Contra.

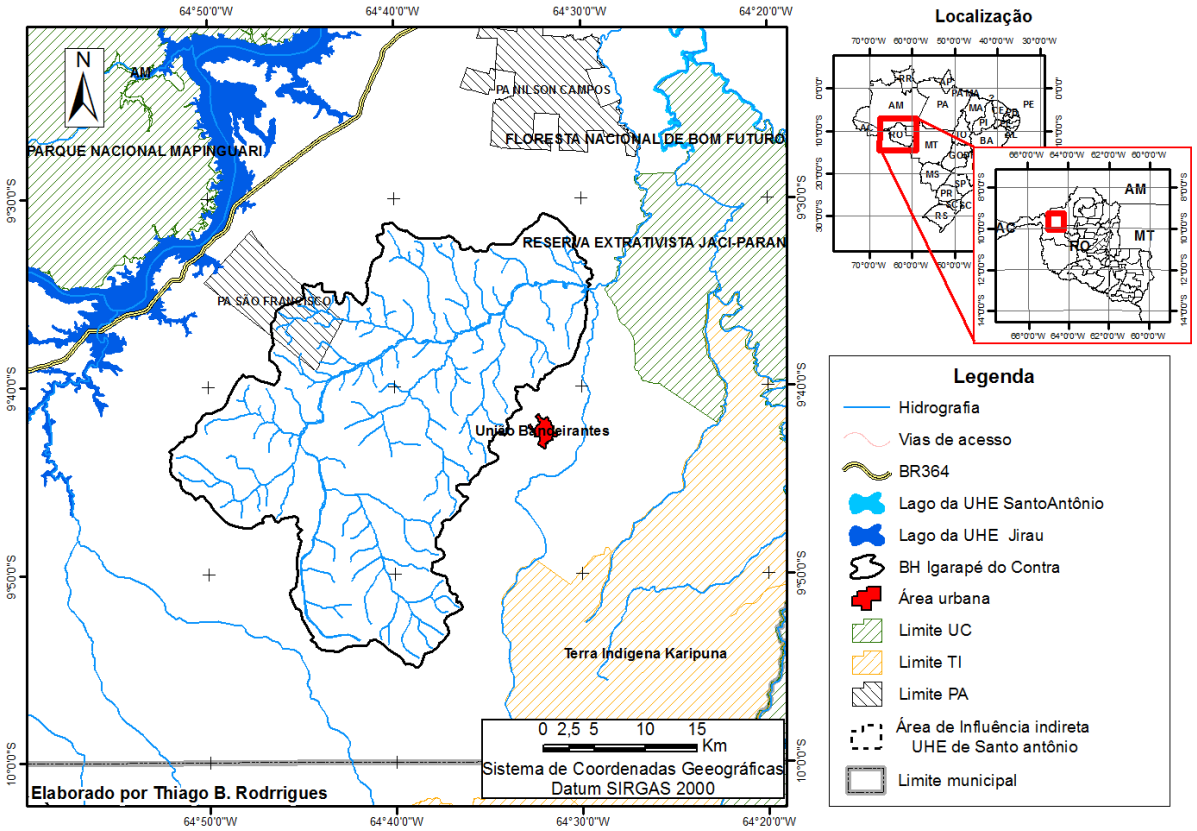
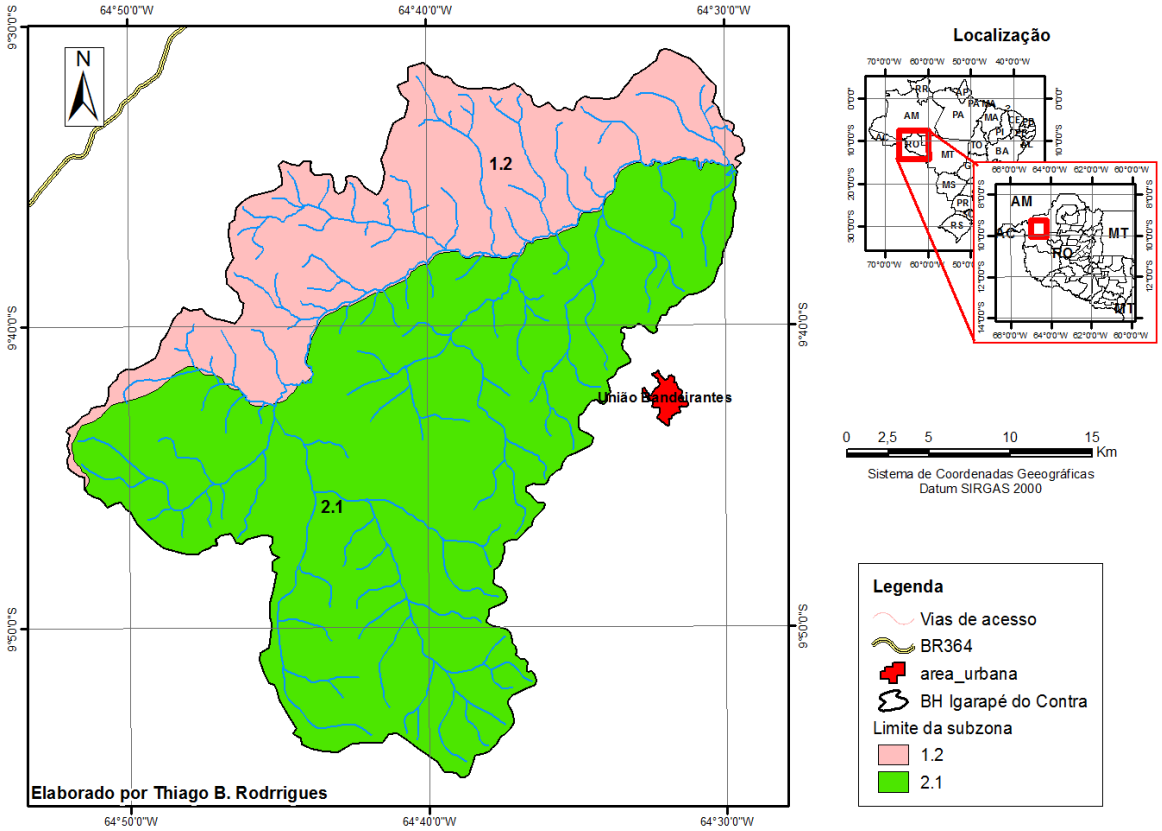


Figura 3 – Mapa temático da BHIC com o recorte do ZSEE-RO.



O Igarapé do Contra drena mais de 525 km de cursos de águas e tem uma densidade de drenagem[17] considerada muito baixa de 0,33 km/km² (na escala 1:100.000) e possui uma peculiaridade, percorre cerca 30 km, desde sua nascente, no sentido Noroeste, e depois completa seu percurso (mais 40 km) no sentido Nordeste, dando uma guinada de praticamente 90° em seu percurso. Tem sua principal nascente aflorando no complexo Metamórfico Nova Mamoré, em altitudes que não passam dos 250 m, percorrendo cerca de 70 km até desaguar no rio São Francisco (um dos principais afluentes do rio Jaci-Paraná), a 10 km da vila de União Bandeirantes, a aproximadamente 80 m de altitude.

3.1 CLIMA: CONSIDERAÇÕES SOBRE A PRECIPITAÇÃO

O clima para o Estado de Rondônia pode ser definido, equatorial de transição tropical, úmido, com forte decréscimo de precipitação no inverno; em média três meses secos, junho, julho e agosto, sujeito a fortes desvios pluviométricos estacionais ao longo dos anos; é quente durante todo ano; sua amplitude térmica anual é insignificante, já amplitude térmica diária é grande, especialmente no inverno, quando as mínimas noturnas descem, com frequência, abaixo de 18º C nas planícies e abaixo de 9º C nos altiplanos das chapadas. Com estas características predominantes o clima corresponde ao tipo Aw da classificação de Köppen, temperaturas médias mensais superiores a 18º C e estação seca bem acentuada. (RONDÔNIA, 2001; DA SILVA M., 2010; THÉRY, 2012).

Para a BHIC temos os dados, desde meados de 2010, da estação meteorológica que foi instalada na barragem da UHE de Jirau, que devido sua localização geográfica e seu raio de abrangência, até 75 km[18], cobre praticamente toda a bacia estudada (Figura 4).

O Gráfico 1 apresenta da precipitação dos quatro anos completos (janeiro de 2011 até dezembro de 2015) da série histórica dos dados desta nova estação.

Para a BHIC verificam-se três meses secos: junho, julho e agosto, com precipitação média abaixo dos 50 mm/mês, sendo julho o mês mais seco, com média de 28,2 mm/mês. Já os meses mais chuvosos são de novembro a março, com precipitações mensais médias superiores a 290 mm/mês.

---

[17] Segundo Christofoletti (1979), bacias com valores menores que 7,5 km/km² apresentam baixa densidade de drenagem; valores entre 7,5 e 10,0 km/km² apresentam média densidade; e, valores acima de 10,0 km/km², apresentam alta densidade hidrográfica.

[18] Comunicação pessoal dos meteorologistas do Sistema de Proteção da Amazônia.

Figura 4 – Mapa da área de influência da Estação meteorológica de Jirau.

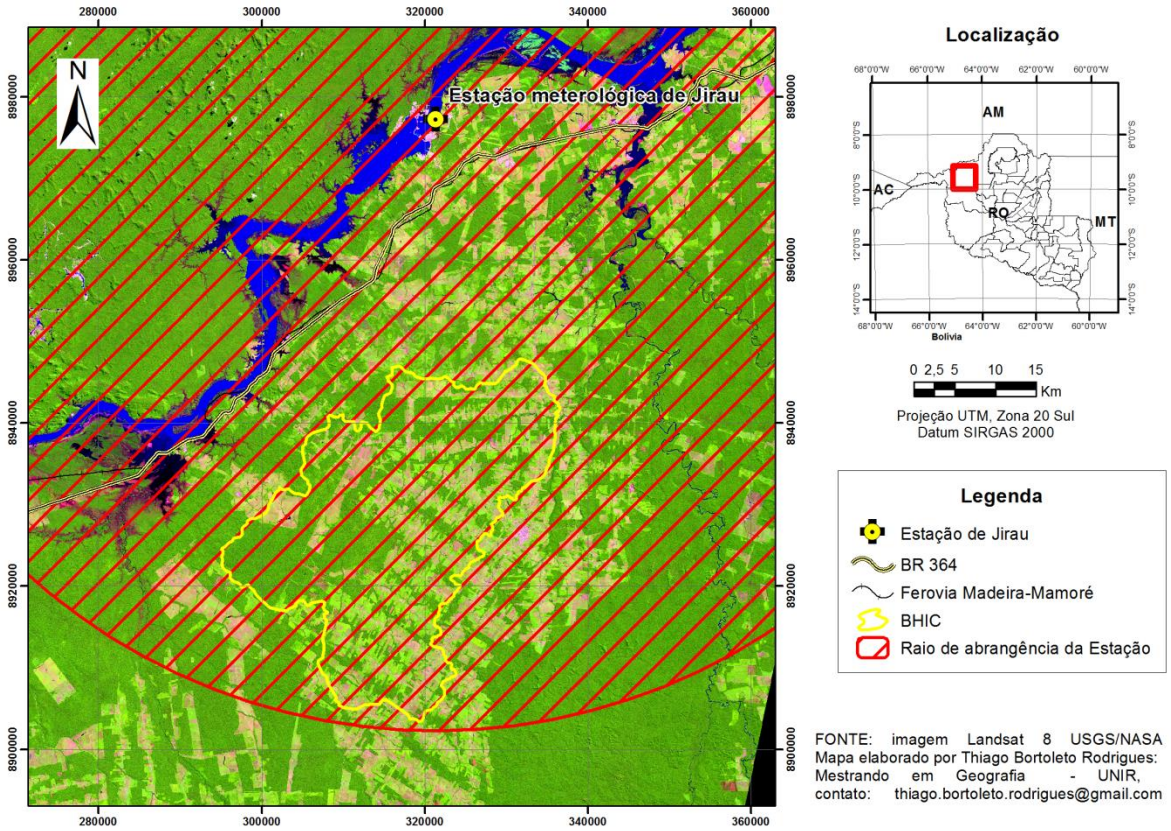
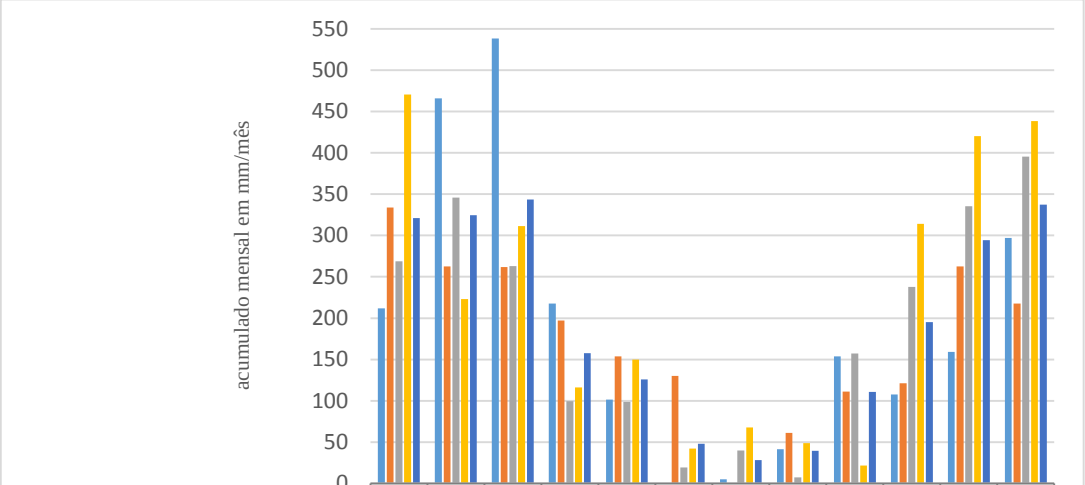


Gráfico 1 – Distribuição da precipitação média mensal, de 2011 a 2014.



	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
média mensal 2011 (mm/mês)	211,8	465,8	538,4	217,8	101,4	0	5	41,4	153,6	107,6	159,2	297,2
média mensal 2012 (mm/mês)	333,8	262,4	261,8	197	153,8	130	0,2	61,2	111	121,2	262,4	217,6
média mensal 2013 (mm/mês)	268,8	346	262,8	99,4	98,6	19,2	40	7,2	157,2	237,6	335,4	395,6
média mensal 2014 (mm/mês)	470,4	223,2	311,4	116	150	42,2	67,6	48,6	21,6	314	420,2	438,6
média da série histórica (mm/mês)	321,2	324,35	343,6	157,55	125,95	47,85	28,2	39,6	110,85	195,1	294,3	337,25

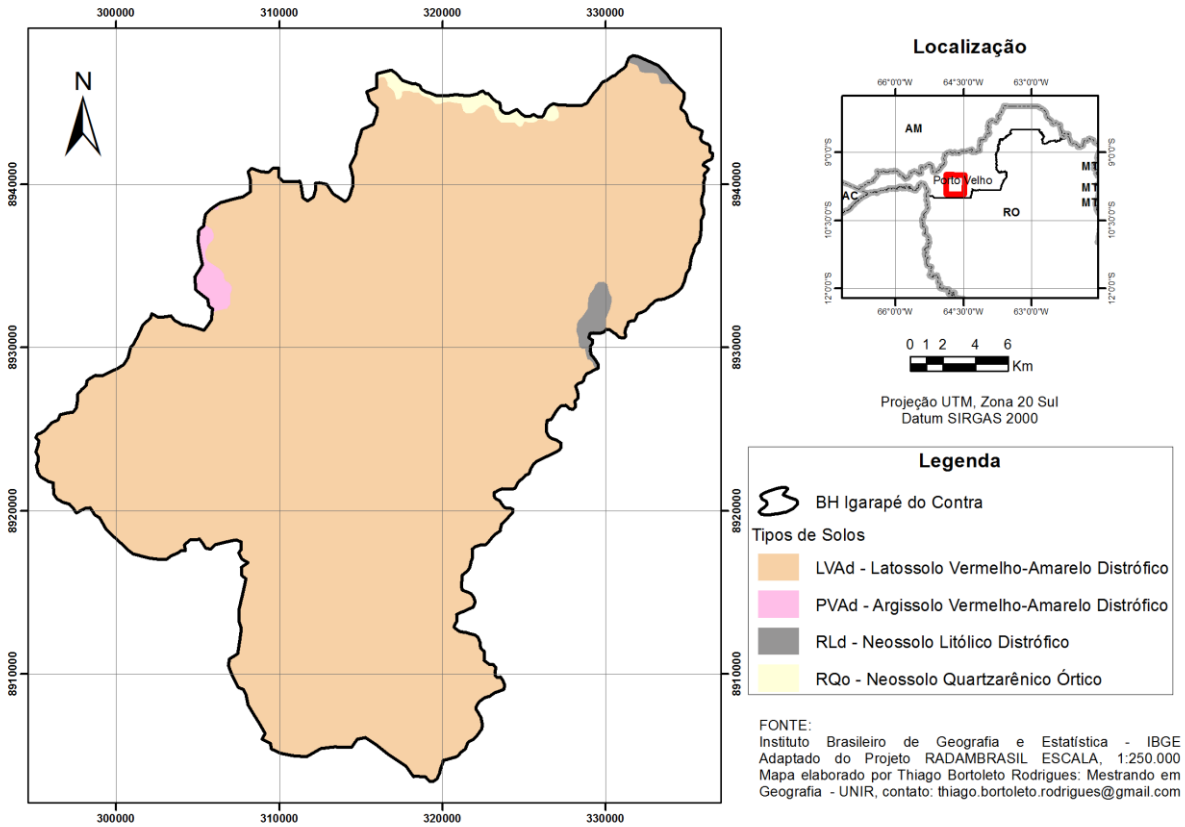
Org.: Thiago B Rodrigues
Fonte: Adaptado da SEDAM (2015)

Março aparece como o mês mais chuvoso, para a série histórica, com média de 343,6 mm/mês. A precipitação anual média fica em 2.325,8 mm/ano. Estes valores são muito próximos dos obtidos por da Silva (2010), para Porto Velho, que apresentou um período chuvoso com índice pluviométrico superior a 220 mm/mês, com janeiro apresentando o maior índice, média de 333,4 mm e um período seco com precipitações inferiores a 50 mm/mês, sendo que o mês de julho apresenta o menor índice pluviométrico, com média de 25,3 mm/mês e a média anual de precipitação é de 2.250 mm/ano.

3.2 GRANDES GRUPOS DE SOLOS DA BHIC

Os dados pedológicos da BHIC (Figura 5) são derivados do Projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1978) e adaptados segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos – SiBICs. São compostos por quatro classes de solos até o terceiro nível categórico (1º Ordem, 2º Subordem, 3º Grande Grupo) (EMBRAPA, 1999; 2006; BRASIL, 2007a).

Figura 5 – Mapa temático de Solos da BHIC.



Os Latossolos constituem a ordem de grande expressão geográfica no Estado de Rondônia, com aproximadamente 37% de representatividade (SHINZATO *et al.,* 2011). Praticamente toda a BHIC (mais de 97%) é coberta por este grupo, que apresenta estágio avançado de intemperização, bem evoluídos, resultado de intensas transformações do material constitutivo, apresentando uma textura de média a muito argilosa, com pouca diferenciação de cor e textura entre as camadas.

Devido ao processo de laterização, a qual são expostos, este solo é praticamente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo, geralmente resistentes a erosão. Em geral são fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, considerados de baixa fertilidade. Apresenta horizontes A de moderado a proeminente, ricos em minerais e argilas de onde derivam seus principais componentes, como os sesquióxidos de ferro e alumínio e possui forte lixiviação. (BRASIL, *op. cit.*; CREPANI, 2001; EMBRAPA *op. cit.*; BRASIL, *op. cit.*; SHINZATO *et al*., *op. cit.*).

O Neossolo Litólico Distrófico – RLd é caracterizado por não apresentarem mudanças significativas em sua composição em relação ao seu material de origem e são formados por materiais minerais e orgânicos de pouca espessura (20 cm) e não apresentam nenhum tipo de horizonte B diagnóstico. (EMBRAPA, 2006; BRASIL, 2007a). Tais características conferem a esse solo pequena capacidade de sustentabilidade da vegetação. A condição de desmatamento ou de pouca cobertura vegetal, aliada à de precipitação concentrada, facilita a formação de erosões laminares e em sulcos, suscetíveis à erosão. (SHINZATO *et al.,*2011).

O Neossolo Quartzarênico Órtico – RQo possui horizonte glei dentro de 150 cm da superfície do solo, com pouca evidência de horizontes pedogenéticos subsuperficiais (são pouco evoluídos) e não apresentam o horizonte B, com o horizonte A assentado sobre uma rocha. A predominância quase total de quartzo em sua composição determina que a fertilidade natural seja muito baixa. Apresentam-se permanente ou periodicamente inundados, mau drenados. (EMBRAPA, *op. cit*; LEPSCH, 2010 *apud* NUNES, 2014; SHINZATO *et al*., *op. cit*). São classificados como de moderada a alta suscetibilidade à erosão, mesmo apresentando boa profundidade e elevada drenabilidade (SHINZATO *et al.,* op. cit.; ADAMY, 1990; 2005)

Já os Argissolos constituem a ordem mais importante e mais extensa entre os solos brasileiros depois dos Latossolos. O Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico – PVAd, presente na BHIC, caracterizam-se por serem profundos, possuírem argilas de atividade baixa (evita as rachaduras quando o solo seca), horizonte A do tipo moderado e textura média-argilosa e arenosa-média. Eventualmente, ocorre textura cascalhenta, tanto superficialmente quanto em

subsuperfície. São de moderadamente a fortemente ácidos, cobertos predominantemente por vegetação de floresta. A drenagem desse grupo é boa, inclusive naqueles com textura cascalhenta, evidenciada pela coloração vermelho-amarelada, são mantos muito suscetíveis a processos erosivos, principalmente quando expostos ou sem cobertura vegetal (EMBRAPA, 2006; BRASIL 2007a; SHINZATO *et al.*, 2011.).

3.3 MODELADOS GEOMORFOLÓGICOS DA BHIC

A BHIC está inserida no Domínio Morfoclimático Amazônico em Planaltos e Depressões Dissecados e de Superfícies Pediplanadas e sob o domínio Morfoestrutural dos Crátons Neoproterozóicos, representados pelo Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental e pela Depressão Interplanáltica da Amazônia Meridional. (BRASIL, 1978; BRASIL 2009; NUNES, 2014). De acordo com DANTAS & ADAMY, 2011, p. 39:

> [...] No estado de Rondônia destacam-se os padrões geomorfológicos: planícies de inundação, baixadas fluviolacustres e terraços fluviais das várzeas dos rios Madeira-Mamoré-Guaporé; tabuleiros de terra firme, sustentados por coberturas neógenas, em parte laterizadas; superfícies aplainadas sobre o embasamento pré-cambriano; planaltos e serras modelados em coberturas plataformais ou litologias mais resistentes à erosão. Esses ambientes estão submetidos a um regime climático quente e úmido, com formação de solos profundos e quimicamente pobres que permitem a formação de paisagens, em geral, monótonas, recobertas em quase sua totalidade por vegetação florestal [...].

A área apresenta duas Unidades Geomorfológicas, a Depressão do Madeira – Ji-Paraná e a os Planaltos Residuais do Madeira – Ji-Paraná, entendidas como um arranjo de formas altimétrica e fisionomicamente semelhantes em seus diversos tipos de modelados[19], diferenciados e, ou, compostas pelas formas de relevo planícies, depressões, tabuleiros, chapadas, planaltos e serras, sendo (BRASIL, *op. cit.*) (Figura 6).

O dado de altimetria, mapa hipsométrico (Figura 7), indica uma baixa variação altimétrica da área de estudo, com altitudes não superiores a 240 m, confirmando a características do relevo como levemente ondulado a plano, indicando pouca suscetibilidade a erosão natural, onde os picos de elevação estão associados a modelados de relevos residuais.

[19][...] Um polígono de modelado abrange um padrão de formas de relevo que apresentam definição geométrica similar em função de uma gênese comum e dos processos morfogenéticos atuantes, resultando na recorrência dos materiais correlativos superficiais. São identificados quatro tipos de modelados: acumulação, aplanamento, dissolução e dissecação [...] (BRASIL, 2009 p. 32).

Figura 6 − Mapa Geomorfológico da BHIC.

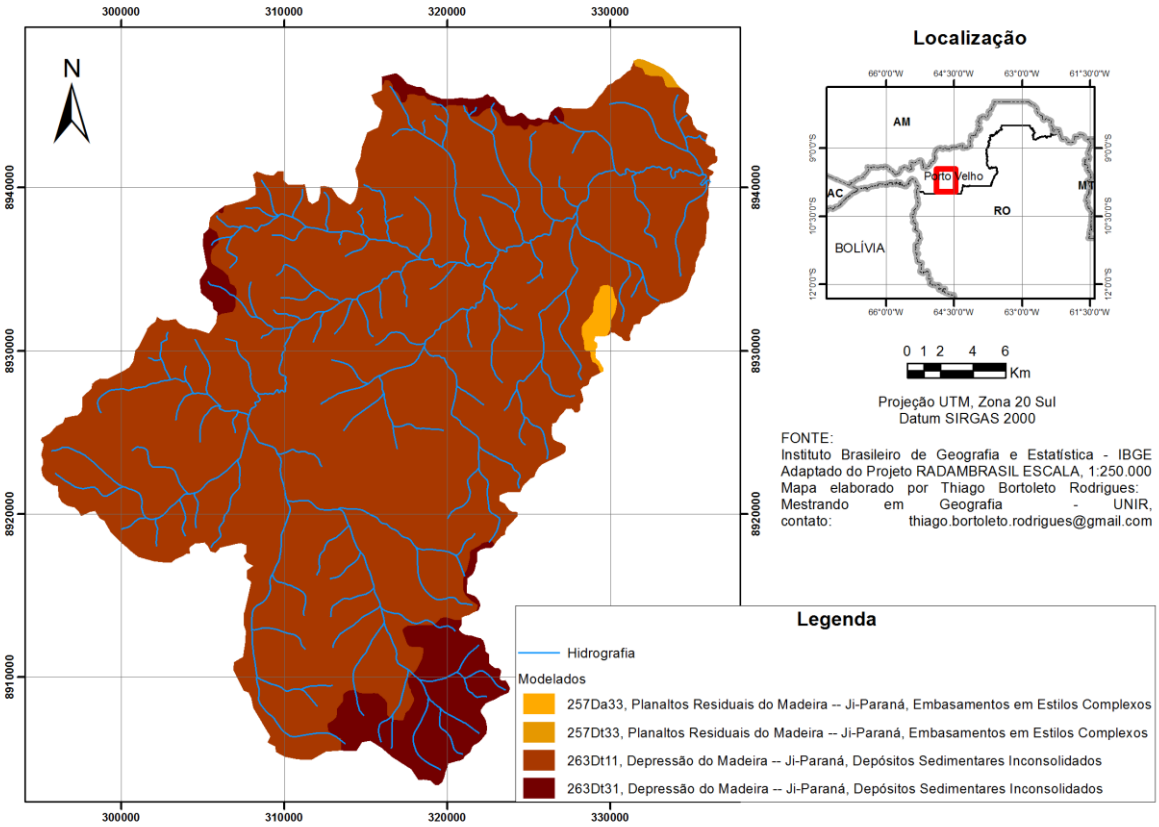
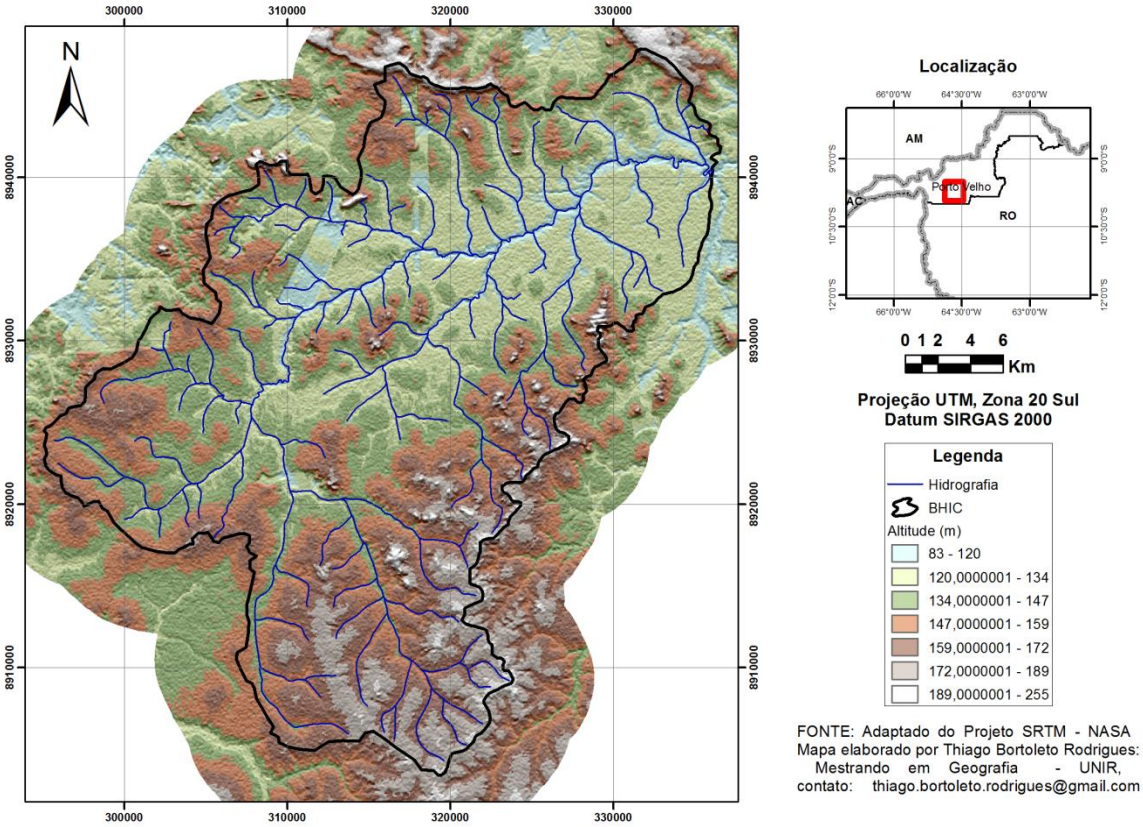


Figura 7 – Mapa hipsométrico da BHIC.



A Depressão do Madeira – Ji-Paraná está contido no Domínio de Depósitos Sedimentares Inconsolidados, caracterizado por relevos elaborados em aluviões e depósitos elúvio-coluviais quaternários. Incluem planícies e terraços compostos de material silte-arenoso, com eventuais linhas de pedras, bem como campos de blocos. De forma geral, alterna grandes áreas suavemente dissecadas ou planas, com outras medianamente dissecadas, sendo ainda interrompida por inúmeros relevos residuais dispersos na superfície rebaixada. (BRASIL, 1978; 2009).

Na região de estudo temos o predomínio do Modelado de dissecação homogênea de topo tabular (Dt11 e Dt31[20]) que apresenta conjuntos homogêneos de formas de relevo de topos tabulares, conformando feições de rampas suavemente inclinadas e lombas esculpidas em coberturas sedimentares consolidadas, denotando eventual controle estrutural (BRASIL, 2009) Os Planaltos Residuais do Madeira – Ji-Paraná compreendem os conjuntos de relevos residuais bastante dissecados, esculpidas em rochas cristalinas e, eventualmente, em rochas sedimentares, com declives acentuados e matacões nas vertentes. Os topos são aguçados, por vezes tabulares, e podem apresentar controle estrutural. Incluem modelados de aplainamento e formas de dissecação homogênea, às vezes diferencial (BRASIL, 1978; *op. cit*.).

Esta unidade geomorfológica é representada por dois modelados, na BHIC, dissecação homogênea de topo tabular e de topo aguçado (Dt33, Da33), que delineiam feições de rampas suavemente inclinadas e lombadas, esculpidas em coberturas sedimentares inconsolidadas e rochas metamórficas, denotando eventual controle estrutural. Apesar de na área apresentarem média densidade de drenagem, possuem vales rasos, apresentando vertentes de pequena declividade. Resultam do início dos processos de dissecação, atuando sobre uma superfície aplanada (BRASIL, 2009).

3.4 UNIDADES LITOLÓGICAS DA BHIC

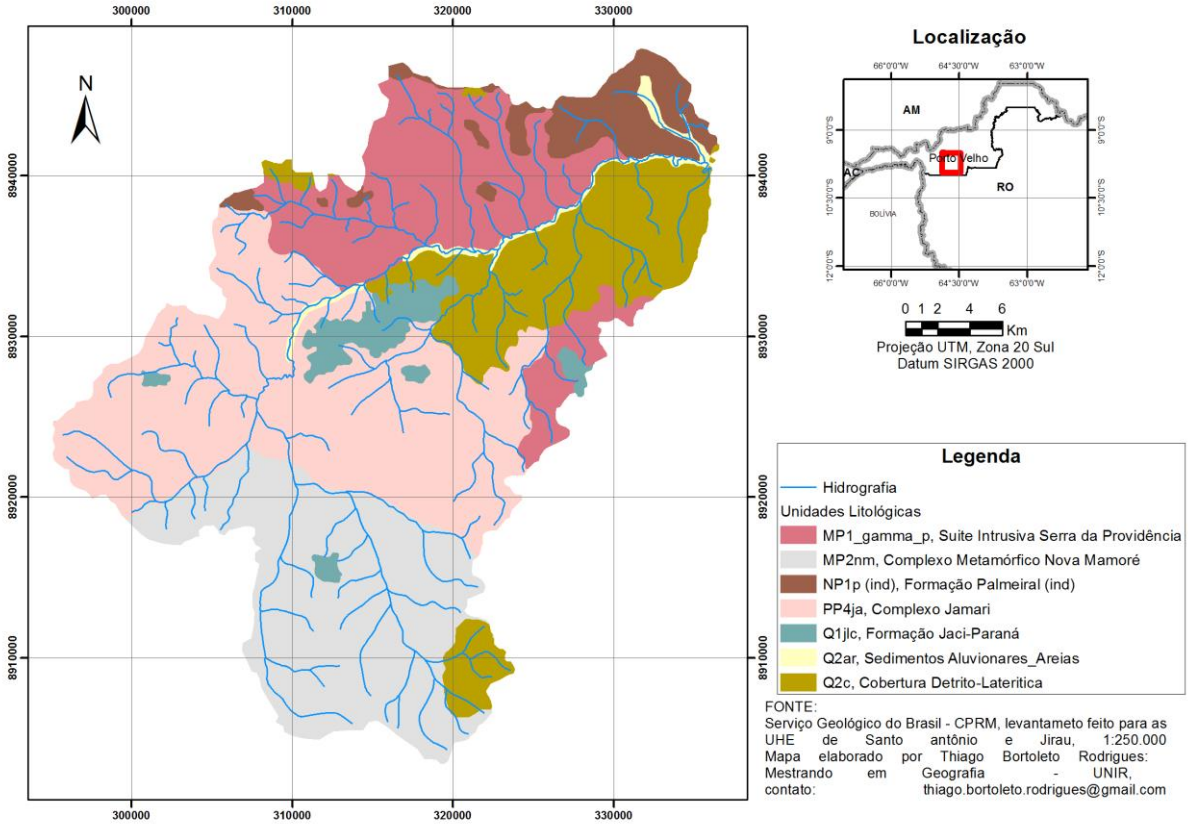
Os dados de geologia da região da BHIC foram extraídos da informação gerada para o EIA/RIMA do complexo hidrelétrico do Madeira, para as duas usinas hidrelétricas, Jirau e Santo Antônio realizados pela CPRM, contratada pelos consórcios construtores (Figura 08).

Os sedimentos detrito-lateríticos, do litotipo Cobertura Detrito-laterítica, ocorrem nas regiões de relevo arrasado, principalmente nordeste da BHIC, na margem direita do Igarapé do

[20]O 1º digito representa a densidade de drenagem, relação entre o comprimento total dos canais e a área amostrada. É classificada em: muito grosseira (1); grosseira (2); média (3); fina (4); e muito fina (5); 2º digito representa o aprofundamento das incisões, estabelecido pela média das frequências dos desníveis medidos em perfis transversais aos vales contidos na área amostrada, sendo classificado em: muito fraco (1); fraco (2); médio (3); forte (4); e muito forte (5) (BRASIL, 2009).

Contra e om uma mancha ao sul, ocupando os interflúvios tabulares associados a pequenas elevações dominadas pelo horizonte concrecionário do perfil laterítico.

Figura 8 – Mapa temático de Geologia da BHIC.



Os sedimentos detrito-lateríticos, do litotipo Cobertura Detrito-laterítica, ocorrem nas regiões de relevo arrasado, principalmente nordeste da BHIC, na margem direita do Igarapé do Contra e om uma mancha ao sul, ocupando os interflúvios tabulares associados a pequenas elevações dominadas pelo horizonte concrecionário do perfil laterítico.

Constituem-se, em grande parte, de depósitos colúvio-aluvionares areno-argilosos. Esses depósitos, na sua base, são constituídos por seixos provenientes dos próprios lateritos concrecionários. As superfícies aplainadas são dominadas por solos argilo-arenosos, de tonalidade avermelhada, ricos em concreções ferruginosas, além de níveis de argilas coloridas e areias inconsolidadas provenientes, em grande parte, do desmantelamento dos arenitos da Formação Palmeiral (RIZZOTO *et al.*, 2005).

Os litotipos da Formação Palmeiral encontram-se distribuído ao norte da BHIC, na margem esquerda do Igarapé do contra, e com pequenas manchas indo na direção oeste em outras áreas da bacia. São característicos pela presença de conglomerados, frequentemente

muito endurecidos e de arenitos arcosianos, via de regra, cortados por fraturas preenchidas com material caulínico. (RIZZOTTO *et al*., 2005.).

Complexo Metamórfico Nova Mamoré está associada a regiões mais elevadas, onde estão as principais nascentes dos formadores da bacia do Igarapé do Contra, principalmente a nascente do próprio Igarapé do Contra e de seus principais tributários.

Partes destes complexos apresentam uma geologia baseada fundamentalmente em uma sequência de rochas para-derivadas, as quais envolvem biotita paragnaisses quartzo-feldspáticos, granada-biotita-quartzo, paragnaisse com bandamento regular e uniforme, granofels quartzo-feldspáticos, gnaisses calcissilicáticos bandados, granofels calcissilicáticos e sillimanita-granada-biotita-quartzo. Afloramentos de xistos são observados em perfis geológicos, e afloram somente ao longo dos canais de drenagem e mais raramente, em corte de estradas em relevo arrasado. E sua composição apresenta biotita, quartzo, sillimanita e raramente com granada (RIZZOTTO *et al., op. cit*.).

O Complexo Jamari ocupa uma a faixa central da BHIC, sendo representado, dominantemente, por metatonalitos, quartzos metagranodioritos e metadiorito, com ocorrências subordinadas de enderbitos, metamonzogranitos e anfibolitos. Essas rochas ocorrem, preferencialmente, em forma de lajeados, em relevo topograficamente arrasado, principalmente nos altos cursos dos rios Jaci-Paraná, Formoso, Branco e das Onças. As rochas do Complexo Jamari foram superimpostas por metamorfismo em condições de pressão e temperatura compatíveis com a fácies anfibolito superior, cuja petrotrama mostra variação na granulação e uma considerável variabilidade nas taxas de deformação, materializada por diferentes intensidades de anisotropia estrutural e um conspícuo bandamento gnáissico (BRASIL, 1978; RIZZOTTO *et al., op. cit*.).

A Suíte Intrusiva Serra da Providência, complementa a região norte da bacia, ao lado da formação Palmeral, as margens esquerda do Igarapé do Contra possui suas rochas graníticas expostas e que são invariavelmente anisotrópicas, granulação média a grossa que variam de equigranulares a inequigranulares, leucocráticas e de coloração rosada a acinzentada. Mostram com frequência um sistema de fraturas conjugadas, dominantemente fechadas e preenchidas por quartzo leitoso. A maioria das rochas é classificada como *hornblenda*-biotita monzogranito, o qual contém fenocristais euédricos a ovalados de microclínio de até 5 cm de diâmetro e frequentemente encontram-se manteados por uma fina auréola cinza-esbranquiçada de plagioclásio, caracterizando a textura rapakivi (BRASIL, 1978; RIZZOTTO *et al., op. cit.*).

Adamy & Romanini (1990) foi quem denominaram de Formação Jaci-Paraná, para os depósitos arenosos, siltosos e argilosos eminentemente de origem fluvial que tem como área-tipo o baixo curso do rio Jaci-Paraná. Estes depósitos sedimentares (terraços arenosos) são dominantemente inconsolidados. As areias são normalmente imaturas, quartzosas, mal selecionadas, possuindo grãos angulosos a subarredondados. Também ocorrem areias feldspáticas de matriz argilosa e friáveis. As estruturas sedimentares são bastante variáveis ocorrendo estratificação cruzada de pequeno porte, plano-paralela horizontal, cruzada acanalada e pacotes maciços. Camadas pouco espessas (10 a 60 cm) de silte-argiloso e argila, de cor cinza-amarelada, ocorrem intercaladas as areias, exibindo granodecrescência ascendente na granulometria. Além disso, em alguns locais (pediplanos), observam-se areias finas em pequenas camadas intercaladas com sedimentos síltico-argilosos. Fazendo parte desta formação ocorrem lateritos imaturos em pacotes espessos capeando as mais variadas rochas da região. Constituem horizontes bem definidos distribuídos na seguinte forma: horizonte concrecionário, horizonte mosqueado, horizonte pálido e rocha-mãe na parte basal (BRASIL, 1978; RIZZOTTO *et al.*,2005).

Os Sedimentos Aluvionares Indiscriminados ocorrem dominantemente associado às margens dos principais cursos d'água de maior porte, como os rios Madeira, Guaporé, Mamoré, Machado, Jaci-Paraná, São Francisco e Igarapé do Contra. O padrão de sedimentação fluvial holocênico do sistema fluvial Guaporé-Mamoré-Alto Madeira é caracterizado por depósitos de acreção lateral e de carga de fundo, que incluem barras em pontal, barras de meio de canal e depósitos de carga de fundo. Associado ao ambiente fluvial também ocorre o ambiente lacustre, representado por lagos residuais formado pela migração das cristas de acreção lateral das barras, além de lagos represados. São constituídos por sedimentos arenosos, silte-argilosos e raramente conglomeráticos, interestratificados e com baixa a média seleção granulométrica (RIZZOTO *et al., op. cit*.).

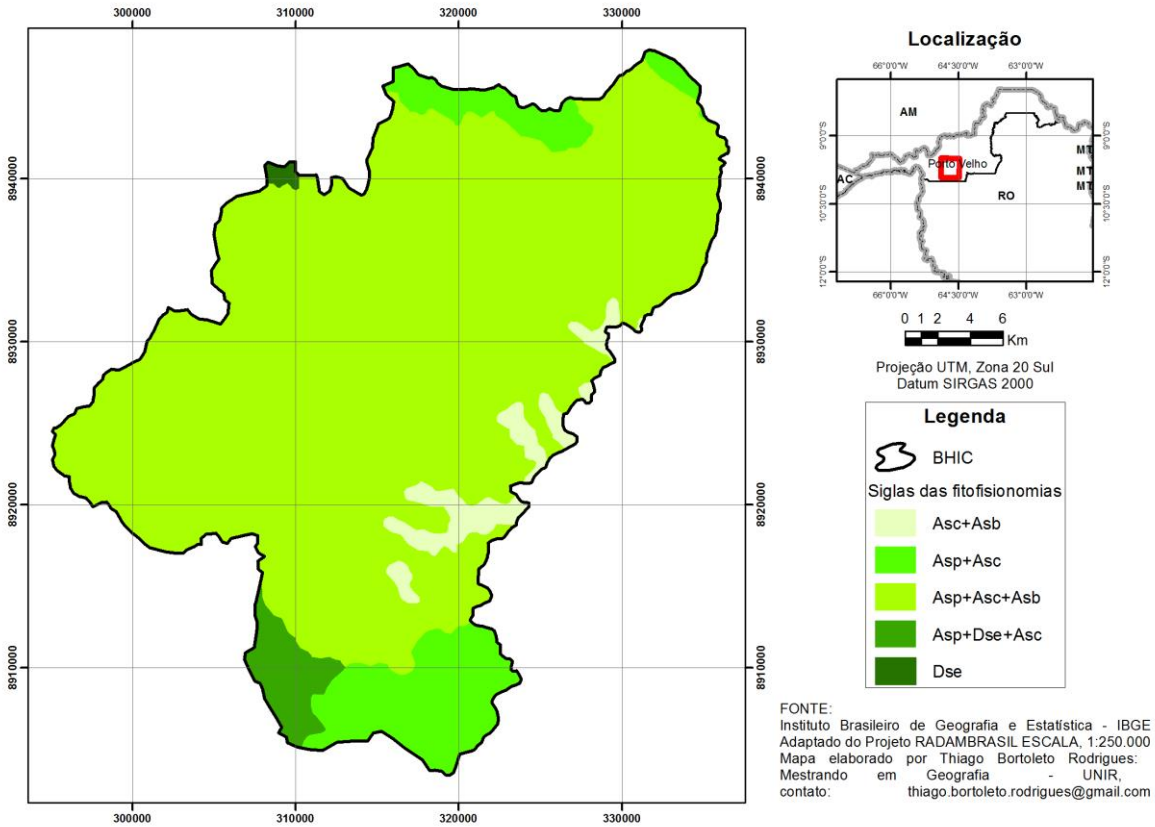
3.5 FORMAÇÕES VEGETACIONAIS NATIVA DA BHIC

Na Região[21] hileiana (hileia = floresta) amazônica existem mais três tipos de vegetação florestal além da Floresta Ombrófila Densa: são as Florestas Ombrófilas Abertas, as Florestas Estacionais Sempre-Verde e as Campinaranas (BRASIL, 2012).

[21][...] Caracterizada por gêneros endêmicos, como, por exemplo, cada um dos principais tipos de vegetação do Brasil (floresta, savana etc.) [...] (BRASIL, 2012, p. 47.).

Destes quatro tipos de vegetação, a formação[22] dominante na BHIC (Figura 10), ocupando praticamente a totalidade da área (98,7 %) é a Floresta Ombrófila Aberta Submontana e suas demais fácies[23] (Figura 10) dominadas por gêneros típicos: *Attalea speciosa* Mart. Ex Spreng. (Babaçu) e *Attalea maripa* (Aubl.) Mart (inajá), que compõem a facie "floresta de palmeiras"; *Guadua superba* (taquara), que forma a "floresta de bambu" e as lianas lenhosas das famílias das Fabaceaes e Bignoniaceaes que formam as conhecidas "matas de cipós". Todas podem apresentar, de acordo com as características climáticas, um déficit hídrico de 0 a 4 meses (BRASIL, *op. cit*.). Esta facie caracteriza-se pela descontinuidade do dossel, pois seus troncos apresentam-se mais espaçados permitindo que a luz alcance o seu sub-bosque, favorecendo os extratos vegetais inferiores e, atingindo cerca de 35 metros de altura no extrato superior.

Figura 9 − Mapa temático de vegetação da BHIC.



Asc = Floresta ombrófila aberta submontana com cipós; Asp = Floresta ombrófila aberta submontana com palmeiras; Asb = Floresta ombrófila aberta submontana com bambu; Dse = Floresta ombrófila densa dossel emergente; SOc = contato; Sps = Savana sem floresta de galeria; Sd = Savana florestada. Nas combinações ex: Asp+Asc o primeiro componente recobre uma área ≥ 50% (IBGE, 2012).

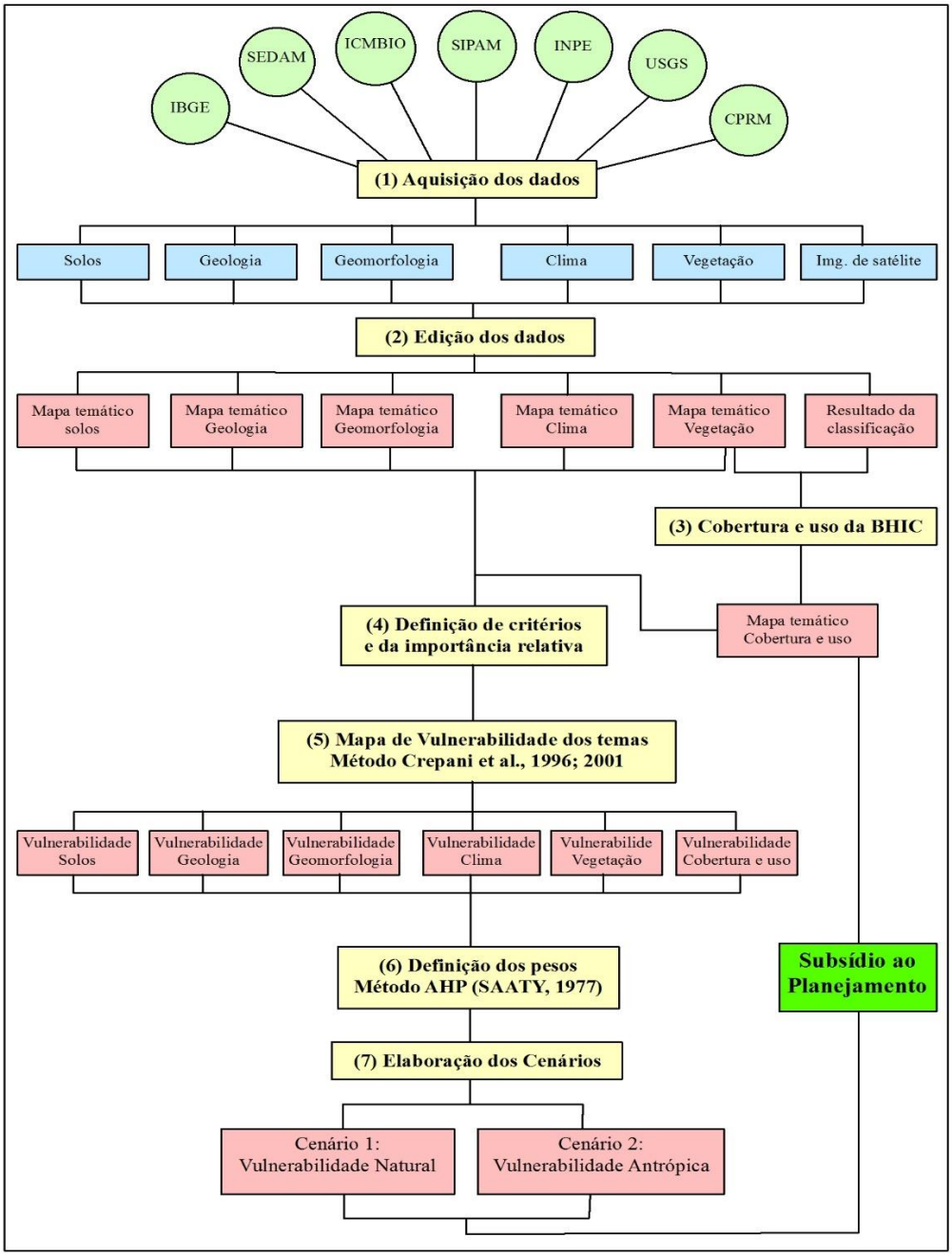
[22] [...] Conjunto de formas de vida vegetal de ordem superior, que compõe uma fisionomia homogênea, apesar de sua estrutura complexa [...] (BRASIL, *op. cit*., p.48).

[23] Caracteriza-se por apresentar uma combinação de espécies particulares, mais ou menos casuais, dentro de uma associação (BRAUN-BLANQUET, *et al.*,1979).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir o objetivo proposto, um fluxograma metodológico simplificado foi seguido, contemplando oito etapas: (1) Aquisição de dados; (2) Edição de dados (entrada dos dados); (3) Avaliação do uso e ocupação da área; (4) Definição dos critérios; (5) Geração de mapa de vulnerabilidade dos temas; (6) Definição dos pesos de cada tema; e (7) Geração de mapa de vulnerabilidade natural e antrópica (Figura 10).

Figura 10 − Fluxograma simplificado do trabalho.



4.1 MATERIAIS

4.1.1 Imagens Orbitais

Com o avanço das tecnologias espaciais e geotecnologias, as imagens de satélites passaram a ser um importante insumo para trabalhos de diversas áreas, principalmente para as análises ambientais, pois se configuram como uma fonte de dados físicos da cobertura da terra, adquiridos remotamente e em grande extensão territorial e, que ainda conta com uma sistematização e periodicidade em sua aquisição.

Neste trabalho foram utilizadas imagens aerotransportadas e de satélites de diversas plataformas e sensores, entre os quais: satélite Landsat-5, sensor *Thematic Mapper* (TM); satélite Landsat-8, sensor *Operational Land Imager* (OLI), imagens da missão RapidEye, sensor *RapidEye Earth Imaging System* (REIS) e imagens da missão aerotransportada *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

4.1.1.1 Imagens Landsat.

As imagens dos satélites da família Landsat são as mais utilizadas em diversos trabalhos técnicos, científicos e acadêmicos, pois vem sendo fornecidas desde a década de 1980 gratuitamente e de fácil acesso pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e pela *United States Geological Survey* (USGS), nas mais diversas resoluções espaciais (área mínima imageada), radiométricas (quantização em bits) e espectrais (bandas, intervalos, que representam faixas do espectro eletromagnético da luz) (NASA, 2015).

Estas imagens trouxeram grandes avanços nas pesquisas ambientais, pois toda sua concepção foi voltada para dar suporte às pesquisas nas mais diversas temáticas especializadas em recursos naturais e meio ambiente. Para dar continuidade a estes avanços, a NASA lançou, em 11de fevereiro de 2013, mais um satélite[24] da missão *Landsat Data Continuity Mission* (LDCM), o Landsat-8 que dará continuidade aos produtos gerados, pelos outros satélites da missão, além de coletar mais informações (EMBRAPA, 2013, NASA, *op. cit.*). Esta consistência de coleta, transmissão, geração e distribuição, indica segurança na utilização destes dados como informações básicas para a classificação da cobertura e uso da terra.

[24] Os satélites e, principalmente, os sensores neles presentes tem uma via útil, sendo necessária renovação.

4.1.1.2 Imagens RapidEye

As imagens RapidEye, na verdade fazem parte de uma missão comercial que é formada por uma constelação de 5 microssatélites multiespectrais, lançados em 29 de agosto de 2008, comandados por empresa privada Alemã. No mundo, o diferencial oferecido por esta missão é a capacidade de produzir conjuntos de imagens de qualquer ponto da Terra em pouco tempo, e com 5 − 6,5 metros de resolução espacial, fazendo com que ele possa ser utilizado para monitoramento de eventos em agricultura, cartografia, florestas, governos, seguradoras e em outros que necessitem de uma atualização de dados mais rápida (EMBRAPA, 2013).

Para recobrir toda a área da BHIC, foram necessárias 7 cenas datadas do ano de 2012 e 2013, disponíveis no site do Geocatálogo MMA. Elas serão utilizadas para confirmações das tipologias de cobertura e usos da terra, e também foram muito úteis na identificação de nascentes, cursos d'água não mapeados e na definição do limite da bacia.

4.1.1.3 Imagens SRTM

Os dados do SRTM foram gerados em uma missão espacial, a partir de cooperação entre as agências espaciais alemã, italiana e americana, coordenadas pela NASA, de 11 a 22 de fevereiro de 2000, objetivando a obtenção de dados topográficos digitais para mais de 80% do globo terrestre. Toda a aquisição dos dados SRTM foi planejada para suprir mapeamentos em escalas entre 1:100.000 e 1:250.000 (VALERIANO & ALBUQUERQUE, 2010). O acesso é feito gratuitamente via o site http://edc.usgs.gov/srtm/data/obtainingdata.html, ou diretamente via FTP.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) é importante, pois dele derivam informações geomorfométricas básicas essenciais aos estudos ambientais, principalmente em se tratando de bacias hidrográficas. A declividade e a amplitude altimétrica, são exemplos destas informações derivadas, essenciais no estudo da vulnerabilidade. Dependendo da escala de trabalho, exige-se muito cuidado no uso destes dados devido ao “efeito dossel”, presente no MDE.

No Brasil, pesquisadores do INPE tiveram a iniciativa do projeto TOPODATA, que por meio da seleção de um único conjunto de coeficientes geoestatísticos, refinaram, por “*krigagem*”, os dados SRTM de todo o território brasileiro gerando dados mais confiáveis (com: aproximadamente 30 m de resolução espacial e retirada dos “*outlayers*” discrepantes), particularmente no que se refere às variáveis geomorfométricas. (VALERIANO & ROSSETTI, 2010).

4.1.2 Dados vetoriais e dados auxiliares

Os dados vetoriais foram obtidos de órgãos oficiais do governo federal e estadual (SIPAM, IBGE, MMA, CPRM, SEDAM/RO, FUNAI, INCRA, ICMBIO) no formato "*shapefile*"[25], em escala 1:250.000 ou maiores, em diferentes sistemas referências geográficas, onde todos eles foram convertidos, quando necessário, para o Sistema de Projeção UTM (Universal Transversa de Mercartor), meridiano Central -63° (Zona ou fuso 20 Sul), Datum, SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000), instituído como sendo oficial no Brasil pelo Decreto 5.334, de 06 de janeiro de 2005.

Os demais dados auxiliares são derivados de levantamento bibliográfico em dissertações e teses, artigos científicos, *homepage* de instituições consagradas e de especialistas da área, primando pela qualidade das informações fisiográficas e de cobertura e uso, dados importantes para este trabalho.

As informações vetoriais, referentes à vegetação, geomorfologia e solos, são do Projeto RADAMBRASIL, Folha Porto Velho SC-20 (BRASIL 1978), disponibilizados na escala 1:250.000 no site do IBGE (BRASIL, 2014). O dado de geologia[26] é oriundo de um estudo realizado pela CPRM, em 2005, na escala de 1:100.000, que serviu de base para os EIA/RIMAS do Complexo hidrelétrico do Rio Madeira.

As informações sobre o clima são derivadas das estações meteorológicas sob responsabilidade da SEDAM/RO, incorporando estas informações dos índices pluviométricos derivados do Projeto PLANAFLORO (RONDÔNIA, 2001), além da análise da bibliografia especializada.

Informações secundárias e históricas de uso e cobertura da terra são provenientes de recortes corrigidos[27] dos dados do PRODES (taxas de desflorestamento, de 1997 a 2013) e do mapeamento TerraClass (2010) elaborado pelo INPE/EMBRAPA, ambos constituem dados disponíveis para download no site do INPE. Os dados de antropização de 2014 serão gerados neste trabalho por processamento digital e interpretação de imagens Landsat 8-OLI.

Os dados de limites e sedes municipais foram obtidos a partir dos levantamentos do IBGE. Informações de vilas, sedes urbanas, rodovias, vicinais, são dados do SIPAM/INCRA,

---

[25] Formato de arquivo digital vetorial (extensão ".shp"), de propriedade intelectual da *Environmental Systems Research Institute* - ESRI, formato mais utilizado para este tipo de arquivo vetorial.

[26] As fontes primárias dos dados fisiográficos são do RADAMBRASIL, mas no caso da geologia optou-se pelo dado mais recente e detalhado devido à presença de uma gama de informação qualitativa sobre as unidades geológicas. A junção destas informações só foi possível, pois o produto final é apresentado na escala do dado de menor resolução cartográfica, neste caso 1:250.000.

[27] Correção realizada pelo autor, uma vez que na área de estudo foram encontrados erros topológicos entre os polígonos, que comprometiam, e muito, a mensuração das áreas desmatadas.

na escala de 1:20.000, datadas de 2010. Os *shapefiles* dos Limites das áreas protegidas foram retirados da *homepage* das instituições responsáveis por sua gestão: UC federais, ICMBIO; UC estaduais, SEDAM; PA, INCRA e TI's, FUNAI.

Para a rede de drenagem efetuou-se uma edição das informações disponibilizadas pela CPRM e pela SEDAM ambas na escala 1:100.000, sendo que a informação da CPRM é mais recente e precisa, mas não apresentava atributos de nomes dos corpos d'água, informação essa, contida no plano de informação disponibilizado pela SEDAM. Nos rios compatíveis, as informações da tabela de atributos do vetor disponibilizado pela SEDAM foram incorporados ao *shapefile* feito pela CPRM, posteriormente, com o auxílio das imagens RapidEye adensou-se a rede de drenagem existente, e este *shapefile* de hidrografia editado é que foi utilizado para os demais procedimentos adotados nesta dissertação.

Informações socioeconômicas, principalmente do IBGE, foram obtidas da pesquisa bibliográfica, que são incorporadas como atributos aos temas vetoriais citados, importantes para uma melhor análise e visão espacial do fenômeno, auxiliando na definição de critérios para a atribuição dos valores de importância relativa e hierarquização necessárias para análise.

4.2 PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

Os procedimentos foram realizados com a ajuda dos softwares[28]: ENVI® – para processamento digital de imagem; ArcGIS® – analise espacial e tratamento dos dados vetoriais e Microsoft Office – para edição de tabelas, texto e gráficos.

4.2.1 Edição da hidrografia e do limite da BHIC

Para a área da BHIC foi realizado um pequeno adensamento da rede de drenagem, utilizando como base as informações das imagens RapidEye (2012), imagens do Landsat 8 (2014), os dados do projeto TOPODATA mais a informação vetorial de hidrografia descrita no item 4.1.2, onde foram identificados visualmente novos cursos de água além da realização de pequenos ajustes na topologia deste dado vetorial, utilizado como base. Todo este procedimento foi feito manualmente no software ArcGIS®, em uma escala de 1:30.000 (visualização da tela do computador).

Para a vetorização do limite da BHIC foram utilizadas a informação gerada na etapa anterior (adensamento da rede de drenagem) e um “prelimite” da BHIC gerado

[28] As licenças dos softwares utilizados são de posse do CENSIPAM/MD, gentilmente cedidas para a elaboração deste trabalho.

automaticamente[29] com bases nos dados altimétricos do TOPODATA. Com estes Planos de Informação (PI), foi possível traçar, manualmente, o limite da bacia hidrográfica do Igarapé do Contra de forma mais precisa, levando em conta as posições das nascentes e dos tributários do Igarapé do Contra, colocado o limite da bacia nas altitudes mais altas do mapa hipsométrico, o mais próximo ao divisor de águas topográfico.

O dado do limite da bacia hidrográfica gerado automaticamente, da etapa anterior, foi utilizado somente como "prelimite" da bacia do Igarapé do Contra, devido a erros inerentes à própria aquisição[30] do "*input*", dado altimétrico disponível (VALERIANO & ROSSETTI, 2010), e das peculiaridades de algumas regiões da BHIC. Quando este limite da bacia hidrográfica gerado automaticamente foi sobrepostos com o dado da hidrografia e com as imagens óticas do Landsat-8 (composição colorida R 4, G 3 e B 2 fusionadas[31] com a banda 8, pancromática, de 15 m de resolução espacial) e imagens da missão RapidEye, foram constatadas algumas inconsistências nestes limites, principalmente na região noroeste da bacia, onde limite geográfico da bacia gerado automaticamente, ultrapassava os divisores de água local, claramente identificados a olho nu nas imagens orbitais.

4.2.2 Mapeamento da Cobertura e Uso da Terra na BHIC

As informações anuais, de 1997 a 2013, de antropização, desflorestamento, são derivadas das classificações realizadas para o programa PRODES, cujos dados vetoriais e matriciais estão disponíveis no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

Para este programa, até o ano de 2012, as imagens usadas na análise eram do satélite Landsat-5 TM, deste ano em diante passou-se para as imagens do Landsat-8 OLI, sendo necessária apenas uma órbita/ponto, a 233/067, para cobrir a área de estudo.

A classificação da cobertura e uso da terra da BHIC (BRASIL, 2006b; 2013b), para 2014, será através de classificação supervisionada das cenas datadas de 18/junho, e por fotointerpretação foram feitos os acréscimos das datas de 04/julho, 05/agosto e 06/setembro de 2014.

---

[29] Existem diversas formas disponíveis na bibliografia de como extrai bacias automaticamente de dados altimétricos implementadas em diversos softwares.

[30] Mesmo após correções realizadas pelo projeto TOPODATA, este dado altimétrico apresenta um erro médio vertical de ±15 metros ("efeito dossel"), sendo ainda maior em regiões planas com mudanças bruscas na fitofisionomia florestal na época de aquisição dos dados.

[31] Processo onde se mantem as características radiométrica das 3 bandas espectrais (composição colorida) da imagem, incorporando a resolução espacial da banda pancromática.

Estas imagens são distribuídas prontas para uso, com todas estas correções feitas – correção atmosférica, correção radiométrica, correção geométrica (registro ou georreferenciamento) com uma pequena ressalva: as imagens são fornecidas orientadas para Norte e, como estamos no hemisfério Sul, devemos fazer esta pequena "alteração" na imagem, corrigir sua orientação geográfica. Outro benefício é que estas imagens são ortorretificadas, que é um processo de georreferenciamento mais robusto que leva em consideração o Modelo Digital de Elevação (MDE) da área imageada, garantindo melhor posicionamento geográfico.

A imagem então é classificada para reconhecer os padrões de objetos homogêneos de cobertura (os geoindicadores), através de suas respostas espectrais, onde mapeamos as áreas da superfície terrestre correspondente aos temas ou classes pré-definidas, transformando um grande número de níveis de cinza, geralmente de 0-255 (8 bits = 2^8) em cada banda espectral, em número reduzido de classes numa única imagem (SPRING, 1996; PONZONI & SHIMABUKURU, 2010; MENEZES & ALMEIDA, 2012; NOVO, 2012).

Os padrões homogêneos, identificados por análise visual das imagens e pré-conhecimento da área de estudo correspondem às amostras de treinamento, polígonos desenhados sobre a imagem delimitando os conjuntos de pixels que pertencem às classes pré-definidas, levando em consideração as características de forma, cor, textura, geometria da feição e contexto, tomando o cuidado de incluir nestas amostras toda a variabilidade de níveis de cinza da imagem que correspondem à classe de interesse (PONZONI & SHIMABUKURU, 2010).

O algoritmo utilizado é um classificador "pixel a pixel" que utiliza unicamente a informação espectral para achar regiões homogêneas, através do método da Máxima Verossimilhança (disponíveis em diversos softwares de PDI), que pondera as distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Para duas classes (1 e 2) com distribuição de probabilidade distintas, as distribuições representam a probabilidade de um "pixel" pertencer a uma ou outra classe, dependendo da posição do "pixel" em relação a esta distribuição (SPRING, 1996; JENSEN, 2009; MENEZES & ALMEIDA, 2012; NOVO, 2012).

Como se trata de classificação supervisionada foram pré-definidos nas imagens Landsat-8, cinco (5) unidades de mapeamento homogêneas sendo duas (2) delas "unidades de paisagem natural" e três (3) classes "polígonos de ação antrópica", claramente distinguível das unidades de seu entorno, com as seguintes características[32] descritas no Quadro 1.

---

[32] São descritas apenas as características na composição colorida das imagens do Landsat-8 bandas R(6), G(5) e B(4), que apresentam características idênticas para composição colorida R(5) G(4) B(3) do Landsat-5 TM, onde R – *Red*, banda do vermelho; G – *Green*, banda do verde; e B – *Blue* a banda do azul.

Quadro 1 – Características das classes escolhidas na análise

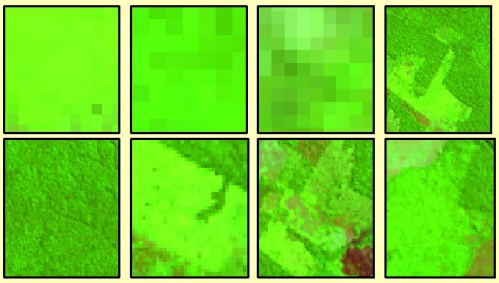
POLÍGONOS DE AÇÃO ANTRÓPICA

SOLO EXPOSTO
VEGETAÇÃO HERBÁCEA-ARBUSTIVA

Possui coloração que vai do rosa claro ao magenta/avermelhado, podendo apresentar tonalidades pálidas de verde e amarelo, chegando a roxo escuro em queimadas recentes, textura muito lisa a pouco rugosa com domínio de formas geométricas , exceto próximo a obstáculos naturais com o extrato arbustivo não ultrapassando 50% da área. Nesta classe aparecem agrupados geralmente as feições antrópicas típicas como áreas urbanas, solo exposto, desmatamento recente, queimadas, culturas anuais e perenes, pasto limpo, pasto sujo, extração mineral e vegetação secundária herbáceo/arbustiva;

VEGETAÇÃO ARBUSTIVA-ARBÓREA

possui coloração de verde-claro (mais brilhante) a verde médio, com textura de meio-lisa a médio-rugosa, com predomínio de formas geométricas, normalmente contiguas a áreas da classe solo exposto. Estão geralmente agrupados nesta classe: vegetação antropizada secundária arbustivo-arbórea, pasto sujo denso, sistemas agrossilvepastoris em estágios iniciais e médios de desenvolvimento, exploração florestal seletiva intensa ("brocagem") e sistemas silviculturais com pouco estágio de desenvolvimento.



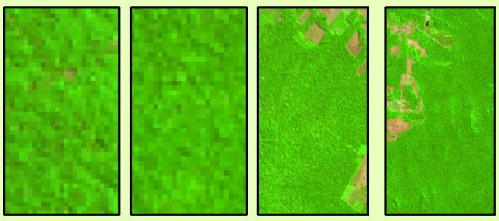
CICATRIZ DE QUEIMADA

Possui Textura lisa a meio rugosa, diversas formas e tamanho, com predomínio de formas geométricas, coloração, salmão escuro, vermelho escuro chegando tons de roxo beirando o preto.

UNIDADES DE PAISAGEM NATURAL

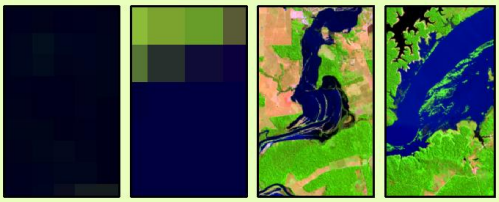
VEGETAÇÃO NATIVA

Possui uma coloração de verde médio a verde-escuro, com textura rugosa a muito rugosa com formas complexas, estando incluindo nestas áreas sistemas silviculturais em estágio avançado de desenvolvimento e as fitofisionomias florestais nativas em suas diversas fáceis



ÁGUA

Possui uma coloração que vai do branco-azulado ao preto absoluto, com textura lisa a pouco rugosa, nas mais diversas formas, mais com predomínio de formatos alongados. Esta classe apresenta as feições sombras de terrenos elevados, sombras de nuvens e qualquer tipo de corpo de água.



Org.: Thiago B Rodrigues.

Para cada uma das cinco classes descritas no Quadro 1 foram coletados uma média de 500 pixels como amostras de treinamento, para cada uma das classes pré-selecionadas, usando o software ENVI®. Nesta mesma plataforma gera-se uma classificação aplicando o algoritmo descrito acima, de acordo com as informações espectrais do conjunto de pixels destas amostras. Chamamos isso de pré-classificação, pois apresentam "ruídos", erros de identificação das classes, sendo necessária uma intervenção do analista para identificar e corrigir estes ruídos.

A primeira correção foi derivada da aplicação de um algoritmo de análise majoritária[33], portanto levando em consideração a correlação espacial, pois na primeira classificação só levamos em consideração a correlação espectral dos pixels. Isso ajuda a eliminar os ruídos, pixels espúrios, que estão geralmente associados a pixels isolados que foram classificados diferentemente da maioria dos pixels de sua vizinhança, aplicando o conceito geográfico espacial da proximidade, onde o que está mais próximo é mais parecido.

Após a aplicação deste filtro a imagem resultante é convertida em vetor, onde a informação gerada é verificada através da edição manual (fotointerpretação), para a correção das inconsistências que ainda restaram e, a confirmação da classificação, resultando no mapa final de cobertura e uso da BHIC, com as cinco classes descritas no Quadro 1, informação fundamental para a análise da vulnerabilidade.

4.2.3 Mapeamento da vulnerabilidade da BHIC.

Os mapas de vulnerabilidades da BHIC foram gerados partindo-se da premissa que a alteração no componente vegetação, que atua como proteção e cobertura, exerce maior influência sobre a vulnerabilidade à erosão da bacia, sendo este fator considerado o mais importante para manter as características naturais da área frente ao processo de erosão e desmatamento, garantindo a sustentabilidade da bacia. Este tipo de interferência humana, sem os devidos cuidados, sobre o componente em fitoestasia, é a perturbação ao equilíbrio dinâmico que mais contribui para o aumento da vulnerabilidade (TRICART, 1977; ROSS, 1994; CREPANI *et al.*, 1996; 2001; BRASIL 2003; SPÖRL, 2007).

Foram gerados dois mapas: um pretérito, considerando que na bacia não havia ação antrópica, mapa de vulnerabilidade natural ou potencial; e outro mapa atual, o mapa de vulnerabilidade a ação antrópica, gerado com a incorporação do resultado da classificação (cobertura e uso) das imagens ao mapa de vegetação inicial.

---

[33] Uma Matriz quadrada de ordem três (3 x 3), formada por 9 pixels, onde o pixel central é analisado.

O problemática da área de estudo é associada à alteração da cobertura e uso da terra. Quanto mais se promove a transformação da cobertura vegetal natural arbórea (principalmente, "corte raso"), substituindo-a por uma cobertura herbácea, passando por estágios de ausência e/ou pouca cobertura vegetal, mais vulnerável a área se torna aos processos erosivos, resultando em perdas de solos, de fertilidade e de biodiversidade, afetando a qualidade da água. Para simular essa hipótese são atribuídos (definidos) os valores de importância[34] e calculados os pesos estatísticos (ponderações), para todos os sistemas componentes (vegetação, cobertura e uso, solos, geomorfologia, clima e geologia) (MELO, 2012), através do método Multicriterial AHP – *Analystic Hierarchy Process*, proposto por Saaty (1977), para que os mapas de vulnerabilidade, obtidos pelas Equações um (1) e dois (2), possam representar de forma mais realística as condições de vulnerabilidade encontradas na BHIC.

$$\mathbf{Vn} = [\mathbf{P_1}*\mathbf{V}\text{Geo}]+[\mathbf{P_2}*\mathbf{V}\text{Geom}]+[\mathbf{P_3}*\mathbf{V}\text{Solos}]+[\mathbf{P_4}*\mathbf{V}\text{Clima}]+[\mathbf{P_5}*\mathbf{V}\text{Veg.nat}]\cdots\cdots\cdots(1)$$

$$\mathbf{Va}=[\mathbf{P_1}*\mathbf{V}\text{Geo}]+[\mathbf{P_2}*\mathbf{V}\text{Geom}]+[\mathbf{P_3}*\mathbf{V}\text{Solos}]+[\mathbf{P_4}*\mathbf{V}\text{Clima}]+[\mathbf{P_5}*\mathbf{V}\text{Veg/Uso}]\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

Onde, **Vn,** é o mapa de Vulnerabilidade Natural; **Va,** é o mapa de Vulnerabilidade Antrópico; $\mathbf{P_{1,2,3,4\ e\ 5}}$, é igual ao peso estatístico calculado para cada fator; e **V**, é a atribuição dos graus de vulnerabilidade, seguindo a metodologia do Crepani *et al*., 2001.

Segundo Santos *et al*. (2010) o cálculo dos valores dos pesos estatísticos é considerado um dos momentos mais importantes de todo o processo de construção dos diversos mapas que fazem uso desta metodologia, pois é neste momento que se usa os valores de importância atribuído para cada sistema componente[35].

Para a atribuição da importância relativa de cada componente foi utilizada as informações bibliográficas, levantadas das mais variadas fontes, junto com experiências do pesquisador, na tentativa de uma melhor atribuição dos valores de importância, cujos são usados em uma matriz de comparação pareada, que nos permite calcular os pesos (o quanto cada componente contribui para o processo) que, posteriormente, são incorporados aos mapas de

[34] O quanto um componente é mais importante que o outro no processo analisado. Isso feito com uma matriz de comparação paritária; comparação somente entre dois (2) componentes por vez.

[35] O ideal para a definição da importância relativa entre os componentes (comparação par a par) seria a união de quatro procedimentos: a) experiência do pesquisador define a escala de importância; b) levantamento bibliográfico; c) aplicação de questionário a grandes especialistas da área e d) equipe multidisciplinar trabalhando junto no campo e escritório, mas nem sempre isso é possível (SANTOS *et al.*, 2010).

vulnerabilidade a erosão natural com base na metodologia de Crepani *et al*. (1996, 2001), conforme as equações 1 e 2 já descritas, para elaboração dos mapas sínteses.

Os mapas de vulnerabilidade individuais são gerados para cada plano de informação: vegetação, cobertura e uso de 2014, solos, geomorfologia, clima e geologia. Segundo a metodologia proposta, o resultado é uma caracterização embasada nas categorias morfodinâmicas da Ecodinâmica de Tricart (1977) (Quadro 2), sendo criados de forma relativa e empírica, um modelo de 21 valores de vulnerabilidade, no intervalo de um a três (1; 1,1; 1,2; 1,3... 3) dando ideia de continuidade, sem limites rígidos entre os diferentes processos (CREPANI *et al.*, 2001), levando em consideração os processos de pedogênese (prevalece a formação de solos) e morfogênese (prevalecem processos erosivos, esculpidores do relevo). Estes 21 valores são agrupados em cinco graus de vulnerabilidade: Vulnerável, Moderadamente Vulnerável, Mediamente Vulnerável/Estável, Moderadamente estável e Estável (Quadro 3**).**

Quadro 2 − Valores das categorias morfodinâmicas.

Categoria morfodinâmica	**Relação Pedogênese/Morfogênese**	**Valor**
Estável	Prevalece pedogênese	1
Intergrades/intermediária	Equilíbrio	2
Instável	Prevalece morfogênese	3

Org.: Thiago B Rodrigues,
Fonte: adaptado de Tricart (1977).

Quadro 3 − Escala do grau de vulnerabilidade.

MÉDIA			GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
				VERM.	VERDE	AZUL	CORES
	3,0		VULNERÁVEL	255	0	0	
	2,9			255	51	0	
	2,8			255	102	0	
V	2,7			255	153	0	
U	2,6		MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
L	2,5	E		255	255	0	
N	2,4	S		204	255	0	
E	2,3	T		153	255	0	
R	2,2	A	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
A	2,1	B		51	255	0	
B	2,0	I		0	255	0	
I	1,9	L		0	255	51	
L	1,8	I		0	255	102	
I	1,7	D	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	153	
D	1,6	A		0	255	204	
A	1,5	D		0	255	255	
D	1,4	E		0	204	255	
E	1,3		ESTÁVEL	0	153	255	
	1,2			0	102	255	
	1,1			0	51	255	
	1,0			0	0	255	

Fonte: Crepani *et al*. (2001).

O limite da BHIC corresponde, para este estudo, à Unidade Territorial Básica − UTB, que é uma entidade geográfica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-la de suas vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam a uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais (CREPANI *et al.*, 2001). A UTB é dividida em polígonos de ação antrópica e unidades de paisagem natural, perante o processo de vulnerabilidade (CREPANI *et al.*, 1996).

Para cada classe[36] dos componentes (geologia, solo, geomorfologia, clima e vegetação) é aplicado, de acordo com os atributos dos mapas temáticos e da complementação da informação pelo acervo bibliográfico consultado, a escala de valores dos graus de vulnerabilidade do Quadro 3, fornecendo o mapa de vulnerabilidade natural a erosão de cada classe e de cada tema, que, posteriormente, com a integração destes mapas temáticos dentro da UTB, através da Equação 1 gera-se o mapa de vulnerabilidade natural a erosão da bacia, que representa a média ponderada dos valores das unidades de paisagem natural de cada tema. Neste cenário a UTB só apresenta unidades de paisagem natural.

Os polígonos de ação antrópica representam, nas imagens, as áreas físicas onde ocorre a atuação humana, que modifica as condições naturais e podem estar localizados em uma ou mais unidades de paisagem natural (CREPANI *et al.*, 2001), esse dado foi obtido das imagens Landsat-8 OLI classificadas e incorporado ao dado de vegetação transformando-se no componente vegetação/cobertura e uso, pois ambos exercem (são considerados de) a mesma "função ecológica", com maior ou menor grau, para os processos erosivos: proteção do solo contra o poder de erosividade da chuva. Este novo tema de cobertura (vegetação nativa + polígonos de ação antrópica), também recebe os valores da escala de vulnerabilidade de acordo com suas características e entra como componente da Equação 2, gerando o mapa de vulnerabilidade antrópica.

4.2.4 Definição dos critérios para a atribuição do grau de vulnerabilidade a erosão

As informações fisiográficas referentes a vegetação e a cobertura e uso estão diretamente relacionados a densidade de cobertura e a proteção que o componente vegetal exerce sobre o solo, portanto quanto mais densa (em nº de indivíduos, em nº de espécies, biomassa e estratificação) é esta cobertura do solo, maior é a proteção que este está submetido

[36] Devido a escala de trabalho dentro de cada componente fisiográfica, conseguimos chegar a um certo nível de separabilidade (características homogêneas), dividindo o tema em "classes", polígonos com localização geográfica e atributos diferenciáveis entre si. No caso da geomorfologia os melhores exemplos são os modelados, na vegetação, a fitofisionomia, nos solos os grandes grupos.

contra o impacto da água da chuva (poder de erosividade), diminuindo a possibilidade de erosão hídrica, além de regular outros fatores ecossistêmicos, funcionando como elemento de fitoestasia do ambiente e de definição da estrutura da paisagem (TRICART 1977; NUNES, 2014). As altas densidades de cobertura vegetal, além de retardarem a chegada da água da chuva ao solo fornecem uma serapilheira abundante e outros obstáculos superficiais, portanto material e processos de impedimento ao escoamento superficial, limitando-o.

As fitofisionomias que apresentam maior biodiversidade, maior estratificação, maior número e densidade de espécies e indivíduos, maior biomassa vegetal, com alta produção de serapilheira, um sistema radicular abundante e complexo, que auxilia a penetração da água da chuva e formação dos solos, tem seus valores de vulnerabilidade próximos de um (1), pois são ambientes estáveis perante os processos morfodinâmicos. Já as classes com características diferentes das citadas acima terão seus valores de vulnerabilidade mais próximos de dois (2) ou três (3) de acordo com a combinação de seus atributos que nos permitem inferir o grau de cobertura e proteção do solo. (TRICART, 1977; ROSS, 1994; CREPANI, 1996; 2001; SPÖRL, 2007).

Ambientes antropizados como áreas urbanas, pastagens, culturas anuais e perenes, tem seus valores mais elevados, principalmente, pela ação de remoção de boa parte da proteção exercida pela cobertura vegetal nativa adaptada, cujo ato expõe os substratos aos processos degradantes, tendendo a instabilidade perante os processos erosivos.

Diferentemente da maioria dos estudos de vulnerabilidade à erosão natural, as áreas relacionadas as atividade de pastagem (classe vegetação/cobertura e uso) receberam valores do grau de vulnerabilidade próximos de dois (2)[37], grau medianamente estáveis/vulneráveis, pois as pastagens, e por que não dizer, as vegetações herbáceas, ou consórcio de espécies que são usadas nesta atividade produtiva, apesar do baixo porte, promovem uma cobertura densa e rápida das terras onde são plantadas e rebrotam em áreas queimadas facilmente, formando uma espécie de tapete de proteção de biomassa viva e morta, com um sistema radicular intrincado, que protegem os solos e o relevo contra a ação do intemperismo. Alguns estudos como o de Ramos et al. (2011) demostram que as pastagens plantadas protegem mais o solo ao salpicamento de chuvas simuladas, do que a própria vegetação nativa de cerrado em um solo Neossolo quartzarênico em Cáceres – MT, já da Silva et al, 2004 encontrou taxas inferiores as admissíveis[38], para perda de solo por erosão e Latossolos com pastagens plantadas.

---

[37] Na maioria da bibliografia consultada sobre vulnerabilidade à erosão, as paisagem antrópicas são classificadas como vulneráveis, valores próximos a três (3).
[38] Segundo método proposto por Lombardi Neto e Bertoni *apud* A.M. da Silva *et al*, 2004

Na atribuição de valores de vulnerabilidade aos grandes grupos de solos, o atributo maturidade é um dos mais importantes para ser considerado, pois é um produto direto da relação morfogênese ↔ pedogênese, onde solos imaturos, rasos, pouco desenvolvidos sugerem a prevalência de processos erosivos (morfogênese) e a presença e solos maduros, bem desenvolvidos, lixiviados mostram o predomínio da pedogênese. As informações contidas na tabela de atributos da tabela do dado original do RADAMBRASIL, como relevo, tipo de horizonte, textura (informações qualitativas), também foram levados em consideração na hora da escolha dos valores de vulnerabilidade (CREPANI *et al*., *op. cit.*; 2008; BRASIL, 2007a).

Seguindo recomendações de Crepani *et al.* (*op. cit*.) e Ross (*op. cit*.), para a determinação das vulnerabilidades do relevo (modelado geomorfológico) foram levados em considerações algumas de suas características morfométricas como: dissecação, amplitude altimétrica e declividade, ambas derivadas do projeto TOPODATA e dos atributos da tabela do dado vetorial utilizado. Estas características estão diretamente ligadas à disponibilização de energia (energia potencial, que se transforma em energia cinética), para o escoamento superficial, "*runoff*", portanto, quanto maiores forem seus índices, mais propensa à erosão é o relevo.

A dissecação[39] está relacionada à porosidade e à permeabilidade, tanto do solo como da rocha aumentando a água disponível na superfície. Maior quantidade de água na superfície implica em um maior número de redes de drenagens para escoar estas águas para as regiões mais baixas, tendo maior disponibilidade de energia potencial e, portanto, maior poder erosivo para promover a morfogênese. (CREPANI *et al*., 1996; 2001). Já a amplitude altimétrica indica o quanto desta energia potencial está disponível para o escoamento superficial, pois quanto maior for esta medida maior é a energia potencial, uma vez que quanto mais alto (maior altitude) e mais inclinado for o terreno, onde as águas pluviais caírem, maior será a energia cinética que estas águas fornecem para o processo e, consequentemente, apresentarão maior capacidade de erosão ou de morfogênese (CREPANI *et al.*, 2001).

A declividade está relacionada à inclinação do relevo, em graus ou porcentagem, em relação ao horizonte. Quando os ângulos do relevo são iguais ou superiores a 45° (100%), dificilmente as partículas das rochas não se desprenderão devido à ação do intemperismo, situação em que não haverá possibilidade de formação de solo, ou pedogênese, ocorrendo apenas a exposição contínua de material rochoso, favorecendo a morfogênese. Isso ocorre

[39] A dissecação do relevo é representada pela combinação da densidade de drenagem e do aprofundamento dos talvegues (BRASIL, 2009).

porque o coeficiente de atrito de uma partícula em movimento ao longo de uma encosta é igual à tangente do ângulo de inclinação da encosta, e como poucos materiais têm este coeficiente de atrito igual ou maior que um (1), a tangente de 45°, este ângulo e maiores tende a processos somente morfogênicos (CREPANI *et al*., 1996).

Para a variável clima (precipitação) foi calculada, a intensidade pluviométrica[40], que representa uma relação entre o quanto chove por quando chove, resultado que determina, em última análise, a quantidade de energia potencial disponível para transformar-se em energia cinética responsável direto pela maior ou menor erosão hídrica (CREPANI *et al., op. cit*.). Calculou-se também o Fator de erosividade (R) que é derivado do índice e erosividade (EI), o qual representa a energia cinética disponível em megajoules por hectare milímetro de chuva (MJ/ha/mm) vezes intensidade máxima da chuva medida em 30 minutos (I_{30}) em milímetro por hora, expressando a capacidade desta chuva de erodir o solo de um terreno desprotegido de vegetação (LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER, 1992). Esta análise, na bacia, deve indicar, dadas as feições geomorfológicas e pedológicas da área, associado ao longo período seco, fraco poder de erosividade das chuvas locais.

As características mais importantes, consideradas para o tema geologia, estão relacionadas ao histórico da evolução geológica da unidade e ao grau de coesão[41] de suas rochas formadoras, que refletem a resistência dos seus minerais componentes, ao intemperismo e, consequentemente, a resistência da unidade geológica.

Em rochas pouco coesas podem prevalecer os processos erosivos, modificadores das formas de relevo (morfogênese = instáveis), enquanto que nas rochas bastante coesas devem prevalecer os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese = estáveis) (CREPANI *et al.,* 2001; 2008).

4.2.5 Atribuição da importância relativa entre os temas

Os temas foram hierarquizados segundo sua importância relativa. Em ordem decrescente de importância temos: Vegetação/cobertura (grau de importância 9); Solo (grau de importância 7); Geomorfologia (grau de importância 5); Clima (grau de importância 3) e Geologia (grau de importância 1). O valor um representa o mínimo e o nove o máximo de importância de uma variável em relação a outra (SAATY, 1977; CAMARA *et al.,* 2001).

---

[40] Calculada pela média de precipitação anual em mm/ano, dividida pelo período de meses chuvosos da região.
[41] Grau de coesão da rocha: representa a força da ligação química entre seus minerais ou partículas formadores.

Considerando algumas das premissas desta dissertação, o dado de vegetação (cobertura e uso) é o que recebeu o maior valor de importância na comparação par a par com qualquer outro componente da paisagem, pois é neste componente que se reflete de forma nítida a ação antrópica, pelas bruscas transformações das paisagens nativas em paisagens antropizadas com predomínio de plantas herbáceas e arbustivas destinadas à produção agrícola, principalmente.

O solo foi considerado como segundo mais importante, pois, sem ele, não se materializam as ações do homem em busca do modelo de desenvolvimento vigente, que no meio rural, demandam grandes extensões de terras e uso intensivo deste componente. É nele, também, que ocorrem os processos erosivos, devido à erodibilidade de cada grande grupo de solo, que afeta negativamente e diretamente as populações, causando principalmente risco à vida e prejuízos econômicos.

A Geomorfologia aparece em terceiro lugar na ordem de importância, apesar de a maioria dos estudos de vulnerabilidade a erosão tratarem-na como tema central neste processo. Conforme descrito, as características geomorfológicas da BHIC, no que se refere ao modelado, apresentam-se de forma plana a levemente ondulada, com poucos platôs residuais de gênese mais resistente, com baixos graus de dissecação, baixa densidade de drenagem (0,65 km/km²), baixa amplitude altimétrica, que neste caso, contribuindo com pouca energia cinética para o poder de erosividade das chuvas, além de se mostrarem como estáveis ao longo do tempo.

O clima ficou com a quarta importância, pois com os dados de precipitação utilizados, verificou-se que toda a bacia foi classificada, através dos dois índices utilizados, com potencial de “erosividade fraca”. Já o tema geologia recebeu a menor importância, devido à estabilidade das litologias encontradas na região. Soma-se a este dado o fato de que as alterações na litologia só serão perceptíveis no tempo geológico, onde as ações humanas, normalmente, não contribuem significativamente para seus processos transformadores, ressaltando que em muitos trabalhos de vulnerabilidade a erosão a variável geológica simplesmente não é computada para o cálculo e mapa finais de vulnerabilidade.

4.2.6 Aplicação do Processo de Análise Hierárquica para os dados da BHIC

Tomado pelas informações das vulnerabilidades de cada sistema componente, geradas na etapa anterior e das informações bibliográficas, aplicou-se um método de hierarquização de sistemas, AHP, que permite unir as informações qualitativas (critérios usados na definição dos graus de importância e vulnerabilidade a erosão) e quantitativas (espacialização dos sistemas componentes), de forma coesa e o mais próximo da realidade.

Esta técnica utiliza uma análise unificada do ambiente, abordando a área como um sistema composto por múltiplas variáveis que se inter-relacionam, entre si e com outros sistemas (MELO, 2012), e possui uma base matemática que permite organizar e avaliar a importância relativa (atribuição de pesos) entre os critérios (fatores, sistemas componentes), além de medir a consistência dos julgamentos (CAMARA *et al*., 2001; CAVALCANTE D. *et al*., 2010).

Este método por visar uma hierarquização dos sistemas componentes, divide um problema complexo em um problema mais simples, com o auxílio da construção de uma matriz (linhas e colunas) de decisão para uma comparação paritária entre os sistemas, onde para cada variável é atribuído um valor relativo de importância, nas escalas de um (1) a nove (9) (Quadro 4). O valor um representa o mínimo e o nove o máximo de importância de uma variável em relação a outra (SAATY 1977; CAMARA *et al., op. cit*.). O limite de 9 na escala foi assim idealizado, pois, segundo Saaty (*op. cit.*), seria impossível um indivíduo comparar simultaneamente mais que 7 ± 2 elementos.

Quadro 4 − Escala dos comparadores

Valor	**1/9**	**1/7**	**1/5**	**1/3**	**1**	**3**	**5**	**7**	**9**
Importância mútua	Extremamente	Muito fortemente	Fortemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fortemente	Muito fortemente	Extremamente
	Menos importante					**Mais importante**			

Org.: Thiago B Rodrigues.
Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

Com a escala de comparadores em mãos constrói-se a matriz de comparação par a par (matriz de decisão), em que se atribui a hierarquia de importância entre os sistemas pré-definidos (geologia, geomorfologia, solos, clima e vegetação/uso e cobertura) de acordo com critérios estabelecidos no item 4.2.5. É neste instante que se usa o valor de importância de cada sistema componente, um em relação ao outro, montando a matriz de decisão, atribuindo-lhes os valores de um a nove, que pode ser observado na Tabela 1.

Na matriz de decisão, cada elemento indica quanto o fator da coluna da esquerda é mais importante em relação a cada fator correspondente na linha superior. Quando um fator é confrontado com ele mesmo, o único resultado possível é um (1), pois possui igual importância (MELO, 2012). Assim, a partir do momento que todos os fatores se entrecruzam, par a par, a matriz passa a ser a representada como na Tabela 2.

Tabela 1 − Matriz com os valores de importância de cada sistema componente da BHIC

MATRIZ	Geologia	Clima	Geomorfologia	Solos	Vegetação/Uso
Geologia	1	-	-	-	-
Clima	3	1	-	-	-
Geomorfologia	5	3	1	-	-
Solos	7	5	3	1	-
Vegetação/Uso	9	7	5	3	1

Org.: Thiago B Rodrigues.

Tabela 2 − Matriz de comparação ou Matriz de decisão

Fatores	Geologia	Clima	Geomorfologia	Solos	Vegetação/Uso
Geologia	1	1/3 = 0,33	1/5 = 0,2	1/7 = 0,1428	1/9 = 0,111
Clima	3	1	1/3 = 0,33	1/5 = 0,2	1/7 = 0,1428
Geomorfologia	5	3	1	1/3 = 0,33	1/5 = 0,2
Solos	7	5	3	1	1/3 = 0,33
Vegetação/Uso	9	7	5	3	1
∑ da coluna	25	16,333	9,533	4,676	1,787

Org.: Thiago B Rodrigues.

Definido a importância dos sistemas componentes juntamente com a matriz de decisão construída começamos as etapas de cálculo dos pesos de cada sistema componente (Plano de informação - PI).

O primeiro passo é a construção da matriz de decisão normalizada, que é a divisão do valor atribuído a cada sistema componente, pela soma dos valores da coluna, colocando todos os elementos na mesma escala de comparação, ou seja, valores de zero (0) a um (1) resultando na matriz representada na Tabela 3.

Tabela 3 − Matriz de comparação normalizada

MATRIZ NORMALIZADA					
Fatores	**Geologia**	**Clima**	**Geomorfologia**	**Solos**	**Vegetação/Uso**
Geologia	1/25=0,04	0,33/16,33=0,0204	0,2/9,53=0,021	0,14/4,68=0,0305	0,11/1,79=0,0622
Clima	3/25=0,12	1/16,33=0,0612	0,33/9,53=0,0350	0,2/4,68=0,0428	0,14/1,79=0,0799
Geomorfologia	5/25=0,2	3/16,33=0,1837	1/9,53=0,1049	0,33/4,68=0,0713	0,2/1.79=0,1119
Solos	7/25=0,28	5/16,33=0,3061	3/9,53=0,3147	1/4,68=0,2138	0,33/1,79=0,1865
Vegetação/Uso	9/25=0,36	7/16,33=0,4286	5/9,53=0,5245	3/4,68=0,6415	1/1,79=0,5595
∑ da coluna	1	1	1	1	1

Org.: Thiago B Rodrigues.

Com os valores ponderados da Tabela 3 é que calculamos os pesos dos sistemas componentes, que são os resultados da soma dos valores da linha de cada tema dividido pelo número de colunas da matriz de decisão (neste caso o divisor é cinco, pois a é uma matriz

quadrada 5 x 5). Deste modo os pesos são interpretados como a média aritmética de todas as formas de comparação do critério (MARTINS, 2009) (Tabela 4).

Tabela 4 − Valores dos pesos calculados para a BHIC

Fatores	Cálculo dos pesos (média)	Peso
Geologia	(0,04+0,02+0,021+0,031+0,062)/5	**0,035**
Clima	(0,12+0,061+0,035+0,043+0,08)/5	**0,068**
Geomorfologia	(0,2+0,184+0,105+0,071+0,112)/5	**0,134**
Solos	(0,280+0,306+0,315+0,214+0,187)/5	**0,26**
Vegetação/Uso	(0,36+0,429+0,524+0,642+0,56)/5	**0,503**
Total		**1**

Org.: Thiago B Rodrigues.

Após o cálculo dos pesos temos que conferir a coerência destes resultados e sua aceitabilidade. Por se tratar de uma matriz, Saaty (1977) propõe o cálculo da Razão de Consistência (RC) que em uma matriz de ordem quatro (4) ou superior, o valor da RC não pode ser superior a 0,10, ou seja, 10%, caso isso ocorra deve-se rever os valores de importância atribuídos aos sistemas e refazer todo o processo. A RC é calculada pela divisão do Índice de Consistência (IC) pelo Índice Randômico (IR) (Equação 03).

$$\mathbf{RC = IC \div IR} \text{ ..... } (3)$$

Segundo Melo (2012), o Índice Randômico (IR) é derivado de uma amostra de 500 matrizes recíprocas geradas de forma randômica. O IR utiliza uma escala de 9 pontos e é extraído da tabela de valores para matrizes quadradas de ordem "*n*" estabelecida pelo *Oak Ridge National Laboratory*, EUA, (SAATY, 1980 *apud* Melo, *op. cit*.) (Quadro 5).

Quadro 5 − Valores de IR para matrizes quadradas de ordem (*n*)

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

Fonte: Melo (2012).

Já o IC é calculado pela divisão entre o valor do vetor de consistência médio (λ) menos a ordem "*n*" da matriz, pela ordem da matriz menos um (n - 1), segundo Equação (4):

$$\mathbf{IC= (\lambda - n) \div (n - 1)} \text{ ..... } (4)$$

Para calcularmos o vetor de consistência, antes devemos achar o autovetor ou vetor soma que é calculado através da multiplicação do peso do primeiro fator pelos valores da primeira coluna da matriz original, o peso do segundo fator pela segunda coluna, e assim por diante, gerando uma nova matriz, onde são somados os valores das linhas (que corresponde a cada sistema componente) gerando o valor do vetor soma. (MARTINS, 2009) (Tabela 5).

Tabela 5 − Matriz do vetor soma ponderado

Fatores	Geologia	Clima	Geomorfologia	Solos	Vegetação/Uso	Vetor Soma
Geologia	1 x (0,035) = 0,035	1/3 x (0,068) = 0,0226	1/5 x (0,134) = 0,0268	1/7 x (0,260) = 0,037	1/9 x (0,503) = 0,0558	0,1772
Clima	3 x (0,035) = 0,105	1 x (0,068) = 0,068	1/3 x (0,134) = 0,0446	1/5 x (0,260) = 0,052	1/7 x (0,503) = 0,0718	0,3414
Geomorfologia	5 x (0,035) = 0,175	3 x (0,068) = 0,204	1 x (0,134) = 0,134	1/3 x (0,260) = 0,0866	1/5 x (0,503) = 0,1006	0,7002
Solos	7 x (0,035) = 0,245	5 x (0,068) = 0,34	3 x (0,134) = 0,402	1 x (0,260) = 0,260	1/3 x (0,503) = 0,1676	1,4146
Vegetação/Uso	9 x (0,035) = 0,315	7 x (0,068) = 0,476	5 x (0,134) = 0,67	3 x (0,260) = 0,78	1 x (0,503) = 0,503	2,744

Fonte: Org.: Thiago B Rodrigues.

Com a divisão dos resultados do passo anterior (vetor soma) pelos pesos dos sistemas componentes tem-se o vetor de consistência para cada sistema, e a sua média aritmética é o valor do vetor de consistência médio (λ) que necessitamos para calcular o IC (Tabela 6).

Tabela 6 − Valores dos vetores de consistência

Fatores	Resultado	Peso	Vetor consistência
Geologia	0,1772	0,035	(0,1772) / (0,035) = 5,0629
Clima	0,3414	0,068	(0,3414) / (0,068) = 5,0206
Geomorfologia	0,7002	0,134	(0,7002) / (0,134) = 5,2254
Solos	1,4146	0,26	(1,4146) / (0,26) = 5,4408
Vegetação/Uso	2,744	0,503	(2,744) / (0,503) = 5,4553
Vetor consistência médio (λ)			**5,241**

Fonte: Org.: Thiago B Rodrigues.

O cálculo IC é baseado na observação que o "λ" é sempre igual ou maior ao número de sistemas componentes considerados (a ordem da matriz "n") e, quando o vetor de consistência médio (λ) é igual a ordem da matriz (λ = n), a sua matriz de comparação já pode ser considerada consistente. Como neste caso o valor de "λ" foi superior a cinco ($\lambda > 5$), ordem da matriz, damos sequência à metodologia aplicando a Equação (4):

$$\boldsymbol{IC = (\lambda - n) \div (n - 1)}$$

$$\boldsymbol{IC = (5,241 - 5) \div (5 - 1) = 0,06025}.$$

Descoberto o valor de IC (0,06025) pela equação 4, aplicamos a equação (3) calculando a Razão de Consistência (RC).

$$\boldsymbol{RC = IC \div IR}$$

$$\boldsymbol{RC = 0,06025 \div 1,12 = 0,0537}$$

Após a verificação da RC, com valor de 0,0537 (~5,4%), portanto menor do que 0,10 (valor de referência), podemos dizer que temos uma matriz consistente, que nossas atribuições de importância foram coerentes e significativas e, assim, podemos utilizar os valores dos pesos obtidos (cf. Tabela 4, p.63) e prosseguimos com a aplicação das Equações (1) e (2) para gerar os mapas de vulnerabilidade natural e a ação antrópica da BHIC.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

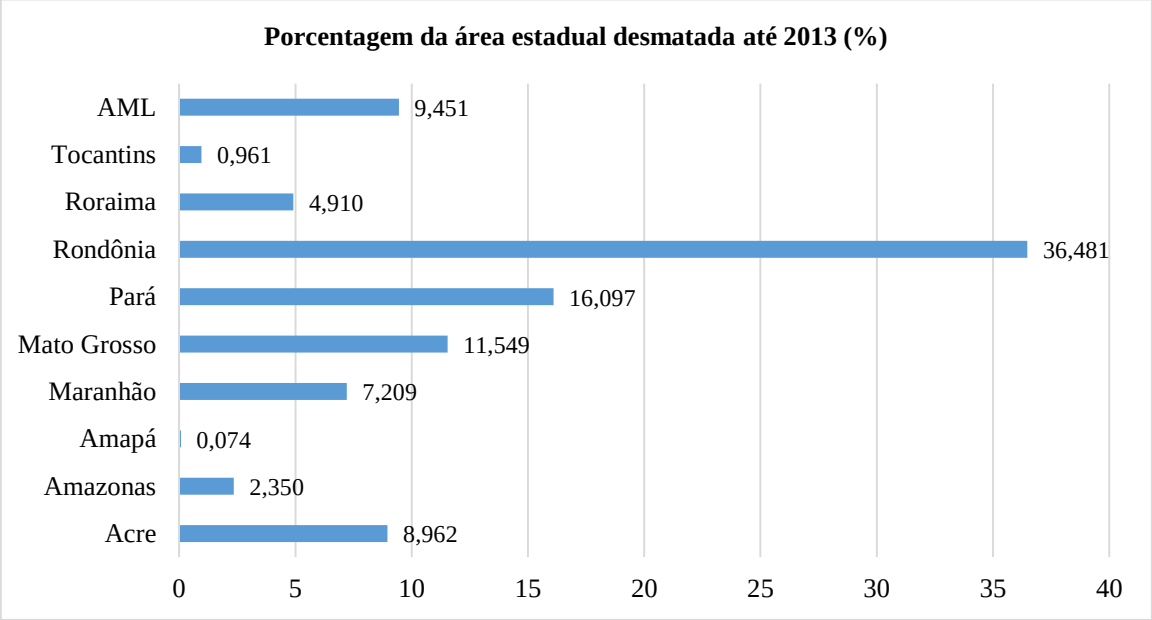
5.1 EVOLUÇÃO TEMPORAL DA COBERTURA E USO DA TERRA.

O levantamento da cobertura e uso atual da terra indicam suas novas distribuições geográficas, que são fruto da dinâmica das coberturas e usos pretéritos, processo evidenciado pela transformação da cobertura vegetal nativa para áreas de produção agrícola, ou somente com forma de consolidação da posse da terra, ambas passiveis de serem analisadas por sensoriamento remoto, refletindo espacialmente o modelo de desenvolvimento praticado no estado de Rondônia.

5.1.1 Desmatamento do Estado de Rondônia

Rondônia, em comparação à sua extensão total, é o estado mais desmatado da AML (Gráfico 2). Até 1978 a área desmatada no estado era de 1,76%, chegando a mais de 36%, em 2014. O crescimento da população é apontado como responsável pelo desmatamento, onde esse crescimento foi de 324% até o final dos anos 1980 (IMAZON, 2014), consolidando o modelo de ocupação proposto pelo Governo Federal para RO, através dos projetos de colonização oficiais e da consolidação da BR-364.

Gráfico 2 – Porcentagem de áreas desmatadas por Estado da Amazônia Legal



Org.: Thiago B Rodrigues.
Fonte: Adaptado do PRODES, 2014 (INPE, 2014).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) recebeu a missão de monitorar os desmatamentos na Amazônia Legal Brasileira (AML), assim, desde 1988, eles geram dados sobre estas taxas e, a partir de 2000, com a consolidação do PRODES digital, temos também os dados espaciais desta informação. Na Tabela 7 são apresentados os dados temporais do incremento anual e do total desflorestado para o estado de Rondônia, para o período de 1988 e 2014, mostrando temporalmente e espacialmente a evolução do desmatamento na região, identificando-se claramente os cortes rasos.

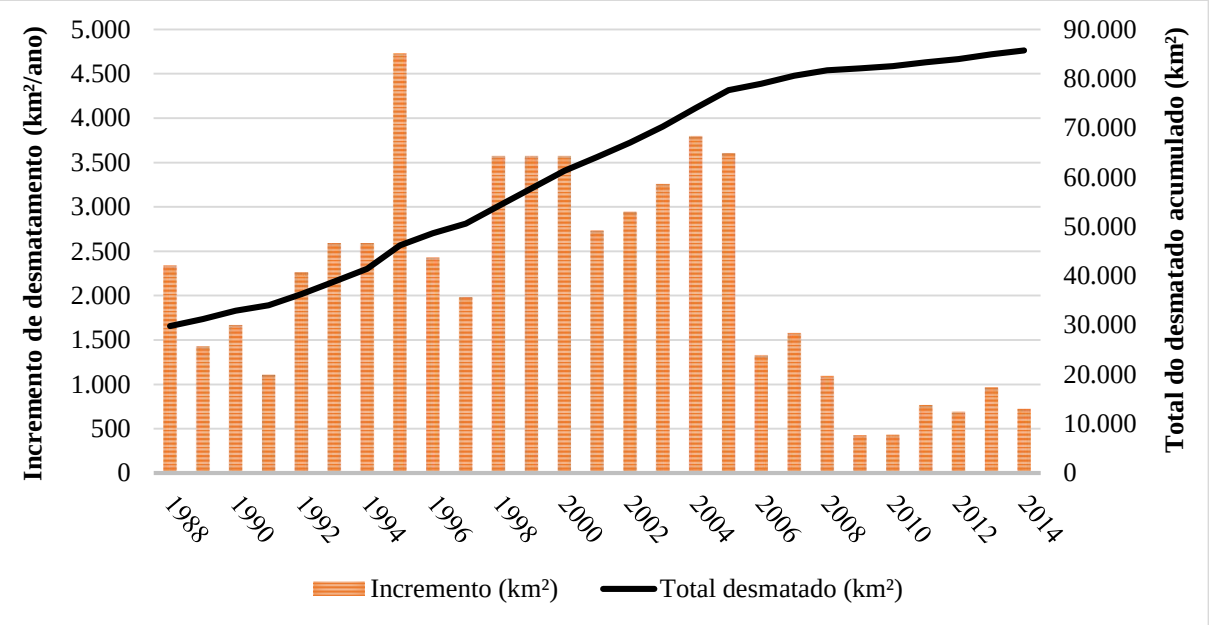
Tabela 7 – Incremento anual e total antropizado de Rondônia - 1988 a 2014

Ano	Incremento (km^2)	Total desmatado (km^2)	% do Estado	Ano	Incremento (km^2)	Total desmatado (km^2)	% do Estado
1988[1]	2.340,00	29.813,32	12,55	**2002**	2.946,19	67.030,17	28,21
1989	1.430,00	31.243,32	13,15	**2003**	3.255,53	70.285,70	29,58
1990	1.670,00	32.913,32	13,85	**2004**	3.795,20	74.080,90	31,18
1991	1.110,00	34.023,32	14,32	**2005**	3.606,11	77.687,01	32,70
1992	2.265,00	36.288,32	15,27	**2006**	1.329,00	79.016,02	33,26
1993[2]	2.595,00	38.883,32	16,37	**2007**	1.579,27	80.595,29	33,92
1994[2]	2.595,00	41.478,32	17,46	**2008**	1.096,37	81.691,65	34,38
1995	4.730,00	46.208,32	19,45	**2009**	429,34	82.121,00	34,56
1996	2.432,00	48.640,32	20,47	**2010**	433,51	82.554,50	34,75
1997	1.986,00	50.626,32	21,31	**2011**	766,47	83.320,97	35,07
1998[3]	3.574,51	54.200,83	22,81	**2012**	696,33	84.017,30	35,36
1999[3]	3.574,51	57.775,35	24,32	**2013**	966,89	84.984,19	35,77
2000[3]	3.574,51	61.349,86	25,82	**2014***	724,02	85.708,20	36,07
2001	2.734,12	64.083,97	26,97				

Org.: Thiago B Rodrigues.
Fonte: Adaptado do PRODES analógico e digital (INPE, 2014).
Onde: [1] média de 1977 a 1988; [2] [3] média do período; ***** elaborado pelo autor.

No Gráfico 3 observamos que do ano de 1991 até o ano de 2004, houve algumas oscilações nas taxas anuais de desmatamento, mas, de forma geral, há um predomínio, uma tendência de crescimento destes incrementos, com um grande registro desta taxa de desmatamento no ano de 1995 (4.730 km^2), que ocorreu, não só em Rondônia, mais em toda a AML, que, segundo Fearnside (2005), é atribuído aos benefícios econômicos do Plano Real (1994) e, principalmente, pelo aumento do crédito agrícola, que consequentemente incentiva a abertura de vias de acessos para escoamento da produção. Após este grande pico, a taxa caiu progressivamente nos anos seguintes, voltando a patamares de 1992, devido a uma grande disponibilidade de novas terras, na grande maioria sem documentação, o que fez o preço do imóvel rural cair mais de 50%, até 1997.

Gráfico 3 − Incremento anual e total antropizado de Rondônia, de 1988 a 2014



Org.: Thiago B Rodrigues.
Fonte: Adaptado do PRODES digital (INPE, 2014).

As causas desta tendência de crescimento do desmatamento, na Amazônia Brasileira, estão atreladas as questões econômicas globais, principalmente para a produção de *commodities* agrícolas (BECKER, 1982; FEARNSIDE, 1993; 2002; 2002; 2005; MARGULIS, 2003).

Especificamente para Rondônia, no período compreendido entre 1991 a 2000, grandes investimentos federais e estaduais foram realizados para a inserção de novas tecnologias para atender esta produção, principalmente atendendo à grande demanda de carne, tanto do mercado nacional, quanto do exigente mercado internacional, tornando a pecuária bovina, a atividade mais importante, com mais de 12,2 milhões de cabeças de gado, criadas predominantemente de forma extensiva, presente em todos os municípios (BATISTA, 2014).

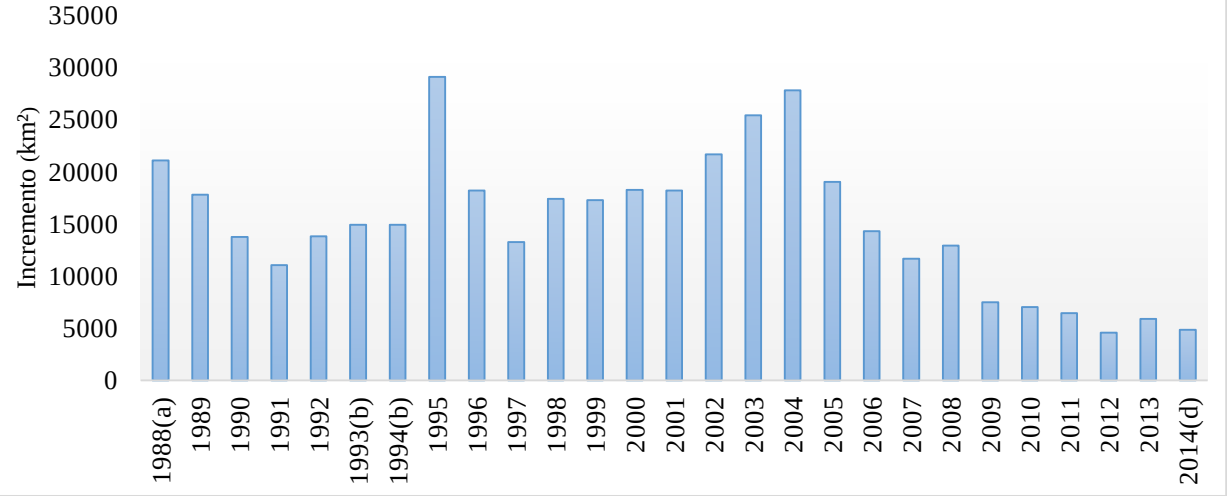
Em 2001, houve uma queda do incremento, o que era esperado, devido a publicação da segunda aproximação do Zoneamento Socioeconômico Ecológico (ZSEE-RO), onde todas as atenções estavam centradas no cumprimento das novas diretrizes propostas por esta normativa, além da constante e crescente pressão internacional referente às questões ambientais na Amazônia (ex: “Rio mais 20”) e cumprimento das metas de redução da emissão dos gases do efeito estufa. Neste ano, o incremento foi de 2.734,12 km², uma redução de 55% em relação ao ano anterior, mas mesmo assim com taxas bem elevadas, só não sendo maior do que os anos de 1995 e 2004, os picos de desmatamento registrados.

Após este declínio no incremento, que somente trouxe as taxas de desmatamento para valores próximos da taxa de incremento médio do período (2.833,69 km²/ano), o desmatamento

voltou a subir no ano seguinte, mantendo a tendência até 2005, incentivado pelo bom momento econômico do país e com o anúncio de mais de 20 bilhões de dólares em obras de infraestrutura para a AML do programa Avança Brasil do Governo Federal, com ações previstas até 2007[42], não levando em consideração os efeitos do programa nos sistemas ambientais (FEARNSIDE, 2002). Neste período as taxas de incremento anual de desmatamento subiram numa mesmo ritmo, com média de 3.267,43 km²/ano. Posteriormente é observada uma queda de 63% na taxa de desmatamento, caindo de 3.606,11 km²/ano, em 2005, para 1.329 km²/ano, em 2006. Essa tendência de queda perpetuou-se até o ano de 2010, e o ano de 2009 foi registrada a menor taxa de incremento da história de Rondônia, com apenas 429,34 km²/ano desmatados. Uma queda de 884% em relação a 2004 e um marco nas ações de comando e controle.

Esta tendência de queda, a verificada de 2004 a 2009, ocorreu em toda AML (372% menor) (Gráfico 4) e é atribuída aos esforços do governo federal em cumprir, principalmente as metas sobre mudanças climáticas. Desde 2003, o Grupo Permanente de Trabalho Interministerial − GPTI, por meio do Decreto s/n de 3 de julho, tem trabalhado para reverter o quadro de desmatamento, cuja a finalidade foi a de propor e coordenar ações que visem à redução dos índices de desmatamento na Amazônia e, em 2004, lançaram o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal – PPCDAm, focados no ordenamento do território e no de monitoramento e controle ambiental, até 2011, que refletiu nesta queda do desmatamento de toda a AML (BRASIL, 2013a).

Gráfico 4 – Incremento de desmatamento da AML



Org.: Thiago B Rodrigues.
Fonte: Adaptado do PRODES digital (INPE, 2014).
Onde: *(a)* média entre 1977 e 1988; (b) media entre 1993 e 1994 e (d) taxa estimada.

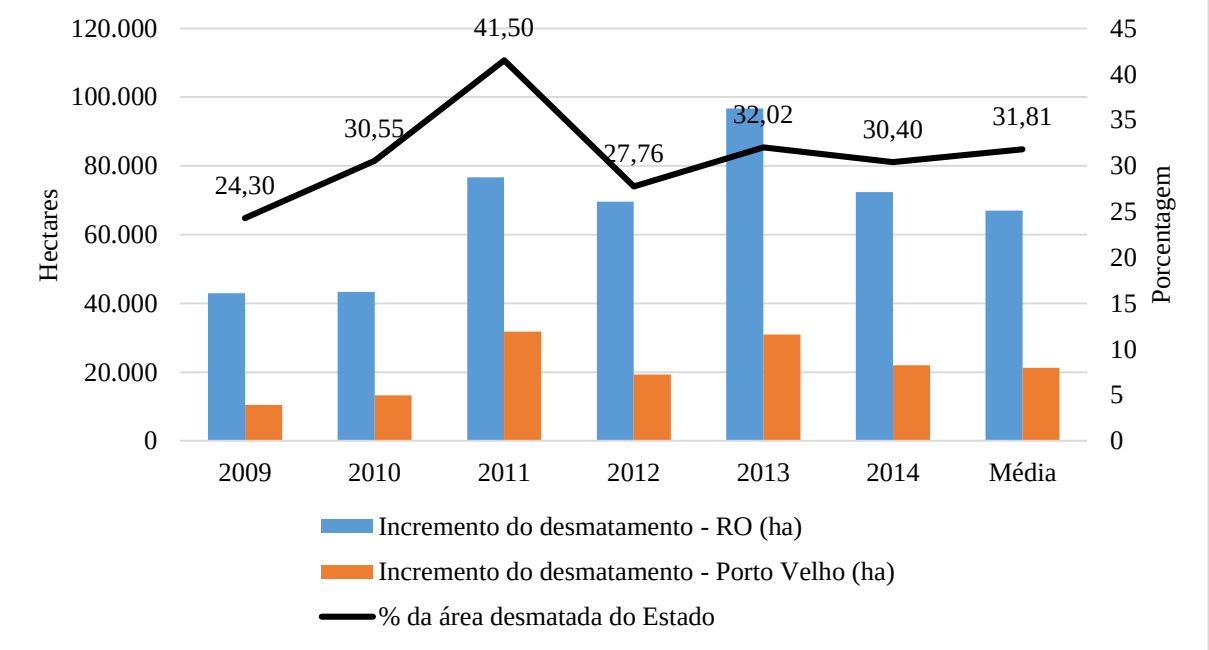
[42] Este nome também foi dado ao Plano Plurianual – PPA, 2000 a 2003 do Governo Federal, e posteriormente, dando continuidade ás ações, o PPA, 2004 a 2007, chamou-se Plano de Aceleração do Crescimento - PAC.

Somada a esta ação, houve também, por parte do estado de Rondônia uma consolidação, em 2003, dos processos de Licenciamento Ambiental da Propriedade Rural, contribuindo para esta efetivação do combate ao desflorestamento (RONDÔNIA, 2010).

Na AML verifica-se que as reduções das taxas continuaram até 2012 (4.571 km²/ano), ano de seu menor registro, mas, após este ano, há uma nova tendência de crescimento, pois em 2013 e 2014 as taxas voltaram a subir numa média de 5.400 km²/ano. Em Rondônia, esta tendência de crescimento, teve início já em 2010, com média de 669,42 km²/ano, 55,9% maior que em 2009, mas não ultrapassando os 1000 km²/ano nos últimos quatro anos. Patamares sempre abaixo do registrado para 2008.

O município Porto Velho, atualmente, é um dos grandes responsáveis por este aumento de desmatamento no estado, pois até 2009, seu desmatamento tinha comportamento similar ao da Amazônia Legal no que se refere à diminuição das taxas. Entretanto, nos anos de 2010 e 2011 houve aumento significativo, enquanto a tendência regional era de declínio, colocando o município em primeiro lugar na lista dos que mais desmataram, em 2011, comparando-se as taxas verificadas na Amazônia Legal (ESCADA *et al*., 2013), mantendo-se nesta posição até os dias atuais. Sozinho, durante este período, o município contribuiu com uma média de 31,8%, quase um terço de todo desmatamento do estado (Gráfico 5).

Gráfico 5 − Contribuição de Porto Velho para o desmatamento do estado



Org.: Thiago B Rodrigues.
Fonte: Adaptado do PRODES digital (INPE, 2014).

5.1.2 Desmatamento da BHIC

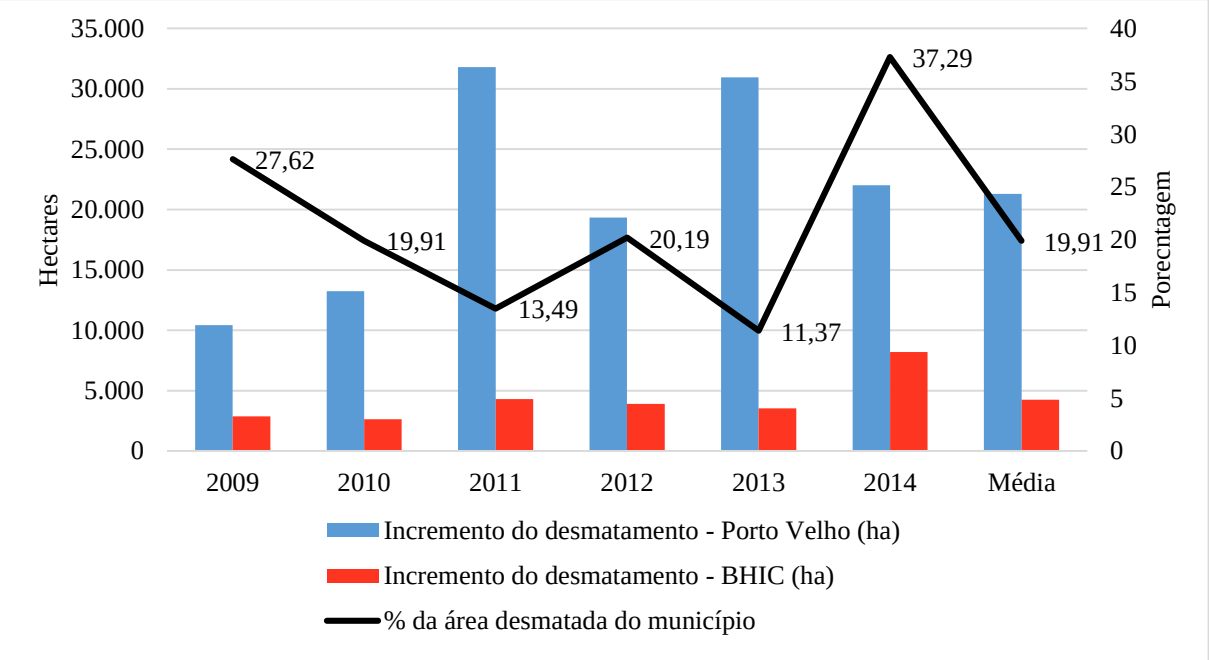
A bacia hidrográfica do Igarapé do Contra, atualmente, é um bom exemplo da dinâmica de cobertura e uso da terra regional, uma frente de expansão agropecuária do estado, pois é uma região que contribui muito com manutenção das grandes taxas de desmatamento de Porto Velho, sendo evidente a transformação da paisagem local. Entre 2009 e 2014 a bacia contribuiu com uma média de 19,9% do total do incremento desmatado do município, mesmo representando, apenas, 2,8% da área total do mesmo. Só em 2014 a bacia representou aproximadamente 40% do desmatamento do município (Tabela 8 e Gráfico 6).

Tabela 8 − Incremento anual da BHIC e do município de Porto Velho, de 2009 a 2014

Ano	Incremento do desmatamento - Porto Velho (ha)	Incremento do desmatamento - BHIC (ha)	% da área desmatada do município
2009	10.432,40	2.881,72	27,62
2010	13.244,71	2.637,51	19,91
2011	31.810,60	4.291,90	13,49
2012	19.329,91	3.903,27	20,19
2013	30.960,85	3.520,99	11,37
2014	22.006,76	8.207,30	37,29
Média	21.297,54	4.240,45	19,91

Org.: Thiago B Rodrigues.
Fonte: Adaptado do PRODES digital (INPE, 2014).

Gráfico 6 − Contribuição da BHIC para o desmatamento de Porto Velho – RO



Org.: Thiago B Rodrigues.
Fonte: Adaptado do PRODES digital (INPE, 2014).

Na Tabela 9 e no Gráfico 7 estão compilados os dados de desmatamento da BHIC, dos anos de 1985 até 2014, dados estes, derivados do PRODES (INPE, 2014) e de dados gerados pelo autor, a partir da classificação supervisionada das imagens Landsat 8-OLI

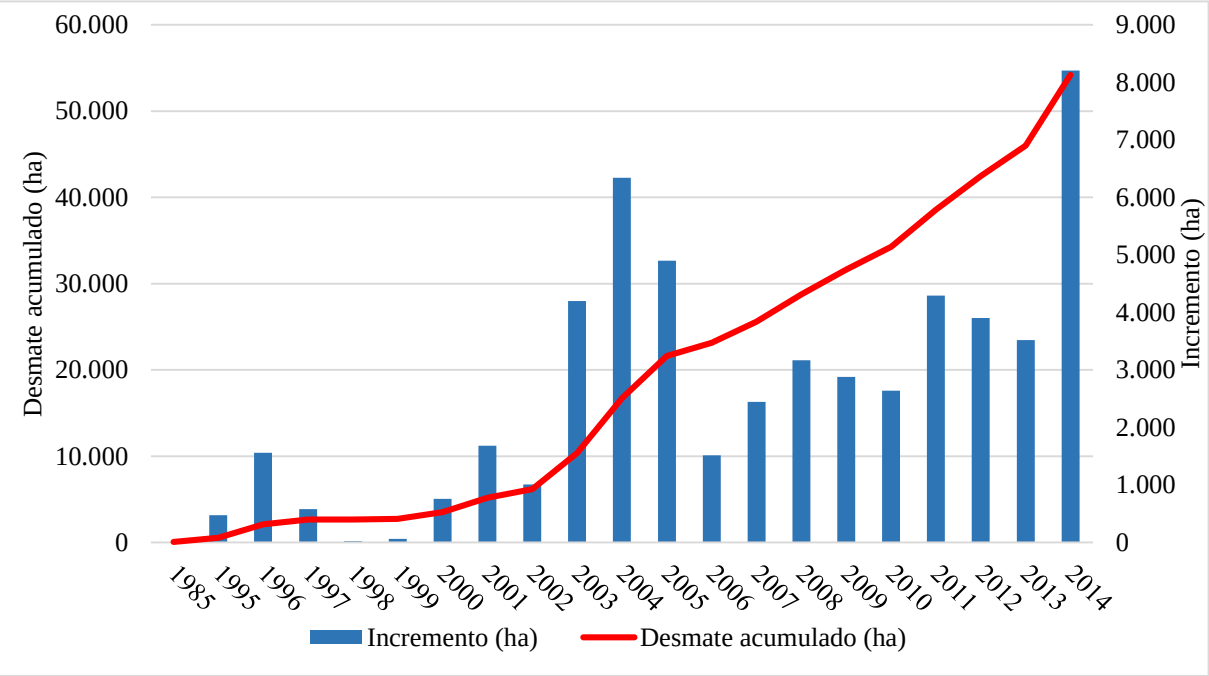
Tabela 9 − Incremento anual e total antropizado da BHIC, de 1997 a 2014

Ano	Desmate acumulado (ha)	Incremento (ha)	Ano	Desmate acumulado (ha)	Incremento (ha)
1985*	63,96		**2005**	21.632,54	4.897,15
1995*	541,93	477,98	**2006**	23.149,50	1.516,96
1996*	2.099,98	1.558,04	**2007**	25.593,67	2.444,17
1997	2.659,58	582,21	**2008**	28.764,65	3.170,98
1998*	2.683,27	23,70	**2009**	31.646,38	2.881,72
1999*	2.748,25	64,97	**2010**	34.283,89	2.637,51
2000	3.509,02	760,78	**2011**	38.575,79	4.291,90
2001	5.191,85	1.682,83	**2012**	42.479,05	3.903,27
2002	6.200,23	1.008,38	**2013**	46.000,05	3.520,99
2003	10.397,63	4.197,40	**2014***	54.207,35	8.207,30
2004	16.735,39	6.337,76			

* dado gerado pelo autor

Org.: Thiago B Rodrigues.
Fonte: Adaptado do PRODES digital (INPE, 2014).

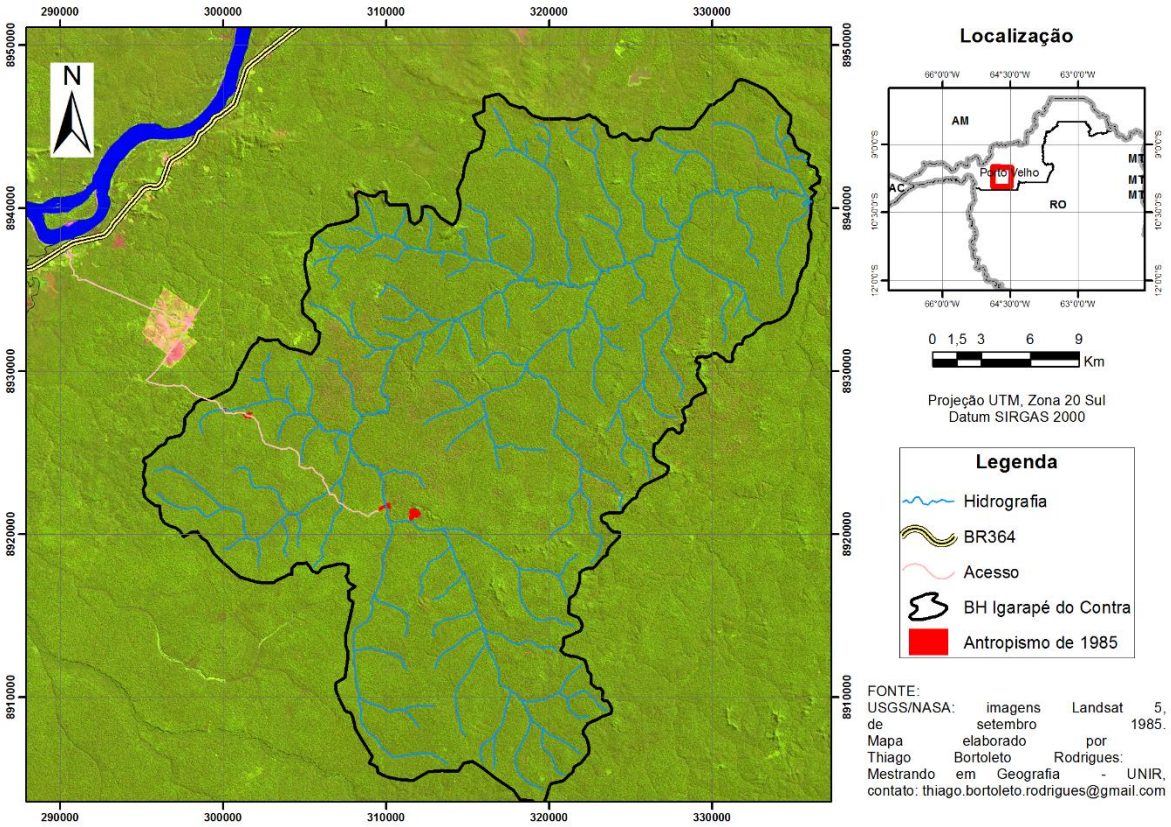
Gráfico 7 − Incremento anual e total antropizado da BHIC, de 1997 a 2014



Org.: Thiago B Rodrigues.
Fonte: Adaptado do PRODES digital (INPE, 2014).

Até 1985 praticamente não havia nenhum desmatamento na BHIC, menos de 0,1% da área, 64 ha, era impactada com este tipo de antropização, cujo maior polígono de desmatamento estava localizado no centro-sul da bacia, em uma área remota, a mais de 25 km da principal via local, a BR-364 (Figura 11).

Figura 11 – Desmatamento até o ano de 1985 da BHIC.

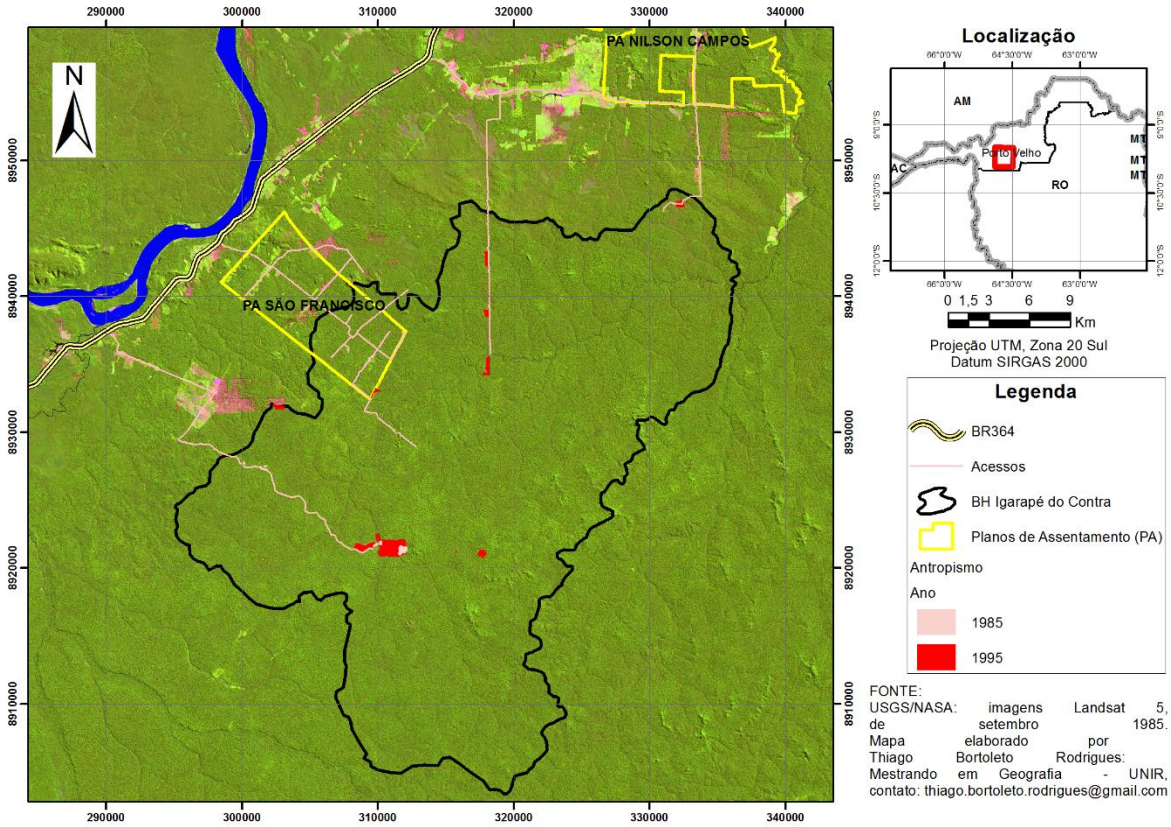


Em 10 anos a antropização continuou estável, praticamente não ocorrendo novas ocupações e, em 1995 foi possível identificar grandes avanços dos desmatamentos nas áreas limítrofes da bacia, sempre próximos a BR-364, proporcionando o surgimento de novas vias de acesso, regionalmente conhecidos como “Ramais ou Linhas”, que por sua vez, adentram para os limites da bacia, facilitando o acesso à região.

Os principais desmatamentos identificados em 1985 continuaram sua progressão, saltando de 50 ha, para 330 ha, consolidando esta ocupação e a utilização do acesso identificado em 1985, chamado hoje de “Ramal do Conti”. Neste mesmo ano foi criado o PA São Francisco, onde foram abertas a sua estrada principal, a partir da BR-364, e as suas estradas vicinais, já sendo observado um polígono de desmatamento de 13 ha em uma destas novas vias de acesso, bem no limite do PA, dentro dos limites da área da bacia. Dois novos ramais foram

identificados, também, conectadas à BR-364, no sentido Norte-Sul, que praticamente só serviram para facilitar o acesso à área de estudo, já sendo verificadas ocupações em suas margens, dentro e fora da bacia (Figura 12).

Figura 12 − Desmatamentos até ano de 1995 da BHIC.

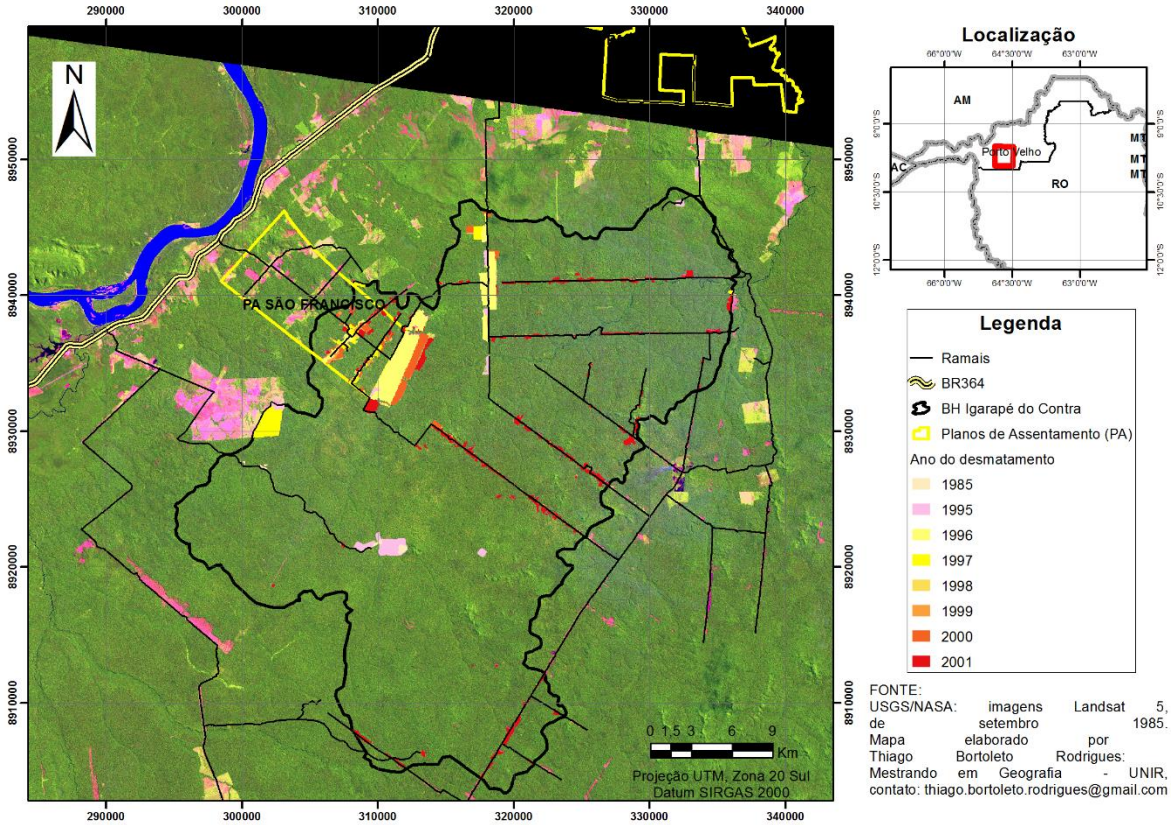


Em 1996 ocorre um aumento súbito nos desmatamentos da bacia, com mais de 1.500 ha/ano incremento, com o aparecimento de um polígono com mais de 900 ha, bem no limite com o PA São Francisco, mas, já em 1997, estes desmatamentos recuaram para 582,2 ha/ano e continuaram em declínio até 1999, onde o incremento não passou de 65 ha/ano. Apesar da baixa taxa de incremento destes dois anos, observa-se a abertura inicial de diversos ramais, paralelos, cortando a bacia de Leste a Oeste, que se consolidaram no ano de 2000.

De 1995 a 2000 a média de incremento de desmatamento na bacia era baixa e próxima dos 577,9 ha/ano (menos de 0,5% da área da bacia). Em 2001, este incremento praticamente triplicou (286% maior), chegando a 1.682,5 ha/ano, facilitado pelos ramais abertos e consolidados no ano anterior, pois as maiorias dos novos desmatamentos ocorreram justamente em suas margens, sendo nítida a ocupação na região Centro-Norte da bacia, além da

consolidação do ramal que leva até a vila de União Bandeirantes, cuja continuação facilitou o início da ocupação da região Sul da bacia (Figura 13).

Figura 13 − Desmatamentos até ano de 2001 da BHIC

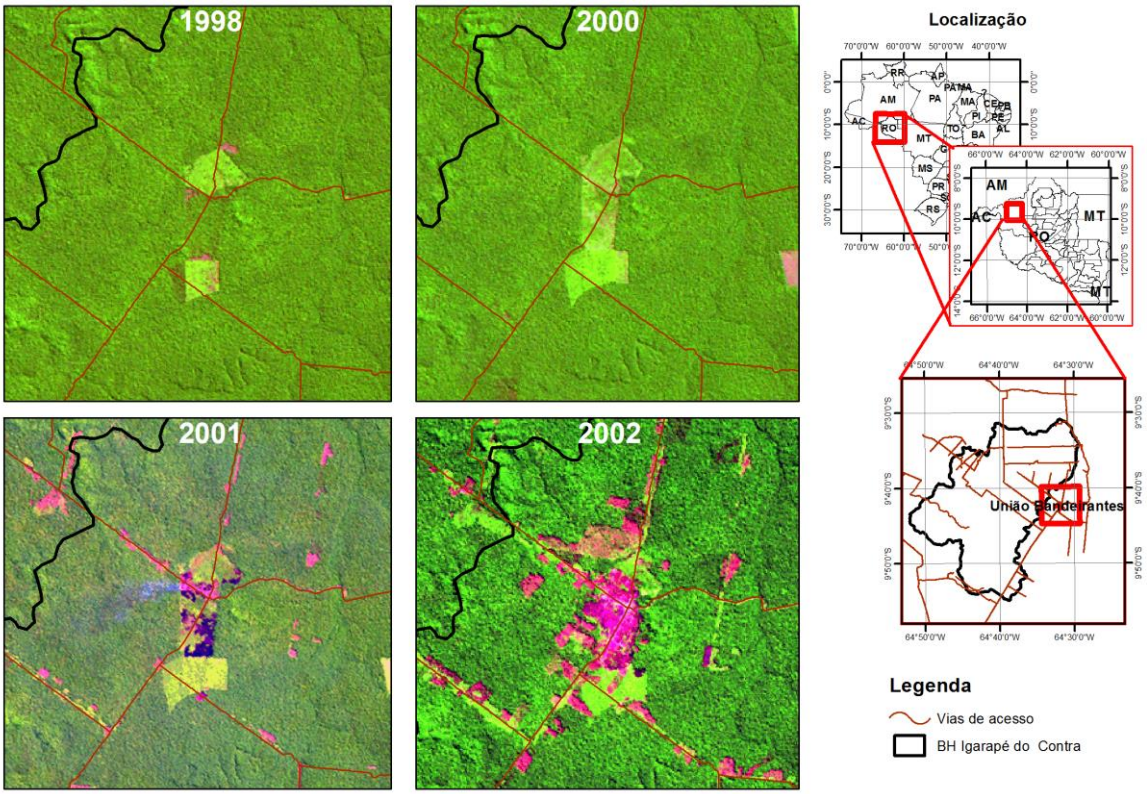


O ano de 2002 é marcado pela consolidação da vila de União Bandeirantes, cuja área começou a ser aberta em 1998, com aspecto de fazenda e manteve-se assim até 2000, pois em 2001 já era possível verificar na imagem Landsat 5-TM, geometrias, cores e textura, que nos indicam processos de urbanização. Finalmente em 2002, a consolidação da ocupação, uma vez que já é nítida a distinção de polígonos considerados área urbana, conforme a chave de interpretação do Quadro 1 (Figura 14).

Apesar de uma breve queda no desmatamento em 2002, comparado a 2001, em 2003 ele volta a crescer, só que com uma grande intensidade, 316% maior que o ano anterior, registrando um incremento de 4.162,81 ha/ano, atingindo o ápice do registro do incremento de desmatamento em 2004, onde 6.315,843 hectares de paisagem natural foram convertidos em

paisagens antrópicas. Foi, também, o ano de segundo maior registro de desmatamento para toda a AML[43].

Figura 14 – Início da ocupação de União Bandeirantes



OBS: Para a confecção deste mapa não foi usada a cena Landsat 5-TM de 1999 devido à alta cobertura de nuvens presente na data necessária à comparação temporal.

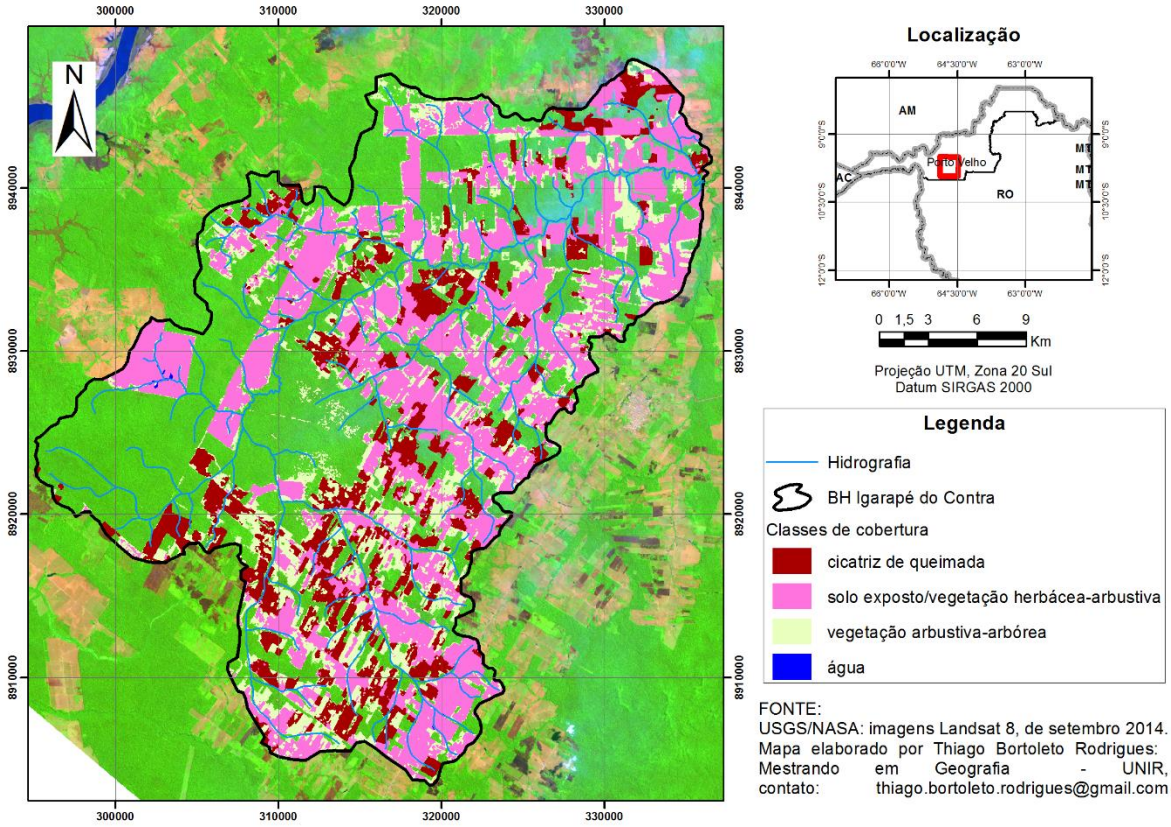
Em dois anos, de 2004 a 2006, houve uma queda expressiva, de 316,5%, da taxa de incremento do desmatamento, retornando aos patamares de desmate de 2001, daí em diante, estas taxas começaram a subir, mas se mantiveram estáveis até 2010, com média de 2.528,25 ha/ano. Após estes cinco anos (2006-2010) de constante, mas elevada descaracterização da cobertura vegetal nativa tivemos mais um aumento considerável, de 62,8%, do incremento da atividade antrópica no ano de 2011, chegando a 4.291,9 ha/ano e, que nos anos seguintes, 2012 e 2013, apesar de uma queda relativa de 10%, em relação a 2011, seus valores absolutos continuaram muito elevados, 3.903,26 ha/ano e 3.520,99 ha/ano, respectivamente, mantendo o crescimento do desmate.

[43] Foram desmatados neste ano (2004) mais de 27.700 km² na Amazônia Legal (INPE 2014).

Este crescimento da taxa de desmatamento, além de permanecer, acontece de forma mais intensa, já que para o ano de 2014 foi registrado o maior incremento de desmatamento da série histórica, 8.207,301 ha/ano, 133% maior do que o ocorrido em 2013, correspondendo a 37,29 % de toda a área que foi desmatada no município de Porto Velho, sendo isso preocupante, uma vez que, de forma geral, Rondônia reduziu o desmatamento e na região ocorre exatamente o oposto disso.

Com isso o total desmatado da bacia passa para 54.207,348 ha, portanto 57,32% da paisagem da BHIC já se encontram sobre influência humana, deste total, 28.272,72 ha foram classificados como "solo exposto/vegetação herbácea-arbustiva"; 13.914,07 ha classificadas como "vegetação arbustiva-arbórea" e 11.976,46 ha como cicatriz de queimada, além de 44,1 ha de "água" e 40.2081,76 ha de áreas naturais preservadas (Figura 15 e Tabela 10).

Figura 15 - Mapa temático da cobertura e uso de 2014



Quando analisamos as informações levantadas e geradas sobre a BHIC, percebemos que seus desmatamentos estão estreitamente associados às vias de acesso e ao povoado de União Bandeirantes, que surgiu por iniciativa de camponeses, madeireiros, pecuaristas e grileiros que, à revelia do ZSEE-RO e da passividade do governo estadual, demarcaram e invadiram terras

da União, fundando a vila, organizando o espaço local de acordo com suas conveniências (CAVALCANTE *et al.*, 2011; 2015).

Tabela 10 − Área desmatada por classe da BHIC, ano de 2014

Classe	Área (ha)	%
Cicatriz de queimada	11.976,46	57,32
Solo exposto/vegetação herbácea-arbustiva	28.272,72	
Vegetação arbustiva-arbórea	13.914,07	
Água	44,1	42,68
Vegetação nativa	40.281,76	
Total desmatado	54.207,34	
Área da BHIC	94.489,10	

Org.: Thiago B Rodrigues.

Associado a essa "ordenação espontânea do território local" ("*input*" social), tem-se o "*input*" das forças econômicas nacionais e globais que movimentam a produção agrícola do estado, através da consolidação da agricultura temporária e mecanizada de grãos (milho e soja) no Cone Sul do estado, onde a infraestrutura de transporte e armazenamento já está estabelecida e as terras são mais produtivas, somam-se a isso, a concentração do rebanho de bovinos nas áreas centrais do estado, próxima a BR-364 e às vias de acesso em melhores condições, que permitem melhor escoar a produção para os grandes frigoríficos instalados nas proximidades.

Estas regiões do estado, praticamente já atingiram o seu limite produtivo no que diz respeito pecuária de bovinos, não tendo mais áreas para expansão da produção extensiva de gado e, além disso, é a maior e mais importante bacia leiteira, forçando a movimentação do gado de corte para a região Norte, principalmente para os municípios de Porto Velho e Nova Mamoré, onde, ainda, existem abundância de terras em locais e valores mais acessíveis, tornando-se alvo dos interessados em expandir a produção da pecuária bovina (BATISTA, 2014).

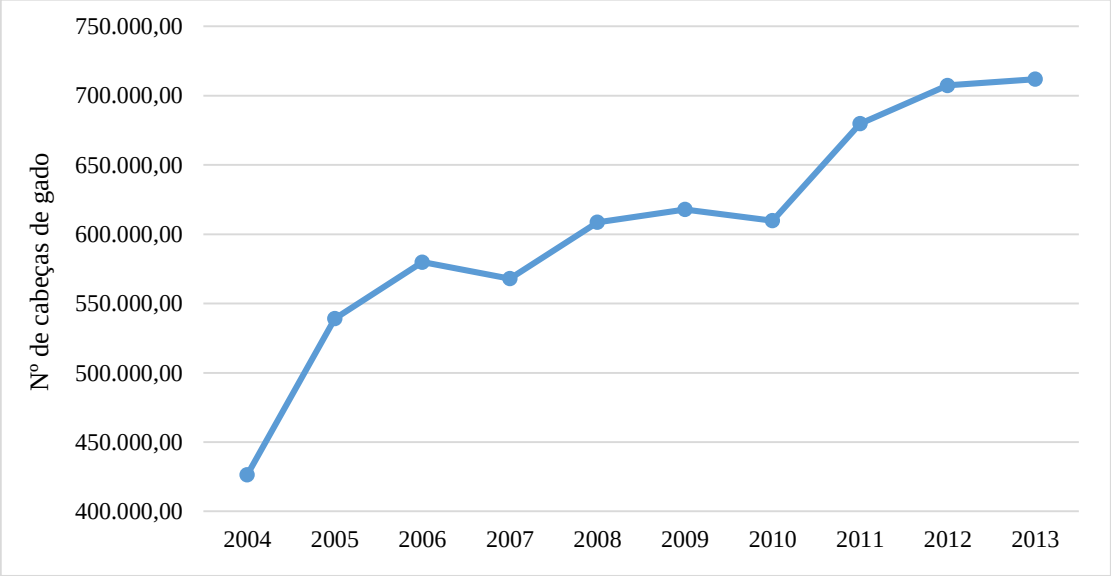
As obras da UHE de Jirau podem ser apontadas como uma causadora indireta dos problemas ambientais locais, principalmente desmatamentos, pois a capitalização da população local e migrante, promovidas direta ou indiretamente pela abertura de vagas de trabalho nas obras, facilita o acesso e a aquisição de novos lotes de terra que são desmatados para consolidar a ocupação. A falta de registro das terras também é apontada como um fator importante para o desmatamento, pois facilita a grilagem de terras, dificultando a ação da fiscalização, onde o responsável pelo impacto ambiental não pode ser punido.

Esta percepção sobre a problemática fundiária local, semelhante para quase todo o estado, é importante, pois exige rapidez na solução das questões relativas à ocupação de terras

públicas, pois é onde o mais expressivo setor produtivo estadual, à agropecuária, encontra-se instalado, em grande parte, em áreas sem documentação adequada, mas, mesmo assim, com expressivos e modernos investimentos (RONDÔNIA, 2010).

Estes desmatamentos do Norte do estado, em Porto Velho, portanto na BHIC, também estão associados ao aumento e deslocamento da pecuária extensiva de corte, uma vez que de 1985 em diante, os desmatamentos continuaram crescendo, enquanto houve certa estagnação das culturas temporárias e perenes presentes no Centro-Sul do estado (áreas mais antigas de colonização), ao mesmo tempo o rebanho bovino teve um incremento de 115%, no mesmo período, mostrando a relação direta entre aumento do desmatamento com "novas" áreas de pecuária (BATISTA, 2014). De 2004 a 2013 o rebanho do município de Porto Velho cresceu 67%, chegando a mais de 710 mil cabeças de gado (Gráfico 8).

Gráfico 8 – Número de cabeça de gado de Porto Velho



Org.: Thiago Bortoleto Rodrigues.
Fonte: Adaptado de IBGE (2015).

Os dados de 2010 do programa TerraClass (COUTINHO *et al.*, 2013), referentes a BHIC, corroboram com a responsabilização da pecuária extensiva como força motriz econômica que promove os acréscimos de desmatamentos na região, pois 61,75% da área está associada a produção de gado ("pasto limpo", "pasto sujo" e/ou "pasto degradado") e outros 20,35% ("desmatamento recente", "áreas queimadas", "área urbana" e "mosaico de ocupações"[44]) estão associados a incorporação e abertura de novas posses (especulação

[44] Maiores informações e descrições sobre estas classes ver Coutinho *et al.*, 2013, p.19-21.

imobiliária) e de novas áreas para a produção direta de gado, promovida pelo cidadão capitalizado associado ao "*input*" econômico provido pelas UHE, pela absorção da migração dos pequenos produtores rurais, vindos de outras regiões do estado, devido ao deslocamento da produção agropecuária, onde grandes produtores adquirem as terras de seus vizinhos, forçando o deslocamento do pequeno produtor rural, além de investimentos de grandes grupos de pecuaristas privados, associado a abertura de novos frigoríficos na região, melhoria da vias de acesso e proximidade ao porto exportador de Porto Velho.

Os dados levantados em 2014, também, indicam esta responsabilização da pecuária na abertura e consolidação das áreas produtivas, pois mais de 80% dos desmatamentos da Bacia foram classificados como solo exposto/vegetação herbácea-arbustiva e cicatriz de queimada, que são feições características de áreas de pasto ou que vão se transformar em pastagens, principalmente no estado de Rondônia. Além disso, na época de coleta desta informação, durante inverno amazônico, nos permite inferir que estas áreas não são culturas perenes ou temporárias, pois a maioria destes cultivares são prejudicados pelos baixos índices pluviométricos do período, sem mecanismos de irrigação adequados.

5.2 ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DA BHIC

Para os sistemas componentes geologia, geomorfologia, precipitação, solos, vegetação nativa e vegetação/cobertura tiveram suas classes (fitofisionomias, modelados, litologias) hierarquizadas em graus de vulnerabilidade, conforme a metodologia de Crepani *et al.* (1996; 2001), onde elaborou-se seis mapas de vulnerabilidade[45] natural a erosão: mapa de vulnerabilidade a erosão da vegetação; mapa de vulnerabilidade a erosão da vegetação/cobertura; mapa de vulnerabilidade a erosão do solo; mapa de vulnerabilidade a erosão da geomorfologia; mapa de vulnerabilidade a erosão do clima e o mapa de vulnerabilidade a erosão da geologia.

A estes mapas de vulnerabilidade foram incorporados os valores dos pesos resultantes do método AHP, que representa o quanto, a porcentagem da contribuição do conjunto de classes de cada componente influi no processo de erosão, portanto, a contribuição destes componentes para a atribuição dos graus de vulnerabilidade a erosão da Unidade Territorial Básica (UTB) – a bacia hidrográfica do Igarapé do Contra. A componente vegetação/cobertura obteve maior

[45] Espacialização dos valores dos graus de vulnerabilidade atribuídos de acordo com as características de cada sistema componente.

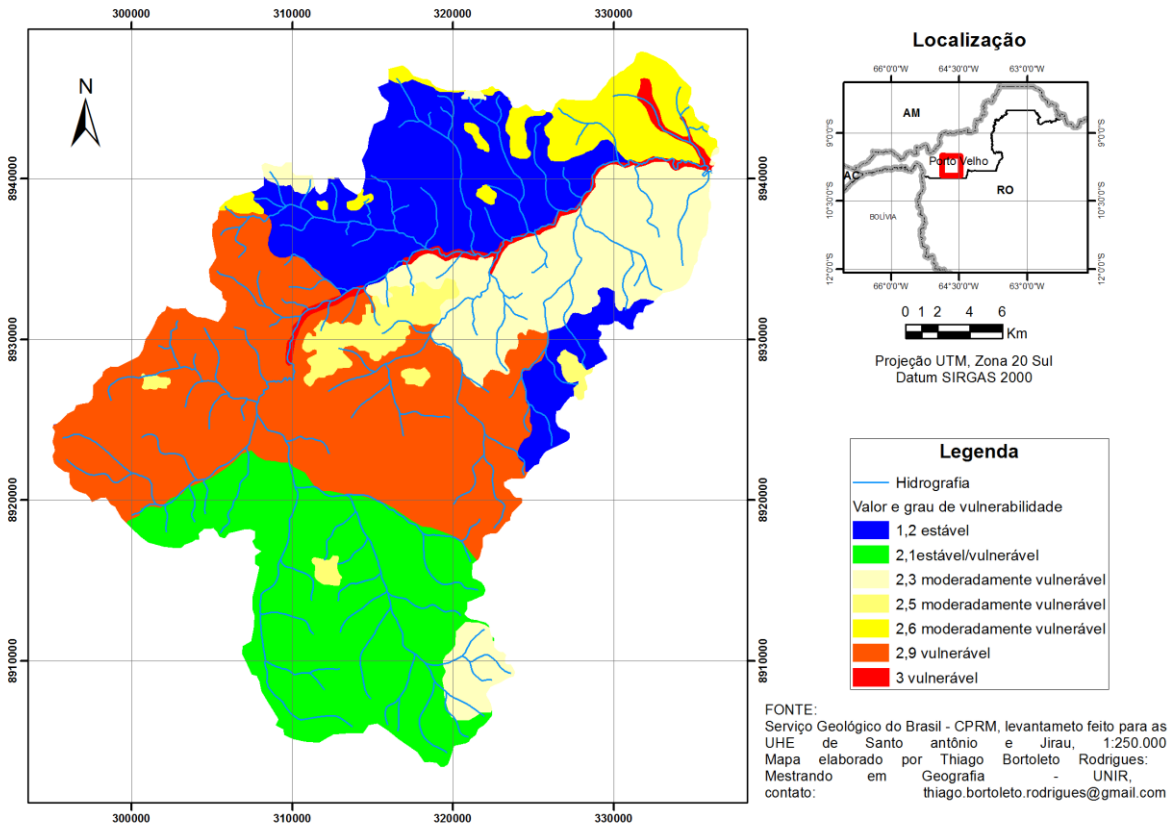
peso, contribuindo com 50,3%, seguidos do componente solo com 26%, geomorfologia com 13,4%, clima com 6,8% e geologia com somente 3,5% (Cf. Tabela 4).

Estes valores, são utilizados nas Equações 1 e 2 para a elaboração dos dois cenários: o primeiro cenário é o de "vulnerabilidade natural (**Vn**)", onde a bacia não apresentava nenhuma influência antrópica, basicamente a vegetação nativa estava intacta: UTB formada somente por unidades de paisagem natural – produto: mapa síntese de vulnerabilidade natural a erosão da BHIC e o segundo cenário, que corresponde à "vulnerabilidade antrópica (**Va**)", onde a cobertura nativa passou a ser substituída pelas coberturas e usos antrópicos ("polígonos antrópicos"), fato este evidenciado pelos desmatamentos e queimadas – produto: mapa síntese de vulnerabilidade antrópica a erosão da BHIC.

5.2.1 Vulnerabilidade natural do tema Geologia.

O tema de geologia foi classificado em três graus de vulnerabilidade dos cinco graus possíveis, conforme Figura 16 e Tabela 11.

Figura 16 – Vulnerabilidade do tema Geologia.



A maior parte da BHIC, ou 58% de sua área, foi classificada como instável nas categorizações morfodinâmicas, local onde a morfogênese é predominante. 24,79% foram classificados com grau moderadamente vulnerável, ocupando, ao norte, áreas próximas a foz do Igarapé do Contra (IC), e áreas margeando do IC na porção Centro-Leste da bacia, representados pela Cobertura Detrito-Laterítica, pela Formação Jaci Paraná Laterito Imaturo Concrecionário e pela Formação Palmeiral e; 34,21% foram classificados como vulnerável e são representados pelas formações litológicas de caráter sedimentar, Sedimentos Aluvionares de areia, que estão associadas diretamente aos leitos do IC e seus afluentes e; pelas Unidade litológica Complexo do Jamari, que apesar de não ser sedimentar, e sim, ígnea metamórfica, também foi incluída nesta categoria, ocupando toda região central.

Tabela 11 − Vulnerabilidade do componente Geologia

Unidade Litológica	Valor de vulnerabilidade	Grau de vulnerabilidade	Área (ha)	%
Suíte Intrusiva Serra da Providência	1,2	Estável	17.148,74	18,15
Complexo Metamórfico Nova Mamoré	2,1	Estável/vulnerável	21.593,10	22,85
Cobertura Detrito-Lateritica	2,3	Moderadamente vulnerável	23.418,21	24,79
Formação Jaci-Paraná Laterito imaturos concrecionário	2,5			
Formação Palmeiral (indiviso)	2,6			
Complexo Jamari	2,9	Vulnerável	32.319,72	34,21
Sedimentos Aluvionares – Areias	3			

Org.: Thiago B Rodrigues.
Fonte: Adaptado de CREPANI (2001).

22,85% da bacia foram classificados como intermediário quanto a vulnerabilidade a erosão natural. É representado exclusivamente pelo Complexo Metamórfico Nova Mamoré, local onde os processos morfogenéticos e pedogenéticos praticamente tem a mesma influência na estrutura da paisagem. É nesta unidade que estão as principais nascentes da BHIC, localizadas bem ao sul e onde se encontram as altitudes mais elevadas da bacia.

O grau de vulnerabilidade estável ocorre em 18,15% da bacia associados as formações de rochas ígneas representado pela Suíte Intrusiva Serra da Providência, que ocorre no Norte da bacia nas margens direita do Igarapé do contra e outra área a Leste. São locais da bacia onde se encontram as rochas com maior grau de coesão, portanto mais resistentes aos processos erosivos.

5.2.2 Vulnerabilidade do tema Clima

Para se determinar a vulnerabilidade da bacia, calculou-se a intensidade pluviométrica[46] da bacia que representa uma relação entre quanto chove por quando chove, resultado que determina, em última análise, a quantidade de energia potencial disponível para transformar-se em energia cinética, responsável pela erosividade da chuva (CREPANI *et al*., 2001). Na bacia esta intensidade pluviométrica média foi de 258,6 mm/mês, para uma precipitação média anual de 2.328,09 mm/ano, considerando nove meses de período chuvoso, sendo assim, seguindo os valores da escala de erosividade (Quadro 6), a bacia foi toda classificada como medianamente estável/vulnerável perante ao processo de perda de solo (grau de vulnerabilidade = 1,9).

Quadro 6 – Escala de interpretação da erosividade da chuva

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade
< 50	1,0	200 - 225	1,7	375 - 400	2,4
50 - 75	1,1	225 - 250	1,8	400 - 425	2,5
75 - 100	1,2	250 - 275	1,9	425 - 450	2,6
100 - 125	1,3	275 - 300	2,0	450 - 475	2,7
125 - 150	1,4	300 - 325	2,1	475 - 500	2,8
150 - 175	1,5	325 - 350	2,2	500 - 525	2,9
175 - 200	1,6	350 - 375	2,3	> 525	3,0

Fonte: Crepani *et al*. (2001, p.98).

Pode-se ainda tornar esse tema erosividade da chuva[47] mais específico e preciso, no que se refere ao poder de erosividade de uma região. Para tanto se faz necessário o cálculo do fator de erosividade médio (R), que são equações de regressão, geradas especificamente para uma região, entre os resultados do cálculo do EI_{30} (índice de erosão), obtido pelo produto da intensidade máxima de precipitação em 30 minutos e o coeficiente de chuva[48] (Rc ou Cc), calculado pelo quadrado da precipitação média mensal (p) dividido pela precipitação média anual (P), ambas em milímetros ($Rc = p^2/P$), que são usadas para se determinar a erosividade média mensal e anual das chuvas (LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER, 1992; DA SILVA, 2004; OLIVEIRA *et al*., 2011).

[46] Calculada dividindo-se a precipitação média anual (mm/ano), pelo número de meses chuvosos, onde o grau de vulnerabilidade é atribuído de acordo coma a tabela criada por Crepani *et al.* (2001, p.98).
[47] É a capacidade potencial da precipitação para causar a perda de solo (DA SILVA, 2004)
[48] Conhecido como índice de Fournier (Cc) (LOMBARDI NETO & MOLDENHAUER, 1992; DA SILVA, *op. ct*.)

Para a região Norte do país existe uma equação elaborada por Oliveira Junior & Medina (1990), cuja fórmula[49] foi aplicada para os dados pluviométricos da bacia, gerando índices mensais de erosividade menores que 250 MJ.mm/ha/ano, que mostra um fraco poder de erosividade destas chuvas (Quadro 7). O maior valor deste índice foi do mês de janeiro, atingindo o valor de 242, 37 MJ.mm/ha/ano, o menor valor foi para o mês de julho 43,48 MJ.mm/ha/ano, sendo que a média foi de 127, 47 MJ.mm/ha/ano (Quadro 8).

Quadro 7 – Valores de interpretação do índice de erosividade

Índice médio de erosividade (R) (MJ mm/ha/ano)		**Grau de vulnerabilidade**
R<250	Erosividade fraca	Estável/ vulnerável
250<R<500	Erosividade média	Moderadamente estável
501<R<750	Erosividade média forte	Estável/ vulnerável
751<R<1000	Erosividade forte	Moderadamente vulnerável
R>1000	Erosividade muito forte	Vulnerável

Org.: Thiago B Rodrigues.
Fonte: Adaptado de Oliveira (2011)

Quadro 8 – Índices de Erosividade da BHIC

Mês	**Índice médio de erosividade (R) (MJ mm/ha/ano)**	**Mês**	**Índice médio de erosividade (R) (MJ mm/ha/ano)**
Jan	242,37	**Ago**	44,53
Fev	229,72	**Set**	60,82
Mar	212,91	**Out**	98,10
Abr	122,71	**Nov**	129,70
Mai	66,36	**Dez**	232,34
Jun	46,66	**Média**	127,47
Jul	43,48		

Org.: Thiago B Rodrigues.

Foi atribuído um valor de grau de vulnerabilidade de 1,2 para este índice de erosividade médio considerado, cujo valor foi obtido, pegando-se o valor máximo, 250, do índice de erosividade e o dividimos por quatro, que correspondem aos valores, 1; 1,1; 1,2 e 1,3, possíveis do grau de vulnerabilidade estável, formando um "delta" de ± 62,5 onde: $R \leq 62,5$, valor de vulnerabilidade igual a um (1); $62,6 \leq R \leq 125$, grau de vulnerabilidade igual a 1,1; $125,1 \leq R \leq 187,5$, grau de vulnerabilidade igual 1,2 e $187,6 \leq R \leq 250$, grau de vulnerabilidade igual 1,3. O índice médio de erosividade da bacia de 127, 47, se enquadra no "range" $125,1 \leq R \leq 187,5$, portanto recebendo o valor de 1,2 e classificado como estável.

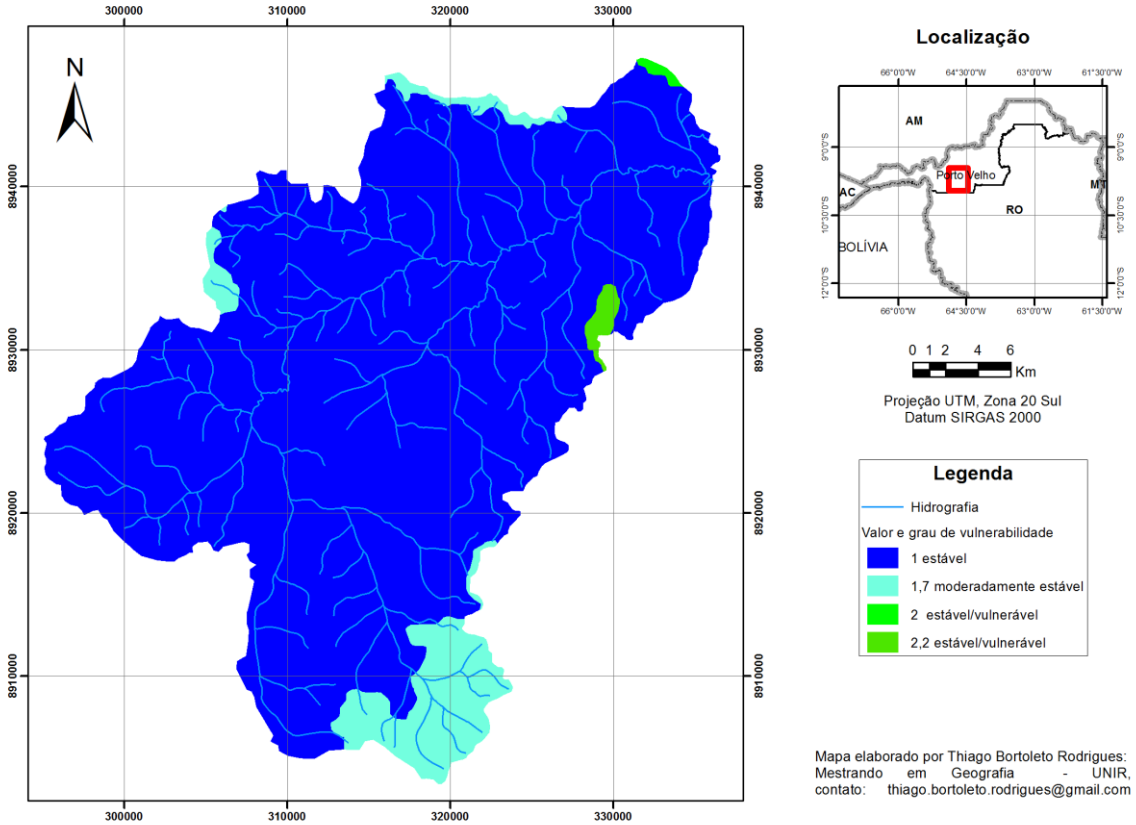
[49] $R = 3,76*(p^2 /P) + 42,77$

Com o cruzamento destas duas informações, intensidade pluviométrica e índice de erosividade médio, classificamos toda a bacia como moderadamente estável, atribuindo-lhe o valor do grau de vulnerabilidade de 1,5, valor obtido da média aritmética do grau de vulnerabilidade atribuído à intensidade pluviométrica (1,9) e o grau atribuído ao índice de erosividade (1,2).

5.2.3 Vulnerabilidade do tema Geomorfologia.

As características apresentadas pelos modelados geomorfológicos da área de estudo, nos permitiram classificá-los em três graus de vulnerabilidade: grau estável, grau moderadamente estável e grau medianamente estável/vulnerável. (Figura 17 e Tabela 12).

Figura 17 – Vulnerabilidade: tema Geomorfologia



Mais de 90% da BHIC foi classificada como estável, pois são formadas de modelados predominantemente planos, com baixa amplitude altimétrica e alto valor de interflúvios, o que refletem em baixos valores de dissecação do terreno. As áreas classificadas como moderadamente estáveis, 7,4%, medianamente estáveis/vulneráveis, 0,75%, foram as áreas que apresentaram, respectivamente os maiores valores de amplitude altimétrica e de dessecação,

pois toda a bacia possui unidades geomorfológicas, mesma gênese, sendo possível diferenciá-las de acordo com as características básicas do modelado, que assim feito, chegamos ao resultado apesentado.

Tabela 12 – Graus de Vulnerabilidade do Tema Geomorfologia

Sigla	Valor de vulnerabilidade	Grau de Vulnerabilidade	Área (ha)	%
263Dt11	1	Estável	86780,7	91,85
263Dt31	1,7	Moderadamente estável	6990,09	7,40
257Dt33	2	Estável/vulnerável	708,997	0,75
257Da33	2,2			

Org.: Thiago B Rodrigues.

Fonte: Adaptado de BRASIL (2009). Onde: **257Da33 -** Planaltos Residuais do Madeira - Ji-Paraná Embasamentos em Estilos Complexos dissecação diferencial aguçadas; **257Dt33 -** Planaltos Residuais do Madeira - Ji-Paraná Embasamentos em Estilos Complexos dissecação diferencial tabular; **263Dt11 e 263Dt31 -** Depressão do Madeira - Ji-Paraná Depósitos Sedimentares Inconsolidados dissecação diferencial tabular.

5.2.4 Vulnerabilidade do tema Solo.

Na BHIC foram identificadas três classes das cinco possíveis, dos graus de vulnerabilidade (Tabela 13 e Figura 18), ocorrendo uma predominância do grau de vulnerabilidade Estável, representado exclusivamente pelo solo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, que cobre 97% de toda a bacia, cujo valor ele atribuído foi de 1,2, conferindo ao componente solo da bacia uma estabilidade perante os processos morfodinâmicos.

A classe de solo mais vulnerável da bacia, e classificado como tal, são os Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, que ocorrem em uma mancha no centro-oeste da bacia e, que teve seu valor de vulnerabilidade de 2,7.

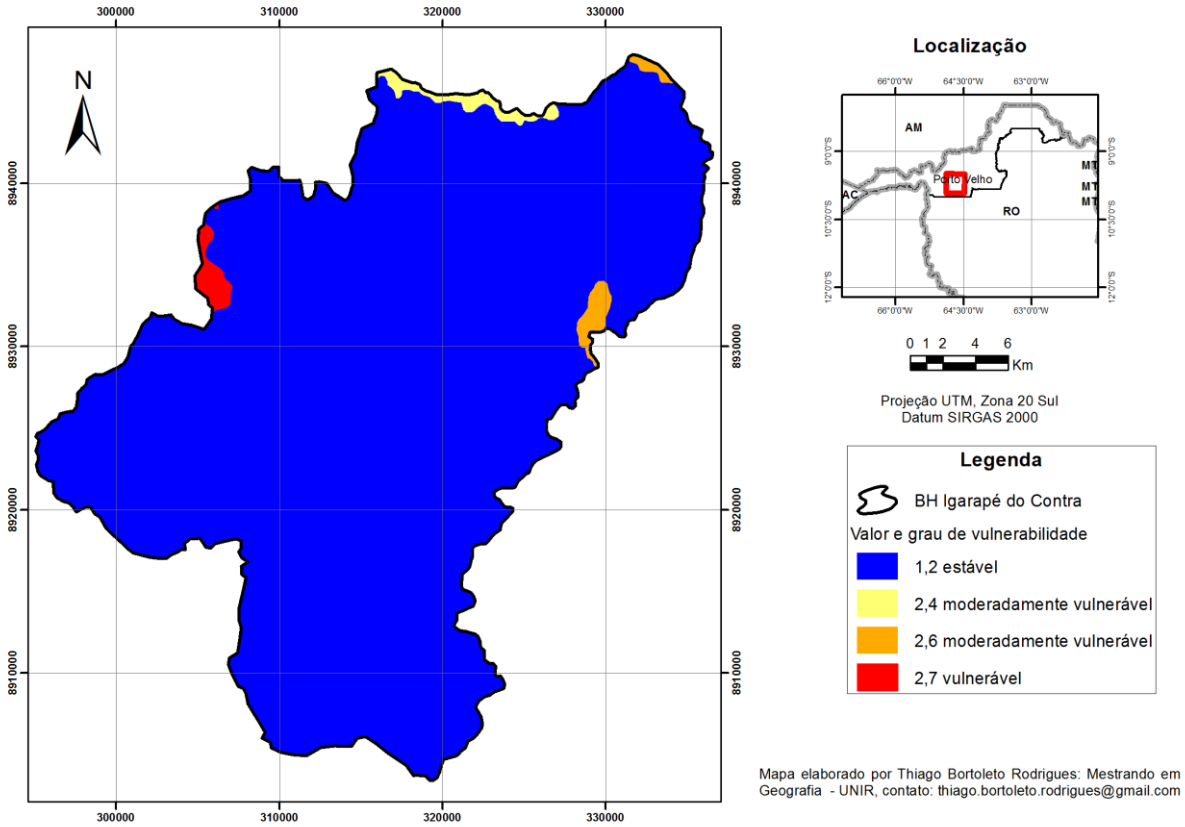
Tabela 13 − Graus de Vulnerabilidade do Tema Solos

Tipos de solos	Valor de vulnerabilidade	Grau de Vulnerabilidade	Área (ha)	%
LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	1,2	Estável	92436,35	97,84
RQo - Neossolo Quartzarênico Órtico	2,4	Moderadamente/ vulnerável	1441,21	1,52
RLd - Neossolo Litólico Distrófico	2,6			
PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	2,7	Vulnerável	602,19	0,64

Org.: Thiago B Rodrigues.

Fonte: Adaptado de BRASIL (1978; 2007a)

Figura 18 – Vulnerabilidade tema solo.



5.2.5 Vulnerabilidade do tema Vegetação Nativa.

Toda a bacia hidrográfica foi considerada na categoria morfodinâmica estável, uma vez que foram atribuídos valores de vulnerabilidade entre 1 e 1,3, para as fácies da Floresta Ombrófila Aberta presente na área e de uma pequena mancha de Floresta Ombrófila Densa. Estas fácies florestais ocupavam 100% da bacia, exercendo forte proteção contra a ação da chuva (Tabela 14e Figura 19).

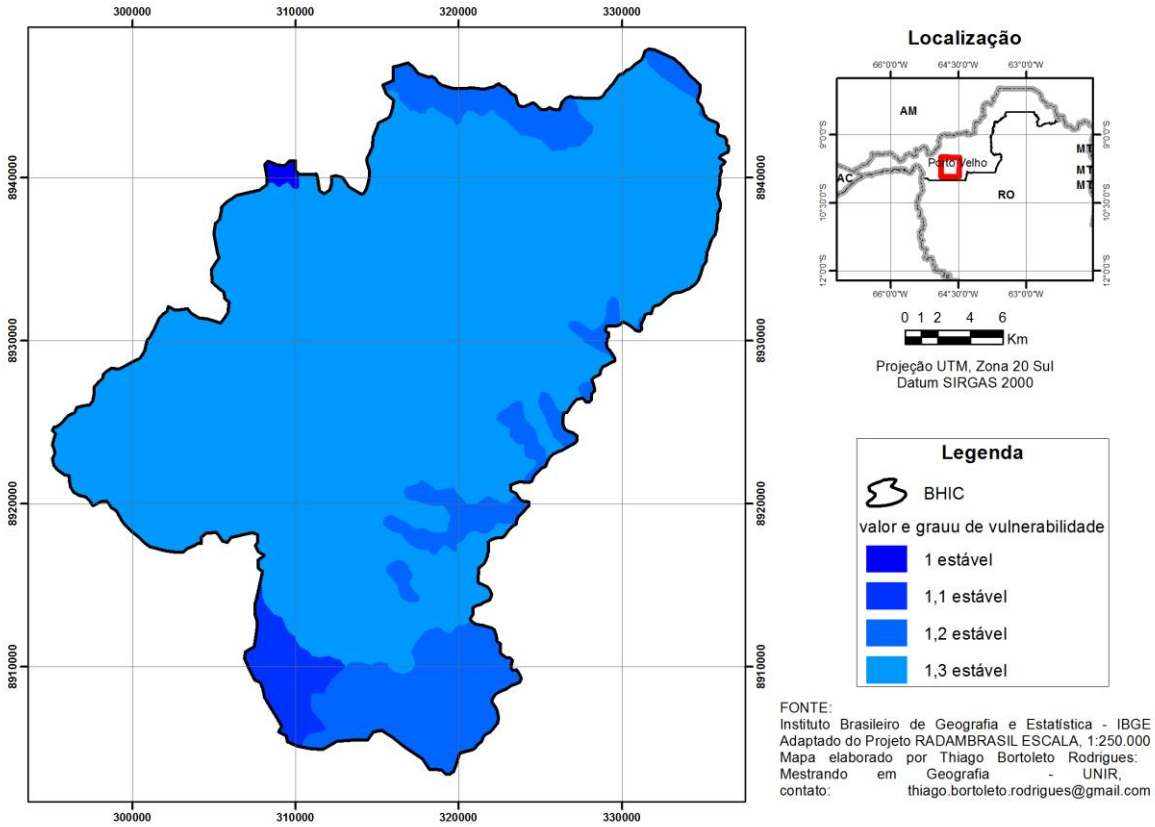
Tabela 14 − Graus de Vulnerabilidade do Tema Vegetação Nativa

Combinação das fácies	Valor de vulnerabilidade	Grau de Vulnerabilidade	Área (ha)	%
Dse	1	Estável	94.479,75	100
Asp+Dse+Asc	1,1			
Asc+Asb	1,2			
Asp+Asc	1,2			
Asp+Asc+Asb	1,3			

Org.: Thiago B Rodrigues.

Fonte: Adaptado de BRASIL (1978; 2012). Onde: Asc = Floresta ombrófila aberta submontana com cipós; Asp = Floresta ombrófila aberta submontana com palmeiras; Asb = Floresta ombrófila aberta submontana com bambu; Dse = Floresta ombrófila densa dossel emergente. Nas combinações ex: Asp+Asc o primeiro componente recobre uma área ≥ 50% (IBGE, 2012).

Figura 19 – Vulnerabilidade: tema Vegetação nativa.



5.2.6 Vulnerabilidade do tema Vegetação/cobertura e uso.

Este tema é derivado do tema anterior onde os polígonos de vegetação nativa foram substituídos pelos polígonos de ação antrópica identificados na classificação supervisionada das imagens Landsat-8 sensor OLI, do ano de 2014. Estas novas classes de cobertura e uso, são “cicatrizes de queimadas”; “solo exposto/vegetação herbáceo-arbustiva” e “vegetação arbustivo-arbórea”. Com a presença destas novas classes foram identificados quatro graus de vulnerabilidade na BHIC: estável, moderadamente estável, estável/vulnerável e moderadamente vulnerável (Tabela 15 e Figura 20).

Devido, principalmente, as substituições do componente florestal que recobriam 100% da bacia e que garantia o grau de vulnerabilidade estável para a bacia, verificou-se um aumento considerável no grau de vulnerabilidade a erosão da bacia, pois 44,65% da área passou para categoria morfodinâmica *intergrade* e, o mais preocupante, 12,68% da bacia passou a ser categorizadas como morfodinamicamente instáveis, com grau de vulnerabilidade vulnerável.

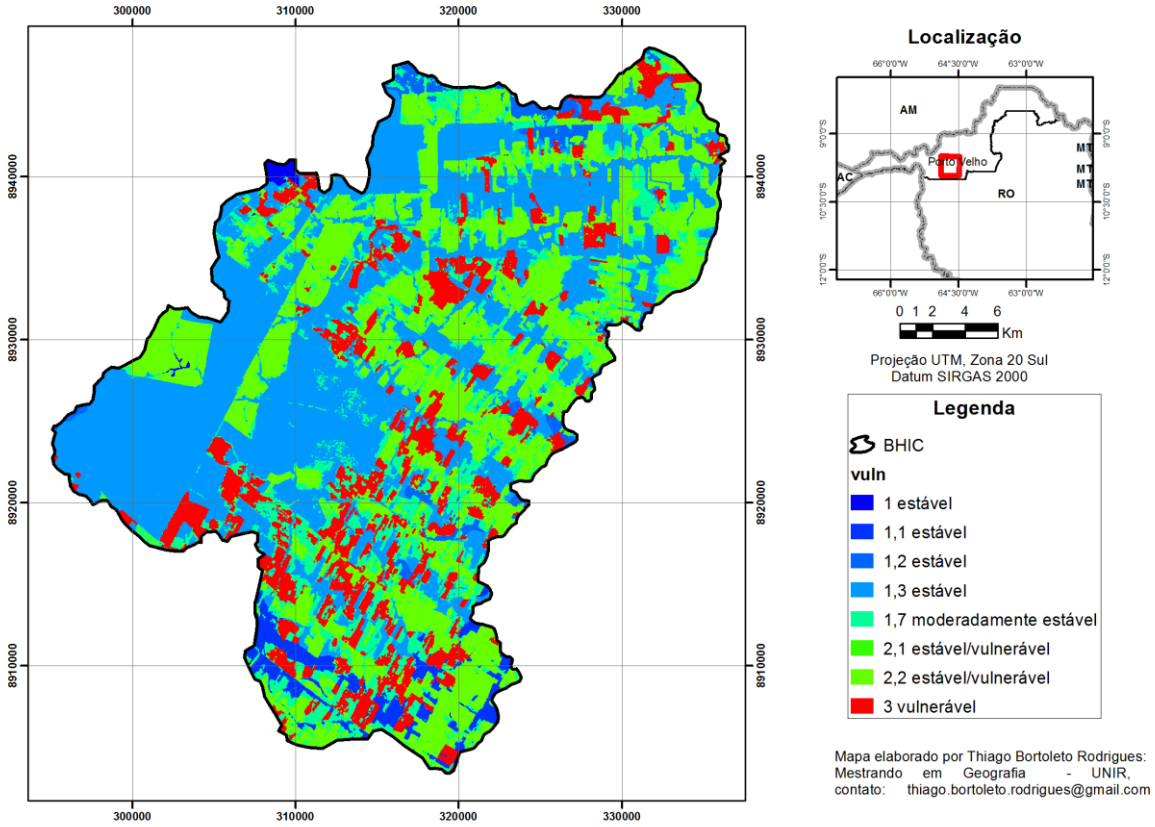
Tabela 15 − Graus de Vulnerabilidade do Tema Vegetação/cobertura e uso

Usos e coberturas	Valor de vulnerabilidade	Grau de Vulnerabilidade	Área (ha)	%
Água	0	Estável	40.320,88	42,67
Dse	1			
Asp+Dse+Asc	1,1			
Asc+Asb	1,2			
Asp+Asc	1,2			
Asp+Asc+Asb	1,3			
veg. arbustiva-arbórea	1,7	Moderadamente estável	13.914,07	14,73
Solo exposto/veg. hebácea-arbustiva	2,2	Estável / vulnerável	28.272,72	29,92
Cicatriz de queimada	3	Vulnerável	11.976,46	12,68

Org.: Thiago B Rodrigues.

Fonte: Adaptado de BRASIL (1978; 2012). Onde: Asc = Floresta Ombrófila Aberta submontana com cipós; Asp = Floresta Ombrófila Aberta submontana com palmeiras; Asb = Floresta Ombrófila Aberta submontana com bambu; Dse = Floresta Ombrófila Densa dossel emergente. Nas combinações ex: Asp+Asc o primeiro componente recobre uma área ≥ 50% (IBGE, 2012).

Figura 20 – Mapa de Vulnerabilidade do tema Vegetação/cobertura e uso



5.2.7 Cenário 1: BHIC sem ação antrópica

A construção deste cenário nada mais é que a geração do mapa síntese de vulnerabilidade natural à erosão por meio da aplicação da Equação 1. Para isso considerou-se que a BHIC não possuía antropismo (indício de desmatamento), para, a partir deste ponto, calcularmos a vulnerabilidade natural da Bacia em condições ambientais "originais" da área. Por intermédio da informação vetorial do mapa de vegetação do RADAMBRASIL e com o auxílio das imagens mais antigas, da família Landsat, anteriores ao mapeamento da vegetação, foi possível gerar, por sobreposição e fotointerpretação um mapa de cobertura vegetal nativa, somente com fácies nativas da vegetação, e este dado é o que foi considerado.

As informações fisiográficas da área quando integradas de forma sistêmica pela Equação 1, tendo a componente vegetação nativa como mais influente (maior peso), representou um equilíbrio dinâmico, devido a fitoestasia do ambiente, visto que 100% da área foi considerada morfodinamicamente estável perante aos processos erosivos, com 97,84% de grau estável e 2,16% de grau moderadamente estável (Figura 21 e Tabela 16).

Figura 21 − Mapa de Vulnerabilidade do Cenário 1.

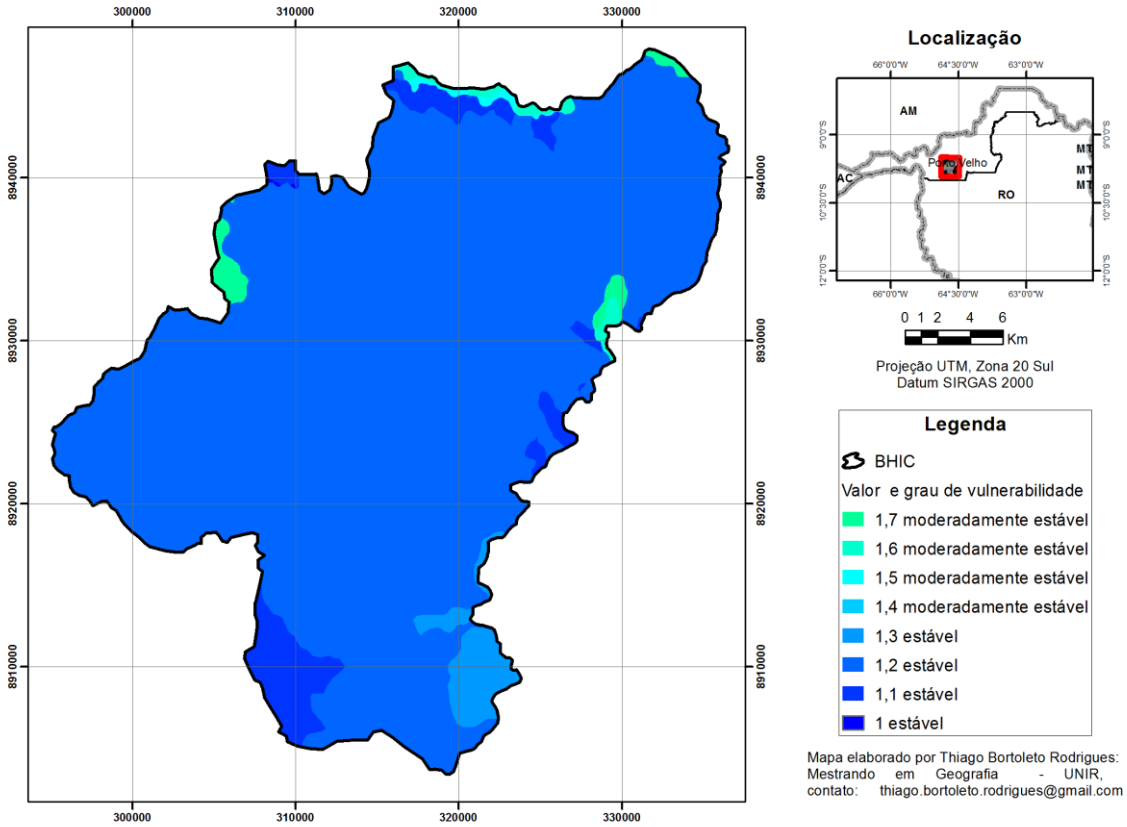


Tabela 16 – Porcentagem dos graus de vulnerabilidade do Cenário 1

Nº de pixels	Grau de vulnerabilidade	Área (ha)	%
285	Estável	92.438,82	97,84
51.681			
949.726			
25.406			
54	Moderadamente estável	2.043,09	2,16
3.032			
7.847			
11.768			

Org.: Thiago B Rodrigues.

Este resultado era o esperado, considerando que as características regionais do modelado são muito planas a suavemente onduladas, com baixa amplitude altimétrica e baixa dissecação, com algumas regiões classificadas como moderadamente estável, de declive um pouco mais acentuado, praticamente todo coberto por Latossolos amarelo-vermelho distrófico que apresentam baixa erodibilidade, além de estarem totalmente protegidos da ação erosiva da chuva pela cobertura da Floresta Ombrófila Aberta e suas fácies.

A atribuição dos valores dos graus de vulnerabilidade de cada classe de cada componente individualmente, também, já indicavam para esta estabilidade morfodinâmica, uma vez que quatro dos cinco componentes usados na análise apresentaram mais de 90% de suas classes categorizadas de graus estáveis ou moderadamente estáveis, sendo que dois componentes, clima e vegetação nativa, apresentaram 100% da área como estável e, somente o tema geologia apresentou o inverso com mais de 58% de suas classes com grau vulnerável ou moderadamente vulnerável, não refletindo no mapa síntese final, pois este tema teve sua influência calculada de 0,035 (valor do peso) representando menos de 0,5% de contribuição para os processos erosivos.

As áreas que foram classificadas como moderadamente estáveis, refletem, em um mesmo polígono, a influência dos solos e do modelado, cujas classes foram classificados de medianamente estáveis/vulneráveis a moderadamente vulneráveis e, como estes componentes tem pesos representativos para os processos erosivos, respectivamente 0,26 e 0,134, na aplicação da equação 1, juntos “balancearam” o alto valor do peso (0,503) atribuído ao tema vegetação nativa, resultando na atribuição dos graus moderadamente estáveis. A classificação intermediária, quanto ao grau de vulnerabilidade, aparece em 2,6% da bacia.

5.2.8 Cenário 2: BHIC com ação antrópica

A elaboração deste cenário tem o intuito de saber a influência da ação antrópica nos valores dos graus de vulnerabilidade natural à erosão do cenário anterior, considerando a escala de análise. Para isso, foi incorporado ao mapa de vegetação, os polígonos de ação antrópica identificados nas imagens Landsat 8-OLI obtidas pela classificação supervisionada, gerando-se o componente vegetação/cobertura e uso que é aplicado da Equação 2.

Os pesos atribuídos inicialmente aos componentes não são alterados. Por continuar a exercer o papel de cobertura e proteção do agente a ser erodido, o tema vegetação/cobertura continua como mais importante, com o maior peso (o mesmo da vegetação nativa), pois é neste tema que percebemos a ação antrópica direta, pela alteração no padrão de cobertura e proteção, evidenciado pelo aparecimento de novas classes neste componente, enquanto os demais temas permaneceram em seu equilíbrio, sem modificações evidentes, ou de mais informações que nos permitam uma maior escala de análise.

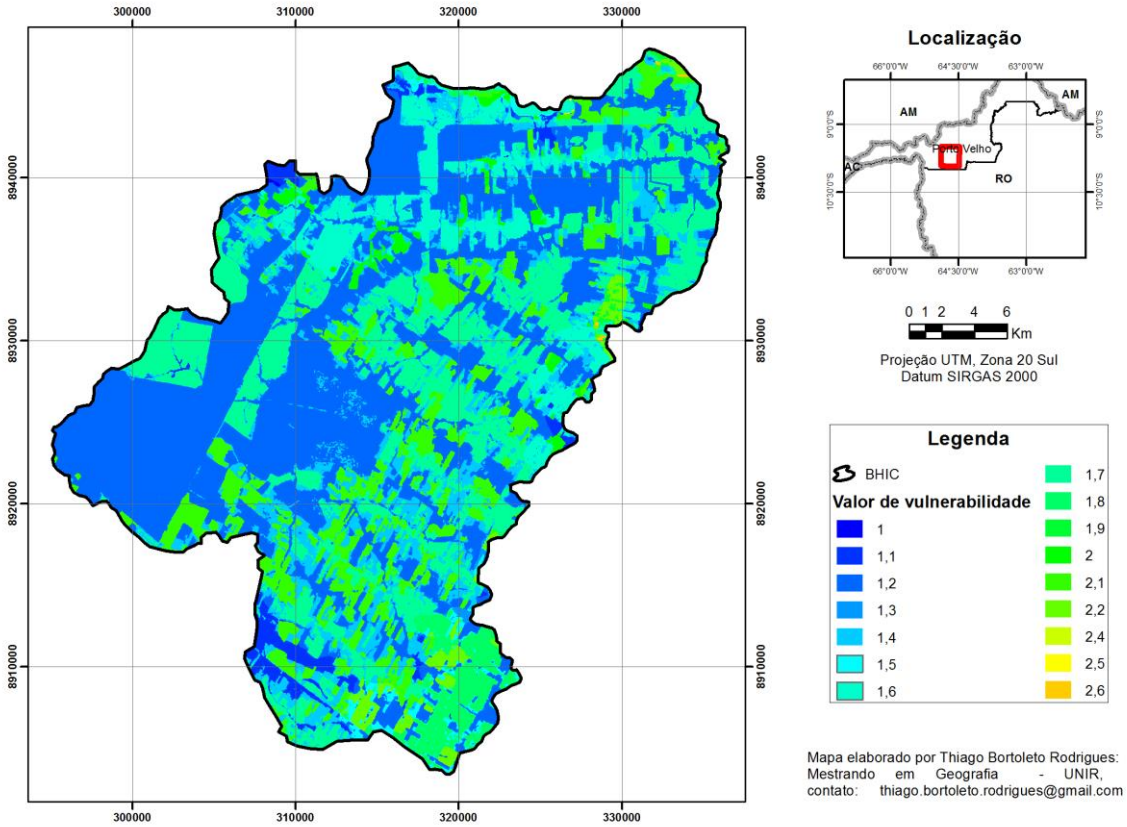
Com a ação antrópica a BHIC passou a apresentar quatro graus da escala de vulnerabilidade, com uma redução das áreas classificadas com o grau estável e com a constatação do aparecimento do grau estável/vulnerável em porcentagem significativa na bacia, além de pequenas áreas já demostrando graus de vulnerabilidade moderadamente vulnerável (Tabela 17 e Figura 20).

Tabela 17 – Porcentagem dos graus de vulnerabilidade do Cenário 2

Nº de pixels	Grau de vulnerabilidade	Área (ha)	%
225	Estável	39.279,24	41,57
22.269			
412.493			
1.449			
140.980	Moderadamente estável	39.685,41	42,00
10.618			
69.504			
219.847			
30.893	Estável/ vulnerável	15.468,84	16,37
2.530			
13.989			
109.530			
14.934			
11	Moderadamente vulnerável	48,42	0,05
125			
402			

Org.: Thiago B Rodrigues.

Figura 22 − Mapa de Vulnerabilidade do Cenário 2.



As áreas da BHIC classificadas com grau estável no cenário 1 foram reduzidas em 58,43%, passando de 100%, para 41,57% da cobertura da bacia, sendo que boa parte desta porcentagem foi reclassificada para moderadamente estável (42% do total da bacia). Isso é decorrente do constante e crescente processo de abertura e ocupação de novas terras na região, onde a principal atividade produtiva empregada, à pecuária, convencionalmente exige uma alteração drástica nos estratos da vegetação, que passa de uma floresta estratificada, com mais de 30 m de altura, para uma formação vegetal com extrato mais herbáceo-arbustivo, com no máximo 2 metros de altura.

16,37% da bacia foram classificados na transição entre estabilidade e instabilidade morfodinâmica, sendo classificadas com grau medianamente estável/vulnerável, associados predominantemente, com as áreas, onde o extrato vegetal é arbustivo-arbóreo a arbóreo, geralmente formando as bordas dos polígonos de ação antrópica intensa, correspondendo ao início do avanço de áreas para pastagens e cultivos perenes (cacau, banana, café), mais também representam pastagens abandonadas, início de extração florestal e vegetações secundárias em estágios médios a avançado de recuperação (capoeiras).

Apesar do decorrer de três décadas[50] do constante crescimento da ocupação da BHIC, mais de 80% da bacia continua estável aos processos morfodinâmicos e outros 16% classificados como *intergrades* (graus medianamente estável/vulnerável) e apenas 0,5% como moderadamente vulnerável, demonstrando que, para a escala de análise, as atividades produtivas da região, em princípio, se manejadas de forma adequada, não causarão impactos negativos graves perante aos processos de perda de solo.

[50] Contando a partir de 1984, data das imagens Landsat utilizadas para a elaboração do mapa de vegetação sem ação antrópica significativa na BHIC.

6 CONCLUSÕES

- Os dados de cobertura e uso da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Contra (BHIC) mostraram a pecuária como a principal atividade na região e, ao que tudo indica, fonte dos desmatamentos, pois mais de 80% da bacia, em 2014, foi classificada com feições associadas a esta atividade produtiva. Sua expansão, desde o início de 2000, tem sido um processo contínuo e crescente, impulsionado pela consolidação do vilarejo de União Bandeirantes, onde a presença do Estado é reduzida e o poder público é dominado pelos interesses especulativos das elites locais que atuam no sentido de incentivar a abertura de novas áreas para a expansão da agropecuária, acelerando o processo de descaracterização da paisagem natural da bacia e de áreas adjacentes, onde a grilagem de terras públicas e o desrespeito às normas do ZSEE se fazem presentes. Somam-se nesse cenário os *inputs* econômicos das obras das hidrelétricas do Complexo do Madeira.
- A BHIC pode ser considerada como um bom exemplo da expansão da fronteira agrícola de Rondônia devido aos elevados índices de incremento de desmatamento a partir de 2010, deixando o município de Porto Velho na liderança dos que mais desmatam no estado de Rondônia. O registrado de 2014 é um bom exemplo, pois sozinha a bacia contribui com 37% do desmatamento do município.
- Apesar de o ZSEE-RO permitir corte raso de até 50% em boa parte da BHIC (Zona 1.2), de uma forma geral, a bacia já se encontra comprometida, pois 57,3% de sua área já foi antropizada, sendo necessária maior atenção do poder público, perante o aparecimento de novas propriedades rurais na região, pois se mantendo a mesma trajetória com as mesmas taxas de incremento dos últimos três anos, em dez anos não haverá mais áreas naturais nativas na Bacia. Em relação às alternativas de cobertura e uso, um aspecto importante a ser considerado é a manutenção e recuperação das Áreas de Preservação Permanente (APP's) e das áreas de Reservas Legais, visto que a bacia conta com, aproximadamente, 40% da área total coberta por vegetação nativa arbórea.
- Da mesma forma que no referencial bibliográfico consultado foi verificado que na BHIC a combinação da alta rentabilidade privada da pecuária com custos de transportes viáveis, isto é, existência de vias de acesso, é que levam aos desmatamentos.
- Devido às condições geoecológicas e políticas favoráveis a este modelo de desenvolvimento, haverá sempre pressão pela abertura de ramais, forçando os próprios produtores a construir suas redes de acesso. Se a pecuária não fosse rentável (do ponto

de vista privado), a simples existência de novos ramais, ou as rodovias construídas pelo poder público, não levariam a tantos desmatamentos. No entanto, ramais de penetração em áreas com baixa ocupação antrópica implicam aumento de desmatamentos, fato muito evidente na BHIC.

- Além destas questões produtivas primárias, outro fator que contribui com estas elevadas taxas de desmatamento, são as grandes obras de infraestrutura próximas a bacia, que via de regra, capitalizam agentes locais favorecendo as novas ocupações, trazendo a falsa sensação de "desenvolvimento econômico", pois o ônus ambiental e social, dos empreendimentos não são computados, ou são subestimados, como o corrido na área de estudo.
- A aplicação da metodologia da vulnerabilidade natural à erosão associada ao método de análise multicriterial AHP, mostrou-se uma importante ferramenta para a análise dos impactos ambientais dos desmatamentos perante aos processos erosivos, a partir da abordagem sistêmica do estudo da paisagem natural e antropizada, permitindo uma melhor integração dos dados qualitativos e quantitativos da área.
- Em relação à BHIC, esse trabalho foi importante para fazer uma caracterização, conhecendo as diferentes variáveis que influenciam na sua dinâmica. As baixas declividades do modelado, a predominância de fácies florestais e a presença de Latossolos vermelho-amarelo na bacia demonstram uma característica comum à região, sendo pouco vulneráveis à erosão, conforme o mapa síntese do cenário um (01), onde mais de 97% da bacia foi classificada como estável, para os processos morfodinâmicos.
- Apesar de as áreas identificadas como cicatriz de queimadas serem classificadas como vulneráveis aos processos de erosão, devido à remoção quase que total da cobertura vegetal da terra, a queima é feita nos meses onde os índices pluviométricos de média mensal não ultrapassam os 50 mm, meses com chuva de baixo poder de erosividade, ainda mais associado a um relevo plano, solo de baixa erodibilidade e o rápido rebrotamento pós-queima das espécies de gramíneas utilizadas, tendem a não desencadear processos erosivos de perda de solo, nem alteração do modelado, e isso foi bem representado pelo método aplicado.
- Os resultados obtidos no cenário dois (02) indicaram que no momento as atividades produtivas da bacia, em especial a pecuária, se manejadas de forma adequada não representarão problemas quanto ao desencadeamento de processos erosivos, uma vez que mais de 80% da área se mantém estável aos processos morfodinâmicos, com predomínio dos processos pedogenéticos.

- Prioritariamente a preocupação perante aos impactos ambientais da BHIC está relacionada ao avanço da fronteira agrícola atrelada à produção de carne, sendo a vulnerabilidade a erosão elemento secundário em grau de importância quando se considera a tendência crescentes das taxas de desmatamento e práticas agrícolas convencionais, com manejo inadequado do solo, representado pela identificação de grandes áreas queimadas na BHIC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Atelié editorial, 2003.

ADAMY, Almicar; ROMANINI, Sergio J. (Orgs.). **Geologia da Região Porto Velho - Abunã**; Folhas Porto Velho (SC.20-V-B-V), Mutum-Paraná (SC.20-V-C-VI), Jaci-Paraná (SC.20-V-D-I) e Abunã (SC.20-V-C-V). Estados de Rondônia e Amazonas. Brasília: **DNPM/CPRM**, 273p. 1990.

ADAMY, Amilcar. **Zoneamento Geoambiental de Pimenta Bueno.** Dissertação de Mestrado. Porto Velho: Universidade Federal de Rondônia, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional. 2005. 161p.

BACANI, Vitor Matheus. **Geotecnologia aplica ao ordenamento físico-territorial da Bacia do alto rio Coxim – MG**. Tese de Doutorado – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 222p., 2010.

BATISTA Josélia Fontenele. **A evolução da pecuária bovina em Rondônia e sua influência sobre a configuração territorial e a paisagem (1970 – 2012).** Tese de Doutorado Universidade Federal do Paraná - UFPR, Área Ciências da Terra, Curitiba 2014. 252 p.

BECKER, Bertha K. **Geopolítica da Amazônia: a nova fronteira de recursos**. Zahar Editores, 1982.

BECKER, Bertha K.; EGLER Claudio A.G. Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos Estados da Amazônia Legal. In: **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. MMA, 1997.

BERTIOL, Vinícius de Moraes. Sistemas, complexidade, e os sistemas ambientais na prática, no brasil. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.1, nº 4, p.91 – 101. 2012.

BERTRAND, George. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **Revista. RA´E GA**, Curitiba, Editora UFPR. n. 8, p. 141-152, 2004. Tradução: Olga Cruz. Trabalho publicado, originalmente, na "*Revue Geógraphique des Pyrénées et du Sud-Ouest*", Toulouse, v. 39 n. 3, p. 249-272, 1968, sob título: *Paysage et geographie physique globale. Esquisse méthodologique*. Publicado no Brasil no **Caderno de Ciências da Terra**. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, n. 13, 1972.

BRAGA, Maíra Esteves. **Regularização Fundiária na Amazônia Legal: alguns aspectos relevantes**. Por Maíra Esteves Braga, procuradora federal e chefe da Divisão de Precatórios e Dívida Ativa da PFE/Incra, Artigo eletrônico, disponível em :< http://www.incra.gov.br/procuradoria/artigos-e-doutrinas/file/1102-regularizacao-fundiaria-na-amazonia-legal-alguns-aspectos-relevantes-por-maira-esteves-braga>, último acesso em 06 de junho de. 2014.

BRASIL. Lei nº 4.504 de 30 de novembro de 1964. **Dispõe sobre o Estatuto da Terra**. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis. 1964.

BRASIL. Departamento Nacional de Pesquisa Mineral − DNPM. **Projeto RADAMBRASIL. Folha SC 20 Porto Velho:** geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. 1978. 668 p.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal**. 1997.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional - MIN. **Manual de Desastres Naturais**. Autor: Antônio Luiz Coimbra de Castro, Coautores, Lelio Bringel Calheiros, Maria Inêz Resende Cunha, Maria Luiza Nova Da Costa Bringel. 2003, vol.1 176p.

BRASIL. Decreto 5.334, de 06 de janeiro de 2005. **Dá nova redação ao art. 21 e revoga o art. 22 do Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5334.htm >, 2005.

BRASIL, **Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)**. Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil: Volume 1 / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA. 4 v. , 2006a.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão − MPOG. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística − IBGE. **Manual técnico de Uso da Terra.** Rio de Janeiro, 2ª Edição, 2006b.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão − MPOG. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística − IBGE. **Manual técnico de Pedologia.** Rio de Janeiro, 2ª Edição, 2007a.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão − MPOG. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística − IBGE. **Manual técnico de Geomorfologia.** Rio de Janeiro, 2ª Edição, 2009.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão − MPOG. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística − IBGE. **Manual técnico de Vegetação Brasileira.** Rio de Janeiro, 2ª Edição, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis: **Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal** (PPCDAm): 3ª fase (2012-2015) pelo uso sustentável e conservação da Floresta / Ministério do Meio Ambiente e Grupo Permanente de Trabalho Interministerial. Brasília: MMA, 2013a. 174 p.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão − MPOG. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística − IBGE. **Manual técnico de Uso da Terra.** Rio de Janeiro, 3ª Edição, 2013b.

BRAUN-BLANQUET, Josias; JO, Jorge Lalucat; DE BOLÒS, Oriol. **Fitosociología: bases para el estudio de las comunidades vegetales**. 1979.

BROOKS, Kenneth. N. et al, **Hydrology and the Management of Watersheds**. Iowa State University Press. 391p., 1991.

CÂMARA, Gilberto; MEDEIROS, José Simeão de (Ed.). **Geoprocessamento para projetos ambientais.** INPE, São José dos Campos, 2a. Edição - Revisada e Ampliada. 1998.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira (Ed.). **Introdução à ciência da geoinformação.** INPE, São José dos Campos, 345p., 2001. Disponível em:< http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf.> último acesso em outubro de 2014.

CASIMIRO, Pedro Cortesão. Uso do solo–Ecologia da Paisagem: perspectivas de uma nova abordagem do estudo da Paisagem em Geografia. **Geoinova–Revista do Departamento de Geografia e Planeamento Regional**, v. 2, p. 45-66, 2000.

CAVALCANTE, Cristiano Alexandre Virgínio; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. Modelo multicritério de apoio à decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza. **Pesquisa Operacional**, v. 25, n. 2, p. 279-296, 2005.

CAVALCANTE, Davi Grijó *et al.* Análise da vulnerabilidade ambiental de um fragmento florestal urbano na Amazônia: Parque Estadual Sumaúma. **Sociedade & Natureza**, v. 22, n. 2, p. 391-403, 2010.

CAVALCANTE, Maria Madalena de Aguiar. **Hidrelétricas do Rio Madeira--RO: território, tecnificação e meio ambiente.** 175p., 2012. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná – UFPR. Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGG. Curitiba-PR, 2012.

CAVALCANTE, Maria Madalena de A. *et al*. Políticas Territoriais e Mobilidade Populacional na Amazônia: contribuições sobre a área de influência das Hidrelétricas no Rio Madeira (Rondônia/Brasil), **Confins**, Revista franco-brasileira de geografia. Março de 2011. Disponível em:< http://confins.revues.org/6924 > último acesso em maio 2015.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. A análise da densidade de drenagem e suas implicações geomorfológicas. **Geografia**, v. 4, n. 8, p. 23-42, 1979.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Modelagem de sistemas ambientais**. Ed. Edgard Blücher, 1ª edição. São Paulo-SP. 1999.

COUTINHO, Alexandre Camargo, *et al*. **Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal:** TerraClass 2008 – Brasília, DF: Embrapa; Belém: INPE, 2013. 108 p.

COUTINHO, Leopoldo Magno. O conceito de bioma. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 1, p. 13-23, 2006.

CREPANI, Edison *et al*. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

CREPANI, Edison *et al*. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CREPANI, Edison *et al*. Zoneamento Ecológico-Econômico. In.: FLORENZANO, Teresa. G. (org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo, Ed. Oficina de Textos, 2008.

DA SILVA, Alexandre Marco. *Rainfall erosivity map for Brazil*. **Catena**, v. 57, n. 3, p. 251-259, 2004.

DA SILVA, Daniel J. O paradigma transdisciplinar: uma perspectiva metodológica para a pesquisa ambiental. In: **Interdisciplinaridade em ciências ambientais**. Arlindo Phillipi Júnior *et al.* (Ed). Signus, 2000.

DA SILVA, Marcelo José Gama. **Uso e Cobertura do Solo e a Variabilidade do Clima de Porto Velho-RO**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) – Núcleo de Ciências e Tecnologia (NCT), Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional (PGDR), Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, Rondônia, 2010. 70p.

DANTAS, Marcelo Eduardo; ADAMY, Amilcar. Capitulo - 3 Compartimentação geomorfológica, p. 37-54 in: **Geodiversidade do estado de Rondônia**, Amílcar Adamy (org). – Porto Velho, CPRM, 337 p., 2011.

DE OLIVEIRA, Paulo Tarso Sanches *et al*. Estimativa do Índice de Erosividade e obtenção de padrões de precipitação usando séries curtas de dados. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió-Al**, 2011.

DE OLIVEIRA, Raffael Gonçalves *et al*. Análise da Fragilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego São João - MS Utilizando Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Cartografia**, 2012.

DE SOUZA, Marcos Barros; MARIANO, Zilda de Fátima. Geografia Física e a questão ambiental no Brasil. **GEOUSP: espaço e tempo**, n. 23, p. 77-98, 2011.

DO VALE, Cláudia Câmara. Teoria geral do sistema: histórico e correlações com a geografia e com o estudo da paisagem. **ENTRE-LUGAR**, v. 3, n. 6, p. 85-108, 2013.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solo (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 412p., 1999.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 306p., 2006.

EMBRAPA, Monitoramento por Satélite. **Satélites de Monitoramento.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 6 jan. 2013.

ESCADA, Maria Isabel Sobral; MAURANO, Luis Eduardo; DA SILVA, Jorge Hargrave Gonçalves. Dinâmica do desmatamento na área de influência das usinas hidroelétricas do

complexo do rio Madeira, RO. **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brasil,** v. 2013, p. 7499-7507, 2013.

FEARNSIDE, Philip M. O Desmatamento na Amazônia, suas consequancias e o manejo sustentado. In: **A Amazônia Brasileira em Foco,** nº20 (jan-jul) p.15-19, 1993.

FEARNSIDE, Philip M. Avanca Brasil: environmental and social consequences of Brazil's planned infrastructure in Amazonia. **Environmental management**, v. 30, n. 6, p. 0735-0747, 2002.

FEARNSIDE, Philip M. Amazonia Desforestation of. In: **Encyclopedia of Global Change: Enverionmental Change Human Society**. A. S Goudie and D. J. Cuff (eds.) v. 1., p. 31-38, 2002.

FEARNSIDE, Philip M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. **Conservation biology**, v. 19, n. 3, p. 680-688, 2005.

FLORENZANO, Tereza Gallotti. Geotecnologias na Geografia Aplicada: difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 24-29, 2005.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. Oficina de textos, 2002.

FORMAN, Richard T.T. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. New York: Cambridge University, 632 p., 1997.

GUGLIELMETTI, Fernando Ribeiro; MARINS, Fernando Augusto Silva; SALOMON, Valério Antônio Pamplona. Comparação teórica entre métodos de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios. In: **XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, p. 1-6, 2003.

HARRISON Susan; FAHRING Lenore. Chapter 12 -- Landscape pattern and population conservation. In: **Mosaic Landscape and Ecological Processes**. (Ed.) Lennart Hansson. Lenore Fahring and Gray Merrian, Chapman & Hall, London, 1995. ISBN o 412 45460 2

IBGE. **Dados para downloads**. Disponível em: < ftp://geoftp.ibge.gov.br/ > Acesso: maio de 2015.

IMAZON. **A Amazônia em números**, Imprensa. Disponível em: < http://www.imazon.org.br/imprensa/imazon-na-midia/a-amazonia-em-numeros > último acesso em junho de 2014.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **PRODES Digital**. São Paulo-São José dos Campos.2014.Disponível em :<http://www.obt.inpe.br/prodesdigital/metodologia.html>. Acesso: maio. 2014.

JENSEN, John R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução da 2ª ed., José Carlos Neves Epiphanio (cordenador). São José dos Campos, São Paulo, Ed. Parênteses, 2009.

KAWAKUBO, Fernando Shinji *et al.* Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil,** p. 16-21, 2005.

LIMA, Walter de Paula. **Introdução ao manejo de bacias hidrográficas,** Departamento de Ciências Florestais, ESALQ-USP, Atualizado em junho de 2006 por Cláudia Moster, 1996.

LOBATO, Luiz Cleyton Holanda. **Bacia do Rio Mucuim-AM: ordenamento e (re)ordenamento territorial. (Dissertação de Mestrado), Porto Velho.** Universidade Federal de Rondônia, programa de pós-graduação em geografia - PPGG, 2010, 118 p.

LOMBARDI NETO, Francisco; MOLDENHAUER, Willian. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

MACEDO Eduardo Soares de; BRESSANI, Luiz Antônio (cords.). **Diretrizes para zoneamento da suscetibilidade, perigo e risco de deslizamento para planejamento de uso do solo**. 1ª ed. São Paulo: ABGE – associação Brasileira de Geologia e Engenharia ambiental, ABMS – Associação de Mecânica de solos e Engenharia Geotécnica, 2013.

MAFRA, Francisco & SILVA, J. Amado. **Planejamento e gestão do território**. SPI – Sociedade Portuguesa de Inovação. Ed. Principia, Porto, 2004, 96p.

MARGULIS, Sergio. **Causas do desmatamento da Amazônia brasileira**. Banco Mundial,1ª edição, Ed. Estação Gráfica, Brasília, 2003, 100p.

MARTINS Vivian Borges. **Metodologia baseada em Sistema de Informação Geográfica e Análise Multicriterial para a seleção de áreas para a construção de um repositório para combustível nuclear usado.** Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ/COPPE, 2009. 124p.

MELO, Edileuza Carlos de. **Fatores de controle dos fluxos fluviais de material em suspensão em diferentes cenários climáticos na bacia do rio Solimões**. Tese de Doutorado, Manaus, INPA, 221p, 2012.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de. (Organizadores). **Introdução Ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília, 276 p., 2012.

METZGER, Jean-Paul; DÉCAMPS, Henri. The structural connectivity threshold: an hypothesis in conservation biology at the landscape scale. **Acta Oecologica**, v. 18, n. 1, p. 1-12, 1997.

METZGER, Jean-Paul. O que é ecologia da paisagem? **Biota Neotropica,** Campinas, v.1 nº.1 e 2, dez 2001.

NASA: **Landsat Science**. 2015. Disponível em: < http://landsat.gsfc.nasa.gov/ > Acesso em março de 2015.

NAVEH, Zev; LIEBERMAN, Arthur S. **Landscape Ecology. Theory and Aplications.** Springer Verlang. New York, 1984.

NOVO, Evlyn M. L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** São Paulo, Editora Edgard Blücher, 4ª edição, 2010, 1ª reimpressão, 2012.

NUCCI, João Carlos. Origem e desenvolvimento da ecologia e da ecologia da paisagem. **Revista Eletrônica Geografar**, v. 2, n. 1, p. 77-99, 2007.

NUNES, Dorisvalder Dias. **Hidrovia do Madeira: (Re) configuração, integração e meio ambiente.** Tese. p. 379. (doutorado), Universidade Federal do Pará, 2004, Belém.

NUNES, Dorisvalder Dias. **Vulnerabilidade Natural À Erosão Da Bacia Do Rio Mutum-Paraná, Porto Velho-Ro (2009-2011)**. Porto Velho-RO. Relatório Final de Pesquisa, 2012. 74p.

NUNES, Dorisvalder Dias. **Análise da Vulnerabilidade à Erosão em bacia Hidrográfica na Amazônia Sul Ocidental: estudo de caso na bacia do rio São Francisco – Rondônia (2011/2014)**. Porto Velho-RO. Relatório Final de Pesquisa, 2014. 59p.

ODUM, Eugene Pleasants; ODUM, Howard T.; ANDREWS, Joan. **Fundamentals of ecology**. Philadelphia: Saunders, 1971.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. C.; MEDINA, B. Fernandez. A erosividade das chuvas em Manaus (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas**, v. 14, n. 2, p. 235-9, 1990.

ONU Brasil: FAO: **Se o atual ritmo de consumo continuar, em 2050 o mundo precisará de 60% mais alimentos e 40% mais água 2015**. Imprensa: disponível em: < http://nacoesunidas.org/fao-se-o-atual-ritmo-de-consumo-continuar-em-2050-mundo-precisara-de-60-mais-alimentos-e-40-mais-agua/ >, último acesso em março de 2015.

PASSOS, Messias Modesto dos. Geossistema: um novo paradigma. **Fórum Latino Americano de Geografia Física Aplicada**, v. 1, p. 42, 1997.

PIRES, José Salatiel Rodrigues; DOS SANTOS, José Eduardo. A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica a Conservação dos Recursos Naturais. In: SCHIAVETTI, Alexandre; CAMARGO, Antônio F. M. **Conceitos de bacia hidrográfica: teorias e aplicações. Ilhéus: Editus**, p. 17-36, 2008.

PISSINATI, Mariza Cleonice; ARCHELA, Rosely Sampaio. Geossistema território e paisagem-método de estudo da paisagem rural sob a ótica bertrandiana. **Geografia (Londrina)**, v. 18, n. 1, p. 5-31, 2009.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação** São José dos Campos, Parêntese, 2ª ed., 136p., 2010.

RAMOS, Fabricio Tomaz *et al*. Erosão por salpicamento sob diferentes sistemas de manejo em um Neossolo Quartzarênico em Cáceres (MT). **Global Science and Technology**, v. 4, n. 1, 2011.

RIZZOTTO, GilmarJ *et al*. Projeto Rio Madeira. **Levantamento de informações para subsidiar o estudo de viabilidade do aproveitamento hidrelétrico (AHE) do Rio Madeira**. AHE Santo Antônio: relatório final / Coordenado por Gilmar José Rizzotto e José Guilherme

Ferreira de Oliveira, organizado por Marcos Luiz E. S. Quadros, João Marcelo R. de Castro, Antônio Cordeiro, Amílcar Adamy, Homero Reis de Melo Junior e Marcelo Eduardo Dantas – Porto Velho: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2005.

ROCHA, Cézar Henrique Barra. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Ed. do autor, 3ª ed., 220p., 2002.

RODRIGUES, Cleide. A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 14, n. 2001, p. 69-77, 2001

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; DA SILVA, Edson Vicente. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. **Mercator** - Revista de Geografia da UFC, ano 01, n.1, 2002.

RONDÔNIA. Governo do Estado de Rondônia. Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral (SEPLAM). **Segunda Aproximação do Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico do Estado de Rondônia.** Porto Velho, Rondônia, 1999.

RONDÔNIA. **Plano Agroflorestal de Rondônia – PLANAFLORO**. Porto velho: TECNOSSOLOS, Relatório Técnico, 2001.

RONDÔNIA. Secretaria de Estado de Desenvolvimento Ambiental – SEDAM. **Vinte e um anos de Zoneamento Socioeconômico e Ecológico do estado de Rondônia: planejamento para desenvolvimento sustentável e proteção ambiental.** Porto Velho - RO, 2010. 60 p.

RONDÔNIA. Lei Complementar Estadual nº 233 de 06 de junho de 2000. **Dispõe sobre o Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico de Rondônia, e dá outras providências (2ª aproximação)**, 2000. Disponível em:< http://sapl.al.ro.leg.br/generico/norma_juridica_pesquisar_form?incluir=0 >. Último acesso em dezembro de 2014.

RONDÔNIA. Lei Complementar Estadual nº 52 de 20 de dezembro 1991. **Dispõe sobre o Zoneamento Sócio-Econômico-Ecológico de Rondônia, e dá outras providências (1ª aproximação),** 1991. Disponível em:< http://sapl.al.ro.leg.br/generico/norma_juridica_pesquisar_form?incluir=0 >. Último acesso em dezembro de 2014.

RONDÔNIA. Lei Complementar Estadual nº 633 de 13 de setembro de 2011. **Dispõe sobre a exclusão de áreas da Estação Ecológica Estadual Serra Três Irmãos, da Área de Proteção Ambiental Rio Madeira, da Floresta Estadual de Rendimento Sustentado do Rio Vermelho - C e da Reserva Extrativista Jaci-Paraná e destina tais áreas para formação do lago artificial da barragem da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio**. 2001. Disponível em:< http://sapl.al.ro.leg.br/generico/norma_juridica_pesquisar_form?incluir=0 >. Último acesso em dezembro de 2014.

RONDÔNIA. Lei Complementar Estadual nº 770 de 07 de abril de 2014. **Revoga dispositivos da lei complementar nº 633, de 13 de setembro de 2013 e revoga dispositivos da lei nº 633, de 13 de setembro de 2011**. 2014. Disponível em:< http://sapl.al.ro.leg.br/generico/norma_juridica_pesquisar_form?incluir=0 >. Último acesso em dezembro de 2014

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **"Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados"**. In: Revista do Departamento de Geografia n°8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

ROSS, Jurandir Luciano Sanches. Os Fundamentos da Geografia da Natureza: in **Geografia do Brasil**, Jurandir L. Sanches Ross (org.) – 6ª edição, 1ª reimpressão. – São Paulo: editora da Universidade de São Paulo, 2011.

SAATY, Thomas L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.

SALOMON, Valério P.; MONTEVECHI, José A. B.; PAMPLONA, Edson O. Justificativas para aplicação do método de análise hierárquica. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v. 19, 1999.

SANDERSON, James; HARRIS, Larry. D. Landscape ecology*: A top-down approach*; **Lewis publishers**, New York, p. 3-18, 2000.

SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; EUGÊNIO, F. C. **ARCGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais**. Alegres, ES: CAUFES. 184 p., 2010.

SANTOS, Juliana Gonçalves; DE OLIVEIRA Luiz Antônio. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão São Bento da ressaca, município de Frutal – MG. **Observatorium**: **Revista Eletrônica de Geografia**, v.5, n.15, p. 02-23, dez. 2013.

SCHIAVETTI, Alexandre; CAMARGO, Antônio F. M. **Conceitos de bacia hidrográficas: teorias e aplicações. Ilhéus:** Editus, 2008.

SEDAM. **Dados Climáticos**. 2015 Disponível em: <http://www.sedam.ro.gov.br/index.php/component/content/article/107-meteorologia/237-cogeomonitoramento > Acesso: jan. de 2015

SHINZATO, Edgar; TEIXEIRA, Wenceslau Geraldes; MENDES, Ângelo Mansur. Cap - 4 Solos, p. 55-78 in: **Geodiversidade do estado de Rondônia**, Amílcar Adamy (org). – Porto Velho, CPRM, 337 p., 2011.

SILVA, Jersone Tasso Moreira *et al.*, Aplicação do método de análise hierárquica no processo de tomada de decisão: um estudo com o empreendedor agrícola da região de Divino - MG. Salvador, **Revista Gestão e Planejamento**, Ano 7, nº14, p. 19-30, 2006.

SILVA, Vinicius de Amorim *et al*. **A utilização de técnicas de geoprocessamento para modelagem de cenários de uso e perda de solo na bacia hidrográfica do rio colônia no litoral sul da Bahia – Brasil**, VI Seminário Latino Americano de Geografia Física II Seminário Ibero Americano de Geografia Física Universidade de Coimbra, Maio, 2010.

SOARES FILHO, Britaldo Silveira. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SOARES-FILHO, Britaldo Silveira *et al*. Cenários de desmatamento para a Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 137-152, 2005.

SOTCHAVA, Viktor Borisovich. **O estudo de geossistemas**. Universidade de São Paulo, Instituto de Geografia, 1977.

SPÖRL, Christiane. **Análise da Fragilidade Ambiental Relevo–Solo com Aplicação de Três Modelos Alternativos nas Altas Bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. 2001. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo-SP.

SPÖRL, Christiane. **Metodologia para elaboração de modelo de fragilidade ambiental utilizando redes neurais.** 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SPRING: Integrating remote sensingand GIS by object-oriented data modelling" Camara G, Souza RCM, FreitasUM, Garrido J **Computers & Graphics**, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html, último acesso março de 2015.

TAMANINI, Maria do Socorro Alves. **Diagnóstico Físico-Ambiental para determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo Curso do Rio Passaúna em Araucária–PR.** 105 p. Dissertação de Mestrado – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba (PR), 2008.

TANSLEY, Arthur G. The use and abuse of vegetational concepts and terms.**Ecology**, v. 16, n. 3, p. 284-307, 1935.

THÉRY, Hervé. Rondônia: **Mutações de um Território Federal na Amazônia Brasileira**, 1ª edição, Sk Ed. 2012, 304p.

THÉRY, Hervé. Situações da Amazônia no Brasil e no continente. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 37-49, 2005.

TOWNSEND, Colin R.; BEGON, Michael; HARPER, John L. **Fundamentos em ecologia**. Artmed, 2ª ed., 592 p., 2006.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Secretaria de Planejamento d a Presidência da República, 1977. 97p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. (Org.). **Hidrologia**: ciência e aplicação**.** 4ª ed. Porto Alegre: UFRGS; ABRH, 2009.

TURNER Monica G.; GARDNER Robert H (Ed.). **Quantitative Methods in Landscape Ecology. The analysis and interpretation of Landscape Heterogeneity**. New York, NY: Springer Verlag, 1991.

URBAN Dean *et al.* Landscape ecology. **Bio Science**. Nº37, p. 119-127, 1987.

VALENTE, Roberta de Oliveira Averna. **Análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Corumbataí, SP**. 144p. 2001. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiróz, Piracicaba, São Paulo.

VALERIANO, Márcio de Morisson; ALBUQUERQUE, Paulo Cesar Gurgel de. TOPODATA: processamento dos dados SRTM. **São José dos Campos: INPE**, 2010.

VALERIANO, Márcio de Morisson; ROSSETTI, Dilce de Fátima. TOPODATA: seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM. **São José dos Campos: INPE**, 2010.

VICENTE, Luiz Eduardo; PEREZ FILHO, Archimedes. Abordagem sistêmica e geografia. **Geografia**, v. 28, n. 8, p. 232-344, 2003.

VON BERTALANFFY, Ludwig. **System Theory: Foundations, Development, Applications.** University of Alberta Edmonton, Canada. Ed. George Braziller, New York, 2ª printing November 1969. (1968).

WATANABE, Michel. **Análise integrada da paisagem da Bacia do Rio Mutum-Paraná.** Dissertação de Mestrado, Porto Velho: Universidade Federal de Rondônia, Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGG, 2011. 106 p.