



**FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL
E MEIO AMBIENTE**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ÁREAS COM POTENCIAL DE ALAGAMENTO EM PARTE DO ENTORNO DA
CIDADE DE PORTO VELHO/RO**

**Maíza Moreira Ribeiro Martarole
Orientador: Prof. Dr. Vanderlei Maniesi**

**Porto Velho - Rondônia
2012**

FICHA CATALOGRÁFICA

M375a	<p>Martarole, Maíza Moreira Ribeiro</p> <p>Áreas com potencial de alagamento em parte do entorno da cidade de Porto Velho/RO. / Maíza Moreira Ribeiro Martarole. Porto Velho, Rondônia, 2012. 72f.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Núcleo de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, Rondônia, 2012.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Vanderlei Maniesi.</p> <p>1. Geoprocessamento. 2. Alagamento. 3. Porto Velho. I. Título.</p> <p>CDU: 681.5 (811.1)</p>
-------	--

Bibliotecária Responsável: Terezinha de Jesus Foro / CRB 11-304



UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO REGIONAL E MEIO AMBIENTE
PGDRA



ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MAÍZA MOREIRA RIBEIRO MARTAROLE

A Banca de Defesa de Mestrado presidida pelo Orientador Prof. Dr. Vanderlei Maniesi (Orientador), Prof. Dr. Ene Glória da Silveira (Examinador), e Profa. Dra. Siane Christina Pedroso Guimarães (Examinador), reuniu-se no dia 23 de março de 2012, as 14:00 horas no mini-auditório do PGDRA-UNIR Campus José Ribeiro Filho, para avaliar a Dissertação de Mestrado intitulada: “ÁREAS COM POTENCIAL DE ALAGAMENTO EM PARTE DO ENTORNO DA CIDADE DE PORTO VELHO/RO.” da mestranda Maíza Moreira Ribeiro Martarole. Após a explanação da candidata e argüição pela Banca Examinadora, a referida dissertação foi avaliada, e de acordo com as normas estabelecidas pelo Regimento do Curso do Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente – PGDRA foi APROVADA.

Porto Velho, 23 de março de 2012.

Prof. Dr. Vanderlei Maniesi

Orientador

Prof. Dr. Ene Gloria da Silveira

Examinador

Profa. Dra. Siane Christina Pedroso Guimarães

Examinadora

DEDICATÓRIA

Ao meu filho Thiago Júnior,
por me demonstrar todos os dias,
desde o meu ventre,
que mesmo nas dificuldades
Deus se faz presente.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as suas bênçãos e pela oportunidade desse grande desafio de conciliar o desenvolvimento desse trabalho, uma gestação e cuidados com um bebê em seu primeiro ano de vida.

A Universidade Federal de Rondônia, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente que proporcionaram esta etapa de titulação.

Ao Prof. Dr. Vanderlei Maniesi, meu orientador, por toda paciência ao compreender as minhas dificuldades, por todas as sugestões e críticas, porém dentro de um relacionamento sincero e amigável, pelo seu caráter, pelo seu elevado nível profissional.

Ao Serviço Geológico do Brasil – CPRM pela liberação das minhas atividades, investimento, suporte material e técnico. Em especial agradeço ao Assessor da Diretoria de Relações Institucionais e Desenvolvimento MSc. Fernando Pereira de Carvalho, ao ex-Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial José Ribeiro Mendes, ao Sr Paulo Branco, a quem ainda não tive a oportunidade de conhecer pessoalmente, mas que não mediu esforços para apoiar a liberação, ao meu amigo geólogo Rommel da Silva Sousa por todo incentivo e por sempre acreditar e colaborar com a realização dos meus objetivos, a Chefe de Residência da CPRM de Porto Velho MSc. Helena da Costa Bezerra pelo companheirismo e por sempre estar presente nas minhas grandes conquistas, ao amigo e coordenador executivo MSc. Luiz Gilberto Dall’Igna por suas inestimáveis contribuições em geoprocessamento e por todo auxílio que tem me dado que foram fundamentais para esta conquista, ao Assistente de Produção da Diretoria de Relações Institucionais e Desenvolvimento MSc. Marcos Quadros por sua compreensão e flexibilidade para a conclusão desta pesquisa, ao geólogo MSc. Amilcar Adamy por todas as nossas conversas imensamente produtivas, pela disponibilidade em me auxiliar e por repassar conhecimentos de planejamento territorial, ao Assistente de Produção de Hidrologia e Gestão Territorial MSc. Francisco de Assis dos Reis Barbosa por compartilhar suas experiências e idéias, ao Mário Sérgio Santos meu amigo, pela persistência e paciência em ajudar nos mínimos detalhes principalmente cartográficos, Adinanci Moraes, Antonieta Barros, Ardiles Gimax, Dilma Florêncio, MSc. Marcos Nóbrega II, Sued Policarpo Filho, Terezinha de Jesus Foro e ao MSc. Luiz Antônio da Costa Pereira por todo o incentivo e por não me deixar desanimar nas horas difíceis, a Pâmela Emanuelle da Silva e Maria Rosalva Campos Coelho pela habilidade e disponibilidade em realizar as análises

granulométricas, ao geólogo Carlos Eduardo de Oliveira por ceder o arquivo digital e textos de geologia mesmo estando com seu projeto em fase de conclusão.

A Telma Cristina Nery Nascimento por toda dedicação desde os primeiros momentos em que pensei sobre o mestrado, sua ajuda foi primordial para esta conquista.

Ao Prof. Dr. Ene Glória da Silveira e a Prof^a. Dr^a. Siane Christina Pedroso Guimarães por aceitarem participar da banca de defesa desta dissertação, proporcionando discussões e sugestões que servirão para aprendizado e incentivo à pesquisa.

Finalmente, porém não menos importante, não poderia deixar de citar minha família, meu porto seguro, certamente o mestrado nem teria começado. Aos meus pais Alberto e Maria por tudo o que fizeram por mim e por todo incentivo aos estudos.

A minha irmã Marisa e meu sobrinho Mateus por toda ajuda, amor e dedicação ao cuidar do bebê em minhas ausências. Ao meu filho Thiago Júnior pela sua paciência e impaciência e pelos seus inúmeros sorrisos que alegram os meus dias. E, principalmente, ao Thiago, meu esposo com quem compartilho e vivo os muitos sonhos que tornamos realidade.

Muito Obrigada!

RESUMO

A temática abordada nesta pesquisa envolve as áreas úmidas identificadas no entorno da cidade de Porto Velho que foram estudadas visando a compreensão das áreas com potencial de alagamento e de suas relações com o meio físico, a partir de uma base de dados composta por imagens de radar, imagens de satélite para caracterização temporal do desmatamento, bases temáticas compostas por dados de geologia, geomorfologia, solos, vegetação e precipitação, aliados com as descrições dos trabalhos de campo e análises granulométricas. A metodologia utilizada nas imagens ALOS/PALSAR para o mapeamento de áreas úmidas em períodos pluviométricos distintos foi uma adaptação da proposta de Renó & Novo (2011). Os resultados gerados nesses mapas subsidiaram os trabalhos de campo e serviram como indicativos para áreas de amostragens para realização de ensaios granulométricos. São sedimentos que se destacam pelos altos teores de argila+silte (>78 %), como indicativos de baixa permeabilidade, justificando a presença de áreas úmidas tanto em porções próximas ao nível base regional (planície do Rio Madeira), quanto em porções de maiores altitudes (próximas a 90 metros) que possuem os mais elevados teores obtidos de argila+silte (>90 %). São porções potencialmente alagáveis, sujeitas a significativas ações antrópicas em decorrência da construção da ponte sobre o Rio Madeira, pavimentação e reconstrução da BR-319 e, ainda, da conclusão da UHE Santo Antônio, reforçando a necessidade de adoção de políticas públicas de planejamento territorial.

Palavras-chave: Alagamento; Geoprocessamento; Porto Velho.

ABSTRACT

The subject discussed in this study involves the identification of wetlands around the city of Porto Velho that have been studied in order to understand the areas with potential for flooding and their relationship with the physical environment. The database consists of radar and satellite imagery to characterize temporal deforestation, thematic bases composed by geology, geomorphology, soil, vegetation and rainfall data, in parallel with field work and grain size analysis. The methodology used in ALOS / PALSAR images for mapping wetlands different rainfall periods was adapted from Renó and Novo (2011). The results generated in these maps provided support for fieldwork and were used for directing attention to specific areas , where soil samples were collected for particle size distributions. Sediments that are highlighted by high clay + silt (> 78%), as indicative of low permeability, which explains the presence of wetlands in both portions close to the regional base level (the plain of the Rio Madeira), and in larger portions altitudes (close to 90 meters) that have the highest levels found clay + silt (> 90%). Flooded portions are potentially subject to significant human actions as a result of construction of the bridge over the Rio Madeira, reconstruction and paving of BR-319 and also the completion of the Santo Antônio, reinforcing the need for adoption of public policies of territorial planning.

Keywords: Flooding; GIS; Porto Velho city.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E VIAS DE ACESSO.....	16
1.2	OBJETIVOS.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
2.1	ALAGAMENTO.....	18
2.2	GEOPROCESSAMENTO.....	19
2.3	CONCEITOS DE SIG.....	19
2.4	DADOS ESPACIAIS.....	21
2.5	SENSORIAMENTO REMOTO.....	21
2.5.1	Sistema ALOS.....	23
2.5.2	Interpretação de imagens.....	24
2.5.3	Modelo digital de elevação.....	24
2.5.4	SRTM.....	25
2.6	SOFTWARES.....	26
2.6.1	Spring.....	26
2.6.2	SegSAR.....	26
2.7	O MEIO FÍSICO DA ÁREA DE ESTUDO.....	27
2.7.1	Geologia.....	27
2.7.2	Geomorfologia.....	30
2.7.3	Solos.....	33
2.7.4	Vegetação.....	35
2.7.5	Precipitação Pluviométrica.....	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
3.1	PRIMEIRA ETAPA.....	37
3.1.1	Caracterização temporal do desmatamento.....	38
3.1.2	Modelo digital de elevação.....	38
3.1.3	Mapa de declividade.....	39
3.1.4	Mapeamento de áreas potencialmente alagáveis.....	40
3.2	SEGUNDA ETAPA.....	42
3.3	TERCEIRA ETAPA.....	42
4	RESULTADOS.....	44
4.1	CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL DO DESMATAMENTO.....	44
4.2	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO.....	50
4.3	MAPA DE DECLIVIDADE.....	50
4.4	MAPAS DE ÁREAS POTENCIALMENTE ALAGÁVEIS.....	53
4.5	ATIVIDADES DE CAMPO.....	56
4.6	ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS.....	61
5	PORÇÕES ÚMIDAS DA ÁREA DE ESTUDO E SUAS RELAÇÕES COM O MEIO FÍSICO.....	64
6	A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO TERRITORIAL PARA O DESENVOLVIMENTO REGIONAL.....	66
7	CONCLUSÕES.....	68
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localização da área de estudo e vias de acesso	17
Figura 2. Faixas do espectro eletromagnético	21
Figura 3. Mapa geológico da área de estudo	29
Figura 4. Mapa geomorfológico da área de estudo	32
Figura 5. Mapa de solos da área de estudo	34
Figura 6. Mapa de vegetação da área de estudo	36
Figura 7. Demonstração do Filtro Enhanced Frost na imagem ALOS/PALSAR .	41
Figura 8. Carta imagem LANDSAT5 de 04/08/1987	46
Figura 9. Carta imagem LANDSAT5 de 14/07/1997	47
Figura 10. Carta imagem LANDSAT5 de 13/08/2008.	48
Figura 11. Carta imagem LANDSAT5 de 06/08/2011.	49
Figura 12. Desnível compatível com a altura da vegetação com dados SRTM	50
Figura 13. Modelo digital de elevação com dados SRTM	51
Figura 14. Mapa de declividade.	52
Figura 15. Classificação da imagem ALOS/PALSAR período de chuva	54
Figura 16. Classificação da imagem ALOS/PALSAR período seco	55
Figura 17. Área de influência direta do Rio Madeira. Ponto AU-1	56
Figura 18. Área úmida. Ponto AU-1	57
Figura 19. Perfil topográfico. Ponto AU-2	58
Figura 20. Área com declive. Ponto AU-2	58
Figura 21. Vegetação nativa com a presença de buritis. Ponto AU-2	59
Figura 22. Afloramento de material laterítico. Ponto AU-3	60
Figura 23. Perfil topográfico. Ponto AU-4	60

Figura 24.	Presença de plantas do gênero <i>heliconias</i> . Ponto AU-4	61
Figura 25.	Distribuição em porcentagem dos grãos nas frações cascalho, areia e silte+argila da área de estudo. Amostras: AU-1, AU-2 e AU-4	62

LISTA DE TABELAS

	pág.
Tabela 1. Características das imagens ALOS/PALSAR utilizadas.	40
Tabela 2. Distribuição granulométrica em peso e porcentagem das frações cascalho, areia, silte+argila. Amostra AU-1	62
Tabela 3. Distribuição granulométrica em peso e porcentagem das frações cascalho, areia, silte+argila. Amostra AU-2	63
Tabela 4. Distribuição granulométrica em peso e porcentagem das frações cascalho, areia, silte+argila. Amostra AU-4	63

LISTA DE SIGLAS

ALOS - Advanced Land Observing Satellite
AVNIR-2 - Advanced Visible and Near Infrared Radiometer Type 2
CPRM - Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte
DPI - Divisão de Processamento de Imagens do INPE
ENVI - Environment for Visualizing Images
FBD - Fine Beam Dual
FBS - Fine Beam Single
GIS - Geographic Information System
GPS - Sistema de Posicionamento Global
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDL - Interactive Data Language
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
JAXA - Japan Aerospace Exploration Agency
LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite
MDE - Modelo Digital de Elevação
MNT - Modelo Numérico de Terreno
NASA - National Aeronautics and Space Administration
PAC - Programa de Aceleração do Crescimento
PALSAR - Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
PRISM - Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping
SAR - Synthetic Aperture Radar
SEDAM - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental
SCIELO - Scientific Electronic Library Online
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SIPAM - Sistema de Proteção da Amazônia
SQL - Structured Query Language
SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SRTM - Shuttle Radar Topography Mission
TM - Thematic Mapper

1 INTRODUÇÃO

A temática desta pesquisa envolve o estudo de áreas potencialmente alagáveis na região situada na margem esquerda do Rio Madeira nas proximidades da área urbana da cidade de Porto Velho/RO.

Esta cidade experimentou no último século um crescimento populacional que esteve relacionado ao desenvolvimento econômico local e regional, destacando períodos de crescimento e de estagnação. A área urbana e o seu entorno expandiram rapidamente de forma descontrolada, carecendo de planejamentos e infraestrutura devido ao grande número de imigrantes, acelerando os processos de degradação ambiental.

A área de estudo é considerada zona rural, mas, três grandes obras estão influenciando para a mudança deste cenário, as obras que sendo realizadas em seu perímetro são: a ponte sobre o Rio Madeira, a reconstrução e pavimentação da BR-319 que é uma obra do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte – DNIT, além da construção da UHE Santo Antônio e todas recebem investimentos do Programa de Aceleração do Crescimento - PAC do Governo Federal, com isto, novos problemas ambientais poderão surgir caso seja intensificada ainda mais a antropização destas áreas com possíveis construções residenciais.

A realização deste trabalho se dá como uma contribuição e uma fonte alternativa de análise sobre o potencial de alagamento em áreas que estão suscetíveis a expansão urbana da cidade de Porto Velho, visando o subsídio de políticas públicas para o planejamento territorial.

A problemática está diretamente relacionada às ações antrópicas na ocupação dos espaços urbanos que possa intensificar a redução de vegetação nativa, colaborar com a impermeabilidade do solo, impactos econômicos para comunidades residentes, entre outras ações humanas provenientes da ocupação desordenada do solo.

A ferramenta escolhida para subsidiar o estudo é o geoprocessamento, se demonstrou eficaz e interdisciplinar, que com todos os aprimoramentos permite a relação de várias áreas de conhecimento como a cartografia, geografia, os sistemas de informação geográfica (SIG), o sensoriamento remoto e ainda áreas temáticas como a geologia, geomorfologia, pedologia, declividade e índices de precipitação.

O uso da tecnologia do geoprocessamento para auxiliar na resolução de questões de planejamento territorial possibilita sensíveis ganhos em qualidade dos resultados, permitindo a realização de avaliações através de diversas variáveis, simultaneamente em toda área.

Dentro deste contexto a proposta deste trabalho é compreender as áreas com potencial de alagamentos no entorno da cidade de Porto Velho/RO, utilizando como ferramenta o geoprocessamento, a partir de uma base de dados composta por classificações de imagens de radar, imagens de satélite, indicadores temáticos, trabalhos de campo e análises granulométricas.

A metodologia utilizada nas imagens ALOS/PALSAR para o mapeamento de áreas úmidas em períodos pluviométricos distintos foi uma adaptação da proposta de Renó & Novo (2011) que consiste em uma metodologia atual aplicada em uma área no norte do Brasil. Os resultados gerados nestes mapas forneceram indicativos para direcionar os pontos amostrados para a realização de ensaios granulométricos.

1.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E VIAS DE ACESSO

A área de estudo compreende parte do entorno da cidade de Porto Velho/RO, entre as coordenadas geográficas 08°41'12" a 08°48'46" latitude sul e 63°53'41" a 63°59'57" de longitude a oeste de Greenwich, ao norte do Estado de Rondônia (Figura 1).

Os acessos principais podem ser realizados utilizando-se a rodovia BR-319 como também por via fluvial através do Rio Madeira, onde atualmente ainda estão ocorrendo as obras para construção da ponte, com inauguração prevista para o ano de 2012. Na parte inferior da área de estudo, no Rio Madeira, nas coordenadas geográficas 08°48'04" S e 63°56'59" W existia a cachoeira de Santo Antônio, mas desde setembro de 2008 estão sendo executadas obras para instalação da Usina Hidrelétrica Santo Antônio.

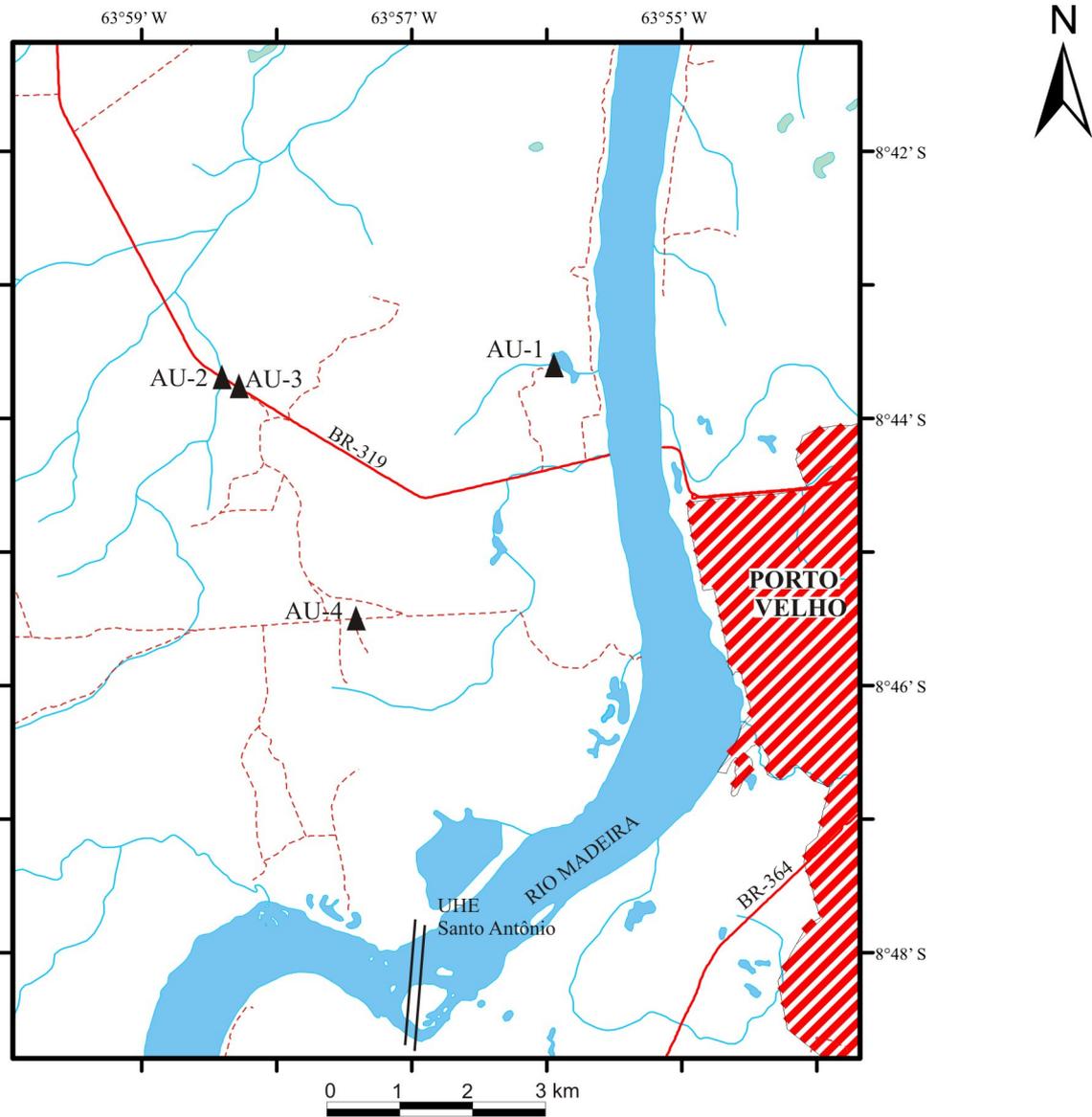
1.2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

- Compreender as áreas com potencial de alagamentos de parte do entorno da cidade de Porto Velho/RO.

Objetivos específicos

- Extrair dados de imagens SAR na banda L e classificar áreas úmidas de períodos de intensidade pluviométrica distintos;
- Caracterizar a granulometria de amostras de sedimentos, com propósito de identificar as proporções de areia e silte+argila e suas relações com a permeabilidade;
- Correlacionar as áreas com potencial de alagamento com os aspectos físicos.



LEGENDA

Convenções Cartográficas

-  Rodovia pavimentada federal
-  Rodovia municipal não pavimentada
-  Hidrografia
-  UHE Santo Antônio
-  Mancha Urbana
-  Pontos descritos e amostrados

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO ESTADO



Figura 1. Localização da área de estudo e vias de acesso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ALAGAMENTO

A carência de planejamento urbano aliado ao desconhecimento do meio físico da área pode colaborar com a ocorrência de áreas alagáveis, que são áreas sujeitas a oscilações, periódicas ou não, ocasionando diversos danos à sociedade.

As ações antrópicas e os altos índices de precipitações não são as únicas contribuições para diagnosticar áreas com potenciais a alagamentos. Aspectos físicos como áreas topograficamente deprimidas associadas a materiais de baixa permeabilidade juntamente com o lençol freático muito raso são características naturais que indicam a susceptibilidade da região.

O desmatamento é fator agravante ao alagamento, pois, assim ocorre a redução da infiltração natural no solo que pode ser intensificado com a construção de edificações e pavimentação, que dificultam o escoamento das águas pluviais e causam a impermeabilização do solo. Essas alterações na cobertura original provocam impactos sobre os ecossistemas locais, degradação dos solos e, conseqüentemente, profundas alterações nos ciclos hidrológicos desses ambientes, e atingem a infiltração das águas no solo, favorecendo o escoamento superficial e causando doenças de veiculação hídrica (CHRISTOFOLETTI, 1993 apud GUERRA & CUNHA, 2006; LOUREIRO & FARIAS, 2009).

No cenário de uma bacia hidrográfica, de acordo com Tucci et al. (2007),

[...] existem obstruções naturais e artificiais ao escoamento, acumulando parte do volume precipitado. Em áreas rurais isso pode ser observado após uma enchente, quando áreas sem drenagem formam pequenas lagoas. O volume de água retido nessas áreas somente diminui por evaporação e por infiltração. Como o lençol freático fica alto, logo após a enchente, a saída de água dá-se principalmente pela evaporação, tornando essa interação mais grave em solos que se impermeabilizam com a umidade, como o solo argiloso.

As cidades mal planejadas ou que sofreram grande crescimento em curto espaço de tempo são as que têm maiores índices de alagamentos, pois esses fatores dificultam a realização de obras de drenagem e de esgotamento de águas pluviais, sendo esses eventos, geralmente, ligados à enxurradas. As principais conseqüências dos alagamentos são materiais e humanas (SILVA & CAVALCANTI, 2010; BRASIL, 2003).

Tucci et al. (2007) mencionam que os alagamentos são problemas de ordem socioeconômica e ambiental, pois impedem o funcionamento normal das atividades da sociedade e causam prejuízos de toda ordem, inclusive financeiro. A cidade se rende ao caos provocado por essa problemática, cujas consequências vão além dos danos econômicos, às limitações do ir e vir da população e aumento de doenças e epidemias.

2.2 GEOPROCESSAMENTO

A ocupação desordenada aliada à falta de planejamento territorial para, ao menos, identificar as áreas mais propícias à ocupação, acelera os processos de degradação do meio ambiente. Com o auxílio do geoprocessamento é possível identificar áreas que são mais suscetíveis a sofrer processos de degradação ambiental, tais como alagamentos.

De acordo com Rodrigues (1993), geoprocessamento é um conjunto de tecnologias para a coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. As atividades envolvendo geoprocessamento são executadas por Sistemas de Informações Geográficas.

De forma sintética, geoprocessamento é o processamento informatizado de dados espacialmente referenciados (ou georreferenciados), através de um SIG. Estas ferramentas digitais tem sido de grande contribuição para áreas que necessitam de planejamento espacial, como a geologia, a geografia, as engenharias e também podem colaborar no planejamento urbano, na identificação de áreas de riscos naturais, na análise de recursos naturais entre outros (TIMBÓ, 2001).

2.3 CONCEITOS DE SIG

Segundo Bonhan-Carter (1994), o termo Sistemas de Informação Geográfica - SIG é um sistema de computadores para manipulação de dados espaciais, ou mesmo, ferramentas computacionais para manipulação de mapas, imagens digitais e tabelas de dados geocodificados.

Em referência ao conceito de “informação” o autor enfatiza que,

[...] as informações dentro de um GIS são organizadas para gerar conhecimento útil, mesmo como mapas coloridos, mas também tabelas e gráficos estatísticos assim como inúmeras interfaces “de tela”, responsáveis por consultas interativas (BONHAN-CARTER, 1994).

Pode-se compreender desse conceito, por exemplo, que o armazenamento sistêmico dos dados utilizado atualmente pela maioria dos SIG's, permite o acesso de forma organizada e estruturada de qualquer dado dentro da base de dados, utilizando a linguagem SQL.

Quanto ao termo “geográfica” [...] implica que as localizações do mapa são conhecidas, ou podem ser calculadas seguindo o conceito das coordenadas geográficas (BONHAN-CARTER, 1994). Dentro deste contexto, entende-se que todo e qualquer ponto, linha ou polígono dentro de um mapa, tem um registro de sua localização e de seus metadados, ou seja, os dados alfanuméricos sobre aquele objeto.

Segundo Câmara (1996) um SIG tem como principais componentes a interface com o usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento, visualização e plotagem e enfim o armazenamento e recuperação de dados.

Há vários conceitos de SIGs, alguns com definições puramente tecnológicas e com restritas e outras que vão além do conceito tecnológico. Uma visão que dá uma definição bastante abrangente e completa é de que:

Um SIG é qualquer sistema de gerenciamento de informações capaz de: coletar, armazenar e recuperar informações baseadas nas suas localizações espaciais; identificar locais dentro de um ambiente que tenha sido selecionado a partir de determinados critérios; explorar relações entre os dados de um certo ambiente; analisar os dados espaciais para subsidiar os critérios de formulação de decisões; facilitar a exportação de modelos analíticos capazes de avaliar alternativas de impactos no meio ambiente; exibir e selecionar áreas, tanto graficamente como numericamente, antes e/ou depois das análises (HANINGAN, 1988 apud SILVA, 1999).

Outra definição diz que,

[...] o termo sistemas de informação geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. A principal diferença de um SIG para um sistema de informação convencional é sua capacidade de armazenar tanto os atributos descritivos como as geometrias dos diferentes tipos de dados geográficos (CASANOVA et al., 2005).

Dall'Igna (2005) explica que os SIGs operam como um sistema de gerenciamento de banco de dados, com dados georreferenciados. E os bancos de dados geográficos podem ser definidos como:

[...] banco de dados geográficos são bancos de dados espaciais utilizados para armazenar informações geográficas, como mapas. Os bancos de dados geográficos são frequentemente chamados de Sistemas de Informações Geográficas. (SILBERSCHATZ et al., 1999 apud DALL'IGNA, 2005).

Um banco de dados geográficos possui características que os diferenciam de outros bancos de dados, pois armazena qualquer dado alfanumérico, porém, esses dados têm uma

referência espacial, ou seja, atributos que definem, através de coordenadas geográficas, onde aquele objeto se encontra (LISBOA FILHO et al., 1999).

2.4 DADOS ESPACIAIS

Existem várias definições de dados espaciais. Câmara (1996), por exemplo, diz que dado espacial é tudo aquilo que faz menção a dados que tenham alguma referência de espaço. Assim, diz que a estrutura molecular de um composto químico, é por definição um dado espacial, porém existem os dados utilizados em SIGs, que são particularmente diferentes, pois estes são dados georreferenciados.

Os dados espaciais se diferenciam dos demais dados por alguns fatores a mais que possui em relação a dados simplesmente alfanuméricos (SILVA, 1999).

O dado espacial possui pares de coordenadas que (geralmente) fazem menção a localização na superfície da Terra num determinado instante ou período de tempo.

2.5 SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto é a tecnologia que permite a aquisição de dados da superfície terrestre à distância, isto é, através de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais. O funcionamento dos sensores se dá basicamente pela captação da energia (radiação eletromagnética) emitida ou refletida pela superfície em diferentes comprimentos de onda ou frequência (FLORENZANO et al., 2008).

Os objetos, porém, não somente refletem, mas também absorvem e até mesmo transmitem radiação. O fator que mede a capacidade de um objeto de refletir a radiação chama-se reflectância, a taxa de absorção chama-se absortância e, por fim, a capacidade de transmissão da radiação dá-se o nome de transmitância. Baseado nesses três índices combinados, representados em porcentagem ou valores entre 0 e 1, cada objeto possui uma assinatura espectral diferente.

Os sensores podem ser sensíveis a diferentes faixas do espectro eletromagnético (Figura 2), mas os sensores de recurso terrestre e radares são sensíveis somente a região do visível, infravermelho e microondas.

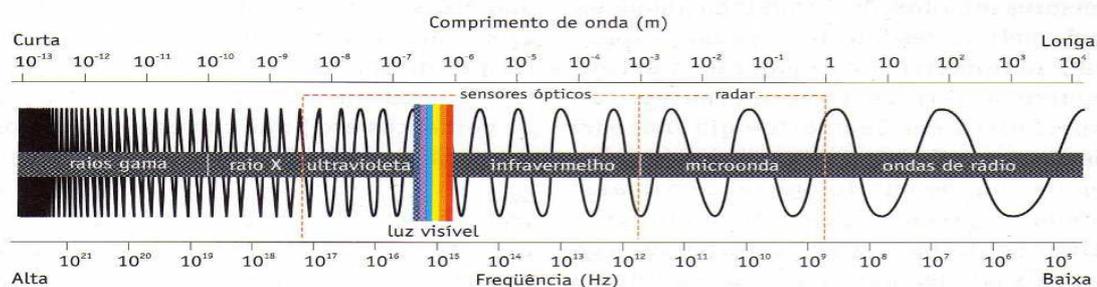


Figura 2. Faixas do espectro eletromagnético. Fonte: Florenzano (2008).

Existem, basicamente, quatro tipos de resolução quanto aos sensores. A resolução espectral que é capacidade de um sensor em discriminar objetos em função de sua sensibilidade espectral. Sua resolução espectral é considerada maior quando sua faixa espectral for menor e houver maior número de bandas. Já o segundo tipo de resolução, denomina-se resolução espacial, que é a capacidade de um sensor discriminar objetos em função de seu tamanho, existe também a resolução radiométrica que distingue as variações da intensidade de energia refletida, emitida ou retro-espalhada pelos objetos, a resolução temporal se refere a frequência de imageamento sobre a mesma área (FLORENZANO et al., 2008).

Para diferenciar esses quatro tipos de resolução, pode-se destacar que a resolução espacial é dada pelo tamanho do objeto que o sensor consegue captar, ou seja, se para ser identificado ele precisa ser do tamanho de um carro ou do tamanho de um campo de futebol, a resolução espectral é definida pelo número de bandas espectrais do sensor pela amplitude do intervalo de comprimento de onda de cada banda, enquanto que a resolução radiométrica é caracterizada pelo número de valores digitais representando níveis de cinza usados para distinguir os dados coletados pelo sensor e a resolução temporal determina o período (dias, meses) que os sensores levam para captar imagens da mesma área.

Após o período de inúmeras utilizações dos sensores orbitais (Landsat) que operam na faixa do visível e infravermelho, surgiram os sistemas imageadores de radar.

O Brasil foi um dos primeiros países a utilizar o levantamento de dados com radares aerotransportados. Em 1970, com o Projeto RADAM, inicialmente tinha o objetivo de mapear os recursos naturais da Amazônia, e posteriormente ampliado para o mapeamento dos aspectos físicos do território brasileiro.

Em regiões tropicais, o uso das imagens de radar de abertura sintética (SAR) tem propiciado diferentes meios para obtenção de informações através do sensoriamento remoto de várias regiões, muitas delas inacessíveis.

Os radares apresentam algumas vantagens em relação aos sensores ópticos, pois, estes sistemas atuam independentemente das condições atmosféricas, permitem a penetração nas nuvens para o imageamento da superfície com alta resolução temporal (dia e noite), fornecem informações sobre a rugosidade da área, propriedades dielétricas e conteúdo de umidade (JENSEN, 2007 apud FREITAS & SOUZA, 2011).

As características dos alvos permitem com que eles sejam diferenciados nas imagens SAR, devido as interações do sinal com os elementos espalhadores do alvo.

A quantidade de umidade da superfície influencia o coeficiente de retroespalhamento, pois a água, como elemento controlador da tipologia de ambientes alagados é fator primordial para a aplicação dos dados SAR porque ela altera a constante dielétrica de um alvo. Esta constante dielétrica do solo aumenta com a intensificação de umidade mas a variação depende do comprimento de onda. Quanto maior for o comprimento de onda, maior é a sensibilidade da constante dielétrica à porcentagem de umidade presente no solo. Este fato explica a utilização das imagens SAR na banda L, que possuem comprimento de onda de 23 cm, sendo que ondas eletromagnéticas dessa frequência penetram a cobertura vegetal e são mais sensíveis à umidade do solo do que em bandas de menor comprimento de onda, conforme disserta Novo (2006).

2.5.1 Sistema ALOS

Em 24 de janeiro de 2006 a agência espacial japonesa (JAXA) lançou o satélite, ALOS para observação da terra, com três sensores imageadores o PALSAR, AVNIR-2 E PRISM. O sistema foi desativado em 12 de maio de 2011.

O ALOS foi desenvolvido para subsidiar as pesquisas científicas em sensoriamento remoto, com o objetivo de apoiar estudos voltados ao desenvolvimento sustentável, monitoramento de desastres naturais e recursos naturais.

O Palsar é um SAR que opera na banda L e possui dois modos de imageamento: alta resolução (Fine Resolution) com resolução de 7 a 44 metros, polarizações HH ou VV que permite o recobrimento de uma faixa de 40 a 70 km por órbita, o outro modo de imageamento

é de baixa resolução espacial (ScanSAR) onde as imagens podem ser obtidas em duas polarizações (HH,VV) com uma resolução de 50 metros e 100 metros e recobrimento de faixas entre 250 a 350 km.

Nas imagens de radar os corpos d'água aparecem escuros, permitindo assim uma fácil discriminação destes alvos.

Conforme afirma Beneditti (2010) os solos úmidos se diferem nas imagens de radar dos solos secos, pela maior energia refletida sendo que os solos secos absorvem mais a onda de radar, porém depende da constante dielétrica do material que compõe o solo. Ou seja, o brilho da imagem da maioria da vegetação e superfícies naturais, aumenta com o aumento do seu teor de umidade.

2.5.2 Interpretação de imagens

Segundo Florenzano (2008), a interpretação de imagens é o ato de atribuir significado aos objetos identificados e representados na imagem. Assim, quanto maior for a experiência do intérprete e seu conhecimento temático da área que a imagem representa, maior será o potencial de extrair informações.

Os trabalhos de campo têm uma grande importância neste processo de identificação de imagens, pois permitem aperfeiçoar ou validar os resultados da interpretação visual.

Florenzano (2008) explica que as imagens digitais captadas por sensoriamento remoto são interpretadas baseando-se em elementos de interpretação como: tonalidade, cor, textura, tamanho, forma, altura, padrão, localização e contexto.

Novo (2008) descreve que para extrair informações específicas as imagens digitais podem ser processadas visando realçar os aspectos relevantes da cena. Podem ser geradas composições coloridas a partir de diferentes combinações de bandas espectrais. Este processo de geração de cores é baseado na adição de cores primárias R(red), G(green) e B (blue), onde filtros com estas cores são associados a cada uma banda.

2.5.3 Modelo Digital de Elevação

De acordo com Moura (2003) os usos mais específicos dos modelos digitais de elevação para a gestão urbana referem-se à noção da morfologia da cidade como: Insolação (estudo da incidência solar), os estudos dos efeitos do sombreamento no terreno, os estudo das

faixas altimétricas e declividades (estudo de faixa de declividade no terreno que é fundamental na decisão de áreas propícias à ocupação urbana e áreas não edificadas).

Conforme Carvalho & Leite (2009), imagens de satélite, modelos digitais de elevação e mapas diversos são algumas das ferramentas da geotecnologia que só tem a favorecer o município e seus cidadãos, permitindo conhecimento mais técnico e profundo das variáveis do meio físico, proporcionando auxílio na forma de intervenção, ocupação e preservação do mesmo.

2.5.4 SRTM

A sigla SRTM é uma missão espacial conjunta entre a NASA, a Agência Espacial Italiana e o Centro Aerospacial Alemão com o objetivo de desenvolver um Modelo Digital de Elevação da superfície terrestre.

De acordo com Valeriano (2004), a missão utilizou um radar (SAR) a bordo do ônibus espacial *Endeavour* que foi projetado para gerar o Modelo Digital de Elevação da Terra através da técnica de interferometria. Nesta técnica a altitude é obtida através da medição da diferença de fase entre duas imagens radar sobre um mesmo local na Terra.

Os sobrevôos da SRTM ocorreram no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000. Após o processamento dos dados foi gerado primeiramente o MDE da América do Norte.

O sistema SRTM possuía um mastro de sessenta metros e em suas extremidades foram instaladas duas antenas para bandas C (com polarizações HH e VV e resolução espacial de aproximadamente 90 x 90 metros) e X (com polarização VV), para a captação dos dados em uma mesma órbita pelo menos duas vezes, garantindo o melhoramento dos dados coletados (DUREN et al., 1998).

Santos et al. (2005) avaliam a precisão vertical dos Modelos Digitais de Elevação com dados da SRTM, para a escala de 1:100.000, objetivando contribuir para o desenvolvimento do mapeamento plano altimétrico e estudos na região Amazônica. Essa avaliação evidencia a fidelidade dos dados SRTM quando confrontados com amostras de pontos coletadas com GPS geodésico em campo, concluindo na pertinência da utilização dos modelos SRTM para áreas com características de baixa variação de altitudes e na escala de 1:100.000 os dados SRTM apresentam-se como documento cartográfico de boa qualidade para a região da Amazônia.

2.6 SOFTWARES

2.6.1 Spring

O software Spring é de livre distribuição. Foi desenvolvido pela DPI/INPE (Divisão de Processamento de Imagens do INPE). O princípio básico do modelo de dados do sistema Spring é o de que dados geográficos podem ser descritos pelo conceito de geo-campo e geo-objeto. O repositório onde todos os dados são armazenados e manipulados é a entidade denominada “banco de dados”. Dentro do banco de dados, podem existir um ou mais projetos, onde cada projeto é composto por dados de uma determinada região geográfica (BARBOSA, 1997).

O autor diz ainda que, de acordo com o modelo de dados do Spring, somente é possível ter um projeto ativo por vez. Desta forma, é dentro de cada projeto que se forma o ambiente de trabalho. O ambiente de trabalho pode ter vários tipos de representações de dados, são elas: Imagem, Temático, Numérico, Objeto, Cadastral e Não-Espacial, onde somente as três primeiras são entidades geográficas, podendo ser modeladas como geo-campos, enquanto as outras são modeladas como geo-objeto.

Utilizando este software como peça de fundamental importância para o desenvolvimento desta pesquisa, mostra-se que é possível a realização de trabalhos relativamente complexos com software livre, sem perda de qualidade ou confiabilidade.

2.6.2 SegSAR

O SegSAR é um segmentador que pode ser utilizado para imagens SAR e imagens ópticas, utilizando técnicas de crescimento de regiões e permite várias imagens como entrada fornecendo informação para a segmentação. O SegSAR foi implementado em Interactive Data Language (IDL) e é executado no ambiente ENVI (Environment for Visualizing Images) conforme afirma Sousa Júnior (2005).

A segmentação de imagens pode ser manual ou automática. A primeira exige muita habilidade e conhecimento da área e o processamento é mais demorado, já a segmentação automática pode ser mais rápida e é agrupada em três categorias principais: ajuste de regiões, crescimento de regiões e detecção de bordas (WHITE, 1986 apud SOUSA JÚNIOR, 2005).

No processo de segmentação do SegSAR a imagem SAR a ser segmentada pode ser em amplitude, intensidade ou decibéis, mas o processamento da imagem de radar é feito em intensidade.

2.7 O MEIO FÍSICO DA ÁREA DE ESTUDO

2.7.1 Geologia

O contexto geológico regional da área de estudo (Figura 3) está constituído predominantemente por materiais cenozóicos pertencentes às unidades estratigráficas: depósito lacustre, cobertura sedimentar indiferenciada, formação Rio Madeira, material laterítico e rochas graníticas mesoproterozóicas pela Suíte Intrusiva Santo Antônio (OLIVEIRA, 2010).

Os **Depósitos lacustres** podem ser encontrados em porções localizadas em ambas as margens do rio Madeira. Permanecem na maioria do tempo inundadas e são formadas em terrenos predominantemente planos, onde geralmente estão associados com o escoamento de águas superficiais. Estes depósitos sedimentares possuem origem fluvio-lacustre e são compostos por sedimentos finos, areias, siltes e níveis de matéria orgânica.

Quadros et al. (2009) concluíram através de estudos realizados sobre a origem dos lagos a jusante da Cachoeira Santo Antônio que estes lagos são conectados com pequenos igarapés e podem desenvolver canais de escoamento interligados ao rio Madeira. Os autores dizem ainda que os lagos pantanosos apresentam como característica comum o desenvolvimento de vegetação típica de regiões alagadas, adquirindo o aspecto de um ambiente lacustre pantanoso e foram formados por sedimentos arenosos, siltosos e argilosos.

A **Cobertura sedimentar indiferenciada** é descrita por Scandolara et al. (1999) como sedimentos mal selecionados constituídos de cascalho, areia, silte e argila, distribuídos litoestratigraficamente entre os sedimentos modernos e as rochas cretácicas da Formação Parecis, com espessura inferior a 40 metros. São sedimentos derivados de leques aluviais, canais fluviais, planícies de inundação e lacustres, as vezes impregnados por o óxidos/hidróxidos de ferro ou mesmo lateritados.

A **Formação Rio Madeira** engloba os depósitos essencialmente fluviais originados pelo Rio Madeira, que se distribuem, nas margens esquerda e direita. Sua composição é formada primordialmente por sedimentos inconsolidados a semiconsolidados, parcialmente

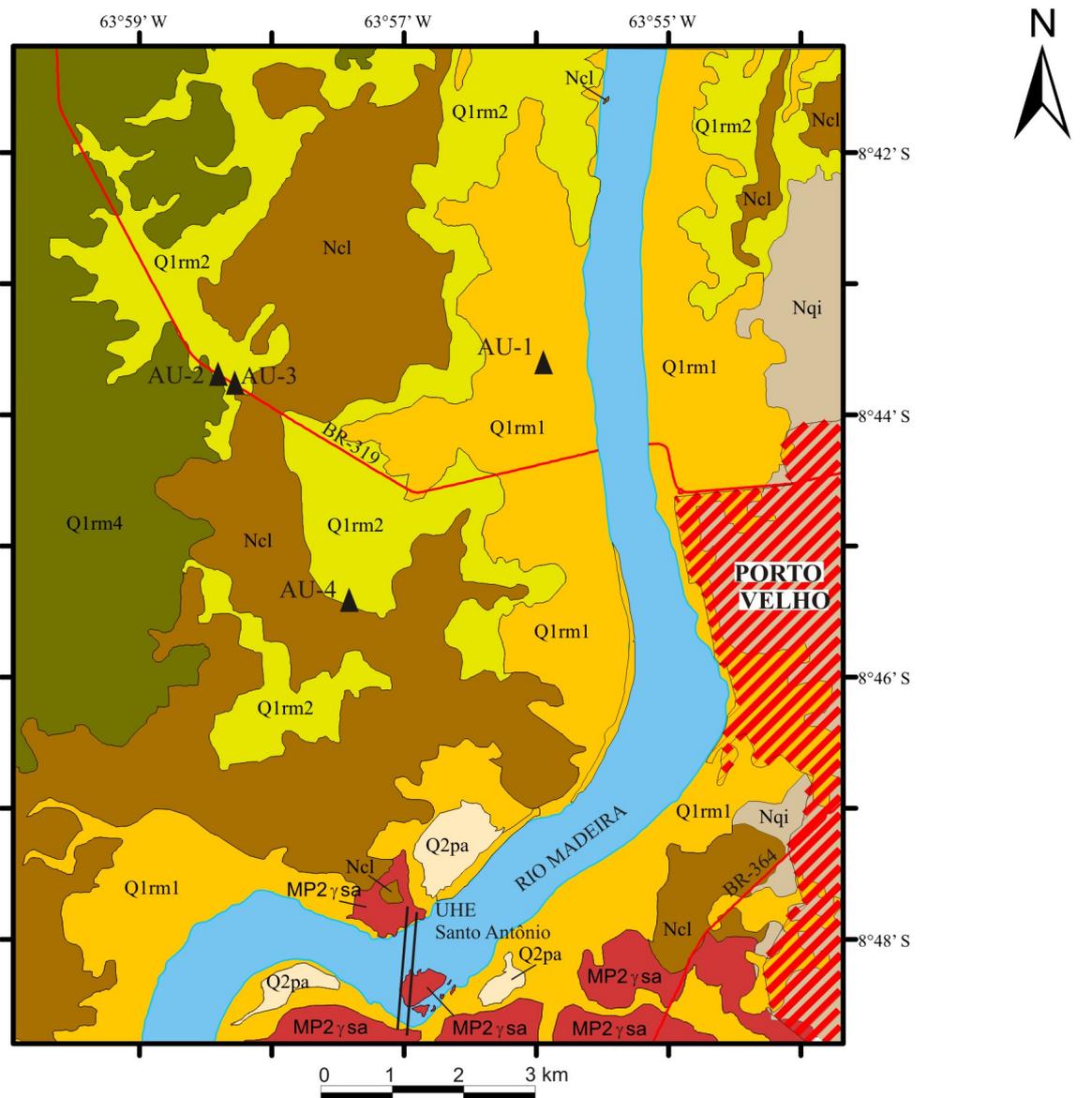
ferruginizados e depositados no leito ativo, margens e, com menos frequência, na planície de inundação dos rios, originando depósitos do tipo barras de canal longitudinal e transversal, barra em pontal, depósitos de diques marginais.

Depósitos de areia pouco espessos, com variação de granulometria dos pacotes com níveis conglomeráticos na parte basal. Areia média a grossa, mal selecionada e ferruginizada, intercalada com areia fina de cor amarelada, contendo quartzo, feldspato, ilmenita, hematita e magnetita rara. Na parte superior são depositadas camadas de argila/silte, que se apresentam intemperizadas, e em alguns afloramentos é observado o horizonte mosqueado. Camadas de silte e argila desenvolvem-se nas camadas superiores dos depósitos. Correspondem a depósitos de transbordamento nas bacias laterais de inundação ou depósitos associados a preenchimento dos baixios (OLIVEIRA, 2010).

As **Coberturas Lateríticas** que ocorrem na área urbana de Porto Velho e em seu entorno são caracterizadas por Nascimento et al. (2012) como de natureza imatura e ferruginosa, distribuídas em perfis incompletos de diferenciação supergênica, apresentando partes do horizonte ferruginoso (predominante), com suas zonas coesa e incoesa, e/ou partes horizonte argiloso, com suas zonas argilosa vermelha e mosqueada. Os materiais lateríticos da zona coesa possuem baixa densidade, com abundância de estrutura vesicular, poros e paleocondutos de raízes. Seu desmantelamento (zona incoesa) proporcionou a geração predominante de grãos nas frações seixo e grânulo envolto por argila.

As formas de relevo mais exuberantes estão associadas aos lateritos (zona coesa) em função de sua relativa resistência a processos intempéricos atuais. O desenvolvimento de superfícies rebaixadas nas áreas que ocorrem lateritos esta associado a paisagem onde afloram materiais ricos em argila (horizonte argiloso) e lateritos desmantelados (zona incoesa).

Quanto à **Suíte Intrusiva Santo Antônio** são denominados os termos graníticos do tipo biotita monzogranito, sienogranito com textura rapakivi e anti-rapakivi, quartzo-monozonito, pegmatito e aplítico subordinados e diques de diabásio contemporâneo. Por estarem submetidos aos processos intempéricos, afloram de forma descontínua, e existia com grande visibilidade na Cachoeira Santo Antônio, às margens do rio Madeira (OLIVEIRA, 2010).



LEGENDA

Cenozóico

- Q1rm1 Sedimentos aluvionares - Formação Rio Madeira 1, depósitos atuais e subatuais.
- Q1rm2 Sedimentos aluvionares - Formação Rio Madeira 2, barras subatuais.
- Q2pa Depósito lacustre - Sedimentos areno-argilosos relacionados as planícies de inundação.
- Q1rm4 Sedimentos aluvionares - Formação Rio Madeira 4, depósitos de terraços.
- Nqi Cobertura sedimentar indiferenciada.
- Ncl Cobertura laterítica.

Mesoproterozóico

- MP2 γ sa Suíte Intrusiva Santo Antônio.

Convenções Cartográficas

- Rodovia pavimentada federal
- Hidrografia
- UHE Santo Antônio
- Mancha urbana
- Pontos descritos e amostrados

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO ESTADO



Figura 3. Mapa geológico da área de estudo (modificado de OLIVEIRA, 2010).

2.7.2 Geomorfologia

Na área de estudo as feições de relevo caracterizam-se basicamente por uma morfologia arrasada, contemplando a planície de inundação do rio Madeira, as superfícies de aplanamento em nível baixo e médio. Portanto, está constituído por uma morfoescultura heterogênea, com desníveis inferiores a 100 metros.

A unidade geomorfológica predominante nesta área foi denominada de terraços altos não dissecados (RONDÔNIA, 1999), estabelecida com características específicas (Figura 4).

Unidades Geomorfológicas

Terraços Fluviais

Os terraços fluviais compreendem terrenos das planícies de inundação que se encontram em um nível mais elevado que áreas de várzeas e acima do nível das cheias sazonais. São constituídos por terrenos planos e dissecados, dispostos entre 15 a 20 metros acima das planícies fluviais e associados a terrenos de baixa declividade. Na área de estudo destacam-se dois tipos de terraços (RONDÔNIA, 1999), assim identificados:

- **Terraços Altos não Dissecados:** estão dispostos em terrenos planos e sem dissecação situados acima das planícies fluviais. Suas características estão diretamente relacionadas às drenagens da área, com indícios de inundação nos períodos chuvosos. Desenvolvem-se sobre sedimentos inconsolidados, onde o material superficial é de textura argilosa.
- **Terraços Baixos com presença de Leitões Abandonados e Pântanos:** caracterizados geralmente por um padrão que compreende áreas marginais às planícies de inundação dos rios, com presença de meandros abandonados, áreas alagadiças, ocorrendo sazonalmente processo de alagamento. Com topografia plana e declividade do terreno inferior a 1%. O sedimento é franco-argiloso, ocorrendo horizontes orgânicos em superfície.

Planícies Aluviais

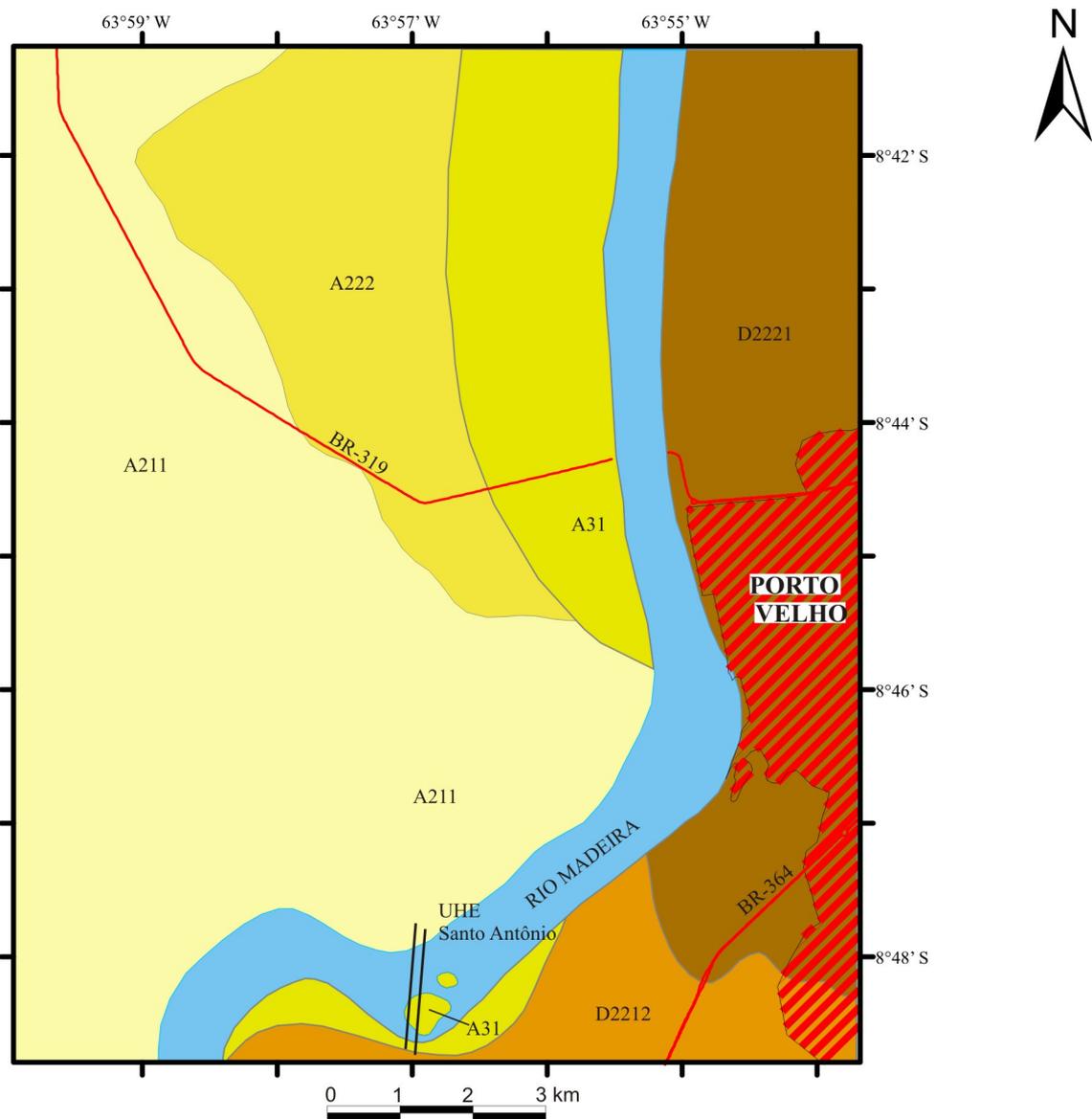
Correspondem as áreas ao redor dos cursos d'água sujeitas a inundações nos períodos invernosos. São constituídas de uma subunidade principal: **rios principais**, que são descritas

as unidades de relevo encontradas nas planícies inundáveis e vales dos rios principais, distribuídas como estreitas faixas e ainda como ilhas ao longo do rio de maior porte da região o Rio Madeira.

Unidades Denudacionais: Superfície de Aplanamento

Dantas & Adamy (2005) explicam que a superfície de aplanamento são caracterizadas por extensas superfícies planas a suavemente onduladas marcadas por incipiente entalhamento fluvial moderno, podendo ser mais ou menos expressivo.

Na área de estudo foram mapeadas duas unidades diferenciadas entre si pela altimetria, as quais podem ser subdivididas pelo nível de dissecação, representadas pela **Superfície de Aplanamento Nível II**, com altitudes entre 200 a 300 metros, pode apresentar distintos graus de dissecação (baixa e média), caracterizando-se ainda pela presença ou não de esporádicos inselbergs, tors e hillocks residuais.



LEGENDA

Unidades Geomorfológicas

Terraços Fluviais

A211 - Terraços altos não dissecados.

A222 - Terraços baixos com leitos abandonados e pântanos.

Planícies Aluviais

A31 - Rios principais.

Unidades Denudacionais: Superfície de Aplanamento

D2212 - Superfície de aplanamento de nível II (200 m > altitude < 300 m). Dissecção baixa; muitos tors e hillocks residuais.

D2221 - Superfície de aplanamento de nível II (200 m > altitude < 300 m). Dissecção média e nenhum ou esporádicos inselbergs e tors.

Convenções Cartográficas

-  Rodovia pavimentada federal
-  Hidrografia
-  UHE Santo Antônio
-  Mancha urbana

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO ESTADO



Figura 4. Mapa geomorfológico da área de estudo (modificado de RONDÔNIA, 1999).

2.7.3 Solos

Para descrever as classes de solo presentes na área de estudo foram adotados os dados obtidos pelo Zoneamento Socioeconômico-Ecológico do Estado de Rondônia (RONDÔNIA, 1999) e do Sistema Brasileiro de Classificação de Solo da Embrapa (2006).

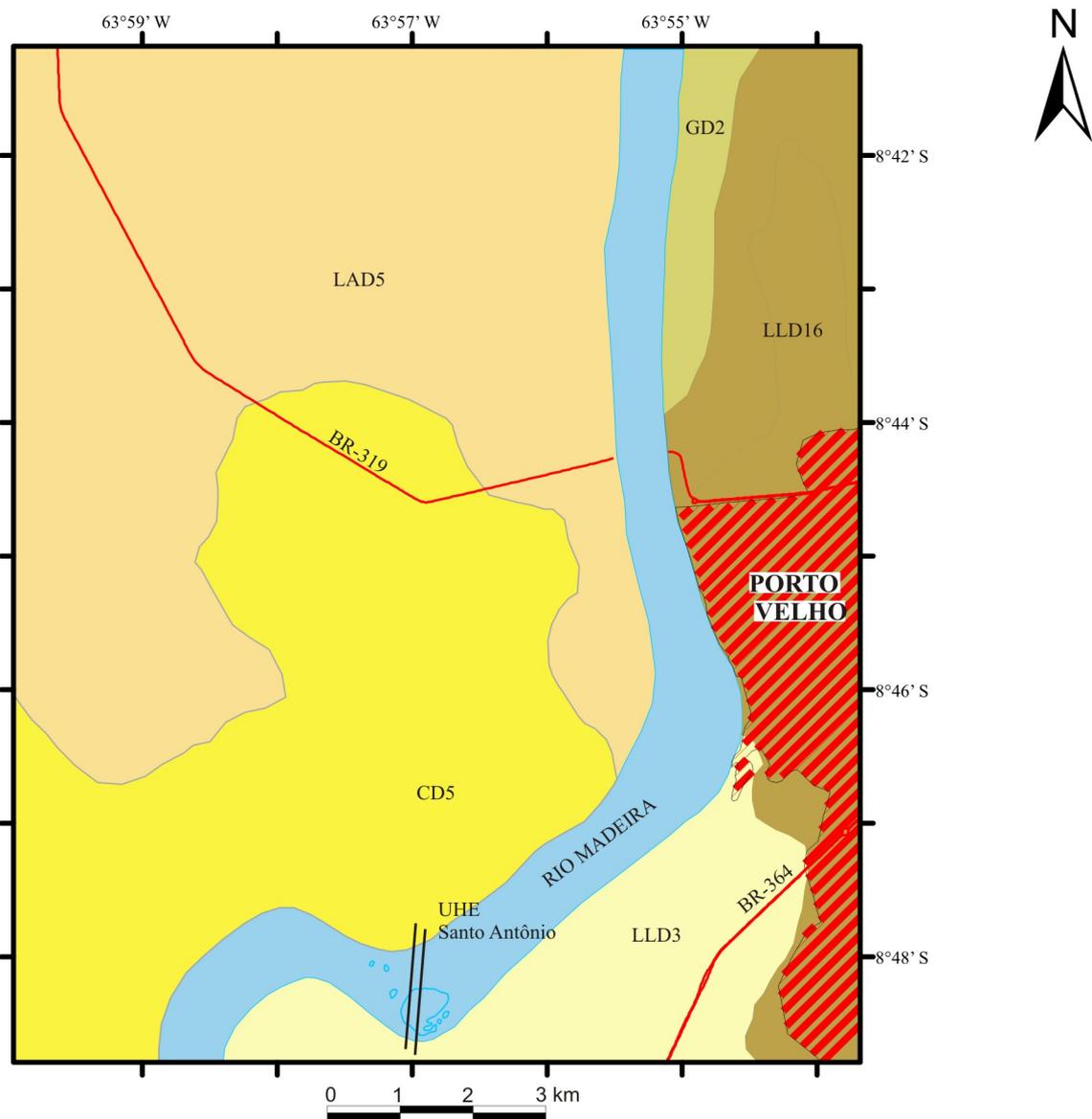
Os solos da região estudada apresentam duas classes de solos predominantes descritos como Latossolos amarelos distróficos e Cambissolos distróficos conforme pode ser observado na Figura 4.

As classes de solos são divididas em **Latossolos** que são solos bem desenvolvidos, ou seja, são constituídos essencialmente por minerais altamente intemperizados, com a drenagem acentuada a moderadamente drenada, mas também podendo ser imperfeitamente drenados e de baixa fertilidade. São solos profundos de 1 a 2 metros de espessura, ou muito profundos mais de 2 metros e pouca diferenciação de cor e textura em suas camadas. Distribuídos em terraços fluviais antigos, normalmente em relevo plano e suave ondulado (EMBRAPA, 2006).

De acordo com Rondônia (1999), os latossolos caracterizados na área de estudo são classificados em **Latossolos Amarelos Distróficos** que compreende solo de coloração amarelada e baixo teor em ferro, bem drenado e variando de argiloso a arenoso e **Latossolos Vermelho - Amarelos Distróficos** que apresentam coloração vermelho-amarelo e teor de ferro intermediário, com declividade de 0-2%, sendo bem drenado e argiloso ou com declividade de 2-8% bem drenado e fraco.

Os **Cambissolos** são constituídos por material com predomínio do horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial, dentro de 40 cm da superfície ou a 200 cm da superfície se precedido de um horizonte glei, ou de horizontes A ou E, ou de outro horizonte que apresente cores pálidas ou com mosqueados (EMBRAPA, 2006). Com declividade de 2-8%, bem drenado e argiloso.

Os **Solos Glei** possuem uma coloração acinzentada formada devido aos processos influenciados pelo lençol freático que satura o solo com inundações em determinado período do ano. A declividade varia de 0-2%, sendo que predominam a textura argilosa, ocorrem nas proximidades dos cursos de água, em relevo plano e regiões de terraços fluviais e/ou lacustres e são mal drenados.



LEGENDA

Classes de Solos

- CD5 - Cambissolos distróficos. Declividade de 2-8%, bem drenado, argiloso.
- GD2 - Solos glei distróficos. Declividade de 0-2%, mal drenado, argiloso.
- LAD5 - Latossolos amarelos distróficos. Declividade de 2-8%, bem drenado, argiloso.
- LLD16 - Latossolos vermelho - amarelos distróficos. Declividade de 0-2%, bem drenado, argiloso.
- LLD3 - Latossolos vermelho - amarelos distróficos. Declividade de 2-8%, bem drenado, fraco.

Convenções Cartográficas

- Rodovia pavimentada federal
- Hidrografia
- UHE Santo Antônio
- Mancha urbana

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO ESTADO



Figura 5. Mapa de solos da área de estudo (modificado de RONDÔNIA, 1999).

2.7.4 Vegetação

A área de estudo tem grande parte de sua vegetação nativa devastada. De acordo com o mapeamento descrito em Rondônia (1999) os polígonos apresentados são descritos em três categorias (Figura 6):

Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas: se desenvolvem sobre latossolos ou solos lateríticos, medianamente profundos e bem drenados. Caracterizam-se como sub-bosque geralmente denso e presença de pequenas palmeiras, sororocas e guarimãs. As espécies de palmeiras mais comuns de dossel são *Attalea maripa*, *A. phalerata*, *A. martiana*, mistas com espécies arbóreas como cedrorana, mogno e cerejeira.

Floresta Ombrófila Aberta Submontana: sua presença esta associada aos solos antigos, rasos. Possui indivíduos emergentes ao dossel, podendo estar associadas a palmeiras e cipós. Entre as palmeiras, destacam-se o babaçu, o coco cabeçudo e inajá. No dossel ocorrem espécies arbóreas como o cumaru, margonçalo e gema-de-ovo.

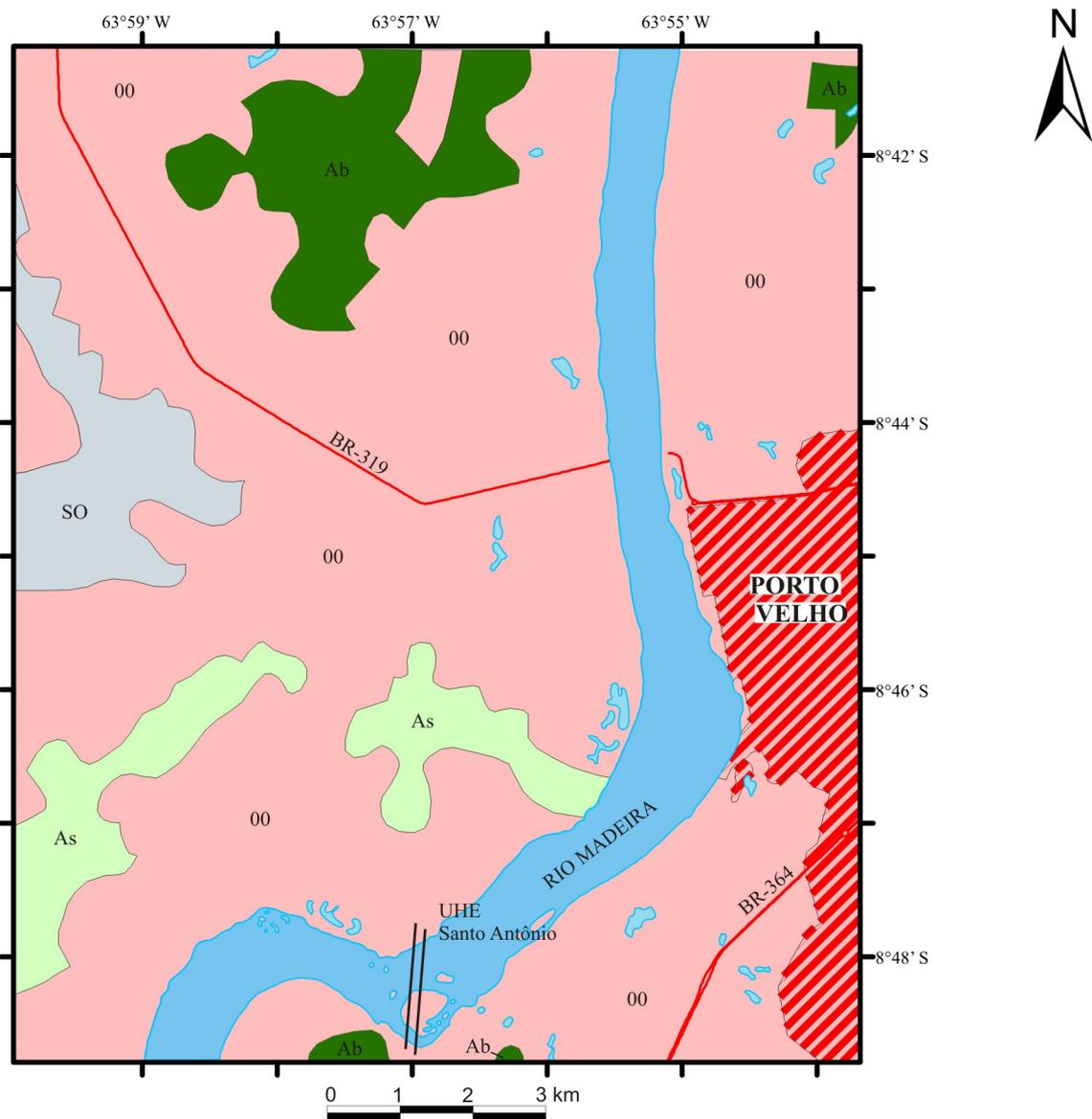
Contato Savana/Floresta Ombrófila: ocorrem em solos geralmente pobres e as transições mais significativas ocorrem entre as savanas abertas (parque) e florestas ombrófilas abertas com palmeiras e cipós. São comuns espécies como o umiri, jacareúba. Nas formações savânicas associadas ocorrem a lixeira, pau-de-tucano, *Salvertia convaliodora* e veredas de burutis (*Mauritia flexuosa*).

Pereira et al. (1996) descrevem características mais detalhadas na margem esquerda do Rio Madeira como sendo de extensas áreas de pastagens e restritas áreas de cultivo e capoeira localizada às margens da BR-319.

2.7.5 Precipitação pluviométrica

As principais características do regime pluviométrico do município de Porto Velho de acordo com os dados da SEDAM (2010) são os períodos sazonais bem definidos, o período chuvoso (de novembro a abril) com precipitação mensal (ano de 2008), oscilou entre 241,3 mm a 496,0 mm e um período de estiagem de junho a setembro com precipitação mensal entre 4,6 mm a 36,6 mm, sendo os meses de maio e outubro considerados meses de transição de um regime para outro.

A precipitação média anual varia na área de estudo, sendo aproximadamente 1900 mm ao sul e 2000 mm ao norte (PINTO et al., 2011).



LEGENDA

Classes de Vegetação

- 00 - Áreas antropizadas
- Ab - Floresta Ombrófila Aberta de Terras Baixas
- As - Floresta Ombrófila Aberta Submontana
- SO - Contato Savana / Floresta Ombrófila

Convenções Cartográficas

- Rodovia pavimentada federal
- Hidrografia
- UHE Santo Antônio
- Mancha urbana

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO ESTADO



Figura 6. Mapa de vegetação da área de estudo (modificado de RONDÔNIA, 1999).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento da pesquisa dividiu-se em três etapas para aquisição de dados. Na primeira etapa foram realizados levantamentos bibliográficos, a caracterização temporal do desmatamento e a elaboração de mapas temáticos (modelo digital de elevação com dados SRTM, mapa de declividade e classificação das imagens ALOS/PALSAR). Na segunda etapa com os trabalhos de campo identificaram-se as áreas com potencial de alagamento e sua associação com as formas de relevo, a validação dos resultados gerados com o auxílio do geoprocessamento, além de coleta de amostras de solo. Na terceira e última etapa realizaram-se os estudos das análises de granulometria das amostras coletadas no campo, obtendo-se dados mais detalhados para a avaliação de áreas com potencial de alagamento bem como para o entendimento do contexto e relações com o meio físico.

3.1 PRIMEIRA ETAPA

Para a realização desta pesquisa foi realizado um levantamento do material bibliográfico, utilizando-se do acervo bibliográfico do Serviço Geológico do Brasil/CPRM de Porto Velho e Universidade Federal de Rondônia, incluindo também a biblioteca virtual científica, Scientific Electronic Library Online – SCIELO, onde se constatou uma reduzida quantidade de publicações desta área de estudo.

Os aplicativos utilizados para o processamento dos dados foram:

- SPRING 5.1.8;
- SegSAR (SOUSA JÚNIOR, 2005).

Para o armazenamento dos dados adquiridos foi criado um banco de dados geográfico no software Spring denominado Palsar.

O pré-processamento das imagens ALOS/PALSAR como recortes, mosaico, filtragem *Frost* foram realizadas no Spring 5.1.8, as segmentações das imagens no segmentador SegSAR, as classificações e as validações das classificações finais foram realizadas no Spring 5.1.8;

Todos os processamentos foram realizados em um microcomputador com processador Intel Core i5, com velocidade de processamento de 2.2 GHz, 4 GBytes de memória RAM e HD de 500 GBytes e sistema operacional Windows XP.

3.1.1 CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL DO DESMATAMENTO

Para caracterização temporal do desmatamento a documentação cartográfica utilizada foi obtida via Internet do catálogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e descritas abaixo:

Imagem orbital Landsat 5 – TM órbita ponto 232/066 data 04/08/1987.

Imagem orbital Landsat 5 – TM órbita ponto 232/066 data 14/07/1997.

Imagem orbital Landsat 5 – TM órbita ponto 232/066 data 13/08/2008.

Imagem orbital Landsat 5 – TM órbita ponto 232/066 data 06/08/2011.

Nas imagens Landsat 5 - TM foram feitas a composição R(5) G(4) B(3) para verificar a expansão da área desmatada em décadas diferentes, em seguida estas imagens foram segmentadas, classificadas e exportadas em formato shapefile para o software TerraView 4.1.0, para realização do cálculo da porcentagem de desmatamento temporalmente.

O TerraView (2010) é um software livre, desenvolvido pela DPI/INPE e possui ferramentas de visualização e ferramentas de análises de dados geográficos.

3.1.2 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

Os dados do modelo digital de elevação foram adquiridos da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) pelo site oficial da NASA, com *pixel* originalmente de aproximadamente 90 metros.

Após a aquisição os dados foram importados para o Spring, na extensão geotiff e foi gerada uma grade. A nova imagem foi interpolada por meio do interpolador bicúbico, que, segundo Crepani & Medeiros (2004), consiste no refinamento de uma grade retangular de MNT para diminuir o espaçamento entre os pontos da grade original por interpolação criando uma nova grade.

Assim, o modelo digital de elevação com dados SRTM, que originalmente possuía resolução espacial de 90 metros, após o refinamento pelo software Spring, com geração da grade, o pixel teve sua resolução melhorada para 10 metros.

3.1.3 MAPA DE DECLIVIDADE

A partir da derivação da grade do modelo digital de elevação criado anteriormente, foram geradas as declividades da área com a utilização do software Spring. Foi selecionada a opção MNT/Declividade com a opção de saída dos valores em porcentagem, conseqüentemente foi necessário definir os intervalos de relevo a serem utilizados no fatiamento e nas classes temáticas. As classes de relevo qualificam condições de declividade, e esta classificação foi realizada conforme sugerido por Embrapa (2006), sendo elas:

- ***plano*** – superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades variáveis de 0 a 3%.
- ***suave ondulado*** – superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50m e de 50 a 100m), apresentando declives suaves, predominantemente variáveis de 3 a 8%.
- ***ondulado*** – superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas ou outeiros, apresentando declives moderados, predominantemente variáveis de 8 a 20%.
- ***forte ondulado*** – superfície de topografia movimentada, formada por outeiros ou morros (elevações de 50 a 100m e de 100 a 200m de altitudes relativas) e raramente colinas, com declives fortes, predominantemente variáveis de 20 a 45%.
- ***montanhoso*** – superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes ou muito fortes, predominantemente variáveis de 45 a 75%.
- ***escarpado*** – áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes, tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuevas, falésias, vertentes de declives muito fortes, usualmente ultrapassando 75%.

3.1.4 MAPEAMENTO DE ÁREAS POTENCIALMENTE ALAGÁVEIS

Para a classificação e identificação de áreas potencialmente alagáveis nos períodos de chuva e seco, foram utilizadas imagens do satélite ALOS/PALSAR, adquiridas do Sistema de Proteção da Amazônia - SIPAM e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE por meio da internet.

Tabela 1. Características das imagens ALOS/PALSAR utilizadas.

Plataforma	Data de Aquisição	Modo	Polarização	Tamanho do Pixel (m)	Período
Palsar	01/01/2008	FBS	HH	6,25	Chuva
Palsar	01/01/2008	FBS	HH	6,25	Chuva
Palsar	01/08/2008	FBD	HH e HV	12,5	Seca

Para auxiliar na análise das classificações realizadas foram utilizadas fotografias aéreas na escala 1:30.000, Aeromapa (2005). Estas imagens foram disponibilizadas pelo Serviço Geológico do Brasil/CPRM de Porto Velho.

Para a identificação de áreas potencialmente alagáveis foi efetuada uma adaptação no método proposto por Renó & Novo (2011), que consiste basicamente na utilização de imagens ALOS/PALSAR do período de cheia e seco para identificação de áreas sazonalmente inundadas no estado do Pará, os procedimentos realizados neste estudo foram: segmentação multidata das imagens ALOS/PALSAR pelo método de crescimento de regiões e classificação não supervisionada por região.

Para realização do estudo foram necessárias imagens dos períodos chuvoso e seco. Para o período chuvoso foram utilizadas duas cenas do radar ALOS/PALSAR, banda L, módulo fine (refinado de precisão) que permite a captura de imagens de dia ou de noite com precisões variáveis, ambas as imagens são do modo FBS, polarização HH e pixel de 6,25 m, de 01 de janeiro de 2008, sendo necessário utilizar a técnica de mosaico de imagens para abranger toda a área de estudo. E para análise do período seco foi utilizada uma cena do modo FBD, com dois canais, cada canal possui uma polarização HH e HV e pixel de 12,5m capturada em 01 de agosto de 2008, esta imagem é disponibilizada pelo IBGE no endereço: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/imagens/Alos>.

As imagens originais do período chuvoso e seco com resolução radiométrica de 32 bits e 16 bits respectivamente foram reescaladas para 8 bits e processadas no sistema Spring 5.1.8.

Posteriormente foi realizada a aplicação do filtro adaptativo *Enhanced Frost*, janela (3x3) que suaviza o efeito do ruído *speckle* - estes ruídos introduzem um aspecto granuloso às imagens – em seguida foram recortadas de acordo com as coordenadas da área de estudo (Figura 7).

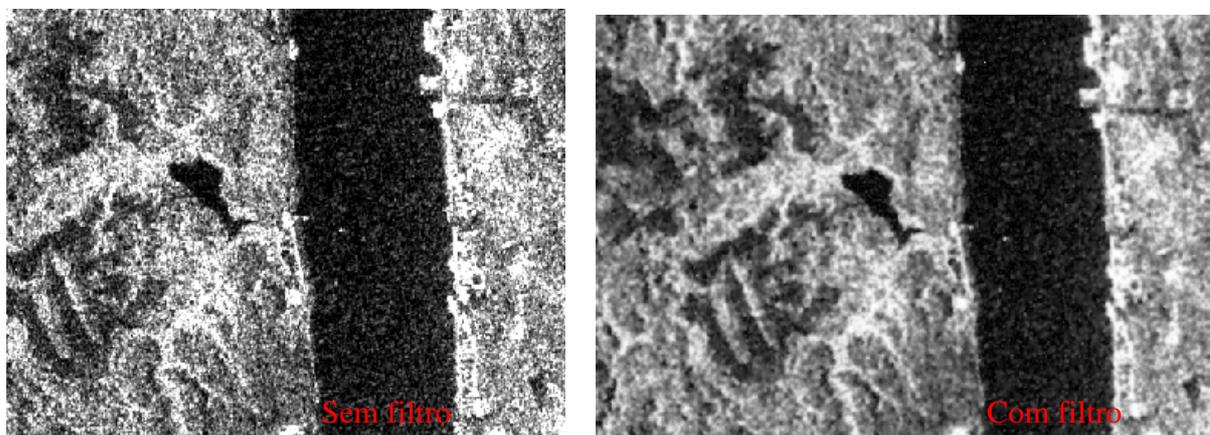


Figura 7. Demonstração do Filtro Enhanced Frost na imagem ALOS/PALSAR.

Para que as imagens de radar demonstrem melhores resultados é necessário efetuar técnica de classificação por crescimento de regiões, que exige alguns parâmetros definidos pelo usuário. Porém, para melhorar a interpretação é necessário primeiramente executar o procedimento de segmentação, que consiste basicamente no particionamento da imagem em segmentos agrupados com os pixels próximos que possuem características semelhantes. Para a etapa de segmentação foi utilizado o segmentador SegSAR na imagem do período chuvoso, na imagem do período seco o segmentador do Spring, os resultados foram exportados para o Spring para execução da classificação.

O procedimento de classificação utilizado necessita que sejam definidas amostras para treinamento com base em características de cada classe de uso na imagem. É necessário um maior número de amostras do mesmo tema para que a classificação tenha um resultado mais eficiente.

Neste caso foram selecionadas amostras de áreas úmidas, água, área urbana, desmatamento e vegetação, que foram analisadas quanto as confusões dos temas, ou seja, quais amostras foram classificadas como uma determinada classe quando pertencia a outra classe.

Após a execução de diversos testes com os diferentes métodos de classificação existente, de efetuar a segmentação, definir as classes, realizar o treinamento das amostras, a imagem foi classificada com o classificador que demonstrou melhores resultados, o *Batthachrya* que mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais.

Com a classificação disponível foram necessários alguns procedimentos para ajustar os resultados gerados. A utilização da ferramenta de edição matricial no Spring, possibilitou realocar os pixels que estão sujeitos a erros de classificação, essa edição foi feita através de interpretação visual e conhecimento de campo do intérprete.

Em seguida, estas classificações foram exportadas em formato shapefile para o software TerraView 4.1.0 para realização do cálculo da porcentagem de áreas úmidas, porém, como as áreas urbanas refletem mais energia de volta para o sensor do radar, o entorno e a área urbana das imagens ALOS/PALSAR podem ter sido classificados como áreas úmidas erroneamente. Portanto, para o cálculo de áreas potencialmente alagáveis foram somados apenas os polígonos localizados na margem esquerda do Rio Madeira.

3.2 SEGUNDA ETAPA

Os trabalhos de campo foram realizados visando o reconhecimento da área de estudo, averiguação e validação dos mapas de áreas potencialmente alagáveis, obtidos a partir de dados temáticos gerados nas classificações de imagens ALOS/PALSAR, incluindo descrições georreferenciadas de pontos e coleta de amostras para análises granulométricas.

3.3 TERCEIRA ETAPA

As análises granulométricas foram realizadas no laboratório de análises minerais do Serviço Geológico do Brasil/CPRM de Porto Velho.

Foram selecionados três pontos distintos de amostragem da área de estudo para análises granulométricas, para obter informações adicionais quanto a permeabilização da área de estudo. A técnica utilizada foi o ensaio combinado por via úmida e seca. As amostras passaram por etapas de secagem, desagregação, quarteamento, lavagem, secagem, peneiramento a seco e pesagem das frações. As alíquotas finais das amostras utilizadas tiveram seus pesos entre 218g e 270g.

As amostras primeiramente foram pesadas e secas na estufa, esta secagem é feita em estufa de ar circulante, cuja temperatura não excede 65°C, para evitar a perda de massa dos materiais voláteis porventura existentes. Em seguida a amostra é desagregada manualmente. Para redução do volume as amostras foram quarteadas, em seguida para remover a fração fina (silte+argila) efetua-se a lavagem com a utilização da peneira de 250 mesh até que a água fique mais clara. O material retido retorna novamente para estufa de ar circulante e o restante para decantação em outro recipiente que posteriormente também irá para estufa.

O passo seguinte foi o peneiramento, que consiste basicamente em um processo de classificação de partículas por tamanho. No peneiramento a seco foram separadas as aberturas de malhas utilizadas, que foram 5, 9, 16, 35, 60, 100, 250 e <250 mesh. As peneiras selecionadas foram colocadas uma sobre a outra em ordem descendente de abertura de suas malhas com uma tampa e um fundo, com um encaixe para evitar perdas de material, na seqüência foram colocadas em um agitador de peneiras para vibrar por um tempo necessário para a separação das partículas de diferentes tamanhos. A escala granulométrica utilizada neste laboratório é a de Wentworth (1922), que apresenta uma classificação dos sedimentos mais grossos até os mais finos. O resultado obtido representa a distribuição percentual em peso dos diferentes tamanhos das partículas e a separação das frações silte + argila das frações mais grossas dos materiais de estudo, entre um limite superior e um limite inferior em determinados intervalos de tamanhos presentes em suas populações. Os ensaios quando realizados corretamente essa diferença não pode ser superior a dois pontos percentuais, pois quando isto ocorre indica perdas significativas da amostra durante a realização dos procedimentos e exige que as análises sejam refeitas, em todos os resultados apresentados este valor não excedeu a 1,197% de erros.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO TEMPORAL DO DESMATAMENTO

As imagens ópticas quando aplicadas técnicas de geoprocessamento, permitem o monitoramento dos fenômenos no meio ambiente, como o desmatamento, facilitando na caracterização das áreas de cobertura florestal, uso e ocupação do solo.

A identificação de áreas desmatadas colabora com a interpretação de áreas com potencial de alagamento, pois sem a vegetação aumenta o escoamento superficial e a infiltração natural no solo é dificultada principalmente em solos argilosos.

Os resultados das classificações da imagem orbital LANDSAT5 de 04/08/1987 (Figura 8) demonstra que 33,91 %, desta área foi antropizada, que corresponde a 54,2 km². O desmatamento se distribuía num tipo linear condensado ao longo da rodovia BR-319. Com a tonalidade escura é possível distinguir áreas que sofreram queimadas. Em suas partes norte e oeste, os sinais de ocupação eram esparsos. Porém ao sul, há indícios de antropização que adensa um pouco mais na margem esquerda do Rio Madeira, iniciando os processos de interiorização na parte central no limite inferior da área de estudo.

A referida rodovia representa o eixo principal de circulação da área de estudo, possuindo extensão de 877,40 km, e corta os estados de Rondônia e Amazonas. Suas obras foram iniciadas em 1968 e concluídas em 1973, mas sua inauguração ocorreu oficialmente em 27 de março de 1976. Sua principal finalidade a interligação terrestre dos dois pólos de desenvolvimento da Amazônia, porém em menos de dois anos, a falta de manutenção agregado com as condições climáticas e ambientais da região deixaram diversos trechos desta rodovia intransitáveis. A reconstrução e pavimentação atual desta via é uma obra do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte - DNIT e recebe investimentos do Programa de Aceleração do Crescimento - PAC do Governo Federal.

A imagem orbital LANDSAT5 de 14/07/1997 (Figura 9) demonstra o acelerado crescimento da devastação de floresta nativa no entorno da BR-319 e de estradas de acesso, este aumento do desmatamento foi de 58,99 km², o que equivale a 36,90% do total da área de estudo e um incremento de 2,99% em relação a Figura 8.

A ocupação impulsiona os acessos e que posteriormente gera uma demanda maior de penetração, estimulando o incremento do desmatamento progressivo. A porção norte apresenta a densidade de drenagens mais preservadas em comparação à porção sul.

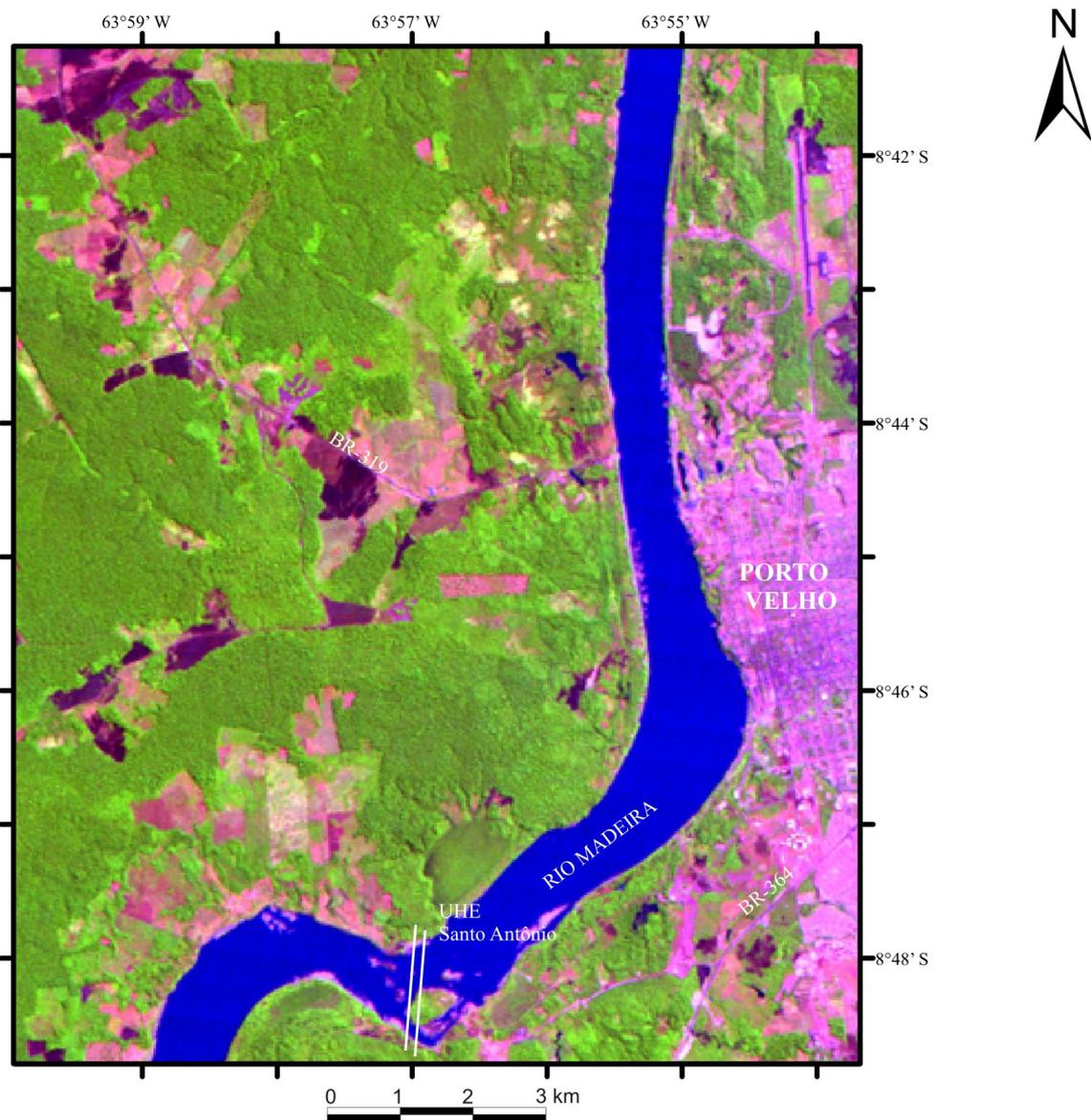
Alguns dos fatores deste desmatamento ocorreram devido os primeiros cultivos de soja na região na década de 1990, a agricultura pode ter sido favorecida pelas características de relevo aplainado. Em 1995 iniciaram as obras para construção do porto graneleiro em Porto Velho que foram concluídas em 1997. A hidrovía permite a integração de Porto Velho, ao Porto de Itacoatiara, no Rio Amazonas, possibilitando o transporte dos produtos agrícolas do estado e de outras regiões do oeste do estado do Mato Grosso.

Na imagem orbital LANDSAT5 de 13/08/2008 (Figura 10) é possível observar que a devastação acelerada da floresta nativa é notória em grande parte desta área. Os resultados das classificações desta imagem demonstram que esta devastação foi de 42,12%, que correspondem a 67,66 km² e um incremento de 5,22% em relação a Figura 9.

A dinâmica de ocupação irradiada a partir do eixo da BR-319 continua a mostrar reflexos com outras frentes de antropização, confirmando os estudos que evidenciam as estradas como vetores do desmatamento na Amazônia.

A parte Sudoeste, na imagem anterior apresentava pequenos avanços da fronteira do desmatamento nesta área, em 2008 demonstra intensificação de áreas desmatadas e também a presença de reservatórios para piscicultura. Na porção leste a área urbana da cidade de Porto Velho não demonstrou maiores avanços de desmatamento. Ainda nesta imagem foi possível a identificação de lagos que correspondem a corpos hídricos rasos que são abastecidos principalmente por águas pluviais, reduzindo consideravelmente de tamanho durante o período de menor precipitação.

Na imagem orbital LANDSAT5 de 06/08/2011 (Figura 11) a ocupação humana torna-se mais expressiva, correspondendo a 44 % da área de estudo, ou seja, 70,51 km² e um incremento de 1,88% em relação a Figura 10. Ao norte ocorre em todo o entorno da BR-319 e ramais. Na porção sul há uma ocupação crescente, propagada principalmente na margem esquerda do Rio Madeira devido as instalações de parte dos alojamentos e canteiro de obras da Usina Hidrelétrica Santo Antônio e na margem direita observa-se o crescimento urbano da cidade de Porto Velho. Essa fragmentação da cobertura vegetal tende a se agravar cada vez mais.



LEGENDA

	Mata nativa
	Área antropizada
	Mancha urbana
	Queimada

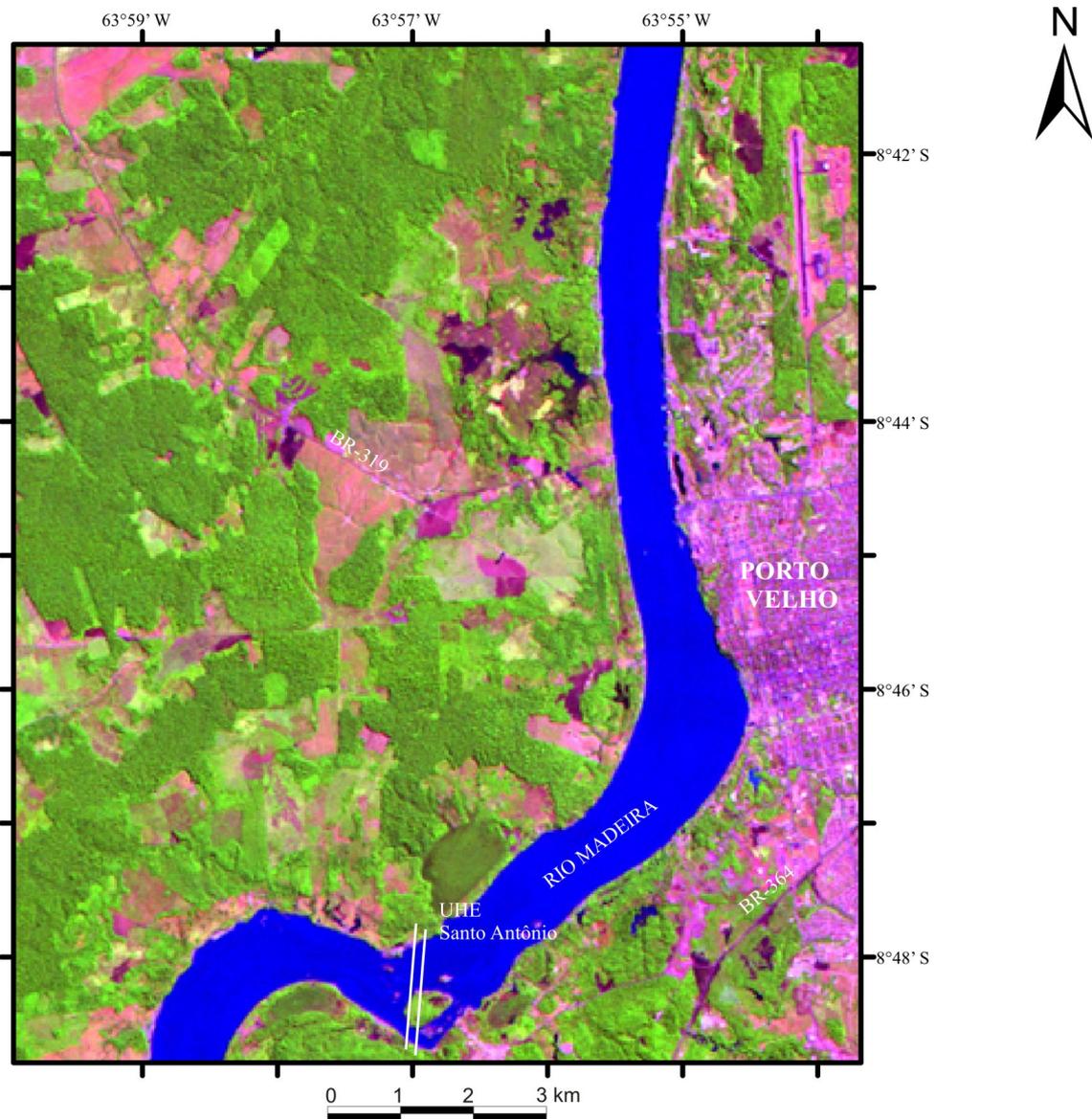
Convenções Cartográficas

	Hidrografia
	UHE Santo Antônio

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO ESTADO



Figura 8. Carta imagem LANDSAT5 de 04/08/1987, bandas 5, 4 e 3.



LEGENDA

-  Mata nativa
-  Área antropizada
-  Mancha urbana

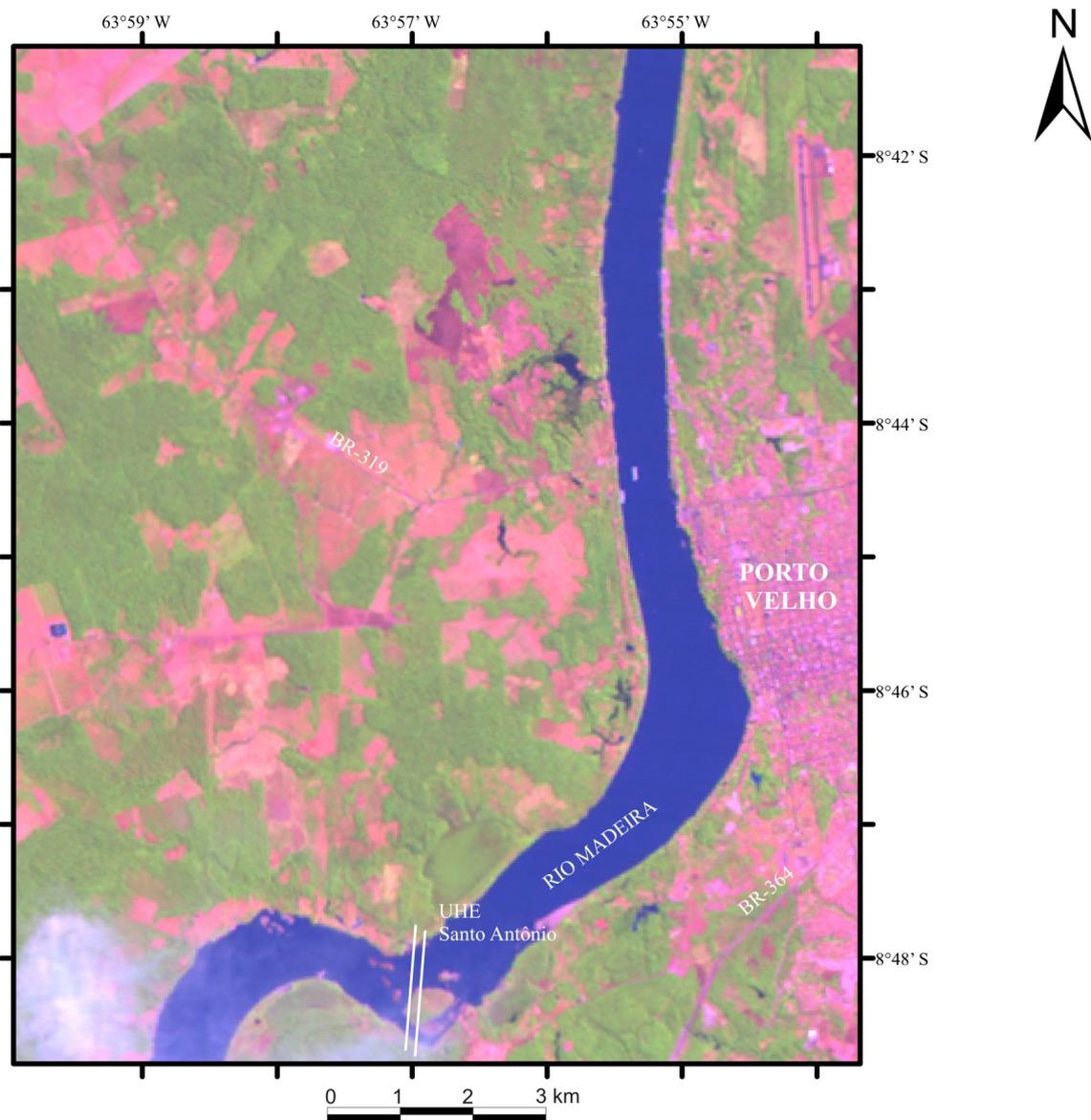
Convenções Cartográficas

-  Hidrografia
-  UHE Santo Antônio

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO ESTADO



Figura 9. Carta imagem LANDSAT5 de 14/07/1997, bandas 5, 4 e 3.



LEGENDA

	Mata nativa
	Área antropizada
	Mancha urbana

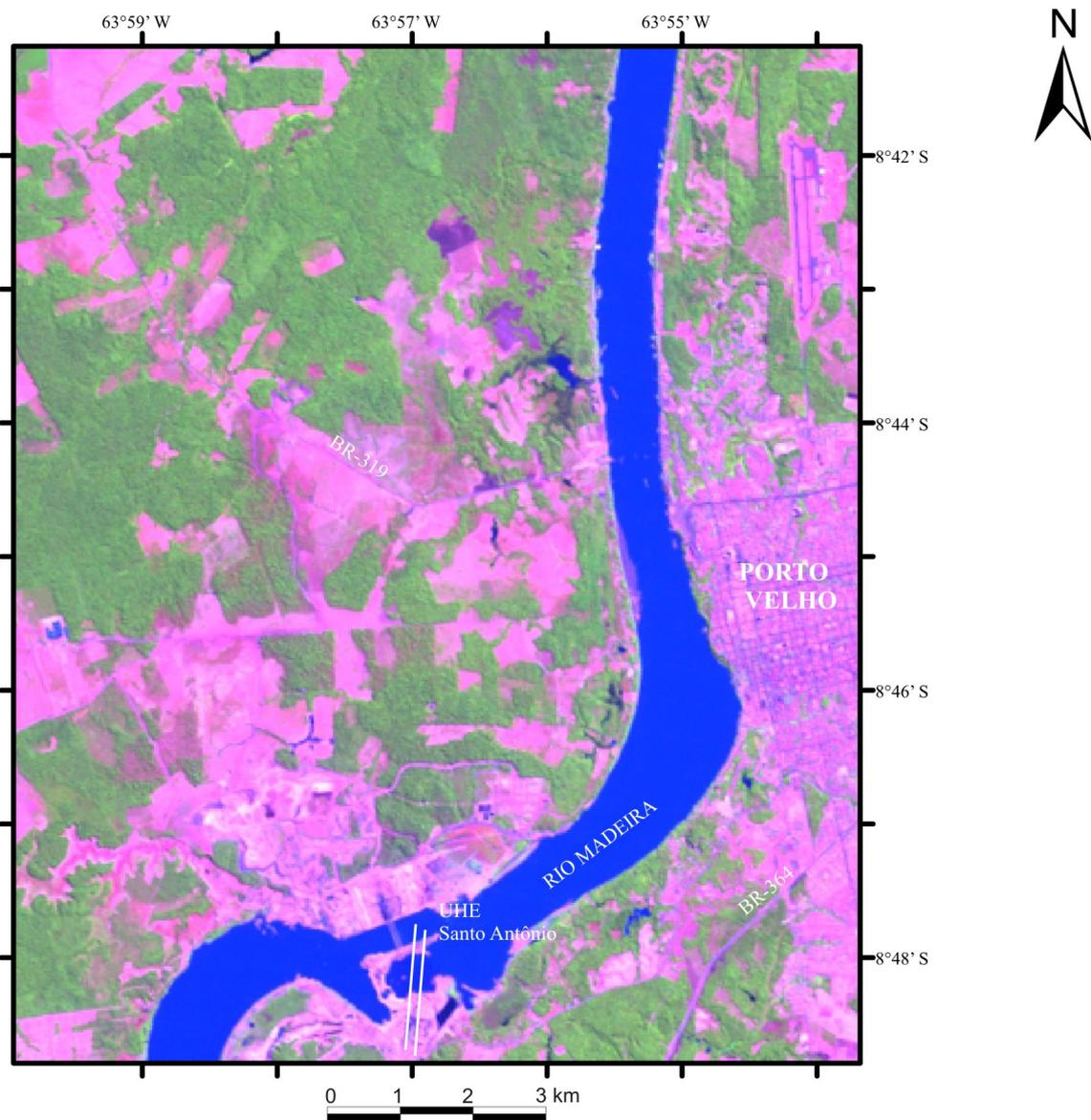
Convenções Cartográficas

	Hidrografia
	UHE Santo Antônio

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO ESTADO



Figura 10. Carta imagem LANDSAT5 de 13/08/2008, bandas 5, 4 e 3.



LEGENDA

	Mata nativa
	Área antropizada
	Mancha urbana

Convenções Cartográficas

	Hidrografia
	UHE Santo Antônio

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO ESTADO



Figura 11. Carta imagem LANDSAT5 de 06/08/2011, bandas 5, 4 e 3.

4.2 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

O modelo digital de elevação se apresenta desprovido de elevações ou depressões acentuadas. Os resultados demonstram valores máximos de aproximadamente 113m de elevação (Figura 13), porém os dados da SRTM precisam ser interpretados com cautela, pois no período de aquisição destes dados no ano de 2000 a cobertura vegetal permanecia sem fortes indícios de alterações e devido ao baixo poder de penetração das ondas eletromagnéticas nas áreas de cobertura florestal densa, a maior parte da energia eletromagnética recebida pelo sensor é refletida pelas copas das árvores.

Outra característica observada nos resultados dos dados SRTM é sua sensibilidade a feições antrópicas de expressão topográfica, foi possível observar o desnível da superfície causado pelo desmatamento em diversos locais e as menores altitudes que estão relacionadas à planície de inundação do Rio Madeira. No ponto demarcado na Figura 12, o contraste entre estas feições e suas margens corresponde a um desnível em torno de 20m, compatível com a altura da floresta. É razoável suspeitar que pequenos desníveis poligonais salientes sobre o padrão de relevo se devam a variações dos dosséis vegetais.

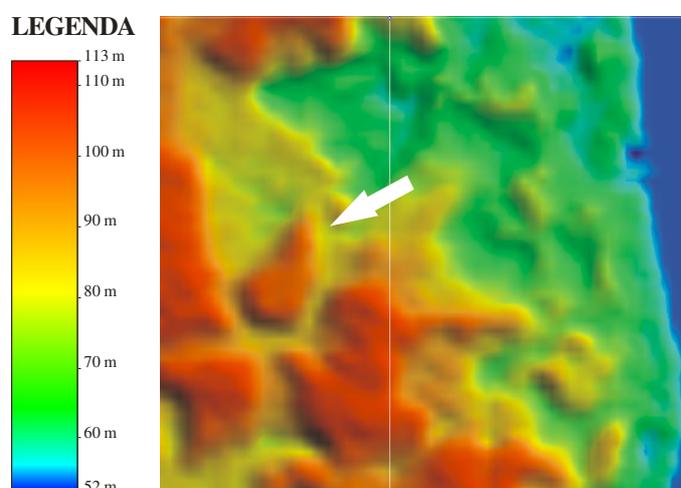


Figura 12. Desnível compatível com a altura da vegetação com dados SRTM.

4.3 MAPA DE DECLIVIDADE

O mapa de declividade foi gerado com cinco classes de relevo, porém na área de estudo os resultados demonstram que o relevo plano predomina em grande parte, sendo seguido por relevo suave ondulado e relevo ondulado, em alguns poucos pontos o relevo forte ondulado e em apenas um polígono do relevo montanhoso, que se encontra na margem direita do Rio Madeira (Figura 14).

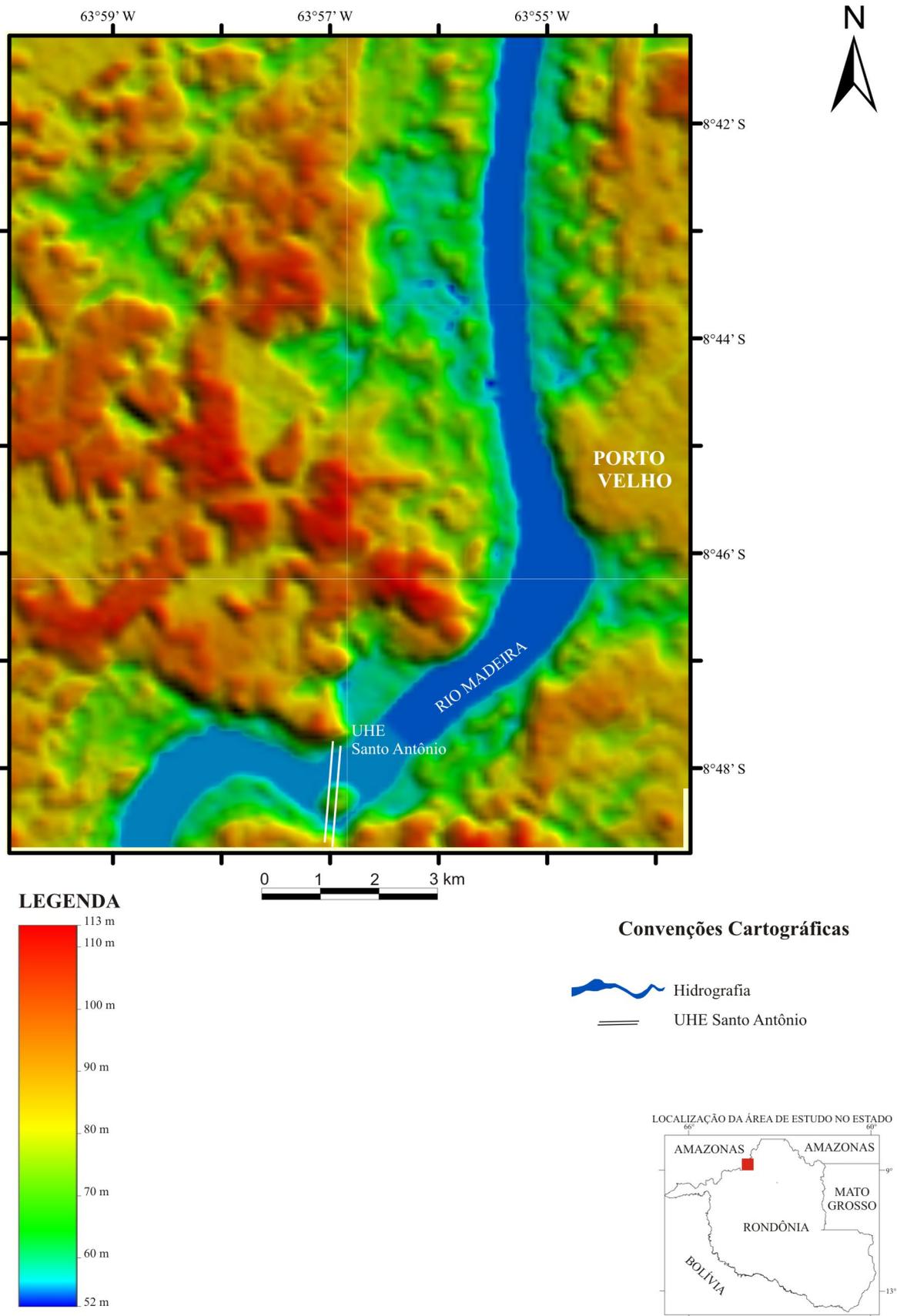
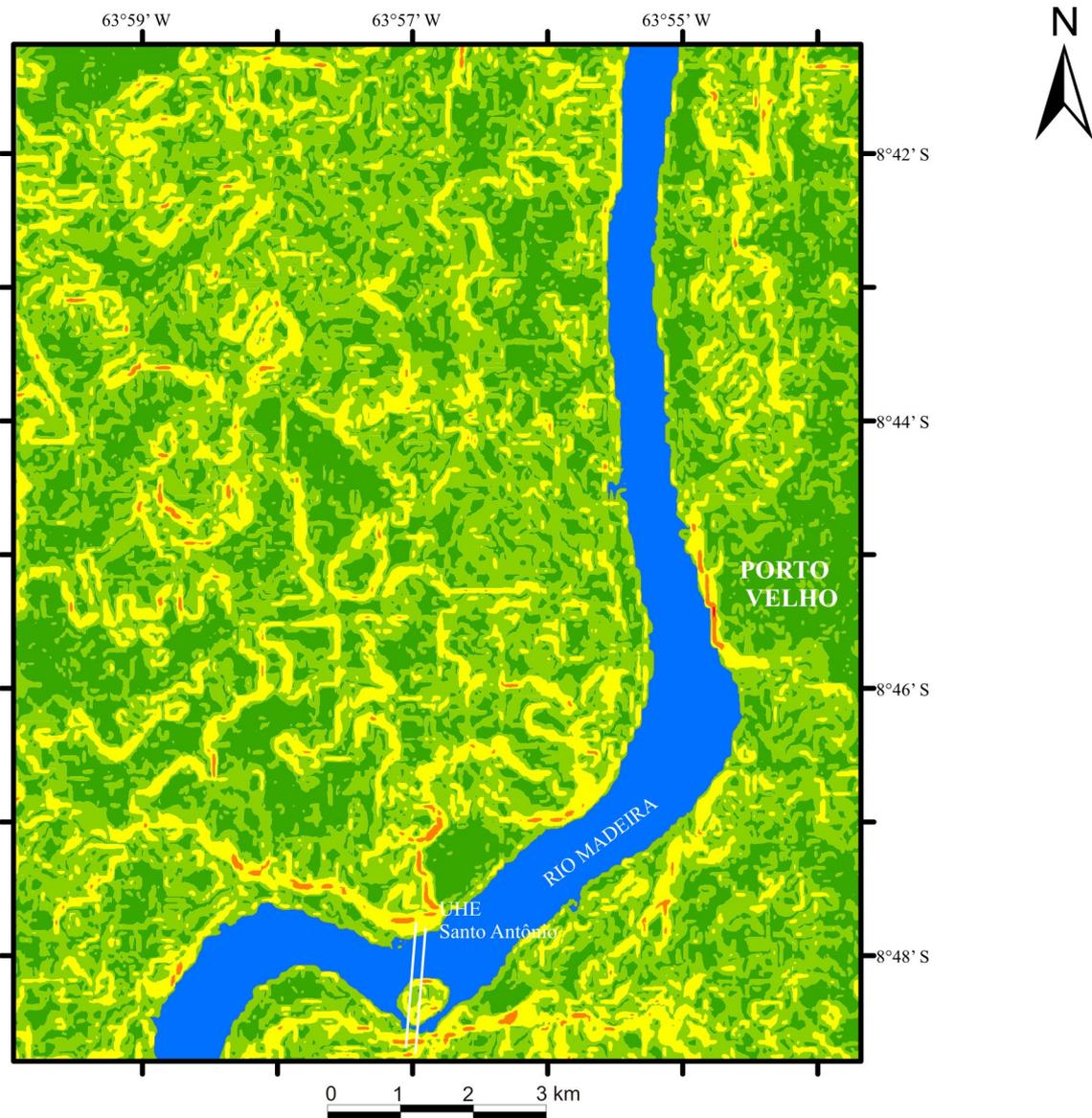


Figura 13. Modelo digital de elevação com dados SRTM.



LEGENDA

	0-3 % - Relevo plano
	3-8 % - Relevo suave ondulado
	8-20 % - Relevo ondulado
	20-45 % - Relevo forte ondulado
	45-75 % - Relevo montanhoso

Convenções Cartográficas

	Hidrografia
	UHE Santo Antônio



Figura 14. Mapa de declividade.

4.4 MAPAS DE ÁREAS POTENCIALMENTE ALAGÁVEIS

Os dados temáticos gerados nas classificações das imagens ALOS/PALSAR demonstram o diferencial do retroespalhamento e a importância da análise de imagens em períodos pluviométricos distintos e estes dados mesmo sendo qualitativos (análise visual de cores) devido a dificuldade de obter dados brutos de períodos seco e de chuva, demonstraram bons resultados.

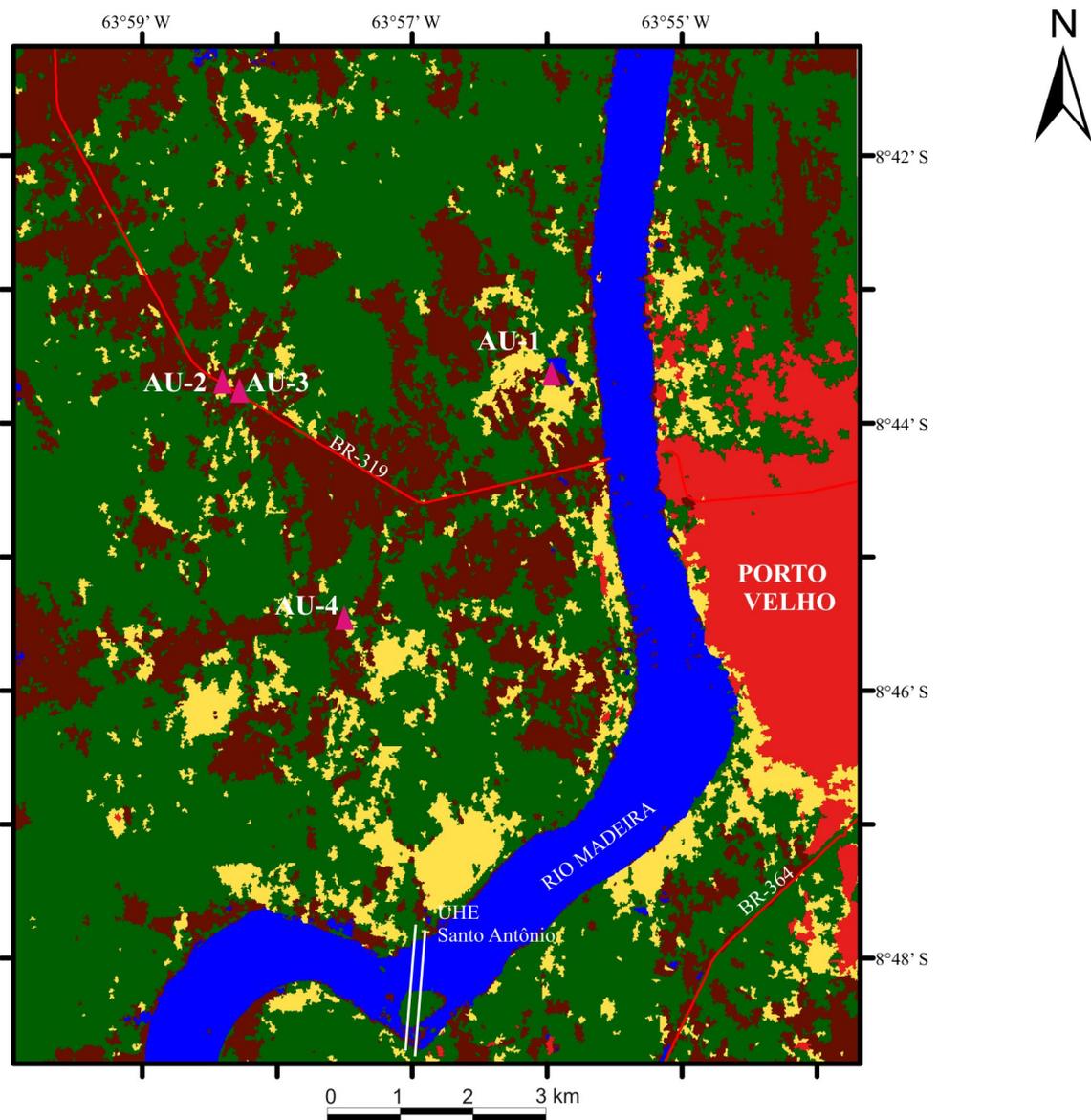
E a aplicação do filtro *Frost* nas imagens ALOS/PALSAR permitiu uma homogeneização, facilitando a interpretação.

Em áreas urbanas as imagens de radar refletem diversos alvos e enviam energia para antena. Assim resultam em um brilho mais intenso, que podem ser classificadas como área úmida, como pode ser observado nas classificações das imagens tanto no período de chuva (Figura 15) como no período seco (Figura 16). Sendo assim, estes polígonos da margem direita Rio Madeira não estão incluídos nos cálculos das proporções de áreas úmidas.

Em locais onde é provável a ocorrência de áreas úmidas é refletida mais energia de volta para o sensor, resultando em tonalidade cinza clara na imagem de radar. Na classificação da imagem do período chuvoso (Figura 15), as regiões úmidas são observadas em maiores quantidades, representando 7,5 % da área de estudo o equivalente a 8,8 km², em função da alta precipitação pluviométrica, que aumentou a umidade e conseqüentemente aumentou o retroespalhamento do sinal. Os resultados apresentados na classificação da imagem do período seco (Figura 16) foram primordiais, pois é notável que mesmo no período de baixa intensidade pluviométrica alguns pontos úmidos aparecem em destaque somando 2,5 % ou seja, 2,68 km².

Quando comparados os resultados das classificações de ambas as imagens dos períodos opostos, resultam-se em alguns pontos úmidos identificados em ambas, esse diferencial é de 5 % a mais no período de chuva. Para direcionar o roteiro dos trabalhos de campo foram selecionados quatro pontos de amostragem, o polígono que mais se destacou é uma lagoa, descrita mais adiante nos trabalhos de campo.

É possível observar que quando as Figuras 15 e 16 são comparadas com a Figura 10 (que é uma imagem Landsat do ano de 2008) as representações de desmatamento e mancha urbana não estão tão delimitados como na imagem óptica, isto ocorre porque o foco da classificação não foram estas classes e sim a identificação de áreas úmidas.



LEGENDA

	Área úmida
	Água
	Desmatamento
	Vegetação
	Mancha urbana

Convenções Cartográficas

	Rodovia pavimentada federal
	UHE Santo Antônio
	Pontos descritos e amostrados

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO ESTADO



Figura 15. Classificação da imagem ALOS/PALSAR de 01/01/2008 período de chuva.

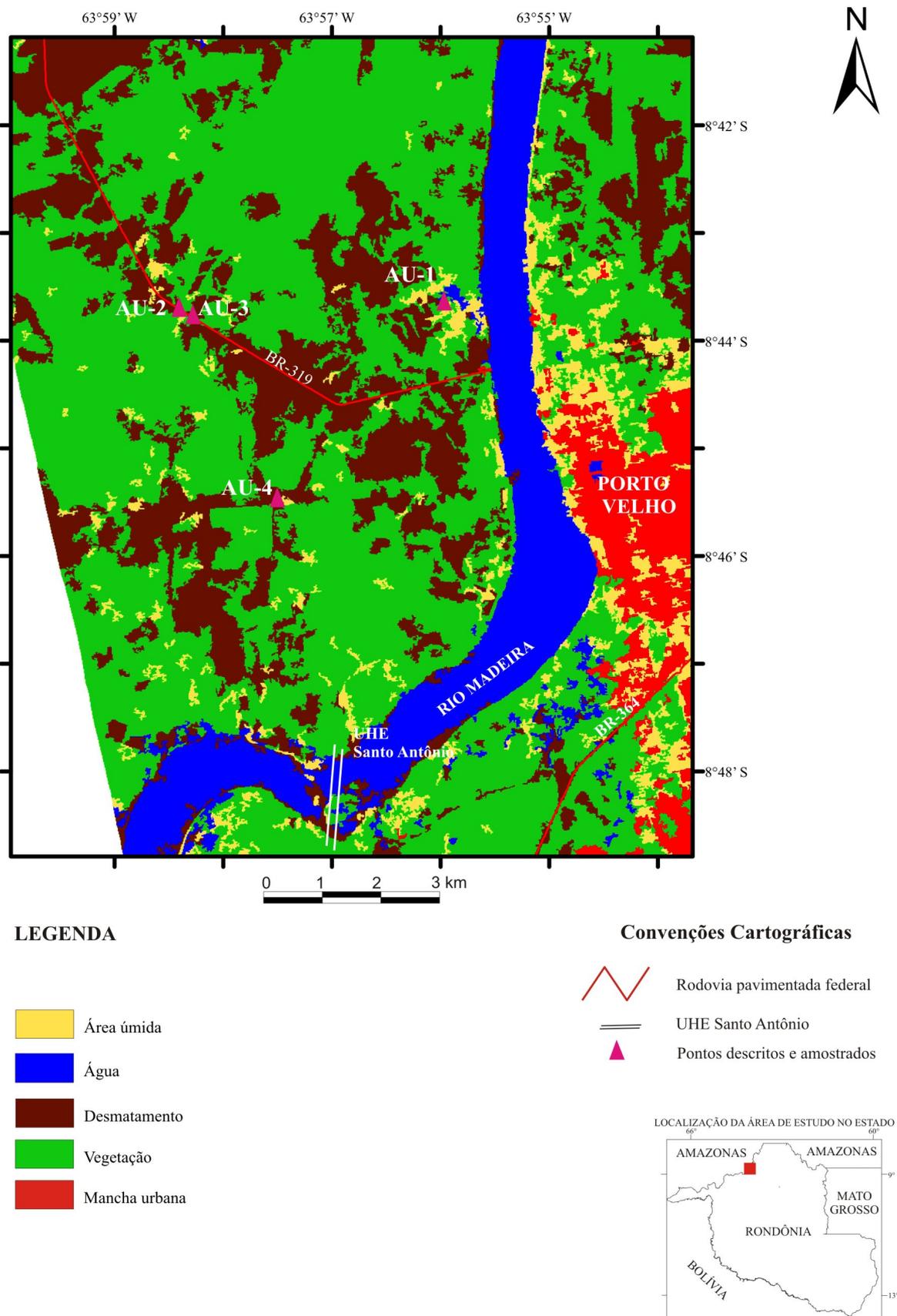


Figura 16. Classificação da imagem ALOS/PALSAR de 01/08/2008 período seco.

4.5 ATIVIDADES DE CAMPO

Para o desenvolvimento das atividades de campo foi estabelecido um roteiro via BR-319 onde foi possível estudar três pontos potenciais de alagamento, e um ponto para auxiliar na caracterização da área, compreendendo o entorno da cidade de Porto Velho na margem esquerda do Rio Madeira.

PONTO AU-1

A oeste da cidade de Porto Velho, coordenadas geográficas $63^{\circ}55'55.20''\text{W}$ e $8^{\circ}43'36.19''\text{S}$, com altitude de 56 metros, a 3.2km do Rio Madeira via estrada, ocorre uma área deprimida de influência direta do Rio Madeira (Figura 17) onde deságuam dois afluentes. É uma região de várzea sujeita a inundação em períodos de cheia e seco, sendo interconectada com o Rio Madeira permanentemente, e possui a topografia suavemente ondulada o que ocasiona extensas áreas alagadas.



Figura 17. Área de influência direta do Rio Madeira. Ponto AU-1. Autora: Maíza Moreira Ribeiro Martarole (2011).

Do ponto de vista morfológico, em aproximadamente 100 metros distante do lago, há uma região mais elevada menos propícia ao alagamento, que é rodeada por áreas de baixa declividade por onde percorrem os igarapés, neste ponto elevado há uma residência e seus moradores ficam ilhados em períodos de cheia do Rio Madeira.

Nas proximidades deste lago de várzea na medida em que o solo vai se ressecando em virtude do contínuo abaixamento do rio, é possível visualizar áreas úmidas (Figura 18) e além do desnível de declividade tem o fator de impermeabilidade, quanto maior for a presença de argila maior será a probabilidade áreas úmidas.

Uma área extensa ao redor desta lagoa se apresenta com cobertura vegetal, mas com o auxílio de imagens SAR foi possível a identificação de áreas alagadas.



Figura 18. Área úmida. Ponto AU-1. Autor: Thiago de Lima Martarole (2011).

Após a saída da BR-319, no trajeto pela estrada não pavimentada cujo ponto terminal é junto à referida lagoa é comum a presença de sedimentos recentes devido às proximidades com o Rio Madeira, que aliados com a declividade do terreno, estas regiões deprimidas apresentam diversos trechos úmidos.

PONTO AU-2

Trata-se de uma área com potencial de alagamento, localizada a 5,6 km do Rio Madeira distribuída em ambas as margens da BR-319, com altitude de 69 metros e coordenadas geográficas $63^{\circ}58'22.72''\text{W}$ e $8^{\circ}43'42.78''\text{S}$. É uma área de declive acentuado

(Figuras 19 e 20) por onde percorre um riacho canalizado em ambos lados desta rodovia. O relevo foi modificado com a inserção de aterramento para a construção da BR-319.

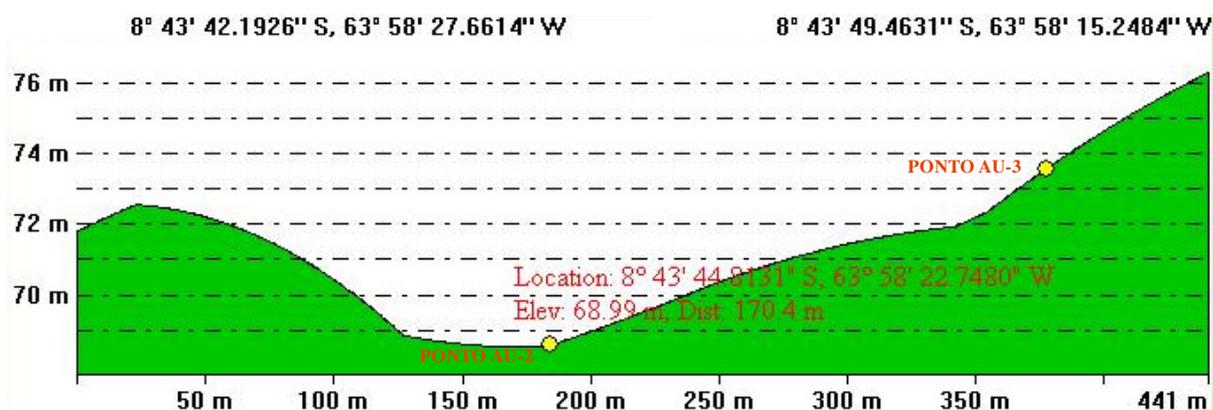


Figura 19. Perfil topográfico. Ponto AU-2 e Ponto AU-3.



Figura 20. Área com declive. Ponto AU-2. Autora: Maíza Moreira Ribeiro Martarole (2011).

Este ponto é constituído por sedimentos mais hidratados devido à proximidade do lençol freático. Outra particularidade identificada neste ponto diz respeito a vegetação existente, com a presença de inúmeros buritis (*Mauritia flexuosa* L). Spera et al. (2001) mencionam que o buriti (*Mauritia flexuosa* L.) é uma palmeira da família Arecaceae, que vegeta nas regiões alagadas e úmidas nas regiões centro, norte e nordeste do Brasil. A presença desta cobertura vegetal atual é um indicativo para a presença de água na região, se desenvolve principalmente em áreas baixas e úmidas (Figura 21).



Figura 21. Vegetação nativa com a presença de buritis. Ponto AU-2. Autora: Maíza Moreira Ribeiro Martarole (2011).

PONTO AU-3

Afloramento de material laterítico no corte de estrada da BR-319, com altitude de 73 metros e coordenadas geográficas $63^{\circ}58'17.00''\text{W}$ e $8^{\circ}43'45.94''\text{S}$.

Neste ponto não são identificadas áreas úmidas, apenas a presença de lateritos, para a confirmação do ponto AU-2. Trata-se de uma área mais elevada coberta parcialmente por gramíneas e pela vegetação nativa e apresenta uma extensa exposição de lateritos. Espindola & Daniel (2008) afirmam sobre as inúmeras presenças de corpos lateríticos em regiões tropicais, especialmente com regimes úmidos, explicam, ainda, que a proximidade de lateritos com a superfície interfere consideravelmente as condições de escoamento superficial e a permeabilidade da área.

O material encontra-se em processo de exploração, compreendendo o desmonte mecânico por pá-carregadeira e seu transporte por caminhões (Figura 22).



Figura 22. Afloramento de material laterítico. Ponto AU-3. Autor: Vanderlei Maniesi (2011).

PONTO AU-4

Área com potencial de alagamento localizada no corte de uma estrada vicinal, coordenadas geográficas $63^{\circ}57'24.71''\text{W}$ e $8^{\circ}45'30.19''\text{S}$ com altitude de 92 metros. Este ponto apresenta afloramentos de material laterítico, um diferencial quando comparado com os outros pontos prováveis de alagamento, pois é uma região relativamente alta em comparação ao Rio Madeira, conforme o perfil topográfico disposto na Figura 23.

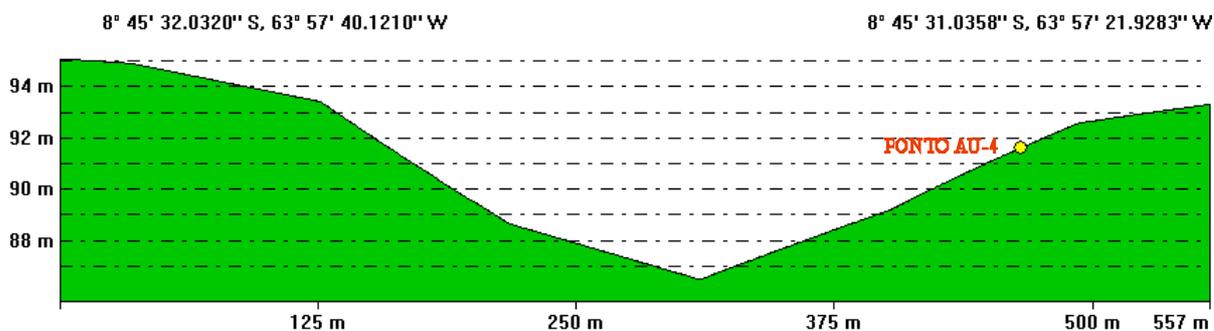


Figura 23. Perfil topográfico. Ponto AU-4.

Há também um grande acúmulo de águas pluviais por um longo percurso deste ponto, com diversas quantidades de pontos úmidos. Em meio a mata que envolve o seu entorno é possível observar um conjunto de indivíduos do gênero *Heliconias* que são plantas que ocorrem em solos úmidos e com pouca disposição direta aos raios solares, conforme a Figura 24.



Figura 24. Presença de plantas do gênero *heliconias*. Ponto AU-4. Autor: Vanderlei Maniesi (2011).

4.6 ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

As análises granulométricas foram realizadas em três amostras (AU-1, AU-2 e AU-4). São amostragens dos pontos distintos com potencial de alagamento na área de estudo. Os valores referentes ao peso e às porcentagens granulométricas das frações cascalho (4 a 2 mm), areia (2 a 0,062), silte+argila (<0,062) das amostras selecionadas estão listadas em tabelas individuais, respectivamente Tabelas 2, 3 e 4. A coluna Peso (g) refere-se às massas da fração retida na peneira correspondente, em seguida, somam esses valores registrando o peso total de cada amostra. As relações entre as porcentagens dessas frações estão dispostas na Figura 25. São materiais que se destacam pela ausência da fração cascalho e pela pouca presença das frações de areia (Figura 25), mas se destaca o predomínio significativo de grãos da fração silte+argila (AU-1 = 83,23 %, AU-2 = 78,50 % e AU-4 = 93,57 %).

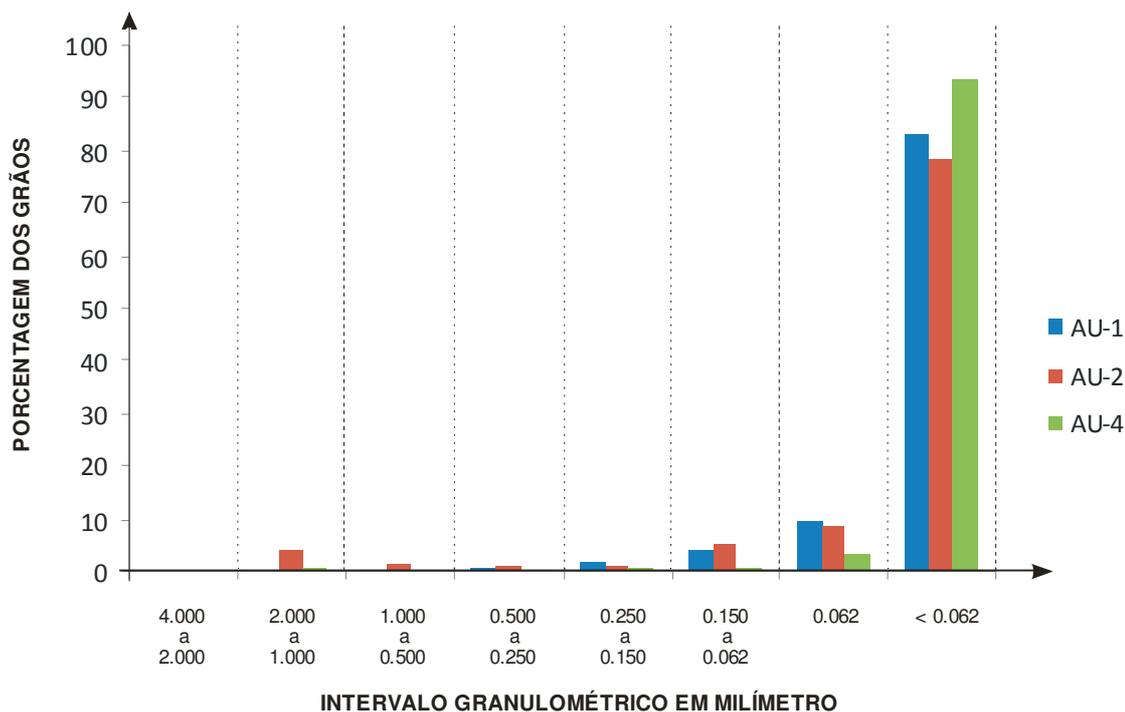


Figura 25. Distribuição em porcentagem dos grãos nas frações cascalho, areia e silte+argila da área de estudo. Amostras: AU-1, AU-2 e AU-4.

Tabela 2. Distribuição granulométrica em peso e porcentagem das frações cascalho, areia, silte+argila. Amostra AU-1.

FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA	Mesh	PESO (g)	% dos grãos
Cascalho e areia			
Diâmetro: 4.000 a 2.000	5	0,00	0,00
2.000 a 1.000	9	0,44	0,16
1.000 a 0.500	16	0,70	0,26
0.500 a 0.250	35	2,08	0,77
0.250 a 0.150	60	5,06	1,88
0.150 a 0.062	100	10,57	3,92
0.062	250	26,37	9,78
Silte+Argila <0,062	< 250	224,49	83,23

Tabela 3. Distribuição granulométrica em peso e porcentagem das frações cascalho, areia, silte+argila. Amostra AU-2.

FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA	Mesh	PESO (g)	% dos grãos
Cascalho e areia			
Diâmetro: 4.000 a 2.000	5	0.00	0,00
2.000 a 1.000	9	9.79	3,79
1.000 a 0.500	16	3.96	1,53
0.500 a 0.250	35	3.28	1,27
0.250 a 0.150	60	3.00	1,16
0.150 a 0.062	100	13.18	5,10
0.062	250	22.33	8,64
Silte+Argila <0,062	< 250	202.82	78,50

Tabela 4. Distribuição granulométrica em peso e porcentagem das frações cascalho, areia, silte+argila. Amostra AU-4.

FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA	Mesh	PESO (g)	% dos grãos
Cascalho e areia			
Diâmetro: 4.000 a 2.000	5	0.00	0,00
2.000 a 1.000	9	1.57	0,72
1.000 a 0.500	16	1.00	0,46
0.500 a 0.250	35	1.06	0,49
0.250 a 0.150	60	1.72	0,79
0.150 a 0.062	100	2.09	0,96
0.062	250	6.59	3,02
Silte+Argila <0,062	< 250	204.18	93,57

5 PORÇÕES ÚMIDAS DA ÁREA DE ESTUDO E SUAS RELAÇÕES COM O MEIO FÍSICO

A geração dos mapas de porções úmidas dos períodos de cheia e seco utilizando dados das imagens ALOS/PALSAR forneceu indicativos básicos para a identificação de locais que direcionaram a realização dos trabalhos de campo nos pontos pré-estabelecidos com o geoprocessamento.

A análise dos dados das classificações das imagens ALOS/PALSAR mostra que no período de cheia os polígonos de áreas úmidas se destacam bem mais que os polígonos de áreas úmidas da classificação do período seco. A análise das classificações permite constatar a presença de áreas úmidas distribuídas dispersamente, mas quando comparadas os resultados dos dois períodos é possível notar ocorrências em ambas ao sul da imagem na margem esquerda do rio Madeira, ao longo da BR-319, bem como a 4 km deste rio, nas proximidades da UHE Santo Antônio estão situadas na margem esquerda e direita, além dos pontos amostrados para análises granulométricas.

Há ainda a correlação entre as características geológicas e morfológicas. As áreas úmidas que se destacam em ambas as imagens ALOS/PALSAR estão mais concentradas em superfícies onde ocorrem materiais sedimentares da Formação Rio Madeira que engloba os depósitos fluviais originados pelo Rio Madeira, sendo composta por sedimentos inconsolidados cenozóicos. Os pontos amostrados estão distribuídos em unidades da planície inundável e em terraços altos que são caracterizados pelo relevo plano e suas relações com as drenagens da área, podendo apresentar indícios de inundação nos períodos chuvosos.

Os resultados granulométricos dos pontos amostrados revelaram sedimentos com conteúdos de argila+silte acima de 78%, ou seja, o material apresenta característica granulométrica altamente impermeável e, desta forma, com o alto nível de precipitação pluviométrica da região ocorre o aumento do escoamento superficial.

O contraste maior do teor de argila+silte (15,07%) está relacionado aos sedimentos dos pontos AU-2 (78,50%) e AU-4 (93,57%), ambos os pontos representando porções úmidas, inclusive com buritis e helicônias fazendo parte da vegetação nativa peculiar dessas porções. No entanto, a altitude maior verificada no ponto AU-4 (92 metros) revela a possibilidade do controle para a ocorrência dessas porções úmidas estar relacionado, também, à baixa permeabilidade de seus sedimentos, evidenciada pelos altos teores de argila+silte.

No caso do ponto AU-2, porção da área de estudo com altitude de 69 metros, apresentando sedimentos com menor conteúdo de argila+silde das amostras analisadas (78,50%), é evidenciado o provável controle dessa porção úmida relacionado predominantemente com a baixa altitude (porções deprimidas), muito embora o fator granulometria deve também estar influenciando.

Outro modo de controle de porções úmidas deve-se aos fatores altitude baixa e permeabilidade baixa. O ponto AU-1 com menor altitude (56 metros) por localizar-se na planície de inundação do rio Madeira como pode ser observado no Modelo Digital de Elevação gerado com dados SRTM, possuir conexão com um lago de várzea e sedimentos com elevado teor em argila+silde (83,23%) conforme os resultados dos ensaios granulométricos, potencializam o processo de formação de porções úmidas.

Através das imagens de satélite Landsat foi possível verificar o aumento do desmatamento em toda a região estudada. Na Figura 11 (página 49) aproximadamente 44 % da área está sem cobertura vegetal, com grande intensificação antrópica na porção sul, em decorrência principalmente das obras para construção da UHE Santo Antônio. Todo este desmatamento contribui para o aumento do potencial de áreas alagáveis, uma vez que a ausência de vegetação pode diminuir significativamente a capacidade de drenagem do terreno.

6 A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO TERRITORIAL PARA O DESENVOLVIMENTO REGIONAL

O fluxo de ocupação populacional do estado de Rondônia ocorreu em épocas diferentes em decorrência de vários ciclos de desenvolvimento. Entretanto, a ocupação mais significativa teve lugar a partir da década de 1970, com o Programa de Integração Nacional, quando foi implantada uma política fundiária direcionada para agricultores sem terra.

A área urbana e o entorno de Porto Velho expandiram rapidamente, mas esse crescimento ocorreu de forma descontrolada, carecendo de planejamento e infraestrutura devido ao grande número de imigrantes, que aceleraram o processo de degradação ambiental.

Com a construção da ponte sobre o Rio Madeira, a restauração e a pavimentação da BR- 319 que interliga Manaus-AM a Porto Velho-RO novos problemas ambientais poderão surgir, caso seja intensificada ainda mais a antropização destas áreas com possíveis construções residenciais, conforme o que está ocorrendo no município de Iraduba-AM com a finalização da construção da ponte sobre o Rio Negro em 24 de outubro de 2011.

As ocupações em locais de grande probabilidade de alagamento são muito comuns em centro urbanos que cresceram carecendo de planejamento, portanto é necessário planejar-se a ocupação destes espaços com a infraestrutura e as condições que minimizem ou evitem impactos ambientais, econômicos e sociais.

A área de estudo demonstrou possuir sedimentos com altos conteúdos de argila+silt e no caso de um período prolongado de intensa precipitação pluviométrica e conseqüentemente curta estação seca pode acarretar problemas para ocupação antrópica.

Como mostram os resultados relativos ao ano de 2011, o desmatamento atingiu 44 % da cobertura vegetal da área de estudo, em um intervalo de 24 anos (1987 a 2011) aumentou em 10,09 % que equivale a 16,3 km². Nesta área deverá ocorrer uma possível expansão da cidade de Porto Velho e a intensificação da ocupação para a margem esquerda do Rio Madeira. Atualmente, já se observa uma ocupação nas imediações da UHE Santo Antônio, que tende a impactar negativamente ainda mais o meio ambiente, com o possível aumento de construção de edificações. Por outro lado, a impermeabilização do solo também poderá ser aumentada pela implantação da infraestrutura urbana, agravada pela natureza siltico-argilosa dos sedimentos da região, indicada no pontos amostrados, dificultando a infiltração da água,

anteriormente favorecida pela presença de vegetação. Da mesma forma, a baixa declividade predominante regionalmente, prejudica o escoamento superficial que se torna lento e frequentemente provocando alagamentos, que comprometem a qualidade de vida dos seus moradores.

O ponto AU-1 como já descrito anteriormente está localizado nas proximidades de um lago de várzea, pertencente à planície de inundação do Rio Madeira, que merece atenção especial em caso de construções nas proximidades desta área, dada a sua elevada vulnerabilidade natural, onde uma antropização intensificada poderá diminuir a capacidade de infiltração no material sedimentar, reduzir as inúmeras espécies vegetais que são adaptadas com as inundações, contaminar o lençol freático pela disposição de resíduos domésticos ou fossas sépticas, além de comprometer a mata ciliar e todo o ecossistema.

Em Porto Velho a ocupação em áreas inadequadas à expansão urbana tem ocasionado problemas de ordem ambiental e socioeconômica, mostrando que o conhecimento do meio físico é essencial para que se proceda a ocupação segura do território, como confirmam vários fatos históricos e recentes da ocupação, relacionados a riscos naturais ou não, tais como alagamentos e deslizamentos.

Desta forma, ações de planejamento territorial precisam ser efetivadas, ações estas como a implantação de políticas públicas de desenvolvimento e expansão urbana, levando-se em conta o impacto ambiental com a detecção de pontos de fragilidades e áreas de riscos ambientais para as possíveis ocupações.

7 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos neste estudo, é possível concluir que:

- A adaptação na proposta por Renó & Novo (2011) para a classificação de imagens ALOS/PALSAR de períodos com intensidade pluviométrica distintos foi de fundamental importância para identificação de ambientes úmidos, mas como as imagens possuíam resoluções diferentes (tamanho dos pixels) a interpretação pode ser mais detalhada no período chuvoso, enquanto que no período seco as classes identificadas apresentaram polígonos maiores.
- A análise qualitativa (análise visual de cores) das imagens multitemporais do ALOS/PALSAR mostrou que estas imagens podem ser úteis para o monitoramento e a discriminação de ambientes potencialmente alagáveis.
- Os resultados granulométricos evidenciaram a composição predominante argila+silte nos sedimentos dos pontos de amostragem, indicando que a área de estudo é constituída por sedimentos de baixa permeabilidade e distribuídos na planície do Rio Madeira e em terraços.
- Porções úmidas com altitudes mais elevadas na área de estudo, devem estar associadas a baixa permeabilidade de seus sedimentos, ou seja, maior quantidade de argila+silte (>90 %). Porções úmidas próximas ao nível de base regional (planície do Rio Madeira), devem estar associadas ao fator altitude, muito embora o fator baixa permeabilidade deve estar influenciando, mesmo de modo subordinado.
- Os processos de ações antrópicas podem ser identificados na área estudada em decorrência da construção da ponte sobre o Rio Madeira, da pavimentação e reestruturação da BR-319 e ainda da conclusão da UHE Santo Antônio, sendo que a região mais afetada atualmente é a porção sul, onde foi mais intenso o processo de desmatamento devido às instalações de parte dos alojamentos e canteiro de obras da UHE.
- Os significativos impactos ambientais existentes na área de estudo, ocorreram com a intensificação de ações antrópicas em locais potencialmente alagáveis, logo impróprios para moradia. Este estudo reforça a importância da adoção de políticas de planejamento territorial, devidamente planejadas e executadas, para um desenvolvimento sustentável, procurando, assim, evitar efeitos irreversíveis ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEROMAPA S/A - Cartografia, informática e projetos. Projeto Rio Madeira. Coleção de fotografias aéreas. Escala 1:30.000. Curitiba, v.1, 2005.

BARBOSA, C.C.F. Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento. Dissertação (Mestrado em Geoprocessamento) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 1997.

BENEDITTI, C.A. Imagens multitemporais ALOS/PALSAR baseada em orientação a objeto na discriminação da cobertura da terra. Dissertação de Mestrado em Ciências Cartográficas. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 95p., 2010.

BONHAN-CARTER, G. Geographic information systems for geoscientists: modeling with GIS, 1^a ed., Editora Love Printing Ltd., 1994.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Manual de Desastres: Desastres Naturais. v.1, Brasília, 2003.

CÂMARA, G. Anatomia de sistemas de informação geográfica. Campinas, Instituto de computação, Unicamp, 1996.

CARVALHO, G.A.; LEITE, D.V.B. Geoprocessamento na gestão urbana municipal – a experiência dos municípios mineiros Sabará e Nova Lima. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. Anais. INPE, p.3643-3650, 2009.

CASANOVA, M.A.; CÂMARA, G.; DAVIS JR.C.; VINHAS, L.; QUEIROZ, G.R. Bancos de dados geográficos. São José dos Campos: Mundogeo, INPE-12830-PRE/8120, 2005. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/rep-/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.01.19.10>>. Acesso em 25 nov. 2009.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S. Imagens fotográficas derivadas de MNT do projeto SRTM para fotointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.

DALL'IGNA, L.G. Vulnerabilidade natural à erosão da Folha Presidente Médici-Rondônia. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente)–Núcleo de Ciências e Tecnologia. Programa de Pós- Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2005.

DANTAS, M.E.; ADAMY A. Complexo hidrelétrico Rio Madeira: geomorfologia, setor Santo Antônio. Porto Velho, CPRM, 96p., Convênio Furnas-CPRM, 2005.

DUREN, R.; WONG, E.; BRECKENRIDE, B.; SHAFFER, S.; DUNCAN, C.; TUBBS, E.; SALOMON, P. Metrology, attitude and orbit determination for spaceborne interferometric syntetic aperture radar. In: SPIE Aerosense Conference on Acquisition, Tracking and Pointing XII, Orlando. Anais, 1998.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

ESPINDOLA, C.R.; DANIEL L.A. Lateritas e solos lateríticos no Brasil. São Paulo. In: Boletim Técnico da FATECSP BT/ 24, p.21-24, 2008.

FREITAS, D.M.; SOUZA, R.A. Utilização de imagens ALOS/PALSAR na discriminação de alvos em Rondônia. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba. Anais, p.8137-8145, 2011.

FLORENZANO, T.G. (org.). Geomorfologia: Conceitos e técnicas atuais. São Paulo, Oficina de Textos, 2008.

GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. Impactos ambientais urbanos no Brasil. 4ª ed. - Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2006.

LISBOA FILHO, J.; COSTA, A.C.; IOCHPE, C. Projeto de Banco de Dados Geográficos: Mapeando esquemas para o SIG Spring, 1999. Disponível em: <<http://www.geoinfo.info/portuguese/geoinfo1999/papers/Jugurta.pdf>>. Acesso em 29 de out. 2009.

LOUREIRO, C.V.; FARIAS, J.F. Impactos ambientais resultantes da impermeabilização do solo na cidade de Fortaleza-CE. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa. Disponível em: <http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/trabalhos_completos/eixo11/018.pdf>. Acesso em 10 de ago. 2011.

MOURA, A.C.M. Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. Belo Horizonte, Ed. Interciência, 294p., 2003.

NASCIMENTO, T.C.; MANIESI, V.; ADAMY, A.; SANTOS A.N. A natureza dos materiais lateríticos na área urbana e entorno de Porto Velho/RO. VII Seminário Latino-Americano de Geografia Física e III Seminário Íbero-Americano de Geografia Física, Manaus-AM, no prelo, 2012.

NOVO, E.M.L.M. Bases teóricas para o uso de imagens SAR no estudo de áreas alagadas. In: I Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande. Anais. p.883-894, 2006.

NOVO, E.M.L.M. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. 3.ed. rev. e ampl. São Paulo: Blucher. p.368. 2008.

OLIVEIRA, C.E.S. Dados preliminares ao mapeamento geológico da folha Porto Velho (SC.20-V-B-V), Rondônia. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 45, 2010, Belém, Anais, Belém, SGB-Nucleo Norte, p.558, 2010.

PEREIRA, L.A.; REIS, M.R.; SILVA FILHO, E.P. Uso e ocupação do solo e levantamento preliminar dos aspectos ambientais na região de Porto Velho – RO. Porto Velho: CPRM, 43p., 1996.

PINTO, E.J.A. (org.). Atlas pluviométrico do Brasil: mapas de Isoietas anuais médias do Brasil; mapas de Isoietas dos totais trimestrais. Brasília: CPRM, 2011. 1 DVD. Escala

1:5.000.000. Sistema de Informação Geográfica-SIG; Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade, 2011.

QUADROS, M.L.E.S.; RIZZOTTO, G.J.; MESQUITA, J.B. A origem dos lagos pantanosos situados a Jusante da Cachoeira de Santo Antônio no Rio Madeira, Rondônia. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 2009, Manaus. Anais. Manaus: SGB. Núcleo Norte, 2009.

RENÓ, V.F.; NOVO, E.M.L.M. Utilização de imagens ALOS/PALSAR para o mapeamento das áreas periodicamente inundadas do Baixo Amazonas e sua relação com o grau de antropização das várzeas. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais. Curitiba, INPE, p.5426-5432, 2011.

RODRIGUES, M. Geoprocessamento: um retrato atual. Revista Fator GIS. Ano 1, p.20-23, Curitiba, 1993.

RONDÔNIA. Zoneamento socioeconômico-ecológico do estado de Rondônia. Secretaria de Planejamento do Estado de Rondônia. Texto explicativo e mapas de geomorfologia, vegetação e solos, escala 1:250.000, Porto Velho/RO, 1999.

SANTOS, P.R.A.; GABOARDI, C.; OLIVEIRA, L.C. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE, p.4473-4480, 2005.

SCANDOLARA, J.E. (org.). Geologia e recursos minerais do Estado de Rondônia, escala 1:1.000.000: texto explicativo e mapa geológico do Estado de Rondônia. Brasília: CPRM, p.97, 1999.

SEDAM. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental. Boletim Climatológico de Rondônia. Porto Velho/RO, 33p., 2010.

SILVA, A.B. Sistemas de informações geo-referenciadas: conceitos e fundamentos. Campinas, Unicamp, 1999.

SILVA, M.L.N.; CAVALCANTI, M.T.O. Identificação de áreas vulneráveis ao alagamento pluvial na cidade de Natal/RN. Revista Holos, n.25, v.4, p.19-31, 2010.

SOUSA JUNIOR, M.A., Segmentação multi-níveis e multi-modelos para imagens de radar e ópticas. Tese Doutorado em Computação Aplicada, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005.

SPERA, M.R.N.; CUNHA, R.; TEIXEIRA, J.B. Quebra de dormência, viabilidade e conservação de sementes de buriti (*Mauritia flexuosa*). Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.36, n.12, p.1567-1572, 2001.

TERRAVIEW 4.1.0. São José dos Campos, SP: INPE, 2010. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/terraview>>. Acesso em: 15 de ago. 2011.

TIMBÓ, M.A. Elementos de Cartografia, 2001. Disponível em: <<http://www.geologia.ufpr.br/graduacao/cartografiadigital/elementoscartografia.pdf>>. Acesso em 20 de fev. 2011.

TUCCI, C.E.M. (org.). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4ª ed., Porto Alegre, Editora da UFRGS/ABRH, 2007.

VALERIANO, M.M. Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756), 72p., 2004.

WENTWORTH, C.K. A scale of grade and class term for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, p.377-392, 1922.