

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

**PROCEDIMENTO BASEADO EM ROTINA DE APOIO
À DECISÃO APLICADO À REDUÇÃO DE RISCO DE
MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA EM
MARGENS DE CURSOS D'ÁGUA: ESTUDO DE CASO
EM RIO BRANCO/AC**

Ricardo Ribeiro do Nascimento

Belo Horizonte

2016

**PROCEDIMENTO BASEADO EM ROTINA DE APOIO
À DECISÃO APLICADO À REDUÇÃO DE RISCO DE
MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA EM
MARGENS DE CURSOS D'ÁGUA: ESTUDO DE CASO
EM RIO BRANCO/AC**

Ricardo Ribeiro do Nascimento

Ricardo Ribeiro do Nascimento

**PROCEDIMENTO BASEADO EM ROTINA DE APOIO
À DECISÃO APLICADO À REDUÇÃO DE RISCO DE
MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA EM
MARGENS DE CURSOS D'ÁGUA: ESTUDO DE CASO
EM RIO BRANCO/AC**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Avaliação e gerenciamento de impactos e de riscos ambientais.

Orientador: Gustavo Ferreira Simões

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2016

N244p

Nascimento, Ricardo Ribeiro do.

Procedimento baseado em rotina de apoio à decisão aplicado à redução de risco de movimentos gravitacionais de massa em margens de cursos d'água [manuscrito] : estudo de caso em Rio Branco / AC / Ricardo Ribeiro do Nascimento.- 2016.

x, 159 f., enc. : il.

Orientador: Gustavo Ferreira Simões.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 125-159.

Bibliografia: f. 113-124.

1. Meio ambiente - Teses. 3. Avaliação de riscos - Teses. 3. Geotecnia - Teses. 4. Encostas - Estabilidade - Teses. 5. Mapeamento geotécnico - Teses. I. Simões, Gustavo Ferreira. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 628(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte - BRASIL

Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br

<http://www.smarh.eng.ufmg.br>

FOLHA DE APROVAÇÃO

PROCEDIMENTO BASEADO EM ROTINA DE APOIO À DECISÃO APLICADO
À REDUÇÃO DE RISCO DE MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA
EM MARGENS DE CURSOS D'ÁGUA : ESTUDO DE CASO EM RIO
BRANCO/AC

RICARDO RIBEIRO DO NASCIMENTO

Tese defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Prof. GUSTAVO FERREIRA SIMÕES - Orientador

Prof.^a PRISCILLA MACEDO MOURA

Prof.^a TEREZINHA DE JESUS ESPÓSITO

Prof. FREDERICO GARCIA SOBREIRA

Prof. EDUARDO ANTONIO GOMES MARQUES

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Versão Final aprovada por

Prof. Nilo de Oliveira Nascimento
Coordenador

Prof. Gustavo Ferreira Simões
Orientador

Belo Horizonte, 06 de dezembro de 2016.

*A todos que dedicam seu tempo, conhecimento e trabalho
à construção de uma sociedade mais justa e humana ...*

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos:

Aos meus queridos e mais que especiais amores, minha mãe, minha esposa e meus filhos, por estarem sempre ao meu lado, me fortalecendo para enfrentar os desafios e as dificuldades que são colocadas.... À senhora Sebastiana Benvinda Ribeiro, minha eterna gratidão pelos carinho, amor e ensinamentos de vida. À companheira de todos os dias, Ana Paula Souza Castro, os meus mais sinceros agradecimentos por compreender estes tempos difíceis de ausência do lar e das coisas que mais esperava de mim. Ao meu primogênito, João Ricardo, desejo que nunca perca a esperança de conquistar seus sonhos. Ao pequeno Luiz, que a luz que brilha em seus olhos ilumine os caminhos para uma vida repleta de sonhos, conquistas e de muita alegria.

Ao Professor Gustavo Ferreira Simões, pela parceria neste desafio e pelos momentos de descontração, que trouxeram a leveza necessária ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da UFMG e do curso de Engenharia Civil da UFAC que contribuíram, cada um à sua maneira, como uma peça fundamental para construção desta tese.

Aos amigos de tantas idas e vindas que fazem parte desta história, Genivaldo, Domingos, Orlando, Katiuscia, Marconi, Piri, Osmar, Lelis, Lauro, Holanda. Desejo-lhes tudo de bom...

À Prefeitura Municipal de Rio Branco, pelas informações cedidas.

À Fundação de Tecnologia do Estado do Acre, em especial à equipe da Unidade Central de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, pelo apoio no processamento dos dados georreferenciados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – pela bolsa de estudo concedida.

Por fim, à Universidade Federal do Acre, pela oportunidade de participar do seu programa de capacitação de pessoal docente.

RESUMO

O avançado processo de consolidação da ocupação em encostas marginais do sistema hidrográfico amazônico, verificado nas últimas décadas, tem gerado consequências sociais e econômicas negativas na maioria dos centros urbanos da região Norte do Brasil. A percepção regional da população quanto ao uso e à ocupação dessas áreas, a precária infraestrutura instalada e a singularidade dos processos naturais que ali se desenvolvem têm inibido a adequada caracterização e hierarquização das áreas de risco, principalmente, quanto à adoção de medidas preventivas ou corretivas visando à redução de acidentes geológicos. Nesse sentido, considera-se pertinente sugerir e incorporar técnicas quantitativas que concorram com o aproveitamento de informações básicas e permitam a redução da subjetividade quanto à decisão a ser tomada, assim, promovendo uma adequada alocação de recursos e a gestão antecipada do risco. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de uma metodologia de base semiquantitativa, capaz de auxiliar na indicação de áreas potencialmente instáveis ou críticas quanto ao risco à população. A proposta metodológica foi aplicada em uma área teste da cidade de Rio Branco-AC. Pela especificidade do tema, vários critérios tiveram de ser desenvolvidos ou adequados a fim de que a análise considerasse determinadas particularidades ambientais, econômicas e sociais. O processo decisório foi estruturado em duas etapas principais. A primeira, denominada de zoneamento, teve a finalidade de otimizar a identificação das áreas potencialmente instáveis, e a segunda, desenvolvida em maior nível de detalhe e denominada de prioridade de intervenção, buscou avaliar, quantificar e hierarquizar as relações conflitantes entre o uso e a ocupação do solo e o fenômeno adverso. A rotina de apoio à decisão denominada de Método de Análise Hierárquico (AHP) foi a técnica utilizada para estruturar o processo decisório e avaliar a coerência do julgamento realizado em cada uma das etapas da metodologia proposta. Com o reconhecimento de que o estágio atual do conhecimento não permite adequada compreensão sobre os conceitos e os princípios que regem o fenômeno avaliado, buscou-se verificar a suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa a partir da compartimentação fisiográfica e caracterização geológico-geotécnica dos diferentes terrenos. Os resultados foram sintetizados e representados em três produtos cartográficos: Mapa de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa, Mapa de Prioridades de Intervenção e Mapa de Ações de Mitigação de Riscos.

Movimentos Gravitacionais de Massa. AHP. Suscetibilidade. Vulnerabilidade. Análise de Risco.

ABSTRACT

The advanced process of consolidating occupation on marginal slopes of the Amazon hydrographic system, verified in recent decades, has generated negative economic and social consequences in most of the urban centres in the northern region of Brazil. Regional awareness of the population regarding the use and occupation of these areas, the precarious infrastructure installed and the uniqueness of the natural processes that develop in this region have inhibited the proper characterization and prioritization of areas of risk, especially concerning the adoption of preventive or corrective measures aiming at the reduction of geological accidents. In this sense, it is considered appropriate to suggest and incorporate quantitative techniques that could help with the use of basic information and allow the reduction of subjectivity in the decision-making process, thus promoting adequate allocation of resources and the early management of risk. Therefore, the objective of this work was the development of a semi-quantitative base methodology, able to assist in the indication of potentially unstable or critical areas concerning the risk to the population. The methodological approach was applied in a test area of the city of Rio Branco-AC, Brazil. Because of the specificity of the topic, multiple criteria had to be developed or adapted in a way that would allow the analysis to consider environmental, economic, and social particularities. The decision-making process was divided into two main stages. The first, called zoning, had the purpose of optimizing the identification of potentially unstable areas; and the second, developed to a higher level of detail and named intervention priority, sought to evaluate, quantify, and prioritize the conflicting relations between the use and occupation of the soil and the adverse phenomenon. The decision support routine called Analytic Hierarchy Process (AHP), was the technique used to structure the decision-making process and to assess the consistency of the evaluation performed in each one of the stages of the proposed methodology. Recognizing that the current stage of knowledge does not allow a proper understanding of the concepts and principles governing the phenomenon evaluated, it was sought to verify the susceptibility to gravitational mass movements, following the partition of physiographic and geological-geotechnical characterization of the different land spaces. The results were synthesized and represented in three maps: Map of Gravitational Mass Movement Susceptibility, Intervention Priority Map, and Map of Risk Mitigation Actions.

Palavras-chave: Gravitational Mass Movement. AHP. Susceptibility. Vulnerability. Risk Analysis.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	2
1.3	PREMISSAS E HIPÓTESE	3
1.4	OBJETIVO E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
2	REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1	CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA	5
2.2	ASPECTOS CONCEITUAIS RELACIONADOS À AVALIAÇÃO DE ÁREAS DE RISCO	12
2.3	MAPEAMENTOS RELACIONADOS A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA	16
2.4	MÉTODOS DE ANÁLISE	22
2.4.1	<i>Métodos heurísticos.....</i>	<i>24</i>
2.4.2	<i>Métodos estatísticos.....</i>	<i>24</i>
2.4.3	<i>Métodos determinísticos.....</i>	<i>26</i>
2.5	O MÉTODO AHP	27
2.5.1	<i>A relevância dos métodos multicritérios para os estudos heurísticos relacionados a movimentos gravitacionais de massa.....</i>	<i>27</i>
2.5.2	<i>Considerações gerais sobre o método AHP</i>	<i>29</i>
2.5.3	<i>Etapas.....</i>	<i>30</i>
2.5.4	<i>Exemplos de aplicação no estudo de movimentos gravitacionais de massa.....</i>	<i>37</i>
2.6	CONDICIONANTES UTILIZADOS EM MAPEAMENTOS RELACIONADOS A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA	44
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	48
3.1	ÁREA DE ESTUDO	48
3.1.1	<i>Localização e aspectos Gerais</i>	<i>48</i>
3.1.1	<i>Geologia.....</i>	<i>51</i>
3.1.2	<i>Geomorfologia.....</i>	<i>53</i>
3.1.3	<i>Características hidroclimáticas.....</i>	<i>54</i>
3.2	ETAPAS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	57
3.2.1	<i>Construção do modelo de decisão</i>	<i>57</i>
3.2.2	<i>Coleta e sistematização de informações.....</i>	<i>59</i>

3.2.1	<i>Critérios e procedimentos para o zoneamento geotécnico</i>	62
3.2.2	<i>Setores investigados quanto à prioridade de intervenção com ações mitigadoras</i>	67
3.2.3	<i>Definição de atributos e classes</i>	70
3.2.4	<i>Valoração dos elementos de decisão</i>	78
3.2.5	<i>Avaliação da prioridade de intervenção</i>	78
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.1	ZONEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO.....	81
4.2	PRIORIDADE DE INTERVENÇÃO E AÇÕES MITIGADORAS.....	93
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	111
5.1	CONCLUSÕES.....	111
5.1.1	<i>Zoneamento geológico-geotécnico</i>	111
5.1.2	<i>Prioridade de intervenção e ações mitigadoras</i>	112
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	113
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
	APÊNDICES	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Representação gráfica de movimentos de massa em materiais inconsolidados, segundo Varnes (1978), adaptado de Thornberry-Ehrlich (2013).	7
Figura 2.2 - Evento ocorrido em dois estágios em Canton Valais, Suíça (Hungar, Leroueill e Picarelli, 2014).	10
Figura 2.3 - Estágios dos movimentos de massa (adaptado de Lerouel, 2001).....	12
Figura 2.4 - Área mínima: a) grid regular, b) Encosta, c) Bacia hidrográfica (RODRIGUES, 2002).	20
Figura 2.5 - Estrutura hierárquica típica do AHP (Adaptado de Diaz, 2007)	31
Figura 2.6 - Representação da aplicação da técnica de combinação linear ponderada em ambiente SIG (SARTORI; SILVA; ZIMBACK, 2012).....	37
Figura 2.7 - Curva de sucesso do estudo de Kayastha; Dhital; De Smedt (2013).....	42
Figura 3.1- Localização do município de Rio Branco.....	48
Figura 3.2- Áreas selecionadas para avaliação da suscetibilidade natural a MGM.	50
Figura 3.3 - Unidade Panorama e Formação Solimões na cidade de Rio Branco (OLIVEIRA e FERREIRA, 2006).	51
Figura 3.4 - Terraço do rio Acre em Rio Branco (OLIVEIRA e FERREIRA, 2006).....	53
Figura 3.5 - Foto aérea do Lago (paleocanal) do Amapá (MAIA, 2003).....	54
Figura 3.6 - Coloração das águas do rio Acre (MACHADO, 2012).....	56
Figura 3.7 - Estrutura hierárquica adotada.	57
Figura 3.8 - Padronização dos planos de informações matriciais.	60
Figura 3.9 - Unidades de terreno utilizadas nesta pesquisa.....	61
Figura 3.10 - Fluxograma da estrutura hierárquica final.....	61
Figura 3.11 - Delimitação de uma área com múltiplas feições (AMFer).....	63
Figura 3.12 - Área selecionada para avaliar a prioridade de intervenção	69
Figura 3.13 - Imagens que ilustram a forma de obtenção de dados relacionados aos atributos antrópicos.	71
Figura 3.14 - Concentração de águas superficiais na área avaliada. a) concentração de água de chuva em área com rastejo. b) lançamento de águas servidas em área com rastejo. c) ligações clandestinas em área com rastejo. d) ligações clandestinas em área escarpada.	73
Figura 3.15 - Detalhe de moradia precária localizada em área de rastejo.	76
Figura 4.1 - Mapa de compartimentos geológico-geotécnicos.....	82
Figura 4.2 - Áreas instáveis cadastradas.	85
Figura 4.3 - Distribuição das ocorrências por tipo de SUGG.....	86
Figura 4.4 - Eventos ocorridos em fevereiro de 2015, logo após o rebaixamento do nível das águas no rio Acre: A) unidade QVA2; B) unidade SVM3.	91
Figura 4.5 - Feições de instabilidade observadas em uma AMFer.....	92

Figura 4.6 - Distribuição das classes de suscetibilidade aos movimentos gravitacionais de massa e áreas instáveis cadastradas.	94
Figura 4.7 - Malha da grade regular com a sobreposição das classes de suscetibilidade na área investigada.	95
Figura 4.8 - Mapa do indicador potencial de destruição.	100
Figura 4.9 - Mapa do indicador potencial de indução.	101
Figura 4.10 - Mapa do indicador grau de resiliência.	102
Figura 4.11 - Mapa do indicador dano potencial.	103
Figura 4.12 - Mapa da componente ameaça.	104
Figura 4.13 - Mapa da componente Vulnerabilidade.	105
Figura 4.14 - Mapa do índice de prioridade.	106
Figura 4.15 - Distribuição das classes de ameaça e vulnerabilidade em porcentagem.	107
Figura 4.16 - Mapa de ações mitigadoras	109
Figura 4.17 - Comparação entre as ações mitigadoras e o cadastro de sinais de instabilidade.	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Classificação dos movimentos de encosta segundo VARNES (1978).....	7
Tabela 2.2 - Classificação dos movimentos de massa (AUGUSTO FILHO, 1992).	8
Tabela 2.3- Classificação dos movimentos de encosta segundo Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014).....	9
Tabela 2.4 - Escalas utilizadas (Soeters e Van Westen, 1996).....	19
Tabela 2.5 - Escala de julgamento de importância (modificada de SAATY, 1980).	32
Tabela 2.6 - Esquema da matriz de comparação de parâmetros (RODRIGUES, 2002).	33
Tabela 2.7 - Valores do índice randômico (IR) em função da ordem (n) da matriz (SAATY, 1980).....	36
Tabela 2.8 - Critério para classificação do perigo com aplicação do AHP (FARIA, 2011).	41
Tabela 2.9 - Critério para agentes e causas de movimentos de massa (GUIDICINI e NIEBLE, 1984). .	45
Tabela 2.10 - Fatores condicionantes (VARNES, 1978; SUMMERFIELD,1991).....	46
Tabela 2.11 - Trabalhos consultados pelo autor.....	47
Tabela 3.1 - Cenário esperado para cada classe de ameaça.	79
Tabela 3.2 - Explicação dos prováveis cenários para cada classe de vulnerabilidade.	79
Tabela 3.3 - Matriz do índice de prioridade.	80
Tabela 4.1 - Síntese das características do meio físico nas unidades geológico-geotécnicas, situadas no setor geomorfológico da Depressão do Rio Branco.....	83
Tabela 4.2 - Síntese das características do meio físico nas subunidades geológico-geotécnicas situadas no setor geomorfológico da Planície Amazônica.....	84
Tabela 4.3 - Potencial para ocorrência de eventos com base nas características geológico-geotécnicas.	92
Tabela 4.4 - Fatores considerados na avaliação do potencial para ocorrência de eventos.	93
Tabela 4.5 - Tabulação dos dados	96
Tabela 4.6 - Pesos obtidos para indicadores, atributos, classes com o AHP para a componente ameaça.	97
Tabela 4.7 - Distribuição das classes do índice de prioridade.....	107
Tabela 4.8 - Distribuição das células segundo o tipo de ação mitigadora.....	108

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AHP - Analytic Hierarchy Process
DP - Dano Potencial
ELECTRE - Elimination and Choice Translating algorithm
GR - Grau de resiliência
IA - Índice de ameaça
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IP - Índice de prioridade
IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas
IS - Indicador de suscetibilidade
IV - Índice de vulnerabilidade
MACBETH - Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique
MCDA - Multiple Criteria Decision Aid
MCDM - Multicriteria Decision Making
MDT - Modelo Digital do Terreno
MMAD - Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão
MGM - Movimento gravitacional de massa
ONU - Organização das Nações Unidas
PD - Potencial de destruição
PI - Potencial de indução
PROMETHEE - Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations
SIG - Sistema de Informação Geográfico
SSD - Sistema de Suporte a Decisão
SUGG – Sub-unidade Geológico-Geotécnica
UGG - Unidade Geológico-Geotécnica
UBC – Unidade Básica de Compartimentação
UNDP - United Nations Development Programme
UNISDR - United Nations International Strategy For Disaster Reductio
WLC - Weighted Linear Combination

1 INTRODUÇÃO

1.1 *Considerações iniciais*

O conjunto de atividades humanas, em especial aquelas desenvolvidas em centros urbanos e normalmente associadas ao uso indiscriminado do solo, tem gerado alterações significativas na paisagem e no meio ambiente da grande maioria das cidades brasileiras.

Dessa maneira é que o elevado processo de adensamento urbano, verificado nas últimas décadas, tem causado a ocupação de encostas, fundos de vales e áreas inundáveis, gerando prejuízos, tanto no âmbito social, como no econômico e ambiental, muitas vezes catastróficos e irrecuperáveis.

Os problemas associados a movimentos gravitacionais de massa nos aglomerados populacionais vão além dos fatores físicos predisponentes, não devendo o risco ser avaliado exclusivamente como um problema de estabilidade da encosta, mas também como um processo de tomada de decisão relacionado ao planejamento sistemático do uso do solo, tendo em vista que a deflagração destes processos pode estar condicionada também a fatores sócio-comportamentais (MARINO, 2008).

Nesse sentido, o grande desafio da comunidade científica e governamental está relacionado à tentativa de prever as porções de relevo mais suscetíveis à ocorrência destes fenômenos e seus efeitos negativos à sociedade.

O desenvolvimento de novas tecnologias para análise e controle da ocorrência dos movimentos gravitacionais de massa vem de encontro à demanda socioeconômica subsidiada pela crescente necessidade por áreas livres destes processos. Esse desenvolvimento é traduzido tanto pela elaboração de novas propostas metodológicas, quanto pela utilização de técnicas computacionais, como o uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Sistemas de Suporte à decisão (SSD), dentre outros (RODRIGUES, 2002).

Nesse contexto, as práticas sistemáticas que concorrem para o aproveitamento de informações disponíveis, no sentido de reutilizá-las para identificar eventuais alternativas para redução dos desastres naturais, devem fazer parte de uma agenda permanente para o poder público e a sociedade.

1.2 Justificativa e relevância

Os problemas relativos a processos geodinâmicos em margens de rios encontram-se presentes em vários lugares do mundo, mas na Amazônia, cujo regime pluvial é intenso e cuja situação socioeconômica é considerada como de subdesenvolvimento, esses problemas tendem a ser mais acentuados, devido às significativas flutuações de nível do meio aquático, à falta do necessário conhecimento sobre a gênese dos processos e a escassa estrutura para evitar ou mitigar seus efeitos nocivos.

Apesar da grande capacidade de transformação da paisagem e pelos transtornos que causam nos aglomerados urbanos, os processos de instabilidade em margens de cursos d'água na região amazônica ainda não receberam a devida atenção por parte da comunidade científica. A busca por conceitos e princípios que regem esses processos, revela um inexpressivo número de publicações correlatas ao assunto. Como exemplo, podem ser citados alguns trabalhos mais recentes encontrados na literatura, tais como Carvalho et. al. (2009), Labadessa (2011), Matos e Cursinho (2012), Pacheco e Brandão, (2012) e Magalhães e Gomes (2013) que, em sua maioria, fazem referência ao fenômeno de forma tangencial e normalmente dirigida aos impactos socioeconômicos.

O processo de consolidação de diversas cidades amazônicas, a exemplo das capitais regionais Belém, Manaus e Rio Branco, segue um padrão peculiar, que se caracteriza pela ocupação inicial das margens de seus principais afluentes, o que lhes confere certo grau de vulnerabilidade à ocorrência de processos da geodinâmica externa, como inundações e movimentos gravitacionais de massa (FRANCA, 2013).

Soma-se a isto o modo incipiente e subjetivo com que ocorrem as avaliações das áreas risco nesses espaços geográficos. De acordo com a Coordenadoria de Defesa Civil do Estado do Acre normalmente os eventos são identificados e classificados com base na opinião do corpo técnico local, na legislação urbanística e nas informações de moradores

Os problemas oriundos da ocupação inadequada das encostas marginais na região amazônica reforçam a necessidade de uma sistemática para organizar os componentes que condicionam o risco nessas áreas, para possibilitar ao gestor público e as equipes técnicas uma visão crítica do problema.

1.3 Premissas e hipótese

Esta pesquisa teve como premissa central o fato de que os danos sociais e econômicos relacionados a processos de instabilidade em áreas marginais de cidades amazônicas são significativos e que ainda é incipiente o conhecimento sobre os conceitos e princípios que regem estes processos.

Em consequência de aspectos físicos e antropogênicos bastante peculiares, como por exemplo, o complexo e dinâmico sistema flúvio-lacustre, as características geológico-geotécnicas únicas, os elevados índices pluviométricos e a cultura local, caracterizada pela ocupação de áreas de várzea e encostas marginais (população ribeirinha), há uma imensa dificuldade em equacionar, de forma simples e satisfatória, a magnitude do fenômeno perigoso e a fragilidade do elemento exposto, de modo que a indicação de espaços favoráveis à ocupação, ou ainda das áreas críticas quanto ao risco à população, baseia-se na percepção, experiência e preferência de quem realiza a análise, o que induz a resultados muito subjetivos.

Não há como eliminar essa subjetividade, uma vez que o problema analisado não tem apenas uma solução, senão inúmeras, pois a sua percepção não é única. Cada avaliador privilegiará um aspecto sobre outro, entretanto existe a perspectiva de que a estruturação de um processo decisório, baseado na utilização da rotina de apoio a decisão denominada de AHP (Analytical Hierarch Process), possa simplificar a complexidade do problema avaliado, reduzir incoerências e fornecer instrumentos que possibilitem uma visão crítica entre a realidade encontrada e a decisão a ser tomada.

Com base nas premissas descritas, foi formulada a seguinte hipótese de trabalho:

O conhecimento imperfeito sobre um problema complexo, baseado na experiência e na análise de informações básicas do meio físico e antrópico, pode ser orientado por um conjunto de regras de decisão e resultar em um diagnóstico menos subjetivo sobre o fenômeno considerado e a fragilidade do elemento em risco e, portanto, em um prognóstico mais racional sobre a decisão a ser tomada.

1.4 Objetivo e organização do trabalho

O objetivo geral deste trabalho foi o desenvolvimento de uma metodologia de base semiquantitativa, capaz de auxiliar na indicação de áreas potencialmente instáveis ou críticas quanto ao risco a população.

Para atender este objetivo, processo decisório foi estruturado em duas etapas principais. A primeira, denominada de zoneamento, teve a finalidade de aperfeiçoar a compreensão sobre os processos considerados e subsidiar a tomada de decisão quanto à indicação das áreas potencialmente instáveis e a segunda, desenvolvida em um maior nível de detalhe e denominada de prioridade de intervenção, buscou avaliar, quantificar e hierarquizar as relações conflitantes entre o uso e ocupação do espaço urbano e a magnitude do fenômeno perigoso, para então indicar um conjunto de ações mitigadoras.

Os resultados foram sintetizados e representados em três produtos cartográficos: Mapa de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa, Mapa de Prioridade de Intervenção e Mapa de Ações de Mitigação de Riscos.

Com a finalidade de validar a presente proposta, realizou-se um estudo de caso em uma parcela dos cursos d'água da área urbana de Rio Branco, capital do estado do Acre.

Pela especificidade do tema, vários critérios tiveram de ser desenvolvidos ou adequados a fim de que a análise considerasse determinadas particularidades ambientais, econômicas e sociais.

O Processo de Análise Hierárquico (AHP) foi a técnica adotada para estruturar o processo decisório, de modo que a hierarquização do problema e a priorização de alternativas baseou-se no julgamento lógico e quantificado que o método proporciona.

O estudo foi estruturado em cinco capítulos, acrescidos das referências bibliográficas e apêndices, da seguinte maneira:

- O capítulo 1 corresponde à introdução ao problema e apresenta a justificativa, relevância e as premissas que nortearam a escolha o objetivo da pesquisa;
- O capítulo 2 faz inicialmente referência aos conceitos básicos sobre movimentos gravitacionais de massa e, posteriormente, discute a terminologia associada à análise de riscos geológicos, as metodologias usadas para mapeamento de áreas de risco, os conceitos básicos sobre o método AHP e suas aplicações no estudo de movimentos gravitacionais de massa;
- O capítulo 3 corresponde à descrição da área de estudo, bem como dos materiais e procedimentos metodológicos adotados;
- O capítulo 4 apresenta os resultados da aplicação de um ensaio metodológico. São apresentados os principais produtos cartográficos e as análises realizadas; e
- O capítulo 5 apresenta as considerações e conclusões finais que remetem à hipótese central desta pesquisa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 *Classificação dos movimentos gravitacionais de massa*

Movimentos gravitacionais de massa são fenômenos responsáveis pela evolução do relevo, principalmente em áreas acidentadas ou montanhosas. Consistem em processos da geodinâmica externa em que a mobilização de material se dá pela condição de instabilidade, tendo como principal condicionante a atuação da gravidade, normalmente acelerada pela ação da água e outros agentes, ocorrendo o deslocamento de material em diferentes escalas e velocidades (VARNES, 1978; FERNANDES e AMARAL, 1996).

Esse tipo de fenômeno têm sido objeto de amplos estudos nas mais diversas áreas do conhecimento, não apenas por sua importância como agente atuante na evolução das formas do relevo, mas também em função de suas implicações práticas e de sua importância do ponto de vista econômico e social (GUIDICINI e NIEBLE, 1984).

Na literatura especializada existem inúmeros trabalhos que abordam de forma ampla sobre os mecanismos físicos, critérios, restrições, entre outros aspectos importantes a respeito desses processos. Dentre eles destacam-se os trabalhos de Varnes (1978), Guidicini e Nieble (1984), Augusto Filho (1992), Cruden e Varnes (1996) e Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014).

Segundo Selby (1993), os sistemas de classificação para movimentos de massa gravitacionais seguem critérios de diferenciação, tomando-se por base o tipo de material mobilizado, a velocidade e o mecanismo do movimento, a geometria da massa movimentada e o conteúdo de água. Dessa maneira é que surge a utilização das mais diversas terminologias para tais processos, que, por vezes, causam confusão quanto à classificação condizente para determinado evento.

Pesquisadores, técnicos, mas principalmente os veículos de comunicação, invariavelmente, se confundem quanto à determinação correta desses fenômenos, utilizando muitas vezes o termo escorregamento para designar qualquer movimentação de solo ou rocha por ação da gravidade (PINTO; PASSOS; CANEPARO, 2013). Quando tais processos ocorrem em margens de cursos d'água surgem ainda outras designações como por exemplo: Desbarrancamentos e Solapamentos.

Terras Caídas tem sido o termo utilizado por alguns autores, para designar os movimentos gravitacionais de massa que ocorrem nas margens de rios amazônicos. Em trabalhos como Guerra (1993), Labadessa (2011), Mello; Carvalho; Cruz (2012), Carvalho et al. (2009), esse foi

o termo adotado para designar indistintamente escorregamentos, tombamentos e rastejos em margens de rios. Essa generalização tem causado certa confusão, especialmente no que concerne a definição dos fatores que condicionam cada processo, uma vez que não há um critério de diferenciação quanto ao tipo e a forma de mobilização, a velocidade e o mecanismo de ruptura, a geometria da massa movimentada e o conteúdo de água.

No Brasil, as pesquisas sobre movimentos gravitacionais de massa ganharam grande impulso com o trabalho de Guidicini e Nieble (1984), que apresentam uma sistemática de classificação, baseadas nos agentes e causas desses processos.

No final da década de 1980 e no decorrer da década de 1990, os estudos sobre áreas de risco se intensificaram, com inúmeros trabalhos dos pesquisadores do Instituto Tecnológico do Estado de São Paulo (IPT), da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, do Instituto Geológico (IG), da Fundação Instituto de Geotécnica (GEORIO) e do Instituto Alberto Luiz Coimbra (COOPE/UFRJ).

Dentre os vários sistemas de classificação existentes, destacam-se internacionalmente os trabalhos de Varnes (1958 e 1978); já nacionalmente, os destaques são para os de Guidicini e Nieble (1984), Augusto Filho (1992) e o do IPT (1991).

A classificação mais utilizada internacionalmente é a de Varnes (1978), que é a classificação adotada pela Associação Internacional de Geologia de Engenharia (IAEG) e pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO). Na proposta de Varnes (1978), os movimentos são descritos e conseqüentemente classificados basicamente em função da forma do plano de ruptura e do tipo do material envolvido. São considerados como movimento gravitacional de massa: quedas, tombamentos, fluxos, escorregamentos e espalhamentos laterais, como pode ser observado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1- Classificação dos movimentos de encosta segundo VARNES (1978).

Tipo de Movimento	Tipo de material		
	Substrato rochoso	Solos para engenharia civil	
		grossos	Finos
Quedas	de rochas	de detritos	de solos
Tombamentos	de rochas	de detritos	de solos
Escorregamentos	poucas unidades	deslizamento de rochas	deslizamento de solos
		de blocos rochosos	de blocos solo
Escorregamentos	muitas unidades	de rochas	de solo
Espalhamentos laterais	de rochas	de detritos	de solo
Escoamentos	de rochas (deep cree)	de detritos	de solo
Complexos	Combinação de dois ou mais tipos de movimentos		

Na Figura 2.1, são ilustrados alguns exemplos desses tipos movimentos em materiais inconsolidados.

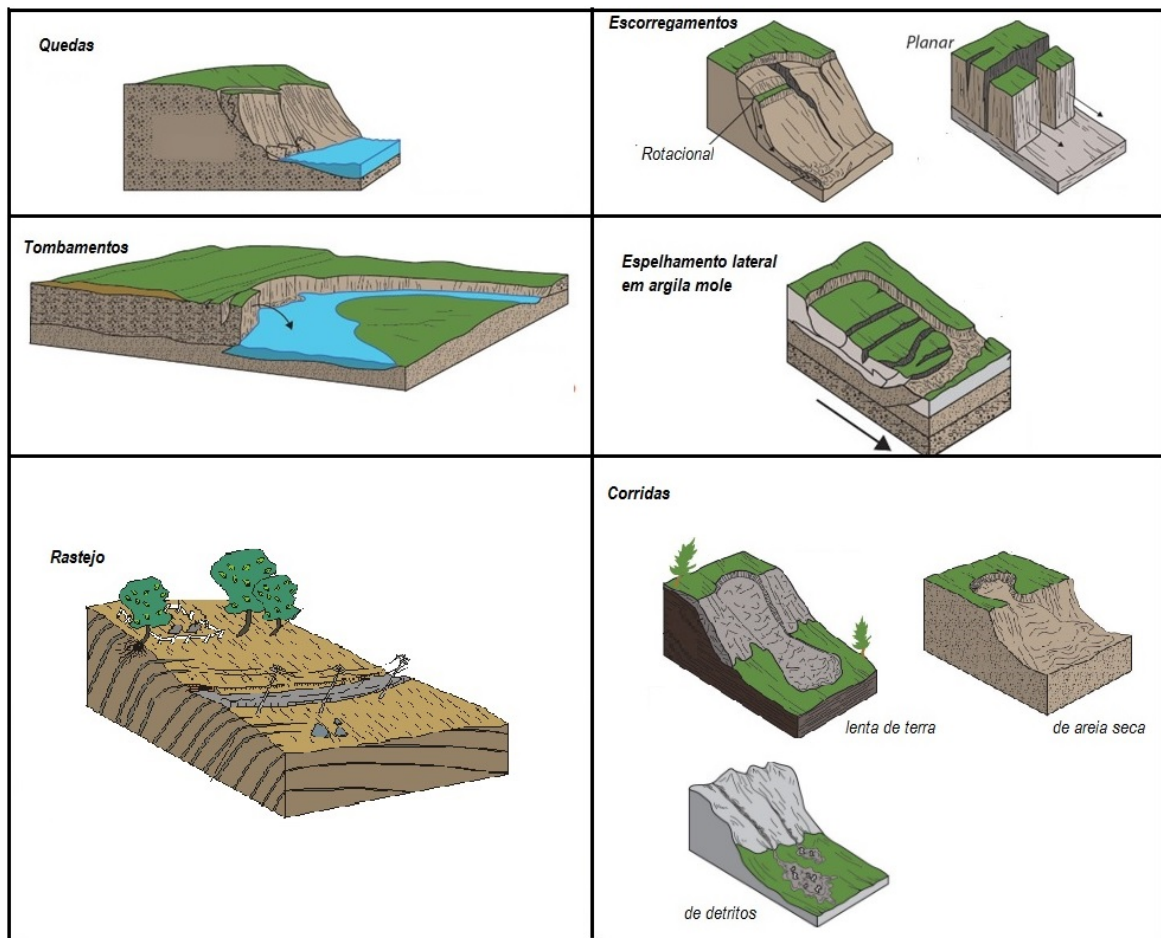


Figura 2.1 - Representação gráfica de movimentos de massa em materiais inconsolidados, segundo Varnes (1978), adaptado de Thornberry-Ehrlich (2013).

Para Augusto Filho (1992), as classes descritas por Varnes (1978), podem ser mais bem definidas, admitindo subdivisões, principalmente, no que concerne aos fluxos e escorregamentos, a partir da análise das características do material constituinte e da geometria da massa mobilizada, conforme mostra a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Classificação dos movimentos de massa (AUGUSTO FILHO, 1992).

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO, MATERIAL E GEOMETRIA
RASTEJO (CREEP)	Vários planos de deslocamento (internos). Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes c/ a profundidade. Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes. Solo, depósito, rocha alterada/fraturada. Geometria indefinida.
ESCORREGAMENTOS (SLIDES)	Poucos planos de deslocamentos (externos). Velocidades média (m/h) a altas (m/s). Pequenos a grandes volumes de material. Geometria e materiais variáveis: PLANARES = solos poucos espessos, solos e rochas c/ um plano de fraqueza; CIRCULARES = solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; EM CUNHA = solos e rochas com dois planos de fraqueza.
QUEDAS (FALLS)	Sem planos de deslocamentos. Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado. Velocidades muito altas (vários m/s). Material rochoso. Pequenos a médios volumes. Geometria variável: lascas, placas, blocos etc. ROLAMENTO DE MATAÇÃO TOMBAMENTO
FLUXOS (FLOWS)	Muitas superfícies de deslocamentos (internas e externas à massa em movimentação). Movimento semelhante ao de um líquido viscoso. Desenvolvimento ao longo das drenagens. Velocidades médias e altas. Mobilização de solo, rocha, detritos e água. Grandes volumes de material. Extenso raio de alcance mesmo em áreas planas.

Uma revisão apresentada por Hungr, Leroueuill e Picarelli (2014), traz atualizações à proposta de Varnes (1978) e incorpora os avanços recentes na compreensão dos movimentos gravitacionais de massa, principalmente, no que diz respeito aos aspectos geológicos e geotécnicos dos materiais envolvidos. No trabalho apresentado por esses autores, ocorre:

- A exclusão da classe “movimento complexo”;
- A inclusão de uma classe denominada “deformação da encosta”
- A subdivisão dos cinco tipos de movimentos principais descritos por Varnes (1978) - quedas, tombamentos, escorregamentos, espalhamentos e fluxos- em 32 subtipos, como pode ser observado na Tabela 2.3;

Tabela 2.3- Classificação dos movimentos de encosta segundo Hungr, Leroueil e Picarelli (2014).

Tipo de movimento	Tipos de material	
	Rocha	Solo
Queda	de rocha ou gelo	em pedregulhos, detritos ou silte
Tombamento	de blocos rochosos flexural de rocha	em cascalhos, areia ou silte
Escorregamento	rotacional de rocha	rotacional de silte ou argila
	planar de rocha	planar de silte ou argila
	em cunha de rocha	de cascalhos, areia ou detritos
	composto de rocha irregular de rocha	composto de silte ou argila
Espalhamento	de rocha	de areia ou silte por liquefação
		de argila sensível
Fluxo (escoamento)	Avalanche de rocha ou gelo	de areia, silte ou detritos secos
		de areia, silte ou detritos
		de argila sensível
		de detritos
		de lama
		de detritos
de detritos		
		de terra
		de turfa
Deformação	das encostas montanhosas	dos solos das encostas
	das encostas rochosas	rastejo de solo solifluxão

Hungr, Leroueil e Picarelli (2014) ressaltam que o termo “complexo” não é útil para designar eventos em que o movimento ocorre em mais de um estágio, pois tal terminologia não permite descrever adequadamente o mecanismo de ruptura e os materiais envolvidos. Para estes autores, o termo complexo não deve ser entendido ou categorizado como um tipo de movimento, mas como uma combinação de movimentos cuja terminologia adotada deve ser definida pelo avaliador.

Para exemplificar, os autores descrevem um evento (Figura 2.2) ocorrido em dois estágios no sul da Suíça, em Canton Valais. O primeiro estágio foi descrito como um escorregamento irregular em rocha, em que o material se deslocou como uma avalanche e recobriu parte de um depósito

de tálus, localizado em área íngreme. Devido à sobrecarga proveniente do primeiro estágio, o depósito de tálus começou a se movimentar como um escorregamento translacional alcançando alta velocidade e se depositando no pé da encosta. Ao invés de complexo o evento foi classificado pelos autores como escorregamento irregular de rocha e escorregamento de detritos (*irregular rock slide-debris slide*).



Figura 2.2 - Evento ocorrido em dois estágios em Canton Valais, Suíça (Hungr, Leroueill e Picarelli, 2014).

Os tipos de movimentos classificados por Varnes (1978) e também por Hungr, Leroueill e Picarelli (2014) foram resumidamente descritos a seguir:

- Quedas (*falls*) - Movimento oriundo do desprendimento de materiais de uma superfície íngreme não ocorrendo uma superfície de cisalhamento. O desprendimento pode se dar em queda livre com ausência de superfície de movimentação. Especificamente em materiais rochosos podem ocorrer rolamento ao longo de superfícies inclinadas ou desprendimento de lascas desses materiais (BRUNSDEN e PRIOR, 1984). Quando o tipo de material envolvido é o gelo, o mecanismo é idêntico ao da rocha, com exceção à baixa resistência do bloco movimentado (HUNGR, LEROUEILL e PICARELLI, 2014). Em se tratando de solo, os fragmentos podem ser grandes blocos de depósitos de solo coeso (NOLA, 2015).
- Tombamento (*toppling*) - Corresponde ao desprendimento de material devido a uma rotação sobre um ponto com centro de giro abaixo do centro de gravidade, produzido por forças externas exercidas por ação da água nas fissuras, expansões e movimentos sísmicos (DELGADO, 2006). Em rocha, a rotação ocorre em descontinuidades basais bem

definidas. Em solo, o movimento ocorre geralmente em materiais coesos, separado por descontinuidades verticais (HUNGR, LEROUEILL e PICARELLI, 2014).

- Escorregamentos (*slides*) - São movimentos rápidos que envolvem um deslocamento ao longo de vários tipos de superfícies, podendo ser rotacionais ou translacionais, dependendo da forma da superfície de ruptura (AUGUSTO FILHO, 1992). No subtipo rotacional, o material sofre pouca deformação e se desloca a partir de superfícies de ruptura internas. Este mecanismo gera degraus de abatimento na superfície apresentando rachaduras concêntricas ao longo do plano e côncavas ao longo da direção do movimento. Exibem uma superfície de escorregamento curva com a concavidade voltada para cima, embora ela raramente apresente uma curvatura uniforme (NOLA, 2015). O subtipo translacional é controlado por estruturas de fraqueza (falhas, juntas, planos de acamamento, variações na resistência ao cisalhamento, dentre outros) e a massa em movimento se deforma e se desloca no sentido para fora e para baixo, ao longo de uma superfície aproximadamente plana ou com pouca rotação.
- Escoamentos (*flow*) - também denominados por fluxos ou corridas são caracterizados por deslocamentos contínuos, em que a massa se movimenta de forma semelhante a um fluido viscoso. Apresentam alta capacidade de transporte e a mobilização de grandes volumes de material, ocasionados pela anulação da resistência ao cisalhamento dos materiais. O seu escoamento ao longo de um ou mais canais de drenagem podem atingir velocidades superiores a 3 m/s, sendo que os materiais transportados se comportam como fluidos altamente viscosos (GUIDICINI e NIEBLE, 1984; GRAMANI e AUGUSTO FILHO, 2004; CARVALHO; MACEDO; OGURA, 2007). Este tipo de movimento ocorre, em geral, em locais onde há uma abundância de material facilmente mobilizável pela adição de água. Estas condições são comumente encontradas em encostas, especialmente nas porções côncavas do relevo (SELBY, 1993);
- Espalhamentos laterais (*lateral spreads*) - Tipo de movimento que costuma ocorrer em encostas muito suaves ou em terreno planos, cujo mecanismo está associado à expansão lateral do material, acompanhada por fraturas de cisalhamento ou tração. Os materiais envolvidos podem ser coesivos devido à liquefação do material, ou rochosas espessas que se sobrepõem a material dúctil, que promove a deformação da rocha rígida subjacente por estiramento (HUNGR, LEROUEILL e PICARELLI, 2014).
- Deformação das encostas (*slope deformation*). Na atualização de Hungr, Leroueill e Picarelli (2014) inserem-se nesta categoria cinco subtipos de movimentos, todos relacionados a velocidades extremamente lentas, causadas por uma tensão de

cisalhamento suficiente para produzir uma deformação, mas insuficiente para ocasionar rupturas. Nesta atualização o rastejo em solo passa a ser classificado como um tipo de deformação da encosta e não mais como um escoamento, como sugerido por Varnes (1978).

Para os trabalhos que envolvem a previsão de um processo de instabilidade, é importante que se tenha em mente que ele pode ocorrer a partir de uma sequência de eventos e/ou estágios, cuja caracterização do estágio em que se encontra o movimento é muito importante (AHRENDT, 2005). Nesse sentido, Leroueil (2001) apresenta os seguintes estágios (Figura 2.3) para os movimentos gravitacionais de massa:

- Estágio pré-ruptura:** inclui todo e qualquer processo de deformação que pode levar à ruptura. Este estágio é controlado essencialmente por mudanças na resistência;
- Estágio de ruptura:** é caracterizado pela formação de uma superfície contínua de cisalhamento na massa do solo;
- Estágio pós-ruptura:** inclui a movimentação da massa de solo ou rocha, desde a sua ruptura até o término de sua movimentação. É caracterizado por um aumento da taxa de deslocamento, seguido da diminuição progressiva da velocidade;
- Estágio de reativação:** quando uma massa de solo desliza ao longo de uma ou mais superfícies de ruptura pré-existentes.

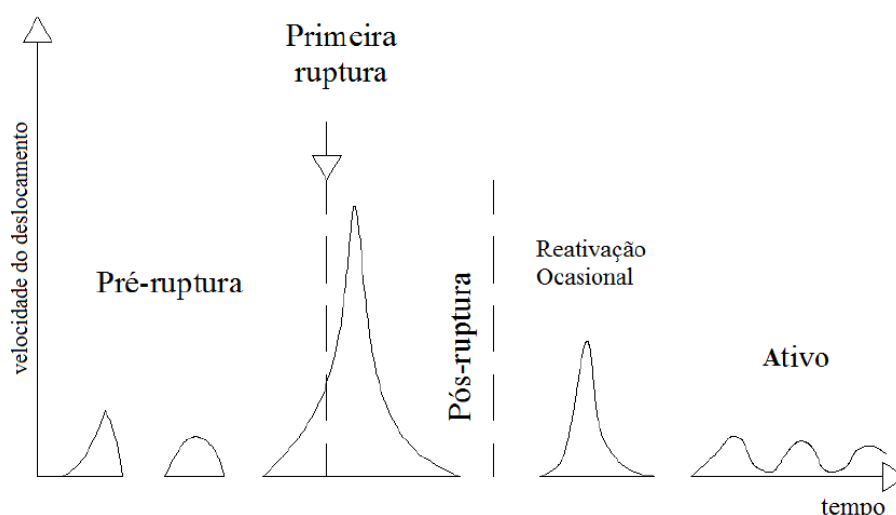


Figura 2.3 - Estágios dos movimentos de massa (adaptado de Leroueil, 2001).

2.2 Aspectos conceituais relacionados à avaliação de áreas de risco

Nas últimas décadas, os avanços dos sistemas computacionais e a popularização dos sistemas de informação geográfica (SIG) tem provocado um significativo aumento na produção de

metodologias relacionadas ao mapeamento e avaliação do risco a eventos extremos no Brasil e no Mundo.

O aumento da frequência e da gravidade dos desastres, a partir da década de 1960, mobilizou instituições internacionais, como a Organização das Nações Unidas (ONU), que, em 1989, declarou a década de 1990 como aquela voltada à prevenção dos desastres naturais.

De acordo com a ONU (2004), a avaliação de risco deve ser fundamentada no conhecimento qualitativo e quantitativo do evento, bem como de seus condicionantes e suas consequências negativas no âmbito físico, econômico e socioambiental.

A relevância deste tipo de estudo para o planejamento e desenvolvimento das estratégias de redução de desastres, foi tratada com especial atenção durante a Década Internacional de Redução dos Desastres Naturais (DIRDN), cuja principal finalidade foi a de reduzir perdas de vidas, danos e transtornos socioeconômicos nos países em desenvolvimento, provocados por eventos extremos.

Segundo Augusto Filho (1994), os principais objetivos da DIRDN eram o aprimoramento da capacidade de resposta de países em desenvolvimento, por meio do auxílio às atividades técnicas e científicas, e formulação de estratégias e medidas para avaliação, previsão, prevenção e mitigação dos efeitos catastróficos dos desastres.

De acordo com a proposta de Cerri (1993), os movimentos gravitacionais de massa são processos exógenos pertencentes à subclasse dos *riscos geológicos*, definido como uma situação de perigo, perda ou dano ao homem ou à sua propriedade, em virtude de um evento geológico induzido ou não.

Na literatura especializada é possível encontrar um número expressivo de trabalhos correlatos ao tema, entretanto, em muitos casos os conceitos básicos apresentam definições controversas entre os seus usuários. Termos como evento, acidente, desastre, perigo, ameaça, suscetibilidade, vulnerabilidade, risco ainda não encontraram definições unânimes entre os seus usuários (VARANDA, 2006; TOMINAGA, 2007).

Para Lavell (2000) as discussões sobre os temas relativos aos desastres naturais ainda são prejudicadas pelos diferentes usos e formas de compreensão da terminologia, tendo em vista que uma série de aspectos relativos à redução de desastres ainda requerem entendimentos e

abordagens comuns entre seus componentes. O autor elaborou, sob os auspícios da Divisão de Resposta a Emergências do Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas (ERD-UNDP), uma análise da terminologia empregada por agências nacionais e internacionais de atendimento a desastres naturais, onde foram observadas as seguintes contradições nos documentos analisados:

- Em geral, há uma falta de definição clara, uma confusão de níveis e tipos, entre eventos potenciais e reais, havendo interpretação e usos diferentes para os mesmos conceitos ou termos;
- Em documentos de uma mesma agência são encontradas diferenças de terminologia em diversos momentos;
- Abordagens desatualizadas para tópicos que têm evoluído para conceitos mais modernos.

Há uma franca tendência de todas as áreas em aceitar a diferenciação entre um perigo ou ameaça resultante de um determinado processo ou evento (de qualquer origem ou composição) do risco (consequência ou produto deste perigo ou ameaça) a que estão submetidas pessoas, bens ou recursos (Nogueira, 2002).

A formulação e a tradução desses termos são extremamente variadas. Tominaga (2007) citando Rodrigues-Carvalho (1998) afirma que o termo “*Geological Hazard*” tem sido muitas vezes impropriamente traduzido para a língua portuguesa como Risco Geológico. Entretanto, para esse autor, a confusão não se restringe aos países de língua portuguesa, uma vez que 60% dos trabalhos apresentados no “VI Symposium on Landslides”, em 1995, que indicavam a utilização de métodos de cartografia de “hazards” tratavam, na realidade, de cartografia de suscetibilidades ou inventários.

De acordo com Einstein (1997) termo “*hazard*” é, em geral, utilizado quando se trabalha com a incerteza de uma ameaça em que a sua previsibilidade é limitada. Já o termo “*danger*” caracteriza o fenômeno físico adverso, com base em um sistema classificatório (Varnes, 1978, por exemplo), mas não envolve qualquer diagnóstico.

O risco por sua vez, associa à probabilidade ocorrência de um perigo natural às condições de vulnerabilidade do sistema receptor, expressando dessa maneira, as consequências danosas ou perdas esperadas, como resultado de interações entre o evento adverso e fragilidade do elemento exposto (UNDP, 2004 e MARINO, 2008).

Uma das terminologias mais utilizadas nos estudos relacionados a movimentos gravitacionais de massa é a de Varnes (1984), que propôs as seguintes definições:

“Natural Hazard” ou Ameaça Natural (H): refere-se à probabilidade de ocorrência de um fenômeno natural, potencialmente danoso, em um determinado intervalo de tempo para uma determinada área;

“Vulnerabilty” ou Vulnerabilidade (V): refere-se ao grau de perda de um determinado elemento ou um conjunto de elementos em risco, resultante da ocorrência de um fenômeno natural de uma dada magnitude;

“Specific risk” ou Risco específico (Rs): expressa o grau de perda esperado devido a um fenômeno natural particular, que pode ser expresso em termos do produto entre Perigo e Vulnerabilidade;

“Elements at risk” ou Elementos em risco (E): referem-se à população, propriedades e atividades econômicas, incluindo serviços públicos, entre outros que estão em risco em uma dada área;

“Total risk” ou Risco total (Rt): expressa o número esperado de perdas humanas, de pessoas afetadas, danos a propriedades ou interrupção de atividades econômicas devido a um fenômeno natural específico. Matematicamente pode ser expresso pela equação:

$$R_t = E \times R_s \quad \text{Eq. 2.1}$$

Onde: R_t é o risco total; E é corresponde ao elemento de risco e R_s ao risco específico.

Van Westen (2004) descreve *risco* como resultado do produto da probabilidade (P) de ocorrência de um evento com uma determinada magnitude, os custos dos elementos (E) e o grau de vulnerabilidade (V) que representam os danos dos elementos em risco, devido à ocorrência de um evento. Esse conceito foi matematicamente expresso pelo autor da seguinte forma:

$$\text{RISCO TOTAL} = \Sigma (P * \Sigma (V * E)) \quad \text{Eq. 2.2}$$

No Brasil, para homogeneizar o entendimento sobre essas diversas terminologias, o poder público brasileiro, por meio do Ministério das Cidades adota as seguintes definições para os termos mais utilizados na análise de riscos geológicos (OGURA et al., 2006):

- *Evento*: Fenômeno com características, dimensões e localização geográfica registradas no tempo;
- *Ameaça (Hazard)*: Condição com potencial para causar uma consequência desagradável.
- *Vulnerabilidade*: Grau de perda para um dado elemento ou grupo dentro de uma área afetada por um processo;
- *Suscetibilidade*: Indica a potencialidade de ocorrência de processos naturais e induzidos em áreas de interesse ao uso do solo, expressando-se segundo classes de probabilidade de ocorrência;
- *Risco*: Probabilidade de ocorrer um efeito adverso de um processo sobre um elemento. Relação entre ameaça e vulnerabilidade, pressupondo sempre a perda;
- *Área de Risco*: Área passível de ser atingida por processos naturais e/ou induzidos que causem efeito adverso. As pessoas que habitam essas áreas estão sujeitas a danos à integridade física, perdas materiais e patrimoniais.

Na definição de Nogueira (2002), o *risco* é composto por três componentes, que foram materializadas na Eq. 2.3:

$$R = P (fA) * C (fV) * g^{-1} \quad \text{Eq. 2.3}$$

Em que um determinado nível de risco (R) representa a probabilidade (P) de ocorrer um fenômeno físico (ou perigo) A, em local e intervalo de tempo específico e com características determinadas (localização, dimensões, processos e materiais envolvidos, velocidade e trajetória); causando consequências (C) (às pessoas, bens e/ou ao ambiente), em função da vulnerabilidade (V) dos elementos expostos; podendo ser modificado pelo grau de gerenciamento (g).

Nesta tese, “*hazard*” será traduzido como ameaça e utilizado para expressar a possibilidade de fenômeno natural ocorrer em determinado espaço geográfico, com determinada magnitude e para em um dado período (NOGUEIRA, 2006). Esta definição busca incorporar ao processo decisório conceitos quanto a localização espacial dos eventos, sua magnitude e a frequência de ocorrência, para diferenciar um evento comum de um evento perigoso.

2.3 Mapeamentos relacionados a movimentos gravitacionais de massa

A primeira e imprescindível etapa do gerenciamento de risco consiste em identificar, analisar, cartografar e descrever seus componentes (ameaça e vulnerabilidade) para poder construir uma estratégia adequada ao seu enfrentamento (NOGUEIRA, 2002).

Em função disso, a elaboração de diagnósticos com a finalidade de estabelecer diretrizes para a ocupação racional do solo é cada vez mais premente, especialmente, no que diz respeito ao direcionamento da expansão urbana para áreas mais favoráveis (VALENTE, 2000).

Ao longo das duas últimas décadas, muitos institutos de pesquisa e entidades governamentais têm investido recursos consideráveis na prevenção de acidentes geológicos relacionados à movimentos gravitacionais de massa.

Para tanto, vários modelos e métodos têm sido propostos, especialmente com o desenvolvimento dos sistemas de informações geográficas (SIG) e das técnicas de sensoriamento remoto. No entanto, não há um consenso sobre qual das classes de métodos é mais adequada (VAHIDNIA, et al., 2010).

Os produtos cartográficos são elementos essenciais ao processo de tomada de decisão e, conseqüentemente, ao desenvolvimento de políticas públicas, bem como eliminação ou mitigação de riscos. Entretanto, a tradução de um conjunto de fatores predisponentes em uma previsão, decisão ou ação é uma tarefa complexa e altamente suscetível a erros. De acordo com Baeza & Corominas (2001), a confiabilidade dos produtos depende principalmente da quantidade e qualidade dos dados disponíveis, da escala de trabalho e da seleção da metodologia adequada de análise e modelagem do problema.

Nos estudos relacionados a problemas de instabilidade de encostas, a maior parte das propostas metodológicas busca estabelecer um prognóstico da área analisada, com base na estimativa e avaliação dos atributos que influenciam direta e indiretamente o processo avaliado e/ ou as conseqüências negativas desses processos. Estes atributos são combinados entre si de diferentes formas e os resultados normalmente representados e sintetizados em um produto cartográfico (BAEZA e COROMINAS, 2001; VANACÔR e ROLIM, 2012).

A diversidade de objetivos e metodologias trouxe consigo inúmeros termos e produtos, uns mais comuns tais como suscetibilidade, risco, aptidão, com seus respectivos mapas e cartas, outros menos frequentes, como fragilidade, vulnerabilidade, sensibilidade, predisponência, restrições, etc., além da grande variabilidade das escalas de mapeamento (SOBREIRA e SOUZA, 2012).

A escolha do método de mapeamento depende de vários fatores, que segundo Erener & Düzgün (2012) podem ser listados como: a finalidade do mapeamento (risco, ameaça, vulnerabilidade, suscetibilidade), a unidade de terreno, a escala de informação, a metodologia adotada para o

tratamento dos dados, os tipos de eventos, a quantidade e a qualidade dos dados disponíveis e necessários.

Observando a diversidade das tipologias relacionadas aos movimentos de massa (queda, escorregamento, rastejo etc.), é fácil perceber que a análise do problema passa necessariamente pela avaliação do fenômeno com base na interpretação adequada de um amplo conjunto de atributos, havendo a necessidade de algum conhecimento prévio sobre a relação desses atributos com seus fatores controladores e com a avaliação pretendida. De acordo com Amaral Junior (2007), a tomada de decisão deve ocorrer de maneira sistemática e compatível com a escala a ser aplicada, devendo-se:

- i. Caracterizar os tipos de movimentos de massa visando sua classificação e entendimento dos mecanismos associados;
- ii. Definir e levantar os condicionantes após a caracterização de seus atributos; e
- iii. Levantados estes condicionantes, deve-se aplicar tratamentos aos dados em que pode ser focado para uma análise multicriterial, heurística, estatística ou determinística, obtendo como objetivo final o zoneamento geológico-geotécnico de predisposição a movimentos gravitacionais de massa.

Zhang & Montgomery (1994) ressaltam a importância de atentar para a escala de informações necessárias à elaboração de Modelos Digitais do Terreno (MDT) aplicados nos estudos de escorregamentos. Segundo os autores, informações com resoluções inferiores a 30 metros não conseguem mais discretizar o relevo de forma que seja possível sua utilização na previsão de movimentos de massa.

Para Gomes et al. (2005), a escala mínima a ser adotada na previsão processos de instabilidade deve ser de 1:50.000, tendo em vista que escalas menores não reproduzem de maneira satisfatória os contornos do relevo necessários à modelagem computacional destes fenômenos.

Para efeitos de zoneamento de áreas sujeitas a movimentos de massa, Soeters e Van Westen (1996) sugerem as escalas e a resoluções apresentadas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Escalas utilizadas (Soeters e Van Westen, 1996).

Caracterização	Escalas	Áreas mínimas de estudo
Nacional	1:1.000.000	
Regional	1:100.000 a 1:500.000	250.000 km ²
Média	1:25.000 a 1:50.000	2500 a 62500 km ²
Grande	1:5.000 a 1:15.000	156,25 a 625 km ²
Local	1:5.000 e maiores	6,25 a 56,25 km ²

No mapeamento de processos de instabilidade, tão importante quanto à escala da informação é a determinação da área mínima para o tratamento das informações. No atual estágio do conhecimento, três tipos de áreas mínimas podem ser adotadas para integração espacial das informações, conforme descreve RODRIGUES (2002):

- **Grade regular (célula):** consiste em selecionar uma área regular (Figura 2.4a) com dimensões que variam conforme o objetivo, a escala, as dimensões e a área de estudo. Apresenta como principal vantagem a possibilidade de trabalhar com pequenas extensões (ou extensões definidas), o que permite uma tomada de decisão adequada à realidade do local sem a preocupação de estar superestimando ou subestimando a extensão a ser contemplada;
- **Encosta:** considera apenas um lado do vale (Figura 2.4b). A seleção deste tipo de área apresenta como desvantagem a sua grande variação de dimensões que podem ir de métricas a dezenas de metros. Uma vez que as dimensões das encostas são variadas e não se limitam à ocorrência dos eventos, podem ocorrer variações significativas dos atributos avaliados em uma mesma unidade de terreno;
- **Bacia Hidrográfica:** é a unidade hidrológica principal de uma região delimitada pelos divisores que definem a área de drenagem de um sistema pluvial (Figura 2.4c). A seleção deste tipo de área mínima está mais ligada a estudos referentes a problemas de inundação do que aqueles ligados a movimentos gravitacionais de massa. Seguindo o mesmo princípio das encostas, por serem unidades naturais podem apresentar significativa variação de dimensões e de atributos.

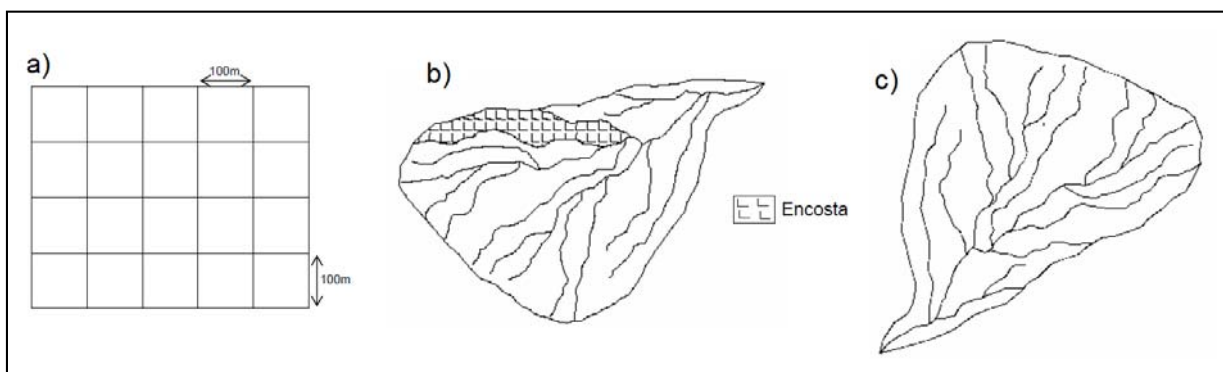


Figura 2.4 - Área mínima: a) grid regular, b) Encosta, c) Bacia hidrográfica (RODRIGUES, 2002).

Com base nos trabalhos de Amaral Junior (2007), Silva (2009) e Nola (2015) elaborou-se uma estrutura de mapeamento hierarquizada em cinco níveis para descrever os principais produtos cartográficos utilizados no estudo de movimentos gravitacionais de massa:

Nível 1: Mapas de atributos do meio físico

Também chamados de mapas temáticos, são produtos que apresentam um conjunto de informações básicas coletadas em campo ou na literatura, e que não foram submetidas a interpretações ou sínteses apropriadas ao estudo proposto.

Os atributos podem ser: material inconsolidado, textura e espessura do material, declividade, litologia, curvatura, índice de vegetação, uso e ocupação, entre outros (Nola, 2015).

Nível 2: Mapas de inventário

Um inventário é o registro da localização do evento e informações quanto ao tipo de movimento, geometria, data de ocorrência, atividade e velocidade (GUZZETTI et al., 2012).

As metodologias mais utilizadas se baseiam principalmente em investigações de campo associadas a interpretação de produtos de sensoriamento remoto, em função da escala de trabalho e do tipo de mapeamento (GUZZETTI, 2006).

Este tipo de produto cartográfico não contempla nenhuma previsão, como tempo de retorno ou probabilidade de eventos, simplesmente retrata a ocorrência de um único tipo, ou diferentes tipos de eventos em uma determinada área (TOMINAGA, 2007, GUZZETTI et al., 2012).

Mapas de inventário podem reunir informações obtidas a partir de arquivos públicos ou privados, jornais, relatórios técnicos ou científicos e entrevistas, dentre outros documentos. Essas informações podem estar relacionadas:

- À um determinado período de tempo;
- Às feições ocorridas devido a um evento deflagrador como um terremoto;
- Às feições ocorridas a partir de um único evento ou múltiplos durante um período temporal (e.g., GALLI et al., 2008; GUZZETTI et al., 2004b).

Nível 3: Mapas de Suscetibilidade.

Os mapas de suscetibilidade estão voltados à identificação das características geológico-geotécnicas que influenciam à ocorrência de um movimento de massa gravitacionais, com o intuito de estimar, em escala espacial, a potencialidade que os terrenos apresentam para a ocorrência de processos geológicos, independentemente de suas consequências para as atividades humanas (AMARAL JUNIOR, 2007; SOBREIRA e SOUZA, 2012).

Os procedimentos de elaboração desse tipo de mapa, envolvem a realização de um zoneamento em que as unidades de terreno são classificadas de acordo com a sua predisposição ao (s) processo (s) considerado (s) (FELL et al., 2008). Para tanto, os fatores predisponentes ligados ao meio físico (geologia, geomorfologia, vegetação, aspectos climáticos e hidrológicos) são analisados em toda área de estudo.

Dentre os procedimentos de aquisição de dados mais usados em mapeamentos dessa natureza, destaca-se a inferência realizada a partir da compartimentação de terrenos em unidades fisiográficas homogêneas, para as quais é possível obter determinadas informações sobre características e comportamentos que as diferem das demais, podendo-se, assim, antecipar as consequências diretas e indiretas decorrentes do fenômeno avaliado (Rodrigues et al., 2014).

De acordo com Sobreira e Souza (2012) este tipo de produto cartográfico tem caráter predominantemente qualitativo e é mais eficaz no planejamento em um nível mais macro, buscando indicar as áreas mais propícias para os diversos usos e ocupações, assim como as restrições existentes nos demais locais.

Nível 4: Mapas de ameaça (*Hazard*)

Uma carta de eventos perigosos registra a probabilidade de ocorrência de um ou mais tipos de eventos, além de informações quanto à magnitude dos eventos, sua localização e o provável período de ocorrência (VARNES, 1984, ZUQUETTE e GANDOLFI, 2004).

Zuquette e Gandolfi (2004) destacam que o ponto central desse tipo de estudo refere-se ao modo de obtenção da probabilidade de ocorrência de determinados eventos de magnitude/intensidade suficiente para classificá-los como perigosos

Muitos autores já publicaram seus estudos sobre cartas de eventos perigosos contendo diferentes metodologias tais como: Carrara, 1983; Varnes, 1984; Aleotti e Chowdhury, 1999; Guzzetti et al., 2004a; Sarkar e Anbalagan, 2008, dentre outros.

Nível 5: Mapas de Risco

De acordo com Nogueira (2002) risco é tido como uma condição latente ou potencial e a determinação do seu grau não depende apenas das características geológico-geotécnicas dos materiais envolvidos nos processos geodinâmicos ou mesmo dos agentes deflagrados, mas também dos efeitos nocivos ao sistema receptor. Logo, os mapas de risco são mais detalhados que os mapas de ameaça, pois além de fornecer informações sobre o local, intervalo de tempo e magnitude de um evento perigoso, também relacionam os possíveis danos, em razão do grau de vulnerabilidade dos elementos expostos.

Segundo Sobreira e Souza (2012), na avaliação da vulnerabilidade deve-se considerar as possibilidades técnicas e socioeconômicas de prevenir ou mitigar os vários efeitos destrutivos do fenômeno e o grau de organização e coesão interna das comunidades em risco, considerando sua capacidade de prevenir, mitigar ou responder às situações de desastre.

Para Tominaga (2007), a forma mais simples e mais comum de se obter um mapa de risco é por meio da sobreposição do mapa de ameaça ao mapa de uso do solo.

2.4 Métodos de análise

Diante dos conceitos apresentados, é possível perceber que o modelo ideal de avaliação a processos geodinâmicos está intimamente relacionado ao tipo de avaliação pretendida e aos dados relacionados.

Os métodos de análise associados a movimentos de massa estão essencialmente fundamentados em duas bases, uma de caráter qualitativo e outra quantitativa (WU et al., 1996).

A análise qualitativa, normalmente aplicada em trabalhos emergenciais relacionados à estimativa da suscetibilidade, ameaça ou risco, é considerada válida no meio técnico internacional e grupos

de trabalho ligados à ISDR (International Strategy for Disaster Reducion) (AUGUSTO FILHO, 2001). Este tipo de análise abrange a caracterização do processo envolvido, a delimitação espacial do setor apreciado e a avaliação subjetiva da ameaça, das consequências potenciais que resultam na classificação de risco.

Os métodos qualitativos possibilitam que o investigador possa estimar a instabilidade, atual e potencial, por meio da avaliação de uma conjunção de atributos. No entanto, pode haver eventuais incoerências e imprecisões devido à elevada subjetividade dos resultados, que estão fortemente condicionados à experiência de quem realiza a avaliação (GARCIA e ZÊRERE, 2003).

Já nos métodos quantitativos, a análise é mais objetiva, os resultados dependem fundamentalmente do rol de atributos avaliados, de sua relação de dependência com o fenômeno avaliado e da representatividade e adequabilidade dos dados utilizados. Estes métodos produzem uma estimativa numérica do grau de suscetibilidade, ameaça ou risco, incorporando em termos probabilísticos, as incertezas associadas a cada tipo de avaliação (COSTA, 2005).

Ao estimar o risco, deve-se ter em mente que por mais quantitativo que seja o método aplicado, quando o elemento exposto é própria população, não há como se eliminar totalmente a subjetividade. Na análise de suscetibilidade e ameaça, é possível construir modelos, mais ou menos sofisticados, realizando-se simulações e reduzindo as incertezas a níveis aceitáveis. No entanto, na avaliação da vulnerabilidade das pessoas tudo se torna mais complicado, não pela dificuldade e custo para se obter um dado, mas pelo menos pela questão moral e ética, de expressar numericamente o valor de uma vida (GARCIA e ZÊZERE; 2003).

Portanto, quando se fala em estimar o risco à população, está implícito que há um nível de aceitação ou tolerância, que por questões políticas, ambientais e culturais, pode variar de indivíduo para indivíduo e de sociedade para sociedade.

Amaral e Silva (2001) destacam que a análise quantitativa envolve uma fase de identificação, onde se obtêm informações sobre as características do processo; e uma fase de avaliação que consiste na determinação de variáveis necessárias ao tratamento do problema como: a probabilidade de início do movimento, o volume do material mobilizado, a velocidade de deslocamento, o alcance da massa escorregada, a força de impacto, o número e a fragilidade de propriedades e pessoas em risco, o tempo de exposição e o valor dos bens.

De uma forma geral são observados quatro grupos principais de métodos utilizados para análise de movimentos gravitacionais de massa: heurístico, determinístico, estatísticos e multicritérios.

A seguir é apresentada uma breve descrição desses grupos.

2.4.1 Métodos heurísticos

Os métodos heurísticos são qualitativos, baseiam-se no conhecimento “*a priori*” dos atributos envolvidos no problema. Os resultados são alcançados de modo indireto, a partir da combinação, ponderação e análise subjetiva dos atributos considerados e, normalmente, são extrapolados para zonas com similaridade de atributos (AMARAL JUNIOR; 2007).

Muitas das metodologias de mapeamento adotadas no Brasil e no mundo são fundamentadas neste método de análise. De acordo com Faria & Augusto Filho (2013), a sistemática de mapeamento de áreas urbanas mais utilizado pelo poder público brasileiro emprega, como técnicas principais, a realização de vistorias sistemáticas de campo, com utilização de fichas descritivas para armazenar as informações coletadas e a delimitação de setores de risco em imagens aéreas recentes e de grande escala e de detalhe. Este método, muitas vezes consegue subsidiar satisfatoriamente as ações de mitigação dos riscos, indicando os locais prioritários para receberem essas ações. Por outro lado, existe o questionamento pelo meio técnico devido ao grau elevado de subjetividade que o método pode agregar, podendo produzir resultados de baixa confiabilidade, especialmente em regiões onde há escassez de informações e os processos ainda são pouco compreendidos.

Mesmo havendo limitações e imprecisões neste tipo de análise, Cerri et al. (2007) destacaram que os resultados da sua aplicação foram decisivos para redução de acidentes geológicos em 214 áreas de encostas e margens de cursos d’água em assentamentos precários do Município de São Paulo, entre os meses de setembro de 2002 e maio de 2003.

2.4.2 Métodos estatísticos

Fundamentados na abordagem probabilística e na análise de frequências de eventos, são classificados como métodos de análise quantitativos e indiretos, tendo em vista que os resultados normalmente são extrapolados para outras áreas com condições similares àquela já estudada.

A subjetividade de se atribuir valores de pesos aos fatores considerados é solucionada através da comparação entre a distribuição espacial de eventos pretéritos em relação aos parâmetros que

estão sendo considerados (NOLA, 2015). Uma das vantagens desse tipo de análise, é que o investigador pode decidir sobre quais fatores devem participar da previsão (ALEOTTI e CHOWDHURY, 1999).

Sobreira e Souza (2012) destacam como limitações deste tipo de análise, a dificuldade para inserção de dados relacionados a ação pontual do homem (alteração da geometria de taludes, lançamento de águas e esgotos, etc.) sobre o meio físico e a necessidade de se ter dados de entrada em escalas compatíveis com os problemas mais recorrentes.

Nola (2015), ressalta o cuidado ao se realizar previsões com base na correlação entre fatores e eventos, uma vez que podem existir erros quanto à classificação dos processos, ou ainda diferenças quanto ao modo e a forma dos registros procedentes de trabalhos anteriores. A autora, ao construir um inventário com um total de 693 feições classificadas em 11 tipos de processos diferentes, observou que poderia haver um erro na classificação de alguns processos. Os eventos classificados como complexos poderiam, na realidade, se tratar de áreas com múltiplas feições e não a combinação de 2 ou mais tipos de movimentos como preconizam as classificações. Em seu trabalho, a autora ainda observa que mesmo para os dados considerados válidos, no geral, não existem nas feições cadastradas informações essenciais à compreensão dos processos, como por exemplo a velocidade, o volume, a condição de umidade e data de ocorrência dos eventos, sendo estas informações de grande relevância para definição dos fatores que governam cada tipo de processo de instabilidade.

A análise estatística pode ser bivariada ou multivariada.

Nos modelos bivariados cada atributo (declividade, geologia, uso do solo etc.) é combinado com o mapa de distribuição de eventos, e pesos baseados na densidade desses eventos são calculados para cada atributo. Estes fatores podem ser interpretados em termos de probabilidade segundo o teorema de Bayes, por exemplo.

Já nos métodos multivariados são utilizadas técnicas estatísticas como a regressão múltipla e a análise de fatores (CARRARA, 1983; KOMAC, 2006), em que são analisadas as interações e a dependências de um conjunto de fatores que atuam simultaneamente na ocorrência do movimento de massa para estabelecer a implicação que cada um deles tem (AMARAL JUNIOR, 2007).

2.4.3 Métodos determinísticos

Os métodos determinísticos são baseados em leis físicas de conservação de massa, energia e momento. Por este motivo, constituem métodos de elevada precisão e amplamente aplicados em estudos de grande escala, entretanto, de custo elevado, necessitando de dados exaustivos para alimentar seus modelos.

A análise determinística é baseada na análise da estabilidade do maciço, em que as principais propriedades físicas são quantificadas e aplicadas em modelos matemáticos específicos. Os dados de entrada desses modelos provêm de ensaios laboratoriais e ensaios de campo, aplicados para calcular um fator de segurança. Em geral, são necessários dados geométricos, parâmetros de resistência ao cisalhamento (coesão e ângulo de atrito) e informações sobre pressão neutra e forças de percolação.

Por este motivo, são mais adequados para avaliar a instabilidade de encostas em áreas pequenas, em condições geomorfológicas e geológicas muito homogêneas, e onde os tipos de movimentos gravitacionais de massa são simples (VAN WESTEN, 1993; INTARAWICHIAN, 2009).

Apesar de cada método apresentar propósitos específicos, algumas hipóteses são comuns (MORGENSTERN e SANGREY, 1978):

- Assume-se a existência de uma superfície de ruptura bem definida, assim como um critério de ruptura, o qual é satisfeito ao longo de toda a superfície de ruptura;
- Assume-se que a massa a ser deslocada encontra-se no limite de equilíbrio e que sua resistência pode ser mobilizada em qualquer ponto da superfície de ruptura;
- A resistência ao cisalhamento calculada e necessária para o equilíbrio é comparada com a resistência ao cisalhamento disponível. Esta comparação é feita a partir do fator de segurança.
- O mecanismo ou superfície de ruptura com o menor fator de segurança é encontrado através de iterações, e este é constante ao longo da superfície potencial de ruptura.

2.5 O método AHP

2.5.1 A relevância dos métodos multicritérios para os estudos heurísticos relacionados a movimentos gravitacionais de massa

A delimitação e avaliação das áreas sujeitas à ocorrência de eventos perigosos depende do conhecimento e levantamento dos atributos que influenciam na predisposição e deflagração dos processos considerados (SOBREIRA e SOUZA, 2012). O grande desafio neste tipo de avaliação consiste em relacionar, de forma sistemática, as características do meio físico e as ações antrópicas com os sinais de movimentação identificados para, então, indicar as potencialidades e limitações dos diferentes terrenos.

De acordo com Nola (2015), a descrição das características geológico-geotécnicas deve ser realizada buscando-se obter todas as informações que podem levar ao entendimento da interferência dos atributos naturais e antrópicos na estabilidade do material. Entretanto, sabe-se que o levantamento ideal é oneroso, requer tempo e, as vezes instrumentos de análise que não estão disponíveis, promovendo a insuficiência de dados e prejudicando a realização de uma previsão realista.

Quando se trata de prever acontecimentos, nem sempre os dados de uma série histórica são suficientes para produzir informações com razoável grau de confiabilidade, ou ainda muitas vezes não existem dados em número suficiente para projeção necessária. Por outro lado, conforme destaca Faria (2011), uma abordagem baseada puramente na experiência de que realiza a análise pode levar a resultados muito subjetivos.

O processo decisório em áreas sujeitas à ocorrência de eventos perigosos muitas vezes requer uma abordagem diferenciada, sob a ótica de múltiplos critérios, que, sob determinadas condições, possibilitará ao pesquisador observar de forma lógica as inter-relações entre o meio físico, o processo considerado e o elemento exposto à situação de risco, permitindo que decisões mais racionais sejam tomadas.

No Brasil, a obrigatoriedade de elaboração e revisão dos Planos Diretores, entre outros programas, levou as entidades públicas, privadas e o meio técnico-científico a produzir quantidade expressiva de informações nos últimos anos. Entretanto, essas informações encontram-se dispersas ou subutilizadas nos órgãos públicos e empresas privadas.

Sendo este um país de dimensões continentais e considerando a grande carência de informações adequadas à prevenção de desastres naturais, o uso de metodologias de suporte à decisão concorre para o aproveitamento de dados obtidos em levantamentos executados para os mais diversos fins, possibilitando o tratamento das informações a fim de reutilizá-las para diversos tipos de análises necessárias à redução de riscos (RODRIGUES, 2002; NOGUEIRA, 2002).

Os Métodos Multicritérios de Apoio à Decisão (MMAD) surgiram na área da Pesquisa Operacional e buscam auxiliar ou apoiar pessoas e organizações a tomarem decisões sob a influência de diversos critérios simultaneamente. Esse processo teve origem a partir dos anos 40, ganhando realce e força na década de 70, com o surgimento em paralelo de duas correntes científicas: a Escola Americana e a Escola Francesa ou Europeia (DIAZ, 2007).

A Escola Americana deu origem à metodologia “Multicriteria Decision Making - MCDM”, caracterizando-se principalmente pela extrema objetividade, pela busca de uma solução ótima, dentro de um conjunto bem definido de opções, tratando de um problema percebido por todos da mesma forma (PEREIRA NETO, 2001).

Entre os métodos mais conhecidos da Escola Americana se destaca o Processo de Análise Hierárquica - AHP (SAATY, 1980); e o MACBETH (BANA; DE CORTE; VANSNICK, 2005).

Conforme Gomes; Araya; Carignano (2004) os métodos desenvolvidos na Europa, foram denominados, em seu conjunto, por Escola Francesa de Apoio à Decisão com Múltiplos Critérios, conhecidos pela sigla MCDA (Multiple Criteria Decision Aid - Auxílio à Decisão por Múltiplos Critérios). O MCDA difere do modelo Americano principalmente por não apresentar a mesma objetividade, já que a tomada de decisão parte de um modelo mais flexível, não determinando como obrigatório a comparação entre alternativas ou mesmo a elaboração de uma estrutura hierárquica dos critérios (ROSSONI, 2011).

Entre os métodos mais conhecidos da Escola Europeia estão o método ELECTRE (Elimination and Choice Translating algorithm) e suas derivações (Figueira; Mousseau; Roy, 2005) e o método PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) (BRANS e MARESCHAL, 2005).

Pode-se dizer que análise multicriterial tem uma base semiquantitativa, em que um conjunto de alternativas são avaliadas levando em conta critérios conflitantes e, por vezes, imensuráveis.

Em geral, tais métodos têm como princípio a decomposição do problema em partes menores, porém mais compreensíveis, a análise de cada parte, e, por último, a integração das partes de forma lógica, para produzir uma hierarquia de decisão, quantos às alternativas previstas (MARTINS, 2009).

Os métodos incluídos nessa seção não serão apresentados de modo detalhado, salvo o Processo de Análise Hierárquica - AHP por ser objeto de estudo do presente trabalho.

2.5.2 Considerações gerais sobre o método AHP

A tomada de decisão é uma atividade intrinsecamente complexa e potencialmente das mais controversas, em que se tem naturalmente de escolher não apenas entre alternativas de ação, mas também entre pontos de vista e formas de avaliar essas ações, e por fim considerar toda uma multiplicidade de fatores, direta e indiretamente relacionados com a decisão a tomar (BANA et al., 1995).

Simon (1979) argumenta que o ser humano tem uma capacidade cognitiva limitada para processar informações e que, além disso, o processo cognitivo apresenta outras limitações de caráter subjetivo, tais como: as experiências anteriores e as crenças dos tomadores de decisão, as pressões afetivas, culturais, as expectativas pessoais e ambições, a função ocupada e os jogos de poder, que podem influenciar e limitar o grau de utilização da racionalidade. O que não significa que os tomadores de decisão apresentem comportamentos irracionais, mas sim que, dadas as circunstâncias em que a decisão ocorre, seu comportamento é temporizado porque não possuem meios para maximizar o processo decisório.

Amplamente aplicado em diversas áreas do conhecimento como ferramenta de resolução de conflitos, o Processo de Análise Hierárquico (AHP) tem se tornado extremamente útil nas análises expeditas de risco e de perigo, onde não se tem condições de validar resultados por meio de ensaios ou medições com instrumentos.

O AHP é uma técnica de análise baseada em uma árvore de decisão, que consiste em formalizar a compreensão intuitiva de problemas complexos, mediante um modelo hierárquico conceitual, nos quais os julgamentos realizados são comparados e avaliados por meio de operações matemáticas.

Segundo Saaty (1980), a teoria reflete a maneira pela qual a mente humana conceitua e estrutura um problema complexo. O método natural de funcionamento da mente humana, quando se

defronta com um grande número de elementos, controláveis ou não, que abrangem uma situação complexa, é agregá-los a grupos, segundo propriedades comuns, isto é, quando o ser humano identifica alguma coisa, decompõe a complexidade encontrada; quando descobre relações, sintetiza; este é o processo fundamental da percepção: decomposição e síntese.

O método AHP possui vários atributos desejáveis para a realização de estudos destinados a explicitar e quantificar os aspectos subjetivos envolvidos nos mapeamentos de suscetibilidade, de ameaça, de vulnerabilidade e de riscos a movimentos gravitacionais de massa tais como (FARIA, 2011; RODRIGUES, 2002):

- O processo de decisão é estruturado, tem embasamento matemático e pode ser documentado e repetido;
- Pode ser associado a outros métodos de previsão (estatísticos, por exemplo);
- Pode ser aplicável a situações que envolvem julgamentos subjetivos;
- Reduz o estudo de sistemas extremamente intrincados a uma sequência de comparações aos pares de componentes adequadamente identificados;
- Permite o uso simultâneo de dados quantitativos e qualitativos;
- Permite organizar e avaliar a importância relativa entre critérios e medir a consistência dos julgamentos;
- Existe ampla documentação sobre suas aplicações práticas na literatura acadêmica.

2.5.3 Etapas

Segundo Faria (2011), a aplicação do AHP no estudo de movimentos de massa pode ser dividida em cinco etapas principais: i) Definição do problema e a hierarquização; ii) Realização de comparações paritárias (julgamentos comparativos de cada par de fatores de decisão); iii) Ponderação dos fatores; iv) Verificação do nível de consistência dos dados de julgamento de cada grupo; v) Valoração de cada uma das alternativas.

Maiores fundamentos sobre o AHP podem ser encontrados em Saaty (1977), Saaty (1980), Saaty (1990) e Saaty (2008).

2.5.3.1 Definição do problema e hierarquização

O problema de decisão é estudado em detalhes com o foco de identificar o objetivo, os critérios/sub-critérios baseados nos valores, crenças e convicções do decisor, e as alternativas para a solução do problema.

O primeiro passo para modelagem com o AHP é decomposição do problema. A construção da hierarquia é um processo iterativo que visa à construção de um modelo formal, na forma de um esquema de representação e organização dos elementos primários de avaliação (DÍAZ, 2007).

No AHP os critérios são selecionados e arranjados em uma estrutura hierárquica descendente com a forma de árvore de decisão invertida (Figura 2.5), cuja estrutura desce da meta (objetivo) para os critérios, subcritérios e alternativas, em sucessivos níveis (FARIA, 2011; RODRIGUES, 2002; SAATY, 1980).

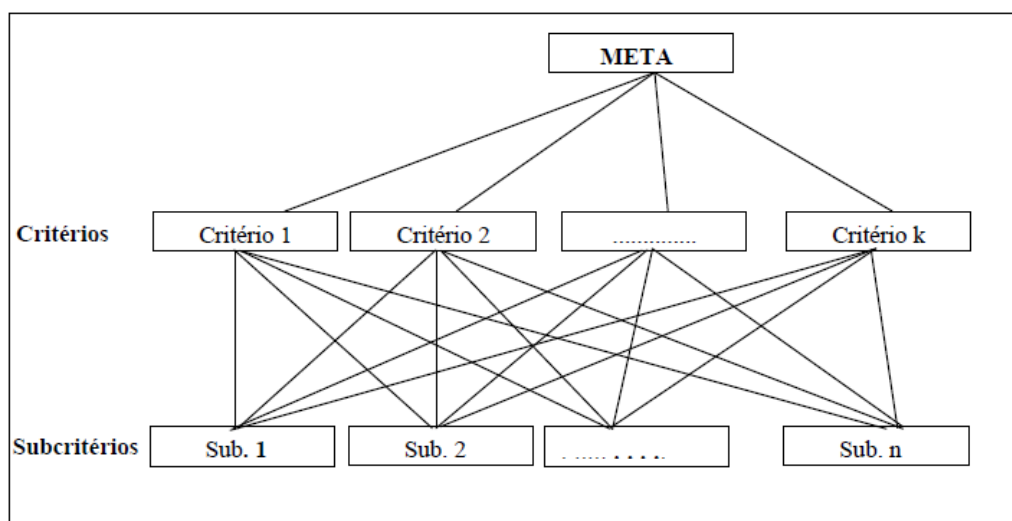


Figura 2.5 - Estrutura hierárquica típica do AHP (Adaptado de Diaz, 2007)

Cada nível representa uma diferente observação do problema, em que um elemento num dado nível não tem a função de um atributo (ou critério) para todos os elementos em um nível abaixo. O decisor pode ainda inserir ou eliminar níveis e elementos necessários para clarear a tarefa de fixar prioridades ou para apurar a visão de uma ou mais partes do sistema.

Por exemplo, o primeiro nível pode representar a meta (definir as áreas instáveis a escorregamentos); o segundo, os componentes do meio físico (relevo, material inconsolidado, litologia, vegetação, uso do solo e feições dos movimentos gravitacionais de massa); o terceiro, corresponde aos atributos associados ao nível anterior (declividade, orientação da vertente, distância de falhas etc.), e o quarto nível, relaciona-se com as classes desses atributos.

2.5.3.2 Comparações

Uma vez definida a hierarquia e decomposto o problema, o próximo estágio corresponde à comparação entre critérios de um mesmo nível, onde os tomadores de decisão emitem julgamentos com respeito à importância relativa de cada um dos critérios e subcritérios.

Num processo decisório que envolve vários parâmetros, os decisores são, em princípio, levados a desenvolver um juízo sobre a importância relativa de cada um dos parâmetros. Comparar e ponderar ao mesmo tempo todos os parâmetros que envolvem o processo decisório é uma tarefa praticamente impossível.

Para solucionar este problema, Saaty (1977) propôs a escolha baseada na lógica de comparações “paritárias” entre parâmetros, em que os diferentes fatores que influenciam a tomada de decisão são comparados par-a-par, e um critério de importância relativa (peso) é atribuído ao relacionamento entre estes fatores.

Os critérios são comparados dentro de uma escala de valores pré-definidos que variam de 1 a 9, denominada de Escala Fundamental de Saaty e apresentada na Tabela 2.5.

Tabela 2.5 - Escala de julgamento de importância (modificada de SAATY, 1980).

Valores numéricos	Termos verbais	Comentário
1	Igual importância	Os dois fatores contribuem igualmente no favorecimento a ocorrência do evento
3	Moderada importância	O julgamento é ligeiramente favorável a um fator em relação ao outro para o desencadeamento do evento
5	Forte importância	O julgamento é fortemente favorável a um fator em relação para o favorecimento a ocorrência do evento
7	Muito forte importância	O julgamento mostra que um fator é fortemente favorecido em relação ao outro e sua predominância pode ser demonstrada na prática
9	Extrema importância	A evidência favorece um fator em relação ao outro, com grau de certeza elevado, indicando que um atributo é absoluto em relação ao outro
2,4,6 e 8	Valores intermediários	Quando os fatores apresentam grau de importância intermediária entre as definições anteriores
Recíprocos dos valores	São os valores inversos	Refere-se aos valores inversos

A proposta do método é fornecer, em termos numéricos (vetor de pesos), as prioridades dos elementos de um nível em relação a um nível superior - considerando sua importância - permitindo, ainda, a análise quanto à importância de cada um dos componentes selecionados, mostrando seu grau de influência na ocorrência do evento (RODRIGUES, 2002; FARIA, 2011).

A importância relativa entre os fatores (a_{ij}) é utilizada como os dados de entrada para a análise do problema em que os resultados obtidos com são colocados em uma matriz A, quadrada, de ordem igual ao número de elementos comparados, denominada matriz de decisão.

A Eq. 2.4 apresenta a forma e estruturação de uma matriz de decisão, conforme propõe o método.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & 1 & \dots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Eq. 2.4}$$

A inserção dos elementos nesta matriz segue as seguintes regras, conforme Saaty (1980): Nas células são dispostos os valores da comparação pareada, definidos de acordo com o julgamento do decisor e com base na escala fundamental de Saaty. Nas linhas e coluna da matriz são dispostas as variáveis (parâmetros) para um nível hierárquico. Este procedimento se repete para todos os elementos do nível, com respeito a todos os elementos de um nível acima.

Rodrigues (2002), explica, de forma didática, o procedimento de comparação par-a-par aplicado a cada célula de uma matriz hipotética 3x3 (Tabela 2.6).

Tabela 2.6 - Esquema da matriz de comparação de parâmetros (RODRIGUES, 2002).

Nível imediatamente Superior	A	B	C
A	1		
B		1	
C			1

A comparação é feita partindo-se do parâmetro A da coluna de definição dos parâmetros e inserindo o valor correspondente para a definição de sua importância com relação aos demais, para o objetivo do nível imediatamente superior, ou seja:

- Se A possuir a mesma importância de B, deve-se selecionar o fator 1;
- Se A for um pouco mais importante do que B, seleciona-se, então, o fator 3;
- Para A muito mais importante do que B, o valor selecionado deve ser 5;
- Quando A for claramente mais importante do que B, seleciona-se 7;
- Se A apresentar absoluta importância com relação a B, então o valor é 9.

São definidas as seguintes condições para construção da matriz de comparação no AHP:

- O número de julgamentos necessários para a construção da matriz é $n(n-1)/2$, onde n é o número de elementos da matriz A;

- Identidade: $a_{ii} = 1$ para todo i . Um elemento é igualmente importante quando comparado com ele próprio, isto é, onde a linha 1 encontra a coluna 1, na posição (1,1), coloca-se 1. Logo, a diagonal principal de uma matriz deve consistir em 1;
- Reciprocidade: para cada elemento acima da diagonal da matriz há um valor inverso do elemento correspondente. Se os valores são obtidos comparando-se o a_{ij} , quando há a comparação de a_{ji} na matriz os valores são, portanto, os recíprocos apropriados 1, 1/3, ..., ou 1/9;
- Todos os valores devem ser positivos: os elementos a_{ij} devem ser sempre reais positivos, ou seja, se $a_{ij} = 1/a_{ji}$. Indica que, se na comparação de A_i em relação a A_j for obtido o índice 7, entra-se na matriz o valor de 7. Conseqüentemente, na comparação de A_j em relação a A_i , entra-se na matriz o valor de 1/7. Logo, se $a_{ij} = k$, então $a_{ji} = 1/k$ para todo $k > 0$;
- Consistência: a matriz de comparações paritárias deve satisfazer a propriedade de transitividade. Significa que na comparação de três critérios: se A é preferível a B e B é preferível a C; conseqüentemente A é preferível a C. Se o julgamento for diferente, ou seja, C é preferível a A ou C é igual a A, o decisor foi incoerente. Logo, a consistência ou coerência está relacionada com a racionalidade do julgamento (FARIA, 2011).

Assim, a matriz de comparações (A) pode ser definida como mostra a Eq. 2.5.

$$A = [a_{ij}] \text{ (onde: } a_{ij} = 1/a_{ji}; a_{ii} = 1; 1 \leq i \leq n \text{ e } 1 \leq j \leq n) \quad \text{Eq. 2.5}$$

2.5.3.3 Ponderação dos fatores

Saaty (1980) explica que o melhor processo para obter o peso de cada célula da matriz pareada, a ordem de prioridade e a consistência do julgamento é a utilização da técnica matemática do autovalor (*eigenvalue*).

A forma recomendada pelo autor para realizar o cálculo do autovetor, consiste em elevar a matriz a potências arbitrariamente altas, dividindo-se a soma de cada linha pela soma dos elementos da matriz, ou seja, normalizando os resultados. Assim, construída a matriz, inicia-se o procedimento de obtenção dos pesos relativos (autovetor).

Saaty (1980) recomenda os seguintes procedimentos para o cálculo aproximado do autovetor:

- *Normalizar a matriz A*: dividindo cada entrada da coluna j da matriz A pela soma das entradas da coluna j , gerando uma nova matriz normalizada, chamada de A_w , na qual a

soma das entradas de cada coluna é igual a 1. Essa matriz normalizada é definida pela 2.6;

$$Aw = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \frac{a_{12}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} & \dots & \dots & \frac{a_{1n}}{\sum_{i=1}^n a_{in}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{a_{n1}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} & \frac{a_{n2}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} & \dots & \dots & \frac{a_{nn}}{\sum_{i=1}^n a_{in}} \end{bmatrix} \quad \text{Eq. 2.6}$$

- Estimar o vetor de prioridades ou peso relativo: a estimativa normalmente é feita pelo cálculo da média aritmética dos elementos em cada linha da matriz normalizada, originando o autovetor (w) que é dado por pela Eq. 2.7.

$$w = \begin{bmatrix} \frac{\frac{a_{11}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} + \frac{a_{12}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} + \dots + \frac{a_{1n}}{\sum_{i=1}^n a_{in}}}{n} \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \frac{\frac{a_{n1}}{\sum_{i=1}^n a_{i1}} + \frac{a_{n2}}{\sum_{i=1}^n a_{i2}} + \dots + \frac{a_{nn}}{\sum_{i=1}^n a_{in}}}{n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1 \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ w_n \end{bmatrix} \quad \text{Eq. 2.7}$$

2.5.3.4 Verificação da consistência dos julgamentos.

A integridade, qualidade ou coerência dos julgamentos é realizada por meio de uma análise de sensibilidade. Quando as colunas normalizadas não são idênticas aparece à inconsistência da matriz.

A consistência de uma matriz positiva recíproca requer que seu autovalor máximo (λ_{\max}) seja igual a n (dimensão da matriz). Quanto mais próximo de λ_{\max} for de n , mais consistente será o resultado (GOMES, 2009). O autovalor máximo é calculado por meio da relação:

$$Aw = \lambda_{\max} \times w \quad \text{Eq. 2.8}$$

Calculado o autovalor máximo ($\lambda_{\text{máx}}$), o próximo passo da análise é a obtenção do “índice de consistência” (IC), que no caso de comparações paritárias, indica quanto o autovalor está afastado do valor teórico esperado n , logo esse desvio é dado pela expressão ($\lambda_{\text{máx}} - n$). Essa diferença é medida em relação ao número de graus de liberdade da matriz ($n - 1$). Assim, o índice de consistência é dado pela Eq. 2.9 (FARIA, 2011).

$$IC = \frac{\lambda_{\text{max}} - n}{n - 1} \quad \text{Eq. 2.9}$$

Se IC é suficientemente pequeno, as comparações do decisor são provavelmente consistentes. O grau de inconsistência ou incomparabilidade é medido pelo cálculo da “razão de consistência” (RC) que é dada pela Eq. 2.10.

$$RC = IC/IR \quad \text{Eq. 2.10}$$

Em que, IR é o índice de consistência randômico para o valor n (número de ordem da matriz).

O índice randômico representa o valor que seria obtido em uma matriz recíproca de ordem n e em que não fossem feitos julgamentos lógicos, preenchendo-se os elementos com valores aleatórios (Saaty, 1980). Os valores do IR para diferentes matrizes de comparações paritárias foram calculados por Saaty (1980) e estão apresentados na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 - Valores do índice randômico (IR) em função da ordem (n) da matriz (SAATY, 1980).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

No método AHP, o julgamento normalmente é considerado consistente se o valor calculado para RC for menor ou igual a 0,10. Para valores maiores que 0,10, pode haver incoerências nos julgamentos. Neste caso, sugere-se a revisão da matriz de comparações no intuito de rever os julgamentos, buscando torná-los consistentes.

2.5.3.5 Valoração global

A etapa final do método é integrar os pesos dos diversos níveis obtidos, gerando uma equação que permita a valoração do problema de decisão. Isto é feito por uma sequência de operações com as matrizes envolvidas na análise e os pesos calculados por meio de comparação par-a-par.

No caso específico de mapeamentos envolvendo movimentos de massa, os critérios de valoração são aqueles que aumentam ou diminuem a suscetibilidade do elemento em exposto para ocorrência dos processos permitindo a completa compensação entre as variáveis envolvidas. Essa valoração (S) normalmente é construída utilizando-se a técnica da Combinação Linear Ponderada (Weighted Linear Combination - WLC), expressa pela Eq. 2.11:

$$S = \sum_{i=1}^n A_i \times P_i \quad \text{Eq. 2.11}$$

Em que: A_i é o peso do fator, ou seja, nível de preferência da alternativa analisada no critério i (com $i=1, \dots, n$); n é o número de fatores; P_i é o peso relativo normalizado para o mesmo fator.

Com a valoração, os pesos representam a importância relativa de cada um atributos envolvidos e determinam como esses são compensados. Na elaboração de mapas de suscetibilidade, por exemplo, a equação que representa essa valoração é aplicada através da combinação dos planos de informação de informações envolvidos na análise.

Nessa integração, cada pixel representa o peso espacializado da classe do atributo, que é multiplicado pelo peso relativo do atributo. Nesse sentido, um atributo como cobertura do solo, com um pixel situado na classe “solo exposto”, pode intensificar a suscetibilidade quando relacionado a fatores de potencial elevado, por exemplo, a declividade acentuada. A Figura 2.6 ilustra essa integração em ambiente SIG.

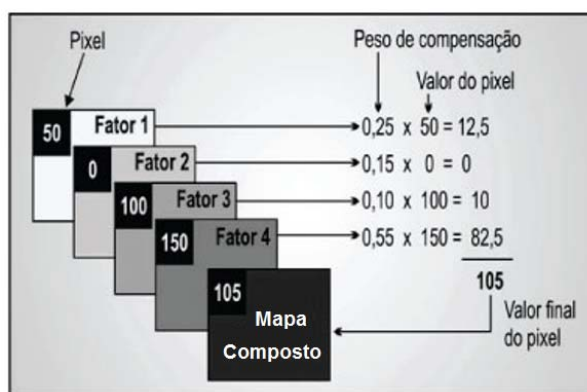


Figura 2.6 - Representação da aplicação da técnica de combinação linear ponderada em ambiente SIG (SARTORI; SILVA; ZIMBACK, 2012).

2.5.4 Exemplos de aplicação no estudo de movimentos gravitacionais de massa

A evolução dos sistemas de informações geográficas e a consequente possibilidade de integração e espacialização das informações contidas em mapas do estado natural permitiram a realização de diversos trabalhos e pesquisas científicas com a incorporação do processo de análise

hierárquica na identificação e análise qualitativa de processos de instabilidade em diversas partes do mundo.

A seguir serão apresentados alguns trabalhos bem-sucedidos que empregaram o AHP como método de análise.

2.5.4.1 Aplicação em Ouro Preto (MG).

Rodrigues (2002) propôs uma metodologia para análise de áreas urbanas sujeitas a processos naturais, por meio de um grupo de procedimentos, baseada em informações registradas em mapeamentos geotécnicos.

O estudo foi aplicado em uma porção da cidade de Ouro Preto, estado de Minas Gerais, fazendo-se uso da escala de 1:2000.

A caracterização das áreas favoráveis à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa foi definida com base na individualização da área de estudo em 736 células de dimensões regulares (50m X 50m) onde foram considerados 24 atributos relativos aos 7 componentes selecionados (Substrato Rochoso, Material Inconsolidado, Vegetação, Uso do Solo e Feições dos Movimentos de Massa Gravitacionais, Características do Relevo e Feições dos Movimentos de Massa Gravitacionais), e para cada atributo, foram definidas as classes que melhor refletem a instabilidade.

O modelo de decisão com o método AHP foi estruturado em 4 níveis hierárquicos (meta, componentes naturais e antrópicos, atributos e o classes dos atributos). Os pesos obtidos com o método AHP refletem o julgamento da autora, que foram auxiliados por dois modelos teóricos relacionados ao fator de segurança caracterizados pelas seguintes equações:

$$A[\Sigma(\textit{Atributos favoráveis a estabilidade} + \textit{Atributos que afetam positivamente os favoráveis})] = B [\Sigma (\textit{Atributos favoráveis a instabilidade} + \textit{Atributos potencializadores dos favoráveis a instabilidade})] \quad \text{Eq. 2.12}$$

$$F_s = \frac{C_r + C' + [\gamma(Z - h_w) + (\gamma_s - \gamma_w)h_w] \cos^2 \beta \cdot \text{tg} \theta}{[\gamma(Z - h_w) + \gamma_s \gamma_w] \text{sen} \beta \cdot \cos \beta} \quad \text{Eq. 2.13}$$

Em que: F_s é o fator de segurança; C_r é a coesão para áreas vegetadas; C' é a coesão efetiva; γ é o peso específico para solo não saturado; γ_s é o peso específico para solo saturado; γ_w é o peso específico da água; β é a declividade do terreno; ϕ é o ângulo de atrito efetivo; h_w é a altura da lâmina de água; Z é a profundidade da superfície de escorregamento.

A suscetibilidade a processos de instabilidade em cada célula foi expressa por um indicador, obtido pela combinação linear ponderada entre todos os níveis hierárquicos, de acordo com a seguinte equação:

$$IFIE_c = \sum_n^1 PRN_x PRA_x PRC \quad \text{Eq. 2.14}$$

Onde: $IFIE_c$ é o Índice Final de Instabilização da Encosta na cela; PRN é o peso relativo normalizado do componente; PRA é o peso relativo normalizado do atributo; PRC é o peso relativo normalizado da classe.

A autora, realizando simulações com todos os atributos do modelo e também fazendo exclusões daqueles considerados como menos significativos, concluiu que a previsão baseada na técnica AHP pode ser altamente influenciada pelo número e relação dos atributos avaliados com os eventos.

2.5.4.2 Aplicação em São Sebastião (SP).

Faria (2011) apresenta uma metodologia de mapeamento de ameaça de escorregamentos em áreas urbanas precárias.

O estudo foi fundamentado na metodologia adotada pelo Ministério das Cidades para elaboração de Planos Municipais de Redução de Riscos (PMRRs), descrita em Cerri (2006). Nesse sentido a incorporação do método AHP surge com a intenção de minimizar a subjetividade inerente dos métodos qualitativos.

Basicamente tal redução é oriunda da comparação e hierarquização lógica de diversos indicadores de perigo de escorregamentos por meio do AHP.

São Sebastião foi a região escolhida para a aplicação da metodologia proposta, devido à existência de trabalhos desenvolvidos pelo Instituto Geológico-Secretaria do Meio Ambiente (IGSMA), neste município, como por exemplo: a Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação (SMA, 1996) e o mapeamento de áreas de risco a escorregamentos e inundações (SMA, 2006).

Resumidamente, a proposta do mencionado autor consistiu em:

- Definir um conjunto de indicadores de perigo e de feições de instabilidade;

- Atribuir pesos numéricos a esses indicadores e suas respectivas classes de atributos, e posteriormente combiná-los por meio de ponderação simples;
- Estruturar uma planilha com o AHP para simplificar as análises de ameaça em levantamentos de campo;
- Aplicar a planilha de análise na área de estudo;
- Obter, ao final, um valor numérico do grau de ameaça e representá-lo em uma determinada classe (baixo, médio, alto e muito alto).

O cálculo do índice de perigo (IP) foi o obtido com base na relação entre o peso do condicionante do processo (p) e peso da classe do respectivo indicador de perigo (x) conforme a seguinte equação de ponderação:

$$IP = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot x_i}{100} \quad \text{Eq. 2.15}$$

O critério numérico adotado para a classificação do perigo foi a média aritmética dos valores numéricos do IP, somada ou diminuída da metade do desvio padrão.

Com os dados do IP, obtidos em 40 valores de IP calculados para processos identificados em 21 setores de perigo, Faria (op. cit.) propôs uma tabela de classificação geral de perigo (Tabela 2.8) com a aplicação do AHP, adaptada aos critérios definidos na metodologia de mapeamento adotada pelo Ministério das Cidades.

Tabela 2.8 - Critério para classificação do perigo com aplicação do AHP (FARIA, 2011).

GRAU DE PERIGO	ÍND. DE PERIGO (IP)	DESCRIÇÃO
P1 (Baixo)	$IP < 26,80$	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc) e o nível de intervenção no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, são muito reduzidas as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano
P2 (Médio)	$26,80 \leq IP \leq 37,99$	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de média potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Mantidas as condições existentes, são médias as possibilidades de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
P3 (Alto)	$IP > 37,99$	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos. Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
P4 (Muito Alto)	Presença de feições de instabilidade	As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, etc) são expressivas e estão presentes em grande número ou magnitude. Processo de instabilização em avançado estágio de desenvolvimento. É a condição mais crítica, necessitando de intervenção imediata devido ao seu elevado estágio de desenvolvimento. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.

2.5.4.3 Aplicação no oeste do Nepal

Kayastha; Dhital; De Smedt (2013) aplicaram o AHP para elaboração de um mapa suscetibilidade a escorregamentos nas áreas montanhosas do Nepal, especificamente na bacia de Tinau.

A suscetibilidade foi obtida por meio da integração de dados digitais para onze atributos: direção da encosta, declividade, curvatura, o potencial de erosão, uso da terra, geologia, distância de falhas, distância de dobras anticlinal, distância de dobra sinclinal, distância de córregos e precipitação anual.

Com o uso do AHP, os autores obtiveram os pesos para cada um dos condicionantes e classe de condicionantes. Dessa maneira definiram o índice de suscetibilidade a escorregamentos (LSI) pela ponderação entre o peso da classe do atributo (w_{ij}) e o peso do próprio atribuído (W_{ij}), expresso matematicamente, como se segue:

$$LSI = \sum_{j=1}^1 W_j \cdot w_{ij} \quad \text{Eq. 2.16}$$

O mapa resultante foi categorizado em quatro classes de suscetibilidade: baixa, moderada, alta e muito alta.

Para validar o mapa gerado, foram comparados os valores do índice de suscetibilidade com um inventário de escorregamentos. O estudo foi validado plotando-se a curva de sucesso mostrada na Figura 2.7, em que o eixo Y indica a porcentagem de todos os escorregamentos na área de estudo, e o eixo dos X indica a porcentagem dos LSI ordenados de modo decrescente.

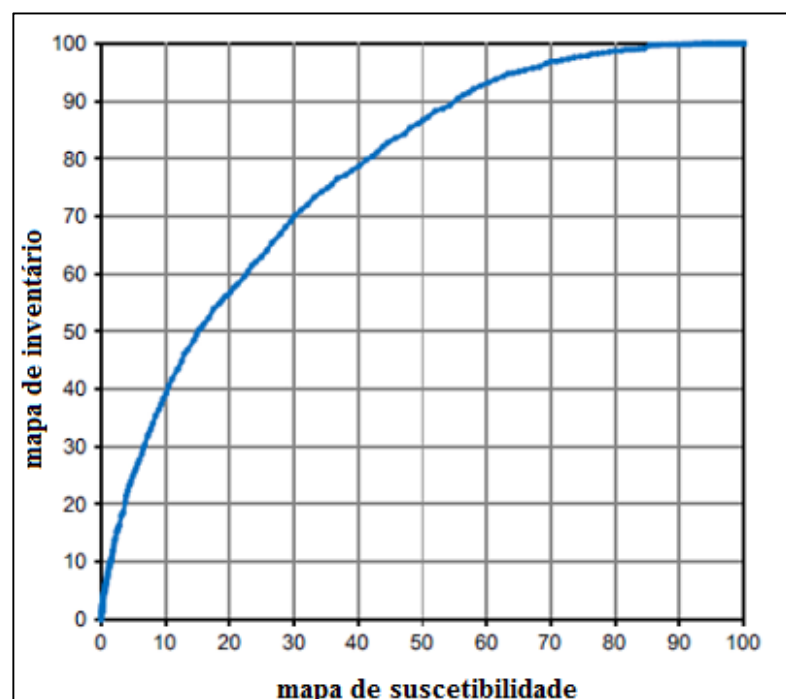


Figura 2.7 - Curva de sucesso do estudo de Kayastha; Dhital; De Smedt (2013).

A similaridade (taxa de sucesso) entre os processos previstos e os inventariados foi de 77,54%.

2.5.4.4 Aplicação na Eslovênia.

Komac (2006) propôs uma metodologia de avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa utilizando análise estatística multivariada e o método AHP.

O modelo proposto foi aplicado em uma região central da Eslovênia, em escala regional. A área avaliada compreendeu 1220 km², que foram subdivididos em 78.365 unidades de terreno, para as quais foram analisadas 24 variáveis, obtidas em produtos cartográficos com escalas que variaram de 1:50.000 a 1:100.000. Dentre as variáveis estudadas, citam-se a litologia, o tipo de

cobertura, a declividade, a altitude, aspecto da encosta, a curvatura, a distância de limites geológicos e a distância dos rios.

Foi inicialmente determinada a significância de cada variável por meio de diversos testes estatísticos (Kolmogorov-Smirnov, qui-quadrado e t-Student) considerando o intervalo de confiança de 95%.

Os testes estatísticos indicaram que as variáveis declividade, litologia, rugosidade do terreno e o tipo de cobertura da terra foram os condicionantes mais importantes na modelagem da suscetibilidade. A importância das demais variáveis alternou dependendo do tipo de processo analisado.

A aplicação da análise multivariada ocorreu somente nas unidades de terreno onde os eventos foram mapeados. Como variável dependente, foi utilizada a frequência de escorregamentos e o conjunto de aprendizagem foi obtido de modo aleatório, compreendendo 64,2% dos eventos cadastrados e desconsiderando a componente temporal.

As múltiplas relações entre as variáveis e a distribuição de deslizamentos foram testadas por meio do método estatístico Análise de Fatores (*Factor Analysis*), definindo a importância de cada variável na ocorrência dos eventos.

No estudo de Komac (2006), a Análise de Fatores, mostrou-se ser o método mais adequado e confiável para a avaliação dos condicionantes predisponentes.

Com base nesses resultados foram desenvolvidos vários modelos de suscetibilidade a escorregamento, que foram categorizados em oito classes de suscetibilidade, apresentando resultados muito diferentes, com erro de predição variando de 4,3% a 73%.

O autor então propõe para aqueles modelos que apresentaram os melhores resultados, que seja aplicado o AHP como forma de aprimorar a previsão estatística, por meio da incorporação da opinião do especialista, ao se definirem os pesos para cada um dos fatores predisponentes.

Em conclusão, o autor aponta que os resultados das estatísticas bivariadas se mostraram promissores na avaliação da importância de cada condicionante, apresentando similaridade aos resultados das análises multivariadas. Entretanto, os testes bivariados não podem simplesmente ser usados para desenvolvimento dos modelos de suscetibilidade, já que negligenciam as interações existentes entre os condicionantes, podendo levar a previsões erradas.

2.6 Condicionantes utilizados em mapeamentos relacionados a movimentos gravitacionais de massa

Os atributos que determinam a variação espacial da susceptibilidade, da ameaça e da vulnerabilidade constituem as variáveis independentes do problema (PIEDADE, 2009). Assim, a ausência ou mesmo a valoração inadequada desses parâmetros podem resultar em modelos pouco acurados sem qualquer aplicabilidade.

Conforme enfatizam Velloso e Lopes (2004), de nada adianta a utilização de métodos de previsão sofisticados se os parâmetros adotados não refletirem as condições reais do problema.

De acordo com Lambe (1973) ao fazer uma previsão, o pesquisador deverá compatibilizar a sofisticação do método escolhido com a qualidade dos dados trabalhados. Para o referido autor, o aumento da sofisticação do método, utilizado com dados de má qualidade, poderá resultar em uma previsão pior que aquela que seria obtida com um método mais simples.

Embora as propriedades desejáveis dos condicionantes forneçam diretrizes para a sua seleção, não existem métodos universais disponíveis para se determinar o conjunto de fatores necessários ao tratamento de um problema. O conjunto de critérios de avaliação com o uso de métodos indiretos, normalmente é obtido a partir de um exame da literatura relevante e de um estudo analítico do problema (MARTINS, 2009).

Quando a previsão está embasada na experiência de quem avalia o evento adverso, a precisão do mapeamento não necessariamente aumenta quando um grande número de atributos é incluído na avaliação, mas necessariamente, pode ser reduzida se a relação física destes com o fenômeno é fraca ou ausente.

Antes de se estruturar um modelo de previsão, faz-se necessário avaliar, diante das informações disponíveis, quais atributos deverão compor a avaliação, como estes serão obtidos diante das informações disponíveis e qual o método mais adequado para o tratamento dos dados. Nesse sentido, o conhecimento referente à tipologia dos processos é essencial, permitindo identificar e avaliar adequabilidade dessas informações para a análise e escala pretendida (PINTO; PASSOS; CANEPARO, 2013).

Vedovello (2000) destaca que as potencialidades e limitações dos terrenos devem ser avaliadas com base no entendimento dos mecanismos associados ao fenômeno geológico estudado e como esses se associam aos diferentes tipos de relevo e materiais geológicos.

De acordo com Amaral Junior (2007), deve-se primeiramente caracterizar os tipos de movimentos de massa visando sua classificação e entendimento dos mecanismos associados; para então definir e levantar os condicionantes e por fim aplicar tratamentos aos dados, que pode ser focado para uma análise multicriterial, heurística, estatística ou determinística.

Como não há regras gerais para categorizar os parâmetros utilizados em modelagens de previsão de movimentos de massa, a maioria dos pesquisadores usa sua própria opinião para definir os parâmetros do modelo (AYALEW; YAMAGISHI; UGAWA, 2004).

Apesar de se encontrarem diferenças na consideração dos atributos e fatores que contribuem para a ocorrência dos movimentos gravitacionais de massa, em geral há um consenso entre diversos autores que os atributos relativos à geologia, à geomorfologia, aos aspectos climáticos e hidrológicos e à ação antrópica no solo devam fazer parte da previsão (VARNES, 1978; GUIDICINI e NIEBLE, 1984; SELBY, 1993; AUGUSTO FILHO, 2001).

Guidicini e Nieble (1984) discutiram os condicionantes de movimentos gravitacionais de massa usando os termos “agentes e causas de instabilização”, definindo como causa o modo de atuação de determinado agente na instabilização de uma encosta. As causas foram divididas em internas, externas e intermediárias como pode ser observado na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 - Critério para agentes e causas de movimentos de massa (GUIDICINI e NIEBLE, 1984).

AGENTES	Predisponentes		Complexo geológico; complexo morfológico; complexo climatohidrológico; gravidade; calor solar; tipo de vegetação
	Efetivos	Preparatórios	Pluviosidade; erosão pela água e vento; congelamento e degelo; variação da temperatura; dissolução química; ação de fontes e mananciais; oscilação do freático; ação de animais e antrópica
		Imediatos	Chuvas intensas; fusão do gelo e neves; erosão; terremoto; ondas; vento; ação do homem
CAUSAS	Internas		Efeito das oscilações térmicas; redução dos parâmetros de resistência por intemperismo
	Externas		Mudanças na geometria do sistema; Efeitos de vibrações; mudanças naturais na inclinação das camadas
	Intermediárias		Elevação do nível piezométrico em massas “homogêneas”; elevação da coluna de água em descontinuidades; rebaixamento rápido do lençol freático; erosão subterrânea retrogressiva (piping); diminuição do efeito de coesão aparente

Para um melhor entendimento sobre a forma como alguns parâmetros se relacionam com movimentos gravitacionais de massa em margens de cursos d’água, algumas observações realizadas por Varnes (1978) e Summerfield (1991) foram sistematizadas na Tabela 2.10.

Tabela 2.10 - Fatores condicionantes (VARNES, 1978; SUMMERFIELD, 1991).

Ação	Fator		Fenômenos ou modificações naturais/antrópicas para ocorrência de MGM em margens de cursos d'água
Aumento da solicitação	Remoção de massa (lateral ou da base)		Escavação por rios e ondas, perda de resistência por extrusão de sedimentos no pé da encosta, queda de blocos ou deslizamentos pretéritos.
	Sobrecarga da encosta		Peso da água (de chuva e do canal), acúmulo natural de material (depósitos), peso da vegetação, construções, aterros, etc.
	Solicitações dinâmicas		Movimento de árvores no vento, ondas, tráfego.
	Pressões laterais		Água em trincas, expansão (especialmente através da hidratação de argilas) e alívio de pressão por rebaixamento da cota do canal.
Redução da Resistência	Efeitos da alteração das Características inerentes ao material	Textura, estrutura geometria, etc.	Hidratação de minerais de argila, dissolução de minerais cimentados, abertura de fissuras
	Mudanças de poro-pressão		Redução da coesão e/ou do ângulo de atrito
	Outras causas		Enfraquecimento devido ao rastejo, Decomposição de raízes de árvores

Pinto; Passos; Caneparo (2013), a partir de consultas específicas realizadas em 36 trabalhos recentes, incluindo pesquisas nacionais e internacionais, constataram que alguns atributos são intensamente utilizados nas avaliações de suscetibilidade à movimentos de massa. Em contrapartida, outros fatores, mesmo quando considerados essenciais ao desencadeamento dos processos, não foram avaliados. Os autores observaram que os atributos e fatores que se repetiram com maior frequência entre as pesquisas analisadas foram a declividade (92%), a forma das vertentes (55%), a litologia (53%), a cobertura vegetal (53%), o uso da terra (47%) e altitude (47%).

Muitas vezes um atributo ou fator determinante para a deflagração do processo não é incorporado à análise, devido à incompatibilidade entre a informação disponível, a escala de trabalho e a unidade de terreno considerada. O fator pluviosidade, por exemplo, embora seja reconhecido importante condicionante para deflagração de escorregamentos em encostas naturais, pode não ser incorporado à análise se os dados disponíveis não permitirem avaliar a variação espacial ou temporal deste parâmetro para a área de estudo.

Quando se tem diferentes atributos/fatores que contribuem para a Tomada de Decisão, existe, a necessidade de determinar a contribuição relativa da cada um deles. Nesse sentido, alguns autores vêm utilizando do método AHP para o tratamento do problema de previsão, devido à possibilidade de expressar essa importância de forma quantitativa. Nesta pesquisa foram consultados 13 trabalhos que fizeram uso do AHP para avaliação de áreas sujeitas a escorregamentos, constatou-se que a declividade, uso do solo e estruturas geológicas foram os atributos mais utilizados, como pode ser observado na Tabela 2.11.

Tabela 2.11 - Trabalhos consultados pelo autor.

Cod.	Autor(es)	Título do artigo	Declividade	Curvatura\ Aspecto	Altitude	Orientação	Drenagem	Litologia	Estr. (falhas, lineamento, etc.)	Unidades geológicas	Unid. geomorfológicas	Mat. inconsolidados	Textura do solo	Uso do solo	Cobertura vegetal	Precipitação	Estradas
1	Hasekiogullari et al. (2012)	A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: a case study at Yenice (Karabuk, NW Turkey)	x	x	x		x		x					x	x		x
2	Wu e Chen (2009)	Determining landslide susceptibility in Central Taiwan from rainfall and six site factors using the analytical hierarchy process method	x							x			x		x	x	x
3	Esmali e Ahmadi (2003)	Using GIS & RS in Mass Movements Hazard Zonation - A Case Study in Germichay Watershed, Ardebil, Iran	x	x	x			x	x					x		x	
4	Faria e Augusto Filho (2013)	Aplicação do processo de análise hierárquica (AHP) no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas	x		x				x			x		x	x		
5	Long (2008)	Landslide susceptibility mapping of the mountainous area in a Luoi district, Thua Thien Hue province, Vietnam	x		x		x	x	x	x	x			x		x	
6	Grassi et al. (2013)	Mapeamento da vulnerabilidade a inundações e deslizamentos de terra no Estado do Paraná.	x				x				x	x		x	x		x
7	Kayastha,; Dhital; De Smedt (2013)	Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal	x	x		x	x		x	x				x		x	
8	Komac (2006)	A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in Perialpine Slovenia	x	x		x	x	x	x					x	x		
9	Intarawichian e Dasananda (2010)	Analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping in lower Mae Chaem watershed, northern Thailand	x	x	x			x	x				x	x		x	
10	Tominaga (2007)	Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: Aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP	x	x					x		x		x			x	
11	Rodrigues e Zuquete (2006)	Elaboration of gravitational mass movement predisposition chart based on decision support method: part of the city of Ouro Preto, State of Minas Gerais, Brazil	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x		
12	Vanacor e Rolim (2012)	Mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos usando técnicas de estatística bivariada e sistema de informações geográficas na região nordeste do Rio Grande do Sul	x		x	x	x	x							x		x
13	Yalcin et al. (2008)	GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations	x			x	x	x						x			x
	N° TOTAL		13	7	7	5	7	7	9	4	4	3	4	10	7	6	5
	TOTAL (%)		100	54	54	38	54	54	69	31	31	23	31	77	54	46	38

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

3.1.1 Localização e aspectos Gerais

O sítio de aplicação deste estudo corresponde à uma parcela da área urbana de Rio Branco/AC adjacente a dois cursos d'água. O local foi considerado por Oliveira e Ferreira (2006) como área de elevado potencial a ocorrência de acidentes geológicos.

Em Rio Branco, a insuficiência de políticas públicas e a não observância à legislação urbanística e ambiental resultaram em uma cidade de expansão horizontal com precárias condições de infraestrutura, propiciando um acelerado adensamento em áreas “non aedificandi” (HID, 2000).

O município de Rio Branco está localizado na Amazônia Ocidental (Figura 3.1) e pertence à mesorregião do Vale do Acre, na regional do Baixo Acre. Com uma superfície de 883 km², ocupa 5,4% do território acreano.

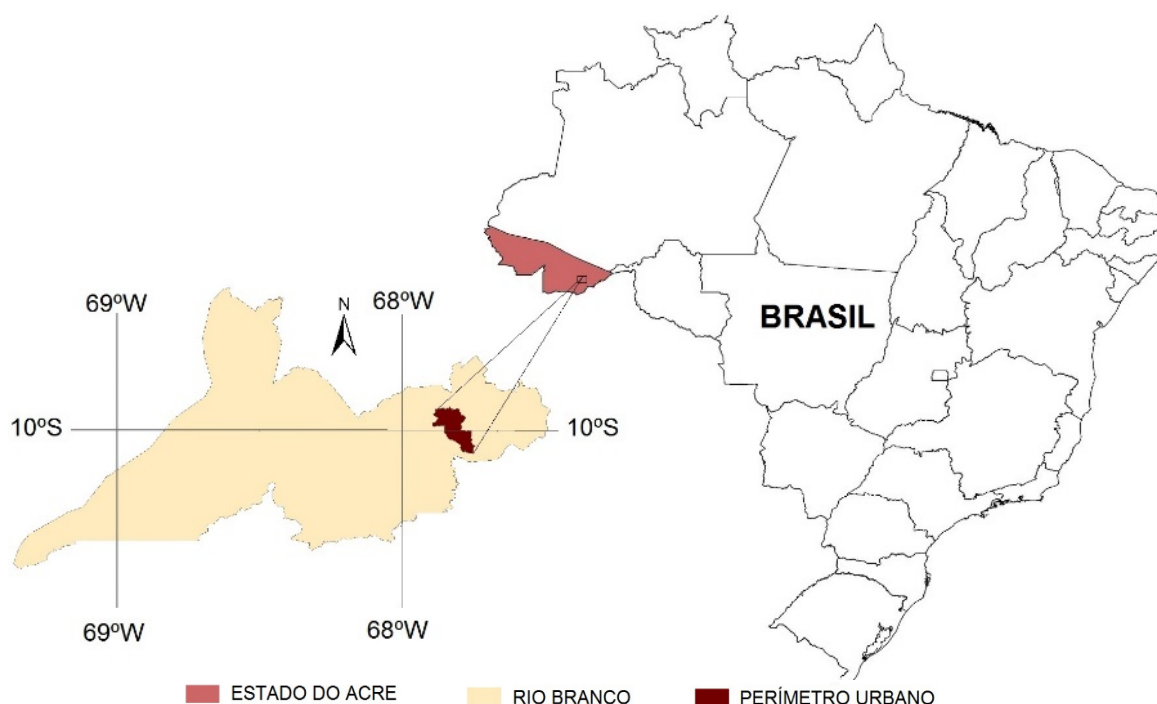


Figura 3.1- Localização do município de Rio Branco.

Apesar do porte médio, com população estimada de 368.928 habitantes (IBGE, 2014), Rio Branco teve as mesmas características de ocupação desordenada encontrada nos principais aglomerados urbanos do Brasil. Fundamentada na consolidação de loteamentos clandestinos e construções irregulares, a cidade se espalhou de maneira indiscriminada, pelas áreas de várzea e

encostas marginais, a partir da década de 70, devido ao intenso êxodo rural promovido pela transformação dos seringais em fazendas.

Mesmo com baixa amplitude e relevo relativamente plano, Oliveira e Ferreira (2006) evidenciaram que significativa parcela do sítio urbano de Rio Branco apresenta sinais de movimentação relacionados a escorregamentos e rastejos, notadamente nas áreas adjacentes aos cursos d'água desta região.

Com geologia peculiar, a cidade está assentada sobre terrenos sedimentares predominantemente argilosos, com total ausência de cristalino rochoso. A dinâmica fluvial do rio Acre e de seus tributários, associada à predominância de materiais inconsolidados e a forma com que suas margens foram ocupadas, tem gerado impactos ambientais e socioeconômicos significativos, sobretudo quando relacionados ao fenômeno em tela.

Feições de instabilidade, com centenas de metros de extensão, interrompem importantes vias urbanas que percorrem o topo de encostas marginais. Nesses locais vêm sendo realizadas diversas tentativas de intervenções por parte do poder público, porém os processos ainda continuam atuando, refletindo em rachaduras no pavimento, patamares de abatimento e diversas cicatrizes de escorregamentos.

Sob a perspectiva de que os cursos d'água desta região são frequentemente atingidos por movimentos gravitacionais de massa, selecionou-se, neste município, um campo de trabalho de 13km², referente às áreas marginais ilustradas na Figura 3.2. Essas áreas receberam a designação “área rio Acre” e “área igarapé São Francisco”, para identificar o canal a que se limitam.

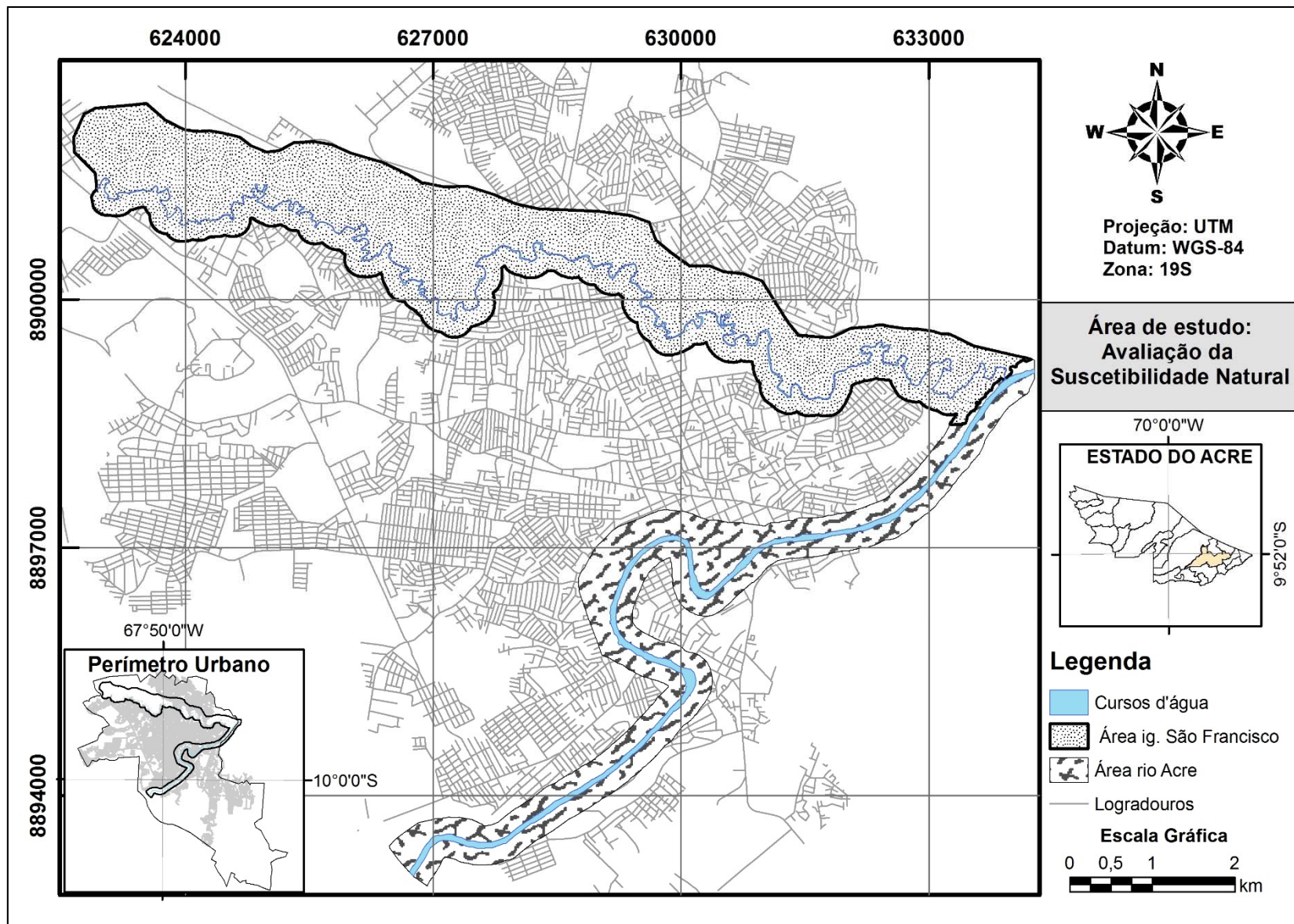


Figura 3.2- Áreas selecionadas para avaliação da suscetibilidade natural a MGM.

3.1.1 Geologia

No que diz respeito ao contexto geológico regional, Latrubesse (1992) mostra que quase a totalidade da Amazônia Ocidental é coberta por sedimentos cenozóicos, de origem continental, predominantemente argilosos e em menor proporção arenosos, que foram denominados por Formação Solimões.

Segundo Latrubesse (1992), esses sedimentos são correspondentes a um ambiente flúvio-lacustre-palustre, compostos principalmente por argilitos, arenitos e arenitos argilosos e siltosos de cor marrom avermelhado a marrom e conglomerados associados, com estratificação cruzada. Estão assentados sobre esses sedimentos solos predominantemente argilosos plásticos e, normalmente, com alta expansibilidade, que foram denominadas por Oliveira e Ferreira (2006) como Unidade Panorama.

Na Figura 3.3 pode ser observada a sobreposição entre as duas unidades, em uma encosta marginal localizada na área de estudo.

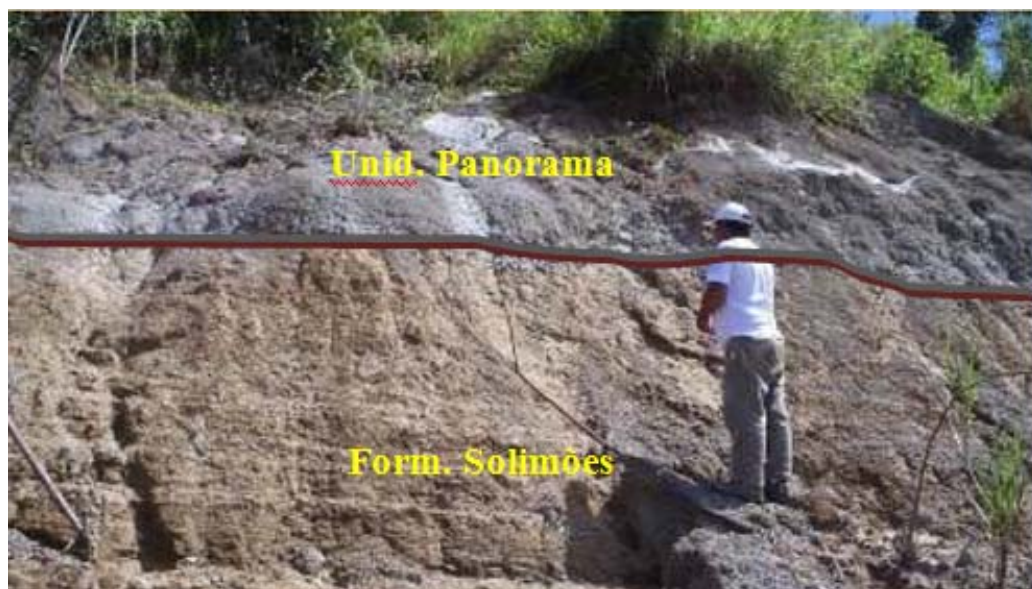


Figura 3.3 - Unidade Panorama e Formação Solimões na cidade de Rio Branco (OLIVEIRA e FERREIRA, 2006).

No sítio de Rio Branco, predominam argilitos com concreções carbonáticas e gipsíferas (ACRE, 2006).

Os trabalhos realizados por Maia et al. (1977) e Oliveira e Ferreira (2006), identificaram outras unidades além da Formação Solimões no ambiente urbano de Rio Branco, quais sejam: os

Aluviões Fluviais (período Pleistoceno), os Terraços Fluviais (período Pleistoceno/Holoceno) e as coberturas dentrito-lateríticas (período Pleistoceno).

Oliveira e Ferreira (2006) destacam ainda a importância das falhas e/ou fraturas no controle estrutural e instalação da drenagem de importantes canais da mancha urbana de Rio Branco. Em termos de tectônica, esses autores observaram em alguns afloramentos, a ocorrência de austero padrão de fraturamento, evidenciando que estas rochas possivelmente sofreram esforços tectônicos.

A seguir é apresentada uma breve descrição sobre as principais unidades geológicas encontradas área de estudo.

3.1.1.1 Formação Solimões

A Formação Solimões ocupa 84,8% do município de Rio Branco (ACRE, 2006). É a mais extensa das unidades litoestratigráficas do Acre (CAVALCANTE, 2006)

A área de estudo é constituída predominantemente por argilitos laminados e/ou maciços de cor variando de castanho a cinza escuro, por vezes ocorrendo intercalações de camadas siltosas e arenosas (OLIVEIRA e FERREIRA, 2006).

3.1.1.2 Sedimentos Quaternários

São depósitos de materiais inconsolidados advindos da planície de inundação do Rio Acre. Ocupam 4,8% do território do município (ACRE, 2006), sendo que na sede do município encontram-se predominantemente na margem direita do rio Acre.

De acordo com Oliveira e Ferreira (2006), sua composição é dada pela alternância de camadas argilosas e arenosas, recobertas por uma fina camada de argila cinza. A Figura 3.4 ilustra um afloramento desta unidade, observado na planície de inundação do rio Acre, constituído essencialmente por areia fina, com cerca de 3m de espessura.



Figura 3.4 - Terraço do rio Acre em Rio Branco (OLIVEIRA e FERREIRA, 2006).

3.1.1.3 Aluviões Recentes

Constituem depósitos de canal, incluindo barra em pontal e os residuais de canal e transbordamento (ACRE, 2006). Recobrem a Formação Solimões e são compostos por sedimentos finos de areias, silte e argilas inconsolidadas.

3.1.2 **Geomorfologia**

No contexto geomorfológico, Rio Branco ainda não apresenta um levantamento em escala de detalhe. O município é formado, em quase sua totalidade, por relevos de topo aplainado, pouco convexo, com diferentes ordens de grandeza e de aprofundamento de drenagem, separados geralmente por vales.

A geomorfologia mostra dependência direta com a geologia local, caracterizada por terraços e colinas em níveis diferenciados.

A evolução das formas do relevo ao longo da bacia sedimentar, cujo depósito se deu entre o final do Terciário e começo do Quaternário, está relacionada ao processo de erosão lateral efetuado por sua drenagem, configurando formas antigas, como os terraços fluviais e formas de deposição mais recente, que originam as planícies de inundação.

As zonas em que ocorrem as maiores declividades estão relacionadas ao processo de erosão lateral das drenagens e a processos de instabilidade pretéritos. Estes aspectos foram descritos nos trabalhos de Latrubesse (1992), Bueno (1989), Nascimento (1995) e Oliveira e Ferreira (2006).

São comuns, ao longo da planície de inundação do Rio Acre, feições típicas como os meandros colmatados e os paleocanais (Figura 3.5).



Figura 3.5 - Foto aérea do Lago (paleocanal) do Amapá (MAIA, 2003).

No mapa geomorfológico em escala 1:250.000 (ACRE, 2006), dois domínios distintos podem ser observados na área de estudo:

- Depressão do Rio Branco, composta por colinas, relevos de topo pouco convexo, com a intensidade de aprofundamento das drenagens muito fraca dispendo-se no quadrante NW e área Centro-Norte.
- Planície Amazônica - se constitui nas faixas que margeiam os principais rios, comportando áreas alagadas e de inundação, bem como formas de acumulações do tipo terraços fluviais.

As maiores elevações estão em torno de 188 m de altitude na margem direita do igarapé São Francisco. As áreas mais baixas encontram-se na calha e na planície de inundação do rio Acre, com cotas abaixo dos 135 m.

3.1.3 Características hidroclimáticas

Basicamente, o clima de Rio Branco é regido pela Massa Equatorial Continental, a qual origina-se na Amazônia Ocidental, apresentando altas temperaturas e elevados níveis de umidade (ACRE, 2000).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima dominante nesta região é o AW, caracterizado pela ocorrência de temperatura média anual de 24,3 °C (ACRE, 2006).

O regime pluviométrico da região caracteriza-se por um período chuvoso que vai de outubro a abril com precipitação média anual de 1.944 mm, verificada para o período 1970 a 2000. O trimestre mais chuvoso ocorre entre janeiro e março, sendo responsável por cerca de 40 % da precipitação total anual, e o período mais seco prolonga-se de maio a setembro, respectivamente, coincidindo com o período de águas altas e baixas para a bacia do Rio Acre (RODRIGUES et al. 2001).

A variação anual das chuvas no meio urbano é apreciável, com desvio padrão de 228 mm e picos que podem chegar a valores próximos de 140 mm diários (DUARTE, 2005).

A umidade relativa apresenta baixa variação, com o máximo de 91% em dezembro e mínimo de 77 % em agosto, com média anual de 88 % (ACRE, 2006).

Em termos hidrográficos, o município está instalado na bacia do Rio Acre, que apresenta cerca de 40 mil km². Desse total, 23 mil km² localizam-se a montante de Rio Branco (HID, 2000).

Em Rio Branco desenvolve-se uma rede hidrográfica expressiva e densificada, comportando cursos d'água de pequeno e médio portes, não havendo um parâmetro morfométrico de referência.

O rio Acre, com uma largura média de 100 metros no meio urbano de Rio Branco, é o principal curso d'água do município. Flui em sentido sudeste-nordeste e apresenta um percurso de meandros e uma hierarquização fluvial relativamente homogênea, predominando, na maior parte das sub-bacias, um grande número de canais que não possuem tributários. Esse curso d'água nasce em território peruano, se constituindo em um canal típico de ambiente tropical, divagando ao longo de sua contínua faixa de planície, transportando abundante carga de sedimentos em suspensão, o que lhe confere a coloração turva, como pode ser observado na Figura 3.6 (LATRUBESSE, 1992).



Figura 3.6 - Coloração das águas do rio Acre (MACHADO, 2012).

Uma característica marcante desse sistema fluvial para promoção de movimentos gravitacionais de massa diz respeito à relação entre chuvas e vazões. As variações das vazões durante um ciclo hidrológico e a distribuição temporal das chuvas resultam em alterações bruscas na cota dos canais.

De acordo com Duarte (2014), foram registrados em Rio Branco, entre 1971 e 2011, vinte e um eventos de inundações decorrentes das descargas do rio Acre. Esses eventos concentraram-se, entre os meses de janeiro e março, com vazões sempre superiores a $900 \text{ m}^3/\text{s}$. Para o mesmo período, ocorreram ainda nove eventos de vazões muito baixas, inferiores a $50 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nascimento (2011, p. 176) descreve sucintamente a dinâmica do rio Acre em uma cheia histórica, ocorrida no ano de 1997, da seguinte forma:

Seguindo um padrão evolutivo, o nível do canal foi elevando-se e, aos poucos, atingiu o leito menor e, em seguida, a sua planície de inundação. Esta enchente histórica teve início ainda em dezembro de 1996. A cota do canal elevou-se de forma vertiginosa e os moradores das áreas atingidas foram retirados de suas residências pelas equipes do Corpo de Bombeiros do Acre. Alguns dias depois o nível das águas começou a baixar e as pessoas que estavam em abrigos pressionaram a Coordenadoria de Defesa Civil para retornarem às suas residências. Logo em seguida, de forma súbita, o nível do rio voltou a elevar-se, em consequência do grande volume de precipitação pluviométrica em um curto período de tempo.

3.2 Etapas e procedimentos metodológicos

3.2.1 Construção do modelo de decisão

Este trabalho apoia-se na estruturação das etapas de um processo decisório que busca estabelecer, sob a ótica de múltiplos critérios, um prognóstico espacial sobre processos de instabilidade em áreas marginais e urbanas, bem como definir ações mitigadoras em áreas já ocupadas e disciplinar as ocupações daquelas que ainda não o foram.

Para alcançar esse objetivo, o problema de decisão foi decomposto em quatro níveis de hierarquização (Figura 3.7) e estruturado em duas etapas principais: o zoneamento e a prioridade de intervenção.

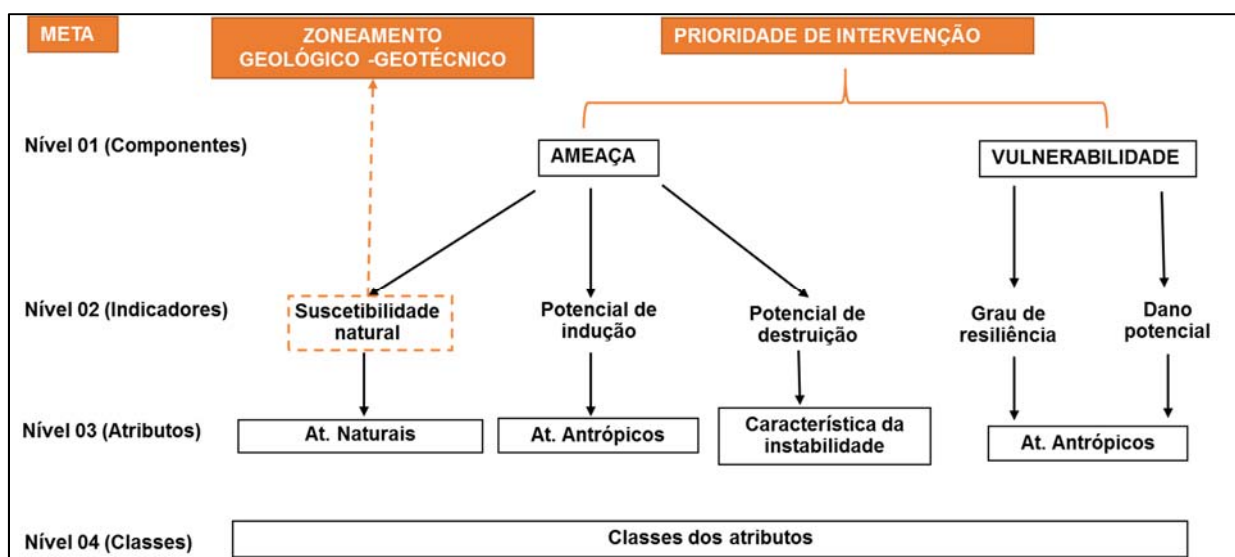


Figura 3.7 - Estrutura hierárquica adotada.

O zoneamento constituiu o estágio inicial do mapeamento de risco, visando o parcelamento da área investigada em zonas homogêneas ou domínios, cuja classificação se dá de acordo com os graus de suscetibilidade real ou potencial aos processos apreciados. O objetivo final é definir áreas que não são passíveis de ocupação e os setores que podem ser ocupados, desde que sejam seguidos os critérios técnicos estabelecidos para este fim.

A suscetibilidade surge nesta pesquisa como um indicador de compartimentos fisiográficos, que por sua condição física, apresentam características naturais favoráveis ou desfavoráveis ao desenvolvimento de um determinado processo de instabilidade.

A prioridade de intervenção constitui um parâmetro dinâmico e dependente do grau de conflito entre o processo adverso e a vulnerabilidade do elemento exposto, cuja quantificação envolve quantidade expressiva de dados, que devem ser periodicamente atualizados.

Para que haja risco em determinada área, é necessária a mútua existência de ameaça e de possibilidade de danos em consequência da vulnerabilidade do elemento exposto. Se não há propensão para a ocorrência de danos frente a um determinado evento físico, não há risco, portanto, não há motivo para priorizar determinada área, mesmo que haja um elevado potencial para a deflagração de um determinado processo (NOGUEIRA, 2002). Logo, as situações conflitantes, que indicam o nível de prioridade, resultaram do mútuo condicionamento de dois componentes elementares da análise de risco: a Ameaça e a Vulnerabilidade.

A Ameaça foi definida como a possibilidade de ocorrer um fenômeno natural ou induzido, em local e intervalo de tempo específicos (um ano), com características determinadas (Nogueira, 2002). Três elementos foram considerados para avaliar essa componente:

- i. O Zoneamento geotécnico, de acordo com os graus de suscetibilidade;
- ii. O potencial de indução, estimado pela forma com que ocorre uso e a ocupação do solo (concentração de águas servidas, cobertura do solo, cortes, aterros e o lançamento e disposição dos resíduos sólidos) e;
- iii. O potencial de destruição do processo atuante ou esperado, que foi estimado com base nos indícios de movimentação.

A vulnerabilidade dos assentamentos foi avaliada mediante a construção dos indicadores Grau de Resiliência e Dano Potencial, que refletem, respectivamente, a capacidade que a ocupação apresenta para absorver ou resistir aos potenciais impactos gerados pela ocorrência do evento adverso e as perdas sociais e econômicas resultantes.

O grau de resiliência foi estimado com base na maneira técnico-construtiva com que as construções foram implantadas e na forma de organização físico-social da ocupação (CERRI, 2006; TOMINAGA, 2007).

Os danos gerados às pessoas e estruturas físicas foram estimados com base nos trabalhos de Varanda (2006), Rodrigues e Zuquete (2006) e Tominaga (2007), tendo sido considerado:

- i. O padrão das edificações (tipologia urbana e acabamento dos elementos externos);

- ii. A infraestrutura instalada (malha viária pavimentada, esgotamento sanitário, coleta de resíduos sólidos, rede de drenagem, coleta de resíduos sólidos, rede de abastecimento de água e energia); e
- iii. A área ocupada por edificações e/ou infraestrutura.

Os resultados do ensaio metodológico foram sintetizados e representados em três produtos cartográficos principais (Mapa de Suscetibilidade Natural, Mapa de Prioridade de Intervenção e Mapa de Ações Mitigadoras) e a sequência de critérios e procedimentos adotados é descrita a seguir.

3.2.2 Coleta e sistematização de informações

A coleta e organização das informações existentes envolveu a realização de pesquisa bibliográfica e documental dirigida à caracterização da área de estudo. Imagens de sensoriamento remoto, produtos cartográficos relacionados ao meio físico e antrópico, notadamente à hidrografia, à topografia, à geologia e ao uso e ocupação de solo, assim como o levantamento de informações sobre ocorrências de movimentos gravitacionais de massa, constituíram fonte de informações essenciais ao desenvolvimento do estudo. Nesse sentido, os trabalhos de campo visaram complementar e atualizar as informações obtidas em trabalhos anteriores.

A referência básica das informações adotadas advém do Sistema de Informação Territorial (SITgeo) pertencente à Prefeitura de Rio Branco, cuja base de dados é de 2013. Os principais materiais obtidos foram:

- Mosaico digital de fotografia aéreas de 2013, com resolução espacial de 5 metros, em escala 1:5000, desenvolvidos pela empresa Aeroimagem S/A, obtidas por meio de uma câmera aerofotogramétrica digital - LEICA ADS-80;
- Mapa topográfico digital da área urbana, com curvas de nível equidistantes em um metro na escala 1:5.000, obtido por perfilamento a laser aerotransportado, no ano de 2013;
- Mapa cadastral em escala de 1:5.000, do ano 2013, contendo planos de informações dos logradouros, lotes, vias pavimentadas, uso do solo, rios, bairros e áreas inundáveis;
- Dados fluviométricos do período de 1970 a 2014 cedidos pela Coordenadoria de Defesa Civil Estadual;
- Relatório geológico-geotécnico desenvolvido por Oliveira e Ferreira (2006);
- 23 boletins de sondagem do tipo SPT (Standard Penetration Test).

Para armazenar e gerenciar todas as informações coletadas e geradas por processamentos posteriores foi criado um banco de dados na projeção “Universal Transversa de Mercator” - UTM, WGS-84, zona 19S. Utilizou-se, para tanto, o Sistema de Informação Geográfica (SIG), do programa ArcGIS 9.3, módulo de operações ArcMap desenvolvido pela empresa ESRI.

Todos os planos de informações foram construídos ou transformados para o formato matricial, apresentando sempre o mesmo tamanho de pixel regular (5m x 5m), mesmo número de linhas (1893) e mesmo número de colunas (2327). Tal procedimento teve a finalidade de possibilitar a integração espacial das informações necessárias à obtenção dos indicadores (nível 2) e componentes (nível 1). Utilizou-se, para tanto, o módulo Spatial Analyst, do programa ArcGIS 9.3, cujos dados de entrada estão ilustrados na Figura 3.8

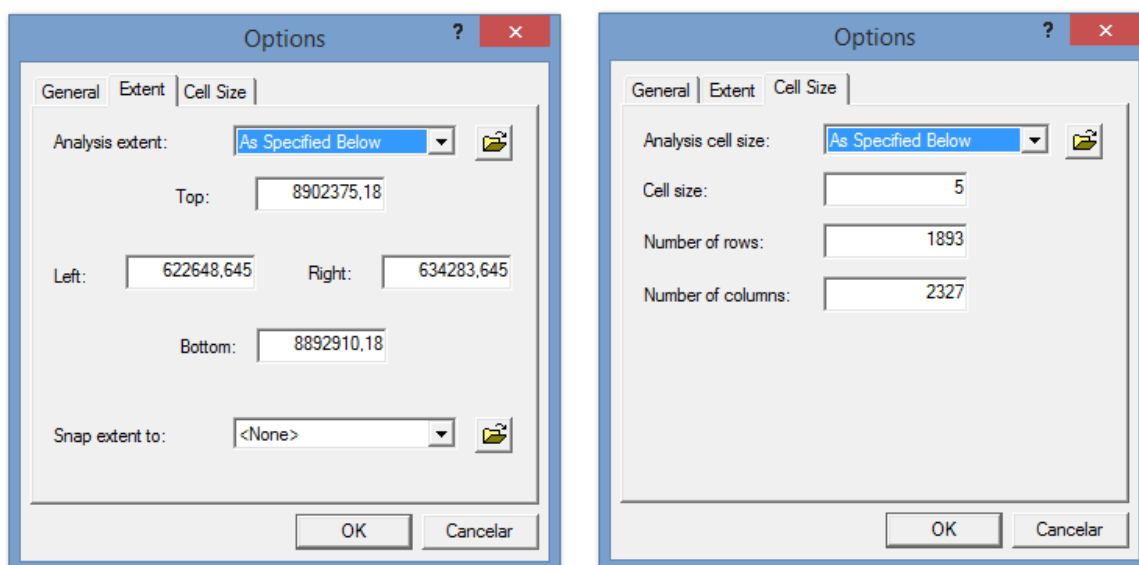


Figura 3.8 - Padronização dos planos de informações matriciais.

A definição da unidade de terreno foi realizada em função da avaliação pretendida. Dois tipos de unidades foram utilizados nesta pesquisa: a Unidade Geológico-geotécnica (UGG) e a Grade Regular ou Célula.

As Unidades Geológico-geotécnicas compreendem as unidades da paisagem decorrentes da compartimentação fisiográfica dos terrenos. Constituem a base para o armazenamento dos dados e informações referentes ao meio físico (substrato litológico, morfologia, solos), permitindo estimar a suscetibilidade dos diferentes terrenos com base na relação entre suas características e os processos mapeados.

A Grade Regular constitui a menor unidade do problema de decisão, correspondendo a um polígono (célula) com dimensões de 50 x 50 m, que teve a finalidade de armazenar todas as

informações relacionadas aos atributos antrópicos e ao tipo e magnitude das evidências de instabilidade.

A forma utilizada de organização dos dados no Sistema de Informações Geográfico (SIG) pode ser observada na Figura 3.9.

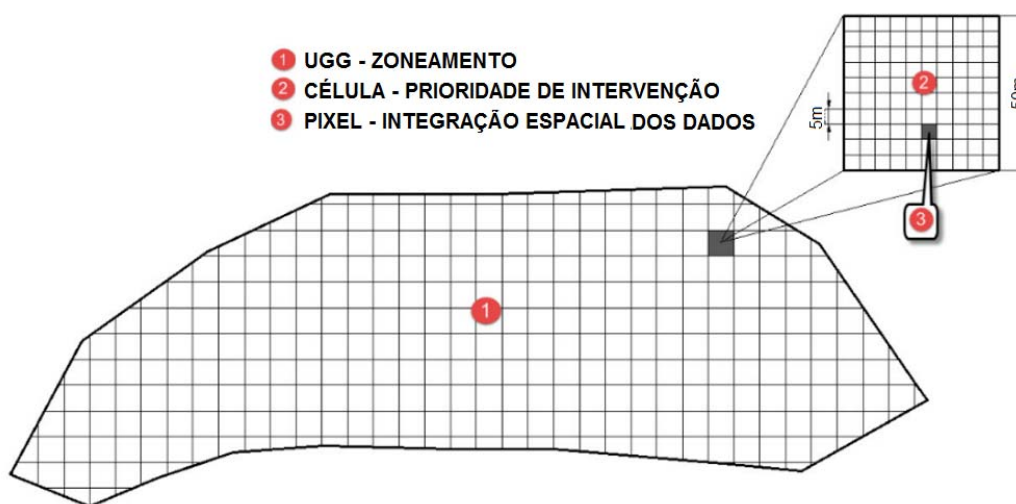


Figura 3.9 - Unidades de terreno utilizadas nesta pesquisa

Na Figura 3.10, é possível visualizar como os atributos utilizados nesta pesquisa foram categorizados, o relacionamento desses com as unidades de terreno e com os elementos de nível hierárquico superior, foram detalhados nos itens subsequentes deste capítulo.

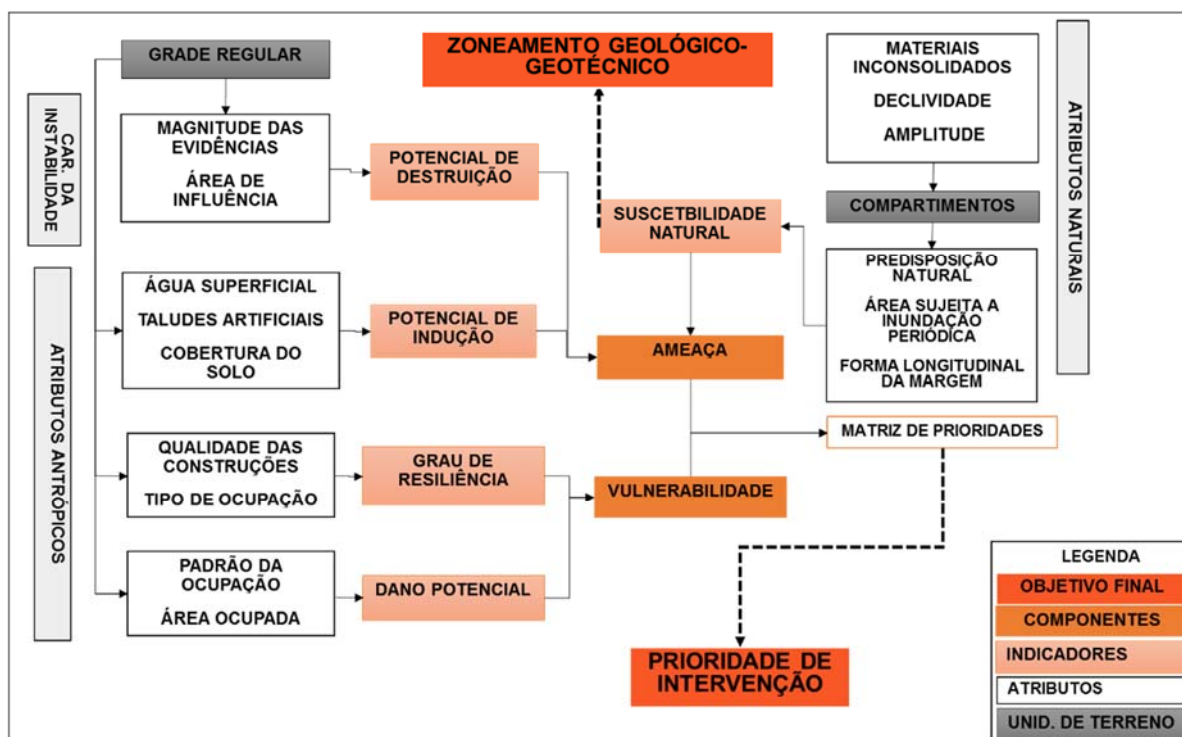


Figura 3.10 - Fluxograma da estrutura hierárquica final.

3.2.1 Critérios e procedimentos para o zoneamento geotécnico

O melhor instrumento para dar suporte à identificação do uso e ocupação do solo urbano é uma carta que correlacione as características do meio físico e os processos geodinâmicos que podem ocorrer. Este documento cartográfico deve trazer informações que estabeleçam a indicação sobre as potencialidades dos processos geodinâmicos causarem transformações do meio físico, independentemente de suas consequências para as atividades humanas. Neste caso, a possibilidade de ocorrência de processos geodinâmicos está condicionada a predisposição natural dos atributos do meio físico e a magnitude e frequência dos agentes deflagradores (SOBREIRA e SOUZA, 2012).

A partir das conceituações acima descritas, na etapa de Zoneamento Geológico-geotécnico buscou-se avaliar os processos que podem ocorrer em áreas mais abrangentes e com agentes deflagradores de maior magnitude, visando a classificação dos terrenos em diferentes graus de suscetibilidade, independentemente da ocupação destas áreas. As situações de perigo, perda ou dano, ao homem e suas propriedades, em razão da possibilidade de ocorrência de processo geológico, induzido ou não, foram avaliadas na etapa denominada de Prioridade de Intervenção.

Em termos operacionais, inicialmente foi necessário estudar o passado da região, a fim de entender a geodinâmica externa a partir das feições de movimentos de massa que já ocorreram e também registrar as ocorrências atuais. Para tanto, realizou-se um cadastro de feições de instabilidade que posteriormente foi cruzado com as unidades decorrentes da compartimentação fisiográfica, o que permitiu inferir quais atributos e fatores condicionam uma unidade a ter uma tendência a desenvolver um movimento gravitacional de massa.

Os dados referentes aos sinais de instabilidade foram registrados em fichas de campo, com informações sobre o tipo de material mobilizado, a posição em relação aos cursos d'água e, quando possível, sobre o período de ocorrência do evento. Para uma melhor caracterização dos processos, procedeu-se à construção de seções geológico-geotécnicas sobre as principais formas de instabilidade.

Foram cadastradas como áreas instáveis, as regiões em que ocorrem cicatrizes de escorregamentos rotacionais e/ou evidências de rastejo. As áreas que apresentaram uma série de rupturas combinadas ou sucessivas foram designadas como “Áreas de Múltiplas Feições – AMF”, de modo que foi utilizada a seguinte nomenclatura para descrever as áreas instáveis:

- Área com única cicatriz de escorregamento rotacional (AE).
- Área com várias cicatrizes de escorregamentos rotacionais (AMFe).
- Área com cicatrizes de escorregamentos rotacionais e com evidências generalizadas de rastejo (AMFer).

A ocorrência do rastejo foi avaliada de modo indireto, por meio do registro de evidências (árvores, muros e construções inclinadas, degraus de abatimentos, trincas no solo e em construções).

Na Figura 3.11 estão indicados alguns sinais de movimentação que possibilitaram classificar uma feição como AMFer.

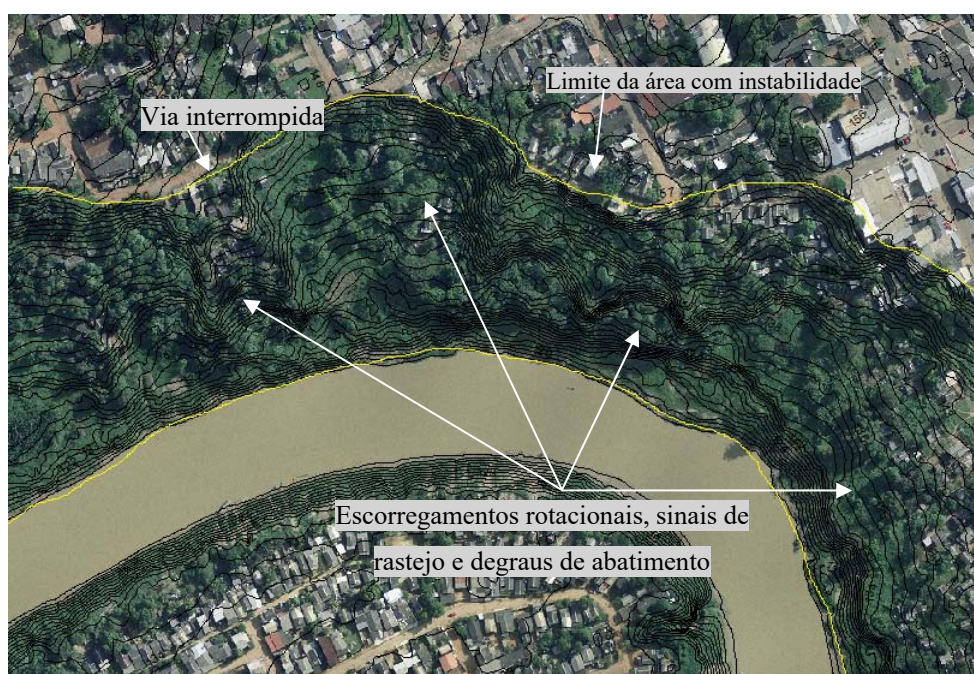


Figura 3.11 - Delimitação de uma área com múltiplas feições (AMFer).

Os procedimentos de compartimentação iniciaram com a identificação de áreas homogêneas quanto às formas de relevo. As principais feições foram delineadas com base na construção e análise de três planos de informações, como descrito a seguir:

- **P1 (Modelo digital do terreno - MDT)** – Foi gerada uma grade triangular, com o módulo 3D *Analyst* do Programa ArcGIS, utilizando-se a rotina TIN para interpolação das curvas de nível. Posteriormente, essa grade foi convertida para o formato matricial com malha regular de 5x5m. Então, procedeu-se à correção de imperfeições nesse plano de informação, por meio da remoção de depressões espúrias. Para tanto, fez-se uso da

ferramenta *Hydrology (Spatial Analyst)*, cujo resultado pode ser visualizado no apêndice A1.

- **P2 (Modelo sombreado)** – Utilizando-se o MDT como dado de entrada, foram geradas três imagens sombreadas com a ferramenta *Hillshade (Spatial Analyst)*. Essas imagens foram geradas em azimutes distintos (135°, 180° e 255°), permitindo a elaboração de uma composição de bandas RGB (*Composite Bands* da caixa de ferramentas do *ArcToolbox*) apresentada no apêndice A2.
- **P3 (Mapa de compartimentação)** – Com base no plano P2, foram identificadas as linhas de ruptura de declive, que permitiram segmentar os terrenos em polígonos representativos de superfícies aplainadas (planícies e topos) e superfícies inclinadas, como indicado no apêndice A3.

O passo seguinte foi a caracterização de cada compartimento quanto aos atributos declividade e amplitude. Um plano de informações referente à declividade, apresentado no apêndice A4, foi gerado por meio do MDT, com a função *Slope* do módulo *Spatial Analyst*. A declividade predominante em cada compartimento foi obtida por meio do operador *Zonal Statistics*, com a opção *mean*.

Para definição das classes de declividade, foram levados em conta os trabalhos de Amaral et al. (2015) e De Biase (1970), que permitiram estabelecer os seguintes intervalos e comportamentos: 0 a 3% e 3 a 6% (superfícies aplainadas ou em declives suaves com escoamento superficial lento a médio); 6 a 12% (superfícies pouco inclinadas, geralmente, com relevo ondulado e escoamento superficial médio); 12 a 20% (superfícies inclinadas, geralmente, com relevo ondulado e escoamento superficial médio a rápido); maior que 20% (superfícies de grande inclinação do terreno e escoamento superficial rápido).

O plano de informações referente à amplitude (apêndice A5) também foi obtido com operador *Zonal Statistics*, entretanto com a opção *range*. As classes desse atributo foram estabelecidas com base nas características do relevo local, em que foram definidos os seguintes intervalos: menor que 10m; 10 a 20m; maior que 20m.

Os dados referentes ao material inconsolidado e o tipo de rocha sedimentar foram inicialmente extraídos dos boletins de sondagem e, posteriormente, confirmados e extrapolados para outras áreas com semelhança morfológica, com base na análise tátil-visual dos perfis de alteração expostos em taludes marginais e cortes nos terrenos e no mapa geológico. A distribuição das

sondagens, perfis observados e os compartimentos definidos por Oliveira e Ferreira (2006), é apresentado no apêndice A6.

As unidades decorrentes da compartimentação fisiográfica constituíram a base para o armazenamento dos dados geotécnicos e permitiram que as diferentes feições do relevo fossem categorizadas em Unidades Geológico-Geotécnicas (UGGs) e Subunidades Geológico-Geotécnicas (SUGGs). As UGGs representaram os grupos de compartimentos de um mesmo setor geomorfológico, cujas características são semelhantes quanto ao domínio litológico, à textura e à disposição das camadas de materiais inconsolidados. As variações morfológicas de cada compartimento, notadamente relacionadas à declividade e à amplitude, foram descritas na forma de SUGGs.

O grau de predisposição que cada compartimento apresenta à ocorrência de um determinado tipo de movimento gravitacional de massa baseou-se na hierarquização e avaliação das classes de atributos presentes em cada SUGG, conforme a maior ou menor influência que essas características exercem no condicionamento dos processos mapeados. Nesse sentido, foram considerados, em ordem decrescente, os seguintes atributos: declividade, material inconsolidado, litologia, a concentração e as características dos processos mapeados.

Os trabalhos realizados permitiram inferir que os processos deflagrados estão intrinsecamente associados aos efeitos causados pela infiltração das águas de chuva e pelas solicitações impostas pela dinâmica fluvial (erosão da base das encostas e oscilações bruscas do nível dos canais).

Conquanto seja reconhecido o papel da pluviosidade como agente desestabilizador de taludes e encostas, essa variável não foi introduzida na análise, pois os dados disponíveis não permitiram que se estabelecesse uma relação espacial ou temporal entre esse fator e os eventos cadastrados.

A influência da dinâmica fluvial foi avaliada por meio da introdução de dois fatores: um relacionado à distribuição da velocidade da água (perfil longitudinal da margem) e outro à área da unidade que está sujeita à inundação periódica.

Sabe-se que, em canais com o padrão meandrante, as zonas de máxima velocidade e turbulência, encontram-se nas proximidades das margens côncavas decrescendo em direção das margens de menor profundidade, convexas (Durlo e Sutili, 2012). O perfil longitudinal da margem buscou descrever, de maneira qualitativa, esta influência na estabilidade global do compartimento, de modo que foram definidas as seguintes classes para este fator: Ausente; Côncava; Convexa;

Retilínea e Sinuosa. Essas classes foram inseridas manualmente na tabela de atributos do mapa de compartimentos, cujo resultado pode ser observado no apêndice A7.

A área sujeita à inundação periódica foi estimada tomando-se as cotas 132m e 134m do mapa topográfico; que são corriqueiramente utilizadas pela Defesa Civil de Rio Branco para identificar as áreas suscetíveis a inundações periódicas e excepcionais. Foram definidas as seguintes classes para este fator:

- NI (não inundável), relacionada aos compartimentos totalmente inseridos em cotas superiores ao leito maior;
- PI (parcialmente inundável), que são pertinentes aos compartimentos que apresentam no máximo 1/3 de sua área sobre o leito maior;
- I (inundável), associada às unidades totalmente inseridas no leito menor ou com mais de 1/3 da área sobre o leito maior.

O mapa gerado para este fator pode ser visualizado no apêndice A8.

A tomada de decisão quanto ao grau de suscetibilidade resultou da combinação entre o grau de predisposição das subunidades geológico-geotécnicas e os fatores de indução considerados.

A importância relativa desses elementos foi estimada pelo autor, segundo a sistemática do AHP (Saaty, 1990), cujos procedimentos estão descritos no item 3.2.4 (Valoração dos elementos de decisão).

O indicador de suscetibilidade foi obtido por meio da combinação linear entre o peso da predisposição natural, os fatores considerados e suas respectivas classes, de acordo com a seguinte equação:

$$IS = \sum_{i=1}^n PRP_i \times PRL_i \quad \text{Eq. 3.1}$$

Em que: IS é o índice de suscetibilidade natural no compartimento i ; PRP_i é peso relativo normalizado do elemento considerado (predisposição ou fator de indução) no compartimento i ; PRL_i é o peso relativo normalizado da classe presente no compartimento i ; n é número de critérios.

Na ponderação das classes, optou-se por não realizar a combinação entre as unidades com muito baixa predisposição (áreas planas) e os fatores indutores, para evitar uma majoração equivocada dessas unidades quanto ao seu grau de suscetibilidade.

Os valores de IS foram distribuídos em quatro intervalos, utilizando-se as seguintes classes e respectivos critérios:

- Muito baixo: corresponde ao IS mínimo, ou seja, às unidades com predisposição muito baixa, em que não foram computados os fatores indutores;
- Baixo: correspondem aos valores inferiores à média e superiores ao mínimo;
- Médio: correspondem aos valores superiores à média e inferiores à média somada ao desvio padrão;
- Alto: correspondem aos valores superiores à média somada ao desvio padrão.

A validação dos resultados ocorreu por meio da sobreposição do mapa de suscetibilidade ao grupo de eventos cadastrados.

3.2.2 Setores investigados quanto à prioridade de intervenção com ações mitigadoras

As cartas de suscetibilidade têm abrangência geral e apresentam uma análise inicial quanto às potencialidades do meio físico de uma região para o desenvolvimento de um determinado processo. Esses produtos cartográficos constituem instrumentos de grande utilidade na gestão territorial, no entanto, deve-se entender sua limitação no que se refere à redução dos riscos geológicos e de catástrofes naturais, uma vez que tais produtos não permitem definir ações a curto e médio prazo (Sobreira e Souza, 2012).

Para que o poder público atue de forma preventiva e emergencialmente, indicando onde e quais ações serão necessárias, faz-se necessário identificar o desenvolvimento do estudo em uma maior escala de detalhe, que permita a identificação precisa da magnitude dos problemas instalados.

A definição dos compartimentos para esta aplicação baseou-se na sobreposição do mapa de zoneamento aos dados de uso e ocupação do solo (planos de informações de logradouros e edificações).

O estudo foi aplicado em uma área teste (Figura 3.12) com aproximadamente 1,1 km², que compreende uma parcela do núcleo urbano de Rio Branco (orla do rio Acre, centro histórico e cinco assentamentos precários).

Os critérios que levaram a esta seleção foram a presença de processos em diferentes estágios de desenvolvimento e a diversidade de ocupações e estágios de consolidação.

Definidos os setores a serem investigados, procedeu-se à construção do plano de informações referente à grade regular. Essa operação foi realizada com o uso do programa ArcGis, por meio do operador Vector Grid da extensão GeoWizard 11.2, que gerou uma malha composta por 467 células com codificação própria.

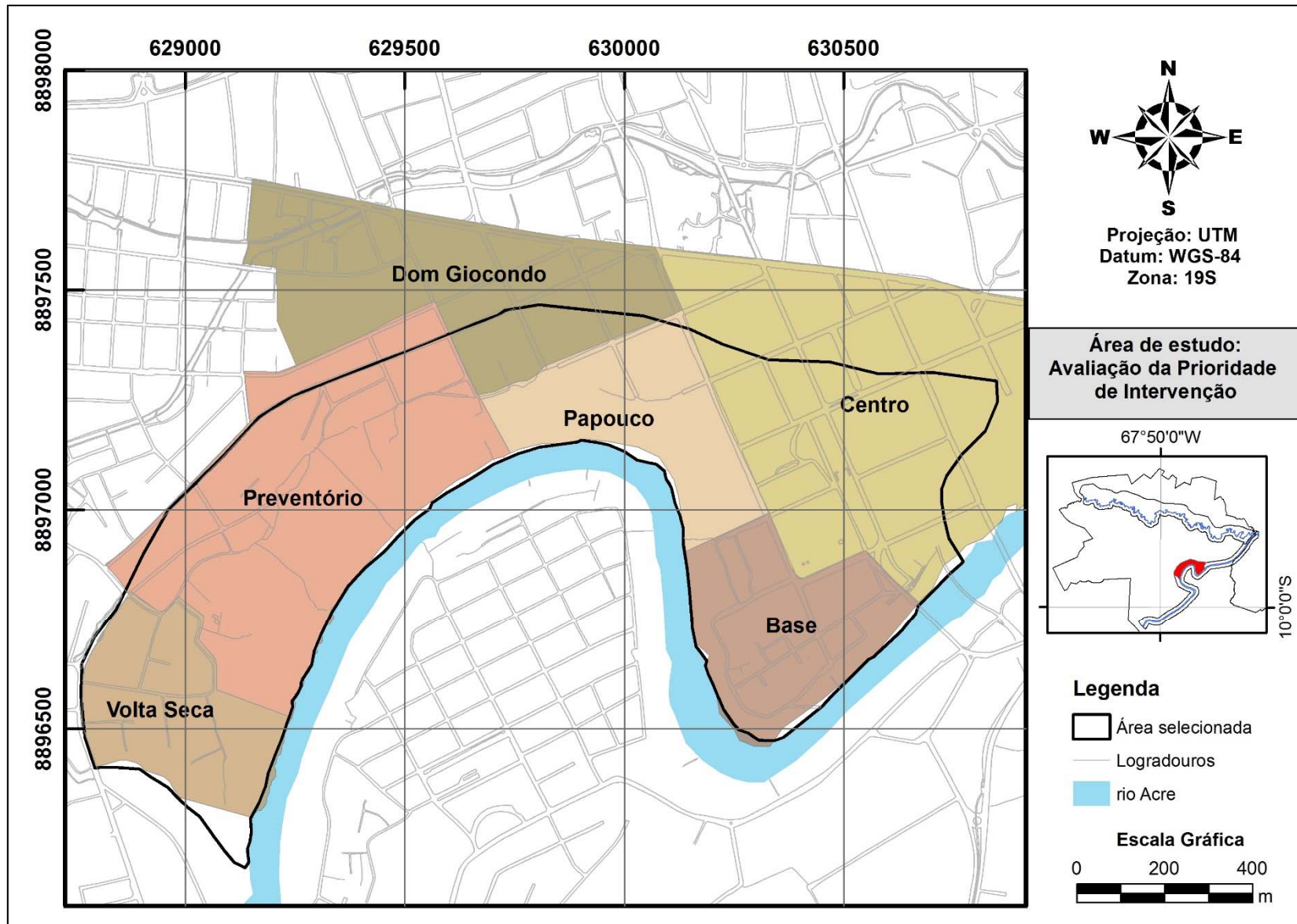


Figura 3.12 - Área selecionada para avaliar a prioridade de intervenção

3.2.3 Definição de atributos e classes

3.2.3.1 Característica do Processo de Instabilidade

Embora o indicador de suscetibilidade permita estimar se o compartimento apresenta características favoráveis ou desfavoráveis à instabilidade, a presença de sinais de movimentação em uma determinada célula pode indicar que ela já reúne todas as características necessárias ao desenvolvimento de um acidente geológico.

A chave para quantificar a Ameaça está no nível de desenvolvimento do processo, que pode ser estimado com base em sinais de movimentação identificados por meio de trabalhos de campo, conforme apresentado em *Cerri et al. (2007)*.

Os dados relacionados aos sinais de movimentação foram obtidos com base em trabalhos de campo e sobreposições do plano da grade regular ao cadastro de áreas instáveis, às curvas de nível com frequência de 1m e as ortofotos de 2013, o que permitiu a identificação de regiões escarpadas, feições de escorregamentos e áreas com evidências de rastejo.

O registro dessas ocorrências no banco de dados geográficos foi realizado através da inserção de uma coluna para cada atributo relacionado às características do processo mapeado, no plano de informações da grade regular.

Foram considerados como atributos necessários a estimativa do indicador de Potencial de Destruição a magnitude das evidências e a área de influência desses sinais na célula.

A magnitude dos sinais de movimentação foi avaliada com base em critérios apresentados por *Cerri et al. (2007)*, da seguinte maneira:

- Ausente - não há indícios do desenvolvimento de processos de instabilidade;
- Incipiente - as evidências de instabilidade sugerem que o processo está em estágio inicial, se desenvolve lentamente ou encontra-se dormente. Neste caso, é perfeitamente possível o seu monitoramento.
- Significativo - há indícios de que o processo está em pleno desenvolvimento. Ocorrem diversos degraus de abatimento, trincas no terreno e/ou em construções ou ainda cicatrizes de escorregamentos pretéritos. Ainda é possível o monitoramento da área, mas é perfeitamente provável que ocorram escorregamentos durante episódios pluviais intensos e/ou variações bruscas de nível nos cursos d'água.

- Severo - as evidências ou feições de instabilidade são expressivas, indicando que podem ocorrer, a qualquer tempo, escorregamentos, não sendo possível o seu monitoramento.

Para avaliação da área ocupada pelos sinais ou feições de instabilidade na célula foram definidas as seguintes classes: ausente; <25%; 25 a 50%; 50 a 75%; 75% a 100%.

3.2.3.2 Atributos Antrópicos

Foram definidos sete atributos antrópicos com a intenção de estimar a interferência da ação humana na evolução da instabilidade (Potencial de Indução), os possíveis danos a propriedades e bens em decorrência de um processo destrutivo (Dano Potencial), a capacidade que a ocupação apresenta para restabelecer a sua condição anterior a um possível acidente geológico (Grau de Resiliência).

As informações utilizadas para tabulação das classes relacionadas aos atributos antrópicos foram obtidas por meio de trabalhos campo, ortofotos de 2013, planos de informações da base de dados do SitGeo (lotes, logradouros, edificações e sistema viário) e imagens do Google Street View do ano de 2012. Na Figura 3.13 encontram-se algumas imagens que ilustram algumas dessas observações e na sequência são descritos os atributos e classes utilizados para compor cada indicador.



Ocupação planejada, alto padrão, com edificações bem estruturadas.



Detalhe das edificações presentes nas células 325 e 326 (Google StreetView, 2012).



Ocupação espontânea com edificações mal estruturadas e infraestrutura incipiente.



Detalhe das edificações presentes na célula 278

Figura 3.13 - Imagens que ilustram a forma de obtenção de dados relacionados aos atributos antrópicos.

3.2.3.2.1 Atributos associados ao Potencial de Indução

a) *Água superficial*

Este atributo está associado às situações que promovem o aumento da concentração e infiltração de águas superficiais no compartimento devido principalmente ao lançamento de águas pluviais por deficiência ou ausência de sistema de drenagem superficial; ao lançamento de águas servidas por ausência de sistema de esgoto sanitário; à vazamentos da rede de abastecimento de água, inclusive quando os próprios moradores executam a ligação ao sistema de modo improvisado através de canos rígidos e flexíveis ("mangueiras").

As classes para este atributo foram definidas com base no trabalho de Faria (2011), da seguinte maneira:

- Concentração muito baixa - não existem evidências do lançamento de águas servidas em superfície e normalmente área não é ocupada;
- Concentração baixa - presença de vazamentos incipientes; presença de sistema de drenagem superficial (calhas, valas, tubulações etc);
- Concentração média - presença de vazamentos significativos em tubulações de abastecimento ou mesmo em tubulações de águas servidas; presença de algum sistema de drenagem superficial;
- Concentração alta - presença de muitos pontos de vazamentos em tubulações de abastecimento ou mesmo em tubulações de águas servidas; ou verificação de ausência de sistemas de águas pluviais, com tubulações lançando águas pluviais e servidas diretamente na superfície; presença de fossas negras.

Na Figura 3.14 estão ilustradas algumas observações realizadas em campo, quanto à concentração de água superficial.



Figura 3.14 - Concentração de águas superficiais na área avaliada. a) concentração de água de chuva em área com rastejo. b) lançamento de águas servidas em área com rastejo. c) ligações clandestinas em área com rastejo. d) ligações clandestinas em área escarpada.

b) Taludes artificiais

Este atributo está associado às situações que contribuem à instabilidade do compartimento em decorrência de cortes ou aterros inadequados, sem qualquer controle, ou a disposição de lixo e entulhos em áreas escarpadas.

Como não foram identificados cortes ou aterros em áreas com declividade natural acentuada, a contribuição deste atributo para indução da instabilidade baseou-se exclusivamente, na concentração de lixo e entulho em regiões escarpadas, normalmente caracterizadas por degraus de abatimentos presentes nas áreas instáveis.

Foram definidas as seguintes classes para este atributo:

- Ausente - indica a ausência de depósitos de resíduos em áreas escarpadas;
- Concentração baixa - indica a presença incipiente de resíduos em áreas escarpadas;
- Concentração média - indica a presença significativa de depósitos de resíduos ao longo das áreas escarpadas ou taludes artificiais, porém com pequena espessura;
- Concentração alta - indica a presença generalizada em com volume significativo de depósitos de resíduos ao longo das áreas escarpadas ou taludes artificiais.

c) Cobertura do Solo

O tipo de cobertura do terreno também atua como fator que pode induzir à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa.

De acordo com Guidicini e Nieble (1984), em áreas com a predominância da cobertura vegetal, a atuação positiva da vegetação para estabilidade de encostas se dá no sentido de reduzir a intensidade dos agentes climáticos no maciço natural.

De acordo com Rodrigues (2002), apesar de alguns efeitos positivos que a vegetação pode causar à estabilidade do maciço, eles não são, na maioria dos casos, suficientemente significativos, para eliminar efeitos negativos, relacionados ao controle dos movimentos gravitacionais de massa, principalmente quanto às demais características (como inclinação, material inconsolidado, substrato rochoso etc.) são favoráveis à ocorrência dos eventos.

Por outro lado, a remoção da cobertura vegetal para o uso urbano, como abertura de ruas e construção de edificações pode gerar modificações significativas nos padrões de drenagem, na geometria das encostas, no escoamento superficial e no aumento das solicitações externas, favorecendo invariavelmente à ocorrência de processos de instabilidade (Rodrigues, 2002).

A área de estudo é essencialmente urbana, por este motivo a maioria das células é constituída de solo impermeabilizado por edificações, vias pavimentadas e calçamentos. As células geralmente situadas na zona inundável do rio Acre apresentaram cobertura vegetal do tipo arbórea e arbustiva, havendo ainda uma zona de transição, normalmente ocupada por edificações irregulares. Desta forma, foram definidas três classes para este atributo:

- Cobertura vegetal - referente às células ocupadas por vegetação arbórea ou arbustiva;
- Urbana - referente às células ocupadas por edificações, infraestrutura e vegetação gramínea;
- Mista - compreendem uma zona de transição entre a cobertura vegetal e o uso urbano. Nessas células observam-se algumas edificações, porém a célula é essencialmente ocupada por vegetação gramínea e arbustiva.

3.2.3.2.2 Atributos associados ao Dano Potencial

Dano potencial refere-se à estimativa da extensão do dano resultante, expressa pelo valor das propriedades e bens sob risco (Tominaga, 2007). Este indicador foi estimado considerando-se os seguintes atributos:

a) Padrão da Ocupação

Para estimar as perdas (materiais) relacionadas à infraestrutura e às edificações, foram definidas as seguintes classes para o atributo padrão da ocupação:

- Alto - correspondem às células com edificações de alto e médio padrão, com infraestrutura adequada.
- Médio - correspondem às células com edificações de médio a baixo padrão, com infraestrutura adequada. Incluem-se nesta categoria, as áreas abertas (praças, parques, etc.)
- Baixo - correspondem às células com edificações de médio a baixo padrão, com infraestrutura inadequada.
- Muito baixo - correspondem às células com edificações de baixo padrão e infraestrutura incipiente.
- Sem uso - áreas não ocupadas por edificações ou infraestrutura (ruas, rede-elétrica e calçadas).

Os critérios utilizados para avaliar a infraestrutura instalada foram: malha viária pavimentada, esgotamento sanitário, rede de drenagem, coleta de resíduos sólidos, rede de abastecimento de água e energia.

Para ser considerada como infraestrutura adequada a célula deve possuir todos os itens supracitados.

A infraestrutura foi classificada como inadequada para as unidades de terreno com, no mínimo, três dos itens supracitados, e incipiente para aquelas com quantidade inferior a três.

O padrão das edificações presentes em cada célula foi avaliado segundo a tipologia urbana e o acabamento dos elementos externos (cobertura, revestimento, esquadrias etc.).

b) Área Ocupada

Para estimar a área ocupada por edificações e/ou infraestrutura foram definidos os seguintes níveis: <5%; 5 a 30%; 30 a 60%; 60 a 100%.

3.2.3.2.3 Atributos associados ao Grau de Resiliência

O indicador de Resiliência expressa a capacidade que determinadas ocupações apresentam para resistir, se adaptar ou se recuperar das consequências de um acidente geológico.

De acordo com Nogueira (2006), essa capacidade de resposta está relacionada ao grau de organização social da ocupação, às condições de emprego e renda, às condições de acessibilidade e da oferta de infraestrutura urbana e de serviços ali presentes.

Para estimar o grau de resiliência da ocupação foram definidos os seguintes atributos:

a) Qualidade das Construções

A qualidade das construções reflete a maneira técnico-constructiva como as edificações são implantadas e conseqüentemente a capacidade de suportar os impactos dos deslocamentos de massa.

Foram definidas as seguintes classes para este atributo:

- Bem estruturadas - correspondem às construções normalmente seguidas de acompanhamento técnico, com aplicação adequada dos materiais empregados na vedação e estrutura;
- Providas de alguma estrutura - correspondem às construções executadas normalmente sem acompanhamento técnico, entretanto com algum nível de amarração entre os elementos estruturais e a vedação;
- Estrutura precária ou ausente - corresponde às moradias normalmente construídas pelo proprietário, em madeira, sem qualquer acompanhamento técnico.
- Sem construções - compreendem as áreas que não se enquadram nas demais classes.

Uma ilustração de construções classificadas como “Estrutura precária ou ausente” pode ser visualizada na Figura 3.15.



Figura 3.15 - Detalhe de moradia precária localizada em área de rastejo.

A simplicidade construtiva e os materiais que constituem tais edificações conferem a estas uma maior capacidade de absorver deformações. Quando associada à prática do realinhamento periódico de suas fundações, elas conseguem permanecer por longos períodos em áreas de ocorrência de rastejos. Por outro lado, apresentam muito baixa resistência ao impacto dos materiais advindos de escorregamentos e normalmente estão associadas a famílias com baixa renda. Quando afetadas por um escorregamento, essas famílias encontram enorme dificuldade para restabelecer a sua condição anterior (NOGUEIRA, 2006).

b) Tipo de Ocupação

Assim como a qualidade da construção, o tipo de ocupação é um parâmetro importante para explicar o grau de vulnerabilidade do ambiente construído, uma vez que está diretamente relacionado ao grau de organização social; à infraestrutura urbana instalada (drenagem, pavimentação, saneamento); aos serviços básicos presentes (coleta de lixo, redes elétrica e hidráulica etc.); às condições acessibilidade (CERRI, 2006).

De acordo com UNISDR (2012), as consequências de um evento destrutivo são minimizadas em ocupações com serviços e infraestrutura organizados, que obedecem a padrões de segurança e códigos de construção, sem ocupações irregulares. Assentamentos precários, por sua vez, são mais suscetíveis aos impactos de eventos adversos que o resto da cidade, quando afetadas por um acidente ambiental, encontram enorme dificuldade para restabelecer a sua condição anterior (NOGUEIRA, 2006). Neste sentido, foram definidas as seguintes classes para o atributo tipo de ocupação:

- Assentamento precário - constituem áreas ocupadas por edificações de muito baixo padrão, nas quais a infraestrutura urbana e a oferta de serviços públicos é ausente ou insipiente.
- Residencial e comercial - constituem áreas ocupadas por edificações residenciais, privadas ou públicas de uso contínuo ou esporádico e infraestrutura, incluindo rede viária, de energia, de água e saneamento e etc.
- Áreas abertas - compreendem as áreas públicas ou privadas não ocupadas por construções como parques, praças, estacionamentos, dentre outros.
- Sem construções - compreendem as áreas que não se enquadram nas demais classes.

3.2.4 Valoração dos elementos de decisão

Nesta etapa do desenvolvimento da aplicação, foram montadas as matrizes de comparação para cada um dos três níveis citados. Em seguida foram realizadas comparações entre os elementos de um mesmo nível hierárquico com relação ao elemento do nível superior, definindo, dentro da escala de Saaty (1990), a importância relativa de um determinado elemento em relação a outro.

Na comparação par-a-par os pesos dos elementos de cada matriz foram definidos por meio do cálculo do “autovetor” ou “vetor de prioridades”, enquanto que a verificação da coerência dos julgamentos é realizada com base nos resultados do cálculo do “autovalor”, conforme descrito no item 2.5.3.

Os julgamentos realizados estão essencialmente relacionados à experiência do avaliador, auxiliado por consultas realizadas aos trabalhos de Faria (2011), Rodrigues (2002), Cerri (2006), Nogueira (2006) e Cerri e Nogueira (2012).

O tratamento dos dados foi realizado por meio do programa ASSISTAT 7.7 (Silva e Azeredo, 2009), o que permitiu a obtenção dos pesos relacionados:

- Aos indicadores de ameaça e de vulnerabilidade;
- Aos atributos antrópicos e de instabilidade;
- Às classes desses atributos.

Na sequência, realizou-se a avaliação da coerência do julgamento realizado em cada matriz de comparação, com base na verificação das seguintes condições: $\lambda_{\max} \cong n$; $\lambda_{\max} < n + 5\%$; $IC \cong 0$ e $RC \leq 0,10$.

3.2.5 Avaliação da prioridade de intervenção

Os componentes ameaça e vulnerabilidade foram determinados por meio da combinação dos pesos dos indicadores, atributos e classes, da seguinte maneira:

$$IC = \sum_{i=1}^n PRI_i \times PRA_i \times PRC_i \quad \text{Eq. 3.2}$$

Em que: IC é o valor do componente na célula i; PRI: peso relativo normalizado do indicador presente na célula i; PRA: peso relativo normalizado do Atributo na célula i; PRC: peso normalizado da classe de atributo presente na célula i; n refere-se número de critérios.

Os valores de IP de IA e IV foram distribuídos em quatro classes (baixa, moderada, alta e muito alta) cujos e cenários esperados para cada classe foram descritos na Tabela 3.1 e Tabela 3.2.

Tabela 3.1 - Cenário esperado para cada classe de ameaça.

Grau de Ameaça	Explicação
Baixa	É improvável que ocorra de um evento destrutivo no período de um ano.
Média	Os indicadores de ameaça são de média potencialidade ao desenvolvimento de processos destrutivos. A ocupação por edificações e consolidação desses espaços deve ser avaliada com cautela, necessitando de programas geotécnicos específicos e o monitoramento periódico por meio de investigações de superfície ou fazendo-se uso inclusive de instrumentação nas unidades com elevada vulnerabilidade.
Alta	Os indicadores de ameaça são de alta potencialidade, de modo que seja muito provável a ocorrência de processos destrutivos no período de um ano. Novas ocupações devem ser coibidas, não é recomendável a instalação de redes enterradas nessas áreas. O monitoramento deve ser constante e preferencialmente com o uso de instrumentação nas unidades mais vulneráveis.
Muito Alta	Existem evidências generalizadas de processos de instabilidade inclusive com alto poder destrutivo. Não é possível prever quando novos eventos irão ocorrer.

Tabela 3.2 - Explicação dos prováveis cenários para cada classe de vulnerabilidade.

Grau de vulnerabilidade	Explicação
Baixa	Constituem as áreas não ocupadas por edificações ou infraestrutura. Mesmo que ocorra um evento adverso é improvável que ocorram danos associados.
Média	Constituem as áreas com baixo nível de consolidação ou áreas abertas. Os danos associados a ocorrência de um processo de instabilidade são de gravidade moderada.
Alta	Constituem as áreas consolidadas ou em processo de consolidação. Os danos associados a ocorrência de um processo de instabilidade podem resultar em perdas humanas e materiais.
Muito Alta	Constituem as áreas consolidadas ou em processo de consolidação. Os danos associados a ocorrência de um processo de instabilidade são significativos e estão essencialmente relacionados à elevada fragilidade da população que ocupa estes espaços.

A estratégia adotada para integração dessas classes e a tomada de decisão quanto ao tipo de ação mitigadora foi a construção de uma matriz (Tabela 3.3). Considerando que as situações de conflito só existem quando um desses componentes não estão presentes de modo incipiente, estipulou-se uma

escala de 0 a 3 para cada classe presente nesta matriz, em que 0 representa o valor mínimo e 3 o valor máximo para cada componente.

Tabela 3.3 - Matriz do índice de prioridade.

		AMEAÇA (Peso)			
		IP=IAxIV	Baixa (0)	Média (1)	Alta (2)
VULNERABILIDADE (Peso)	Baixa (0)	0	0	0	0
	Média (1)	0	1	2	3
	Alta (2)	0	2	4	6
	Muito Alta (3)	0	3	6	9

Baixa	Moderada	Elevada
-------	----------	---------

O índice de prioridade foi obtido com a seguinte equação:

$$IP_i = IA_i \times IV_i \quad \text{Eq. 3.3}$$

Em que: IP é o índice de prioridade na célula i; IA: peso correspondente classe da componente ameaça na célula i; IV é o peso da classe da componente vulnerabilidade presente na célula i.

A Prioridade Baixa (IP igual a 0) indica a condição menos crítica, em que, mantidas as condições existentes, é mínima a possibilidade de ocorrência de danos sociais ou econômicos, por ser improvável que o evento venha a ocorrer, ou pela baixa condição vulnerabilidade do elemento exposto. As áreas com baixo grau de ameaça foram consideradas como estáveis. Para as demais classes de ameaça a ocupação deve ser restritiva ou coibida.

A prioridade moderada (IP de 1 a 3) indica que, mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível que ocorram perdas sociais ou econômicas, especialmente nos meses de precipitações mais intensas. É, portanto, recomendável o remanejamento de edificações localizadas em áreas com grau de ameaça alto ou muito alto e o monitoramento daquelas com média potencialidade.

A prioridade elevada (IP de maior que 3) indica a condição mais crítica. Os sinais de instabilidade são expressivos, em número e/ou magnitude. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos com elevado poder destrutivos. Devido às condições de vulnerabilidade, são esperados danos sociais e econômicos significativos nessas áreas, por isso é indicado o remanejamento das edificações ali presentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Zoneamento geológico-geotécnico

Os trabalhos de campo associados à análise e interpretação de produtos de sensoriamento remoto permitiram a delimitação de áreas com sinais ou evidências de instabilidade e a compartimentação dos terrenos em unidades e subunidades geológico-geotécnicas.

Os procedimentos adotados permitiram identificar três Unidades Geológico-Geotécnicas (UGG) que estão associadas aos setores geomorfológicos da Depressão do Rio Branco e da Planície Amazônica. Essas unidades foram segmentadas em 17 subunidades (SUGG) para representar as variações quanto à declividade e à amplitude dos compartimentos. A distribuição dessas áreas é apresentada na Figura 4.1 e a descrição de suas características geológico-geotécnicas encontra-se, de forma resumida, na Tabela 4.1 e Tabela 4.2.

O setor geomorfológico da Depressão do Rio Branco responde por 73% da área de estudo. Desse total, 44% estão representados pelas colinas da Formação Solimões, onde predominam as subunidades SR3 (21%) e SVM3 (19%). A unidade V responde por 29% da região de estudo e é caracterizada por apresentar baixa declividade, em que somente 5% dos terrenos apresentam declividade superior a 6%.

No setor geomorfológico da Planície Amazônica, os terrenos estão essencialmente inseridos na subunidade QP (71%), as demais áreas estão distribuídas na subunidade QVA2 (25%) e QVM2 (4%).

Os registros de movimentos gravitacionais de massa totalizaram 12,3% da região de estudo e corresponderam à 65 áreas com escorregamentos rotacionais (48 do tipo AE e 17 do tipo AMFe) e oito com áreas com escorregamentos rotacionais e rastejos (AMFer), totalizando 73 feições cadastradas. Esses registros estão apresentados na Figura 4.2, assim como a localização das seções geológico-geotécnicas utilizadas para caracterização dos processos.

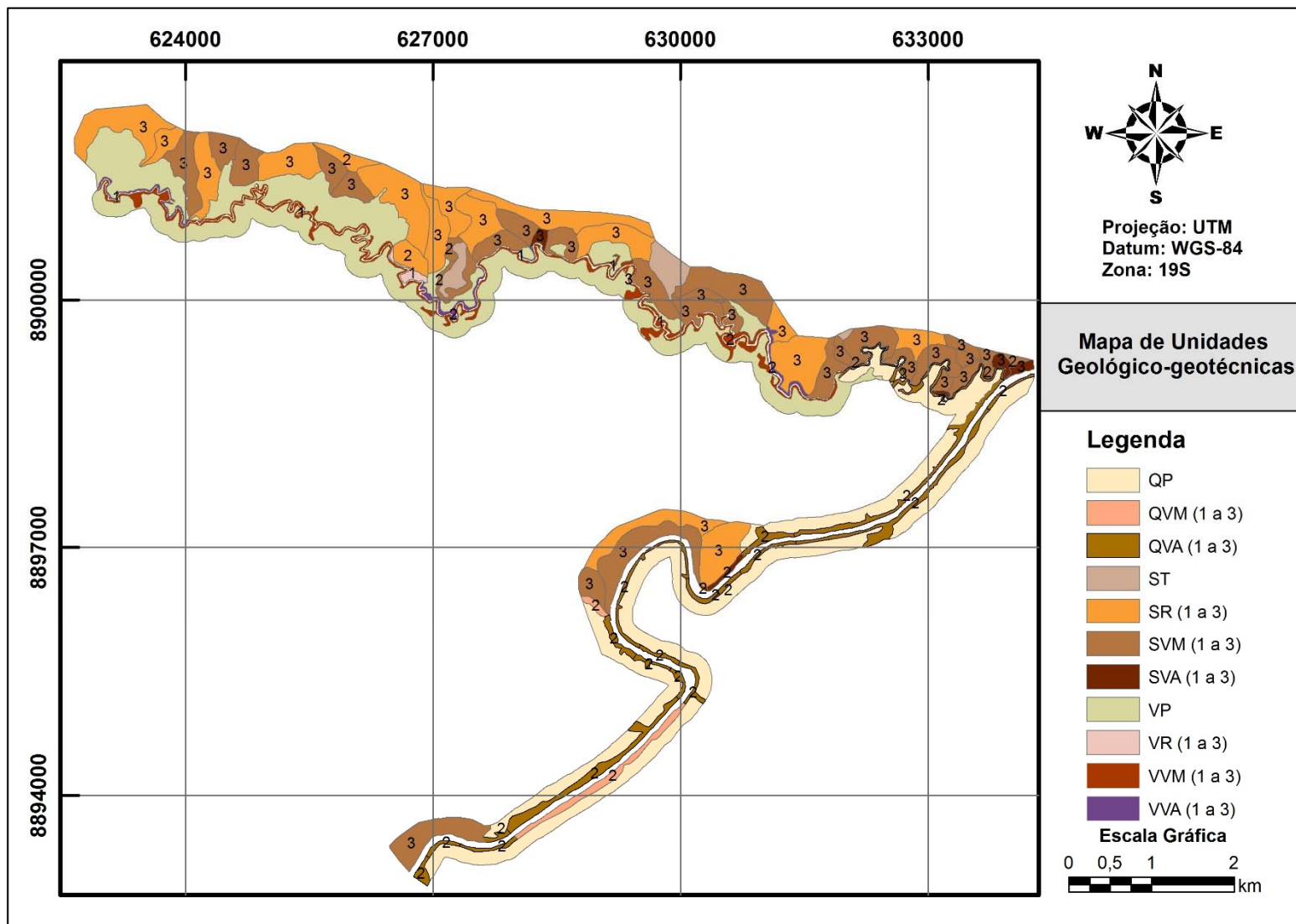


Figura 4.1 - Mapa de compartimentos geológico-geotécnicos.

Tabela 4.1 - Síntese das características do meio físico nas unidades geológico-geotécnicas, situadas no setor geomorfológico da Depressão do Rio Branco.

UGG	Características do Meio Físico				SUGG
	Geologia	Relevo e nível d'água	Material inconsolidado	Declividade e Amplitude	
Formação Solimões (terciário) em relevo ondulado (S)	Argilitos e siltitos em discordância angular com o material inconsolidado, exibindo estruturas maciças ou acamadas, apresentando concreções carbonáticas, gipsíferas e lentes de matéria vegetal carbonizada. Apresentam-se pouco consolidados. São escaváveis com ferramentas manuais e exibem SPT entre 15 e 40.	Morrotes baixos. Colinas. Relevo ondulado. Topos aplainados ou ligeiramente convexos. Vertentes, em geral retilíneas ou ligeiramente côncavas. Nível d'água: entre 2 e 4 m (restrito ao período chuvoso, observado nos boletins de SPT).	Espessura: 2 a 10m; Textura argilosa ou argilo-siltosa; Cobertura coluvial, em geral na base e a meia encostas, nas áreas instáveis <2m. Contato, brusco ou transicional, com argilitos e siltitos da Formação Solimões; Resistência das camadas crescente com a profundidade, em geral, variando de mole a rija (SPT de 4 a 15) entre 1 e 6 metros e de rija a dura (SPT de 12 a 30) a partir dos 6 metros.	Topos aplainados ou pouco convexos (T)	ST
				Rampas, superfícies com declividade entre 6 e 12% (R) Amplitude*: 2 ou 3	SR2
					SR3
				Vertente com declividade moderada, entre 12 e 20% (VM) Amplitude*: 2 ou 3	SVM2
					SVM3
	Vertente com declividade alta, maior que 20% (VA); Amplitude*: 2 ou 3	SVA2			
		SVA3			
Formação Solimões (terciário) em planícies e fundo de vales (V)	Terrenos baixos, que constituem o leito e a planície de inundação do igarapé São Francisco. Nível d'água raso, entre 3 e 6 m, na camada arenosa observado nos boletins de SPT). Forma das vertentes: em geral, retilíneas ou ligeiramente côncavas.	Espessura: > 3,0 m; Textura argilosa, argilo-arenosas ou argilo-siltosa com intercalações entre camadas arenosas. Contato transicional com argilitos e siltitos da Formação Solimões Na superfície, com espessura de 1 a 4m ocorrem solos moles, com predomínio de materiais de origem orgânica ou argilo-siltosos. A camada subsequente é caracterizada por solos predominantemente arenosos, com SPT variando entre 6 e 13. As argilas e siltes que indicam a transição para Formação Solimões surgem após a camada arenosa.	Planícies (P)	VP	
			Rampas - superfícies com declividade entre 6 e 12% (R); Amplitude*: 1.	VR1	
			Vertente em fundo de vale com declividade moderada, entre 12 e 20% (VM); Amplitude*: 1 a 3	VVM1	
				VVM2	
				VVM3	
	Vertente em fundo de vale com declividade alta, maior que 20% (VA); Amplitude*: 1 ou 2	VVA1			
		VVA2			

(*) referente aos seguintes intervalos de amplitude: <10m (1); 10 a 20m (2); >20m (3).

Tabela 4.2 - Síntese das características do meio físico nas subunidades geológico-geotécnicas situadas no setor geomorfológico da Planície Amazônica.

UGG	Características do Meio Físico				SUGG
	Geologia	Relevo e nível d'água	Material inconsolidado	Declividade e Amplitude	
Sedimentos do Quaternário em Planícies Fluviais (Q)	Aluviões e Terraços.	Planícies fluviais e superfícies inclinadas que se formam nas margens dos cursos d'água, cujo perfil longitudinal se apresentam retilíneas. Nível d'água raso (2,0m).	Constituem zonas de materiais erodidos, retrabalhados e depositados em áreas periodicamente inundadas. Caracterizada por um espesso manto de solos aluviais, com textura arenosa e argilo-arenosa, comportando ainda feições típicas como os meandros colmatados e os paleocanais. Observam-se camadas de solos moles ou fofos e de materiais de natureza orgânica com espessura variável.	Planície (P)	QP
				Vertente com declividade moderada, entre 12 e 20% (VM); Amplitude:2	QQVM2
				Vertente com declividade alta, maior que 20% (VA); Amplitude*: 2.	QQVA2

(*) referente aos seguintes intervalos de amplitude: <10m (1); 10 a 20m (2); >20m (3).

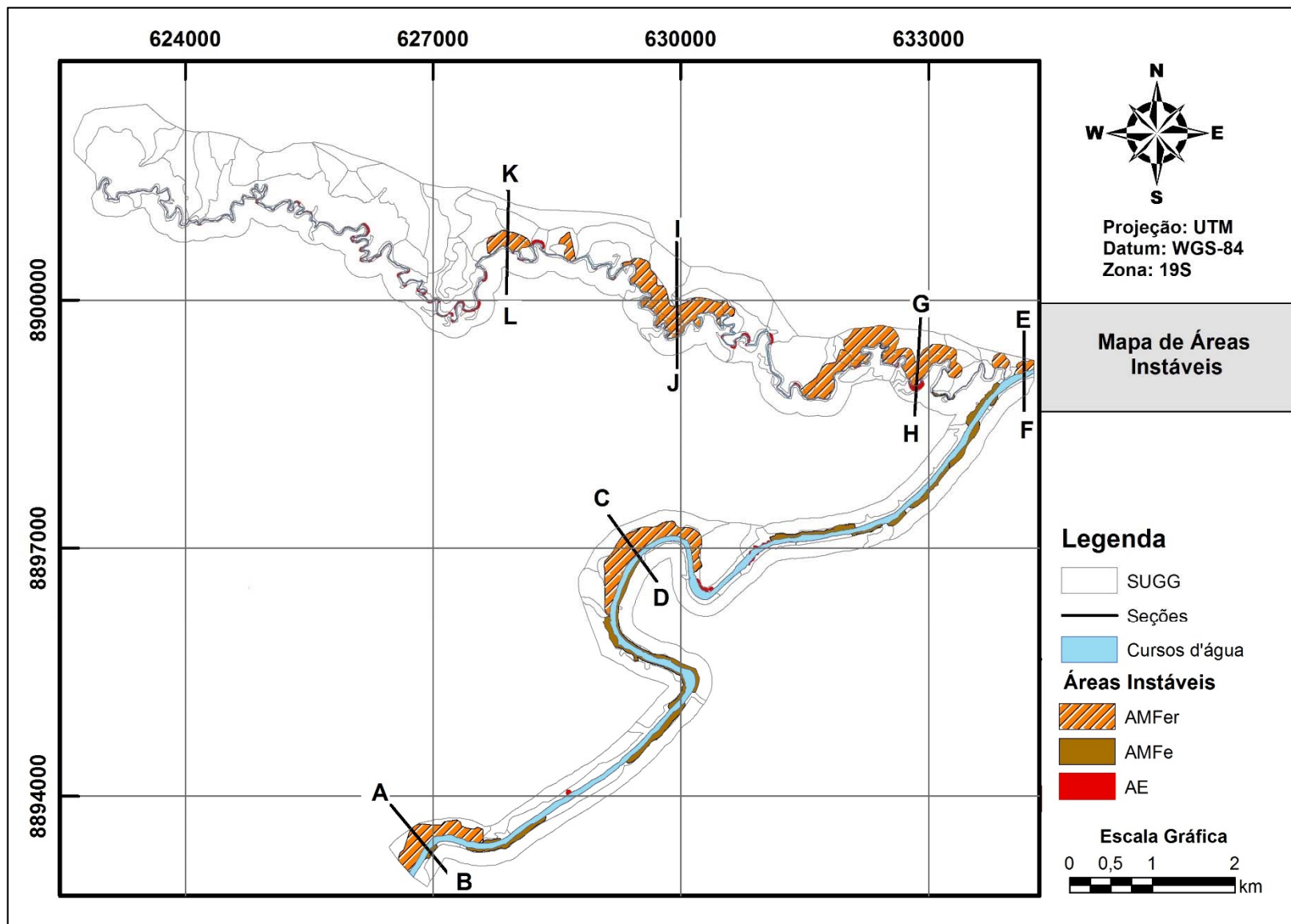


Figura 4.2 - Áreas instáveis cadastradas.

Em termos de abrangência, aproximadamente 46% das feições ocupam área menor que 1000m², 30%, entre 1.000 e 10.000m² e somente 5% apresentaram mais de 100.000m². A maior delas, classificada como AMFer, apresenta em torno de 551.578m².

Para uma melhor compreensão sobre a distribuição dos registros de processos geológicos, elaborou-se um gráfico de barras (Figura 4.3) que exibe a concentração de áreas instáveis por subunidade geológico-geotécnica. As SUGGs que não possuem qualquer registro de instabilidade foram excluídas desse gráfico.

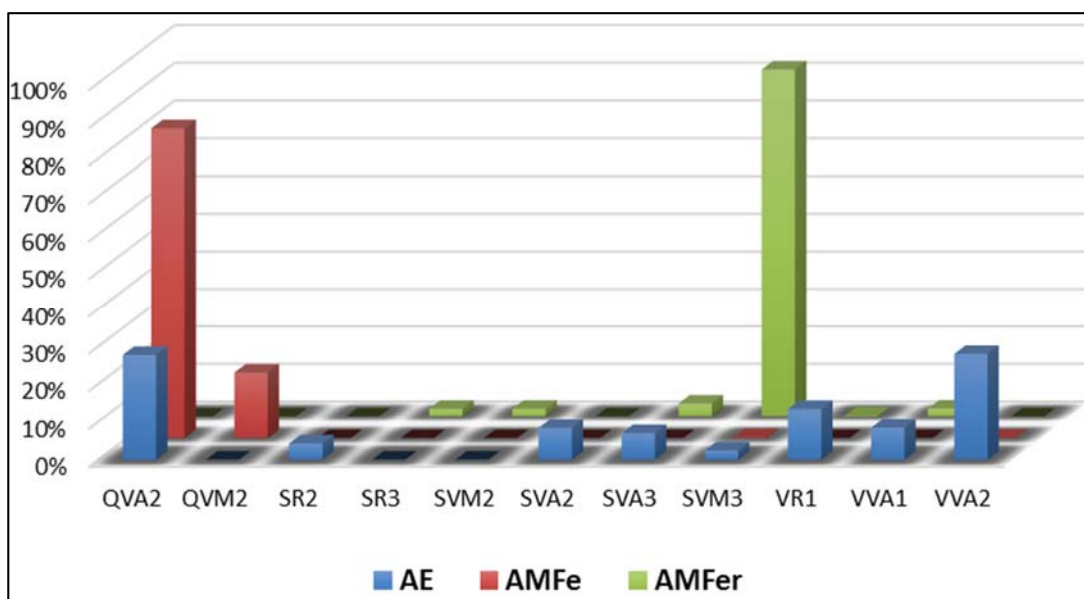


Figura 4.3 - Distribuição das ocorrências por tipo de SUGG.

Pela leitura da Figura 4.3 fica evidente que os escorregamentos rotacionais (AE e AMFe) estão essencialmente concentrados no leito fluvial, que é caracterizado pelas SUGGs: QVA, QVM e VVA.

As feições cadastradas como AMFe indicam uma maior incidência de escorregamentos nas SUGGs QVA2, QVM2, desse modo, evidenciando a fragilidade dos taludes formados por sedimentos fluviais perante as solicitações hidrodinâmicas.

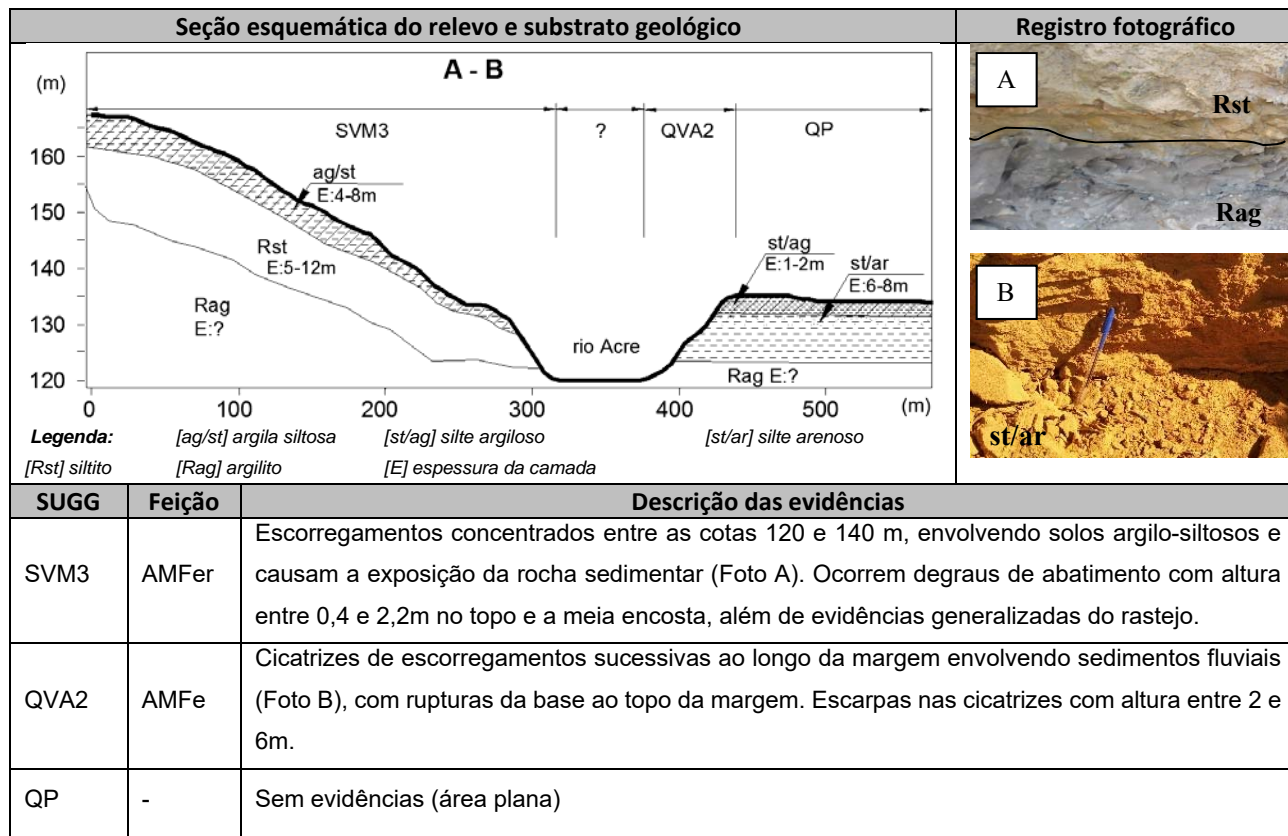
A conjugação de escorregamentos e rastejo (AMFer) foi evidenciada somente na Formação Solimões, cujos sinais de movimentação basicamente se concentram na SUGG SVM3 (90%).

Para os trabalhos que envolvem a previsão da ocorrência de movimentos gravitacionais de massa de qualquer natureza, em encostas naturais, é importante que se tenha em mente que estes ocorrem a partir de uma sequência de eventos e/ou estágios. Para caracterização das principais áreas com processos de instabilidade, procedeu-se à construção das seções geológico-geotécnicas

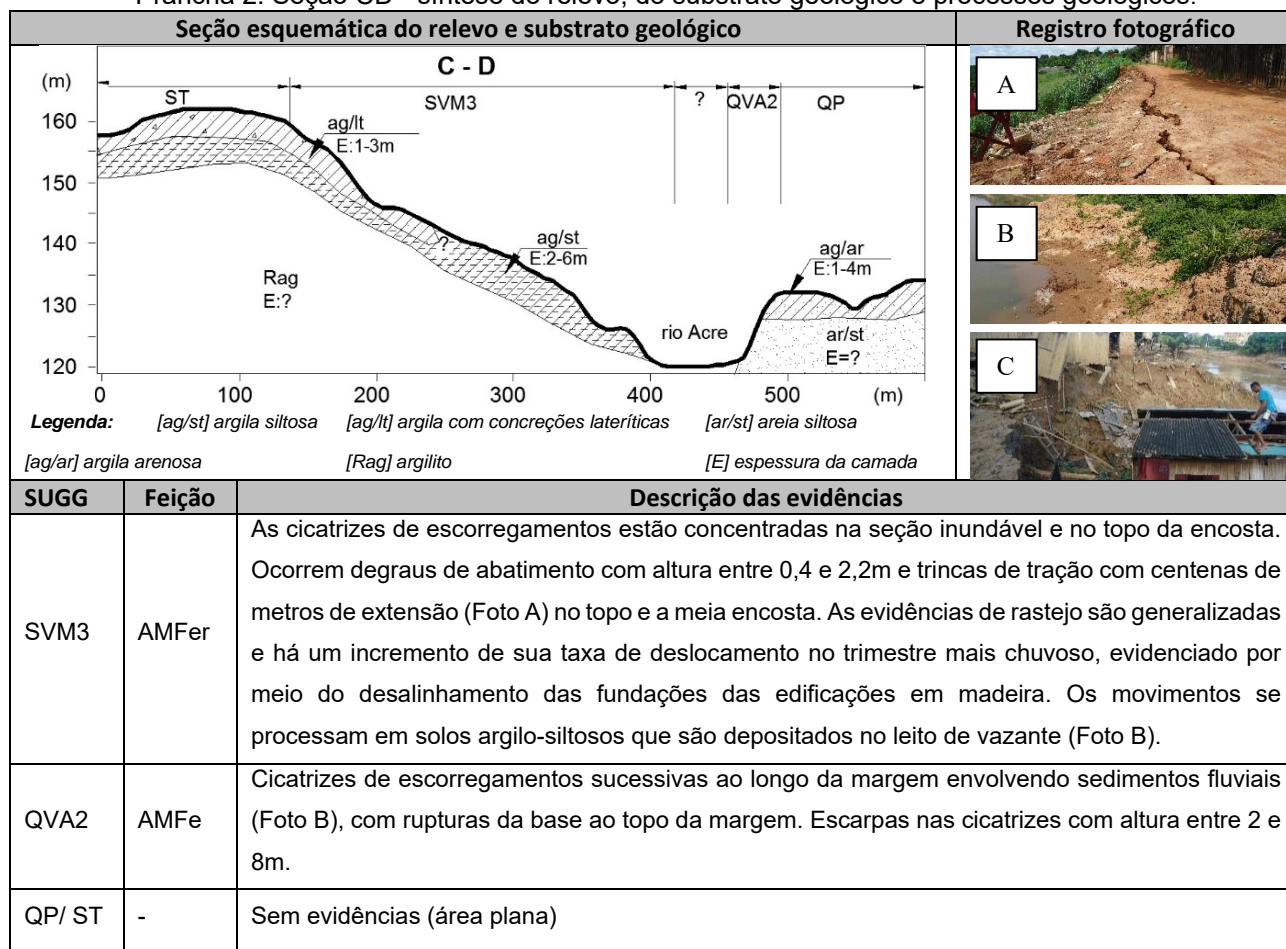
localizadas na Figura 4.2. A descrição dos materiais geológicos e das evidências de instabilidades nessas áreas foram sistematizadas nas Pranchas 1 a 6.

As seções AB, CD e EF ilustram a transição entre a Unidade S e o terraço que acompanha o rio Acre (Unidade Q); as seções GH, IJ e KL, a transição das colinas da Unidade S para o vale fluvial que acompanha o igarapé São Francisco (Unidade V).

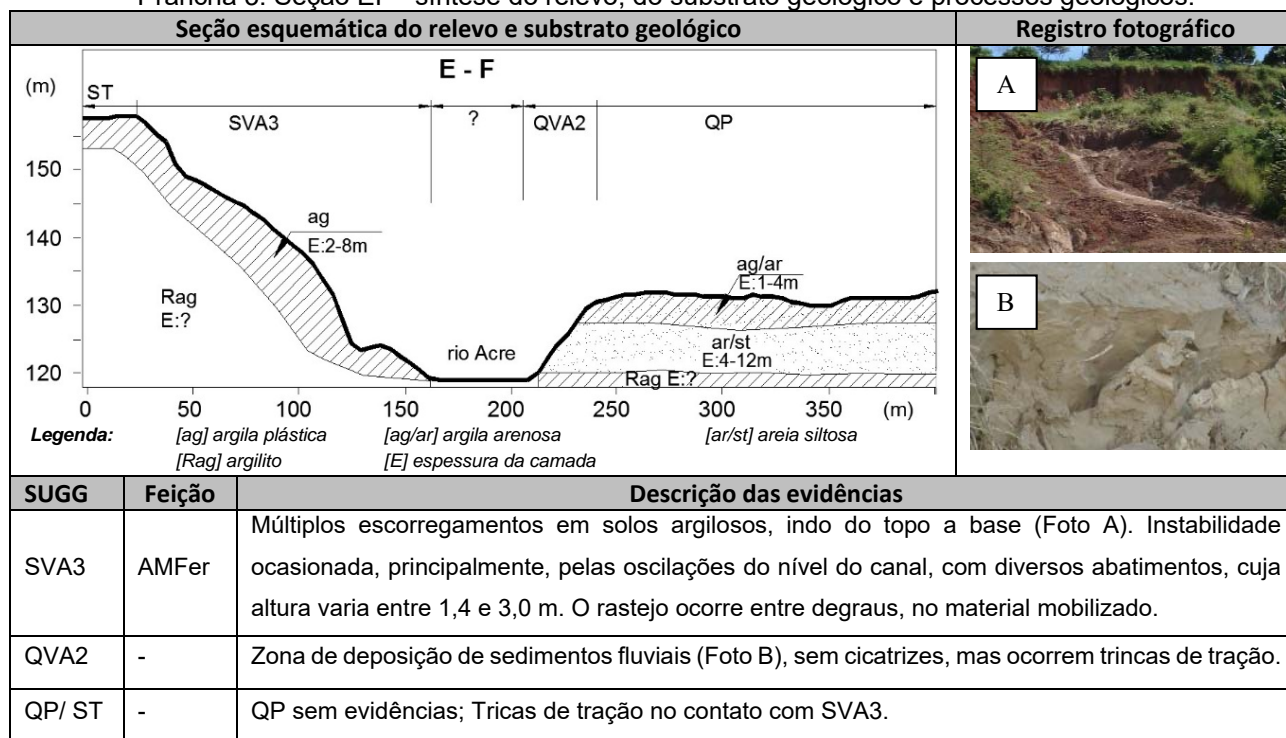
Prancha 1. Seção AB - síntese do relevo, do substrato geológico e processos geológicos.



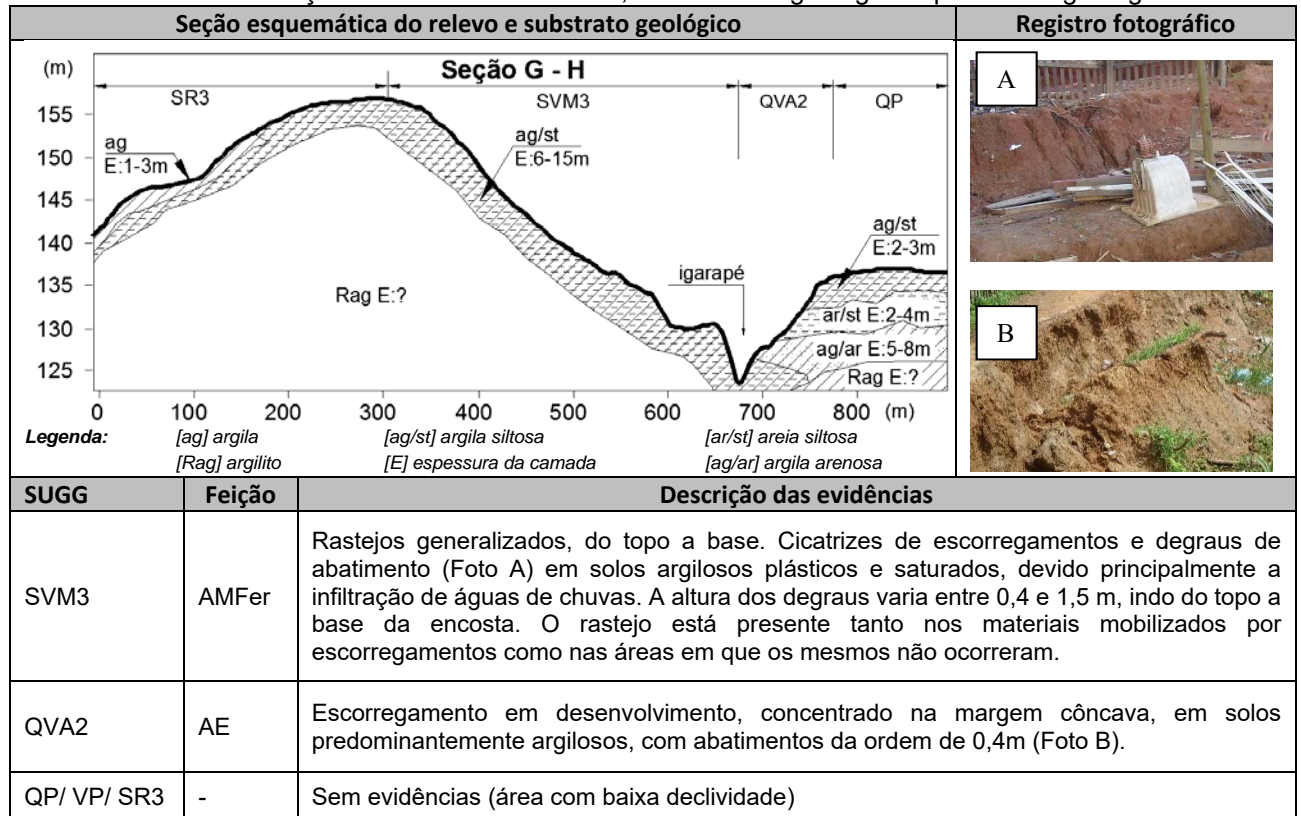
Prancha 2. Seção CD - síntese do relevo, do substrato geológico e processos geológicos.



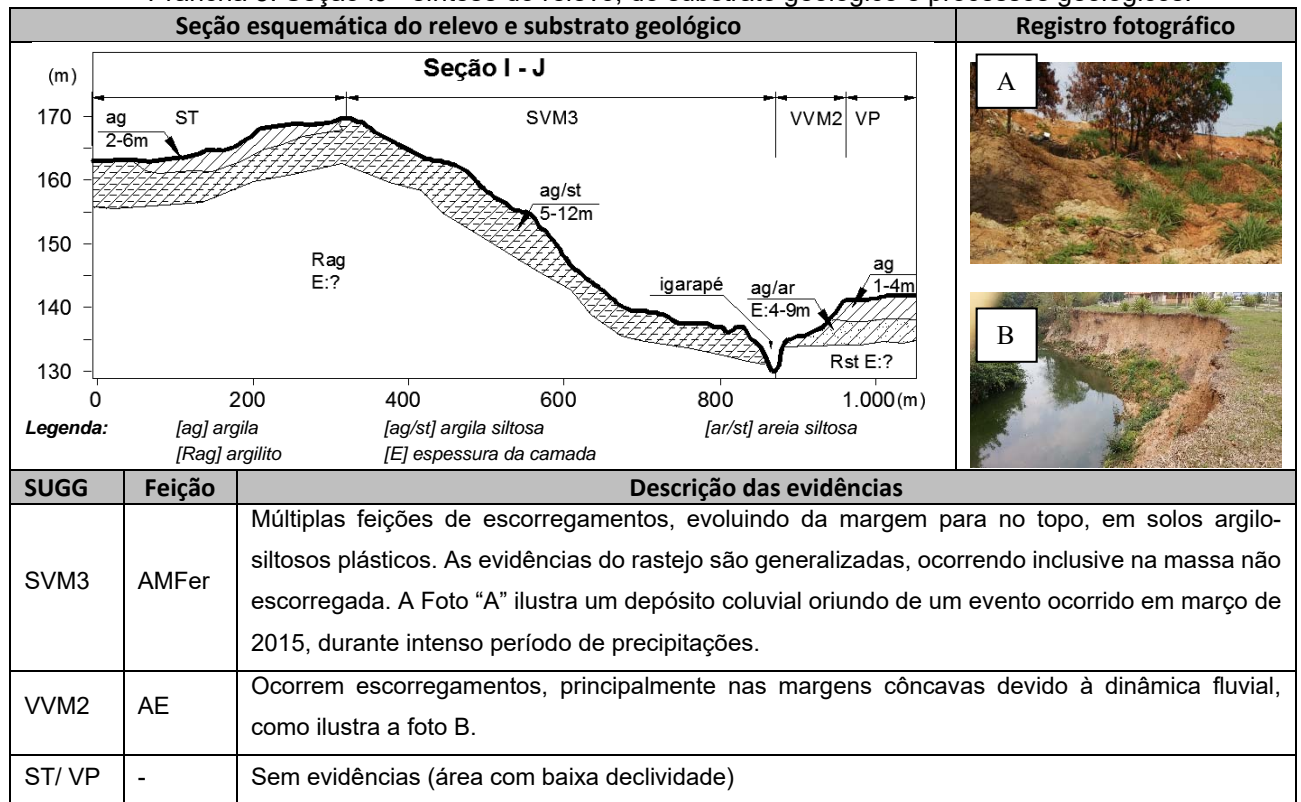
Prancha 3. Seção EF - síntese do relevo, do substrato geológico e processos geológicos.



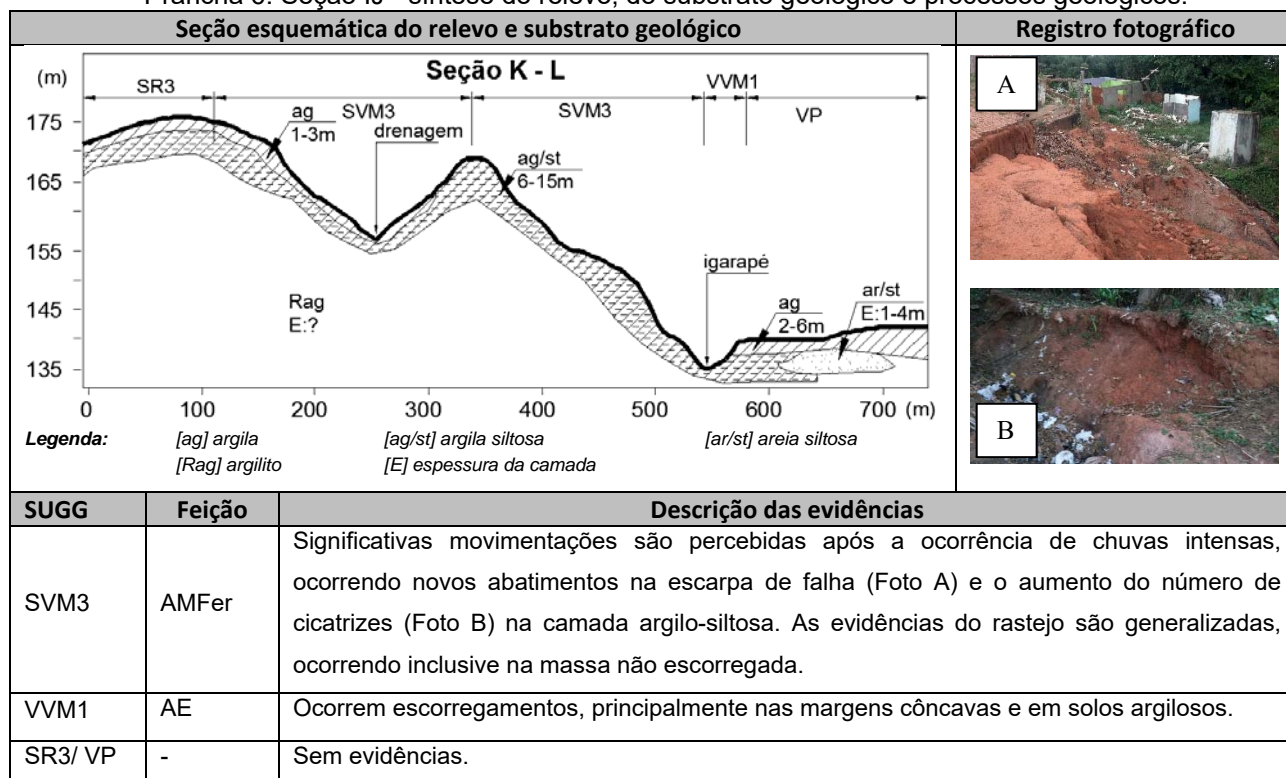
Prancha 4. Seção GH - síntese do relevo, do substrato geológico e processos geológicos.



Prancha 5. Seção IJ - síntese do relevo, do substrato geológico e processos geológicos.



Prancha 6. Seção IJ - síntese do relevo, do substrato geológico e processos geológicos.



As informações e os dados obtidos evidenciam que os processos observados estão intrinsecamente relacionados a dois tipos de fatores exógenos: às oscilações de descargas no leito fluvial e à infiltração das águas de chuva.

No primeiro caso, a elevação do nível d'água pode desestabilizar as margens devido, principalmente, ao acréscimo de pressões neutras no interior do maciço e à subtração da base por ação de forças erosivas. O repentino rebaixamento das águas causa o alívio de pressões laterais e, teoricamente, uma inversão na direção do fluxo de água no interior do maciço, gerando os escorregamentos frequentemente observados nas zonas inundáveis.

Mais frequentemente, este tipo de movimentação afeta os materiais inconsolidados e deixam cicatrizes arqueadas (Figura 4.4) nas seções inundáveis das subunidades QVA2, QVM2, SR2, SVA2, SVA3, SVM3, VR, VVA1 e VVA2.

As intensidades das descargas no rio Acre e a natureza dos sedimentos da unidade Q, de certo modo, podem justificar a significativa concentração de escorregamentos nas subunidades QVA2 e QVM2.



Figura 4.4 - Eventos ocorridos em fevereiro de 2015, logo após o rebaixamento do nível das águas no rio Acre: A) unidade QVA2; B) unidade SVM3.

O rastejo está intrinsecamente relacionado aos solos plásticos e expansivos que recobrem as colinas da Formação Solimões, que ocorrem principalmente em terrenos com declividade entre 12 e 20%, possivelmente, em razão da infiltração de águas de chuva ou devido à sobrecargas e/ou supressão da base das encostas que foram geradas por escorregamentos pretéritos. Sua detecção em estágio inicial é de suma importância para prevenção de movimentos de massa posteriores, uma vez que podem diminuir a resistência dos solos e criar condições favoráveis ao desenvolvimento de escorregamentos.

Nas colinas da Formação Solimões, a supressão da base pela dinâmica fluvial, a infiltração de águas de chuva e os solos enfraquecidos pelo rastejo promovem o incremento de tensões nas superfícies inclinadas, gerando uma dinâmica própria, com rupturas sazonais, que resultam nas diversas feições de instabilidade observadas nas AMFer (escarpas, blocos abatidos, trincas de tração no topo e depósitos coluviais), como ilustra a Figura 4.5.

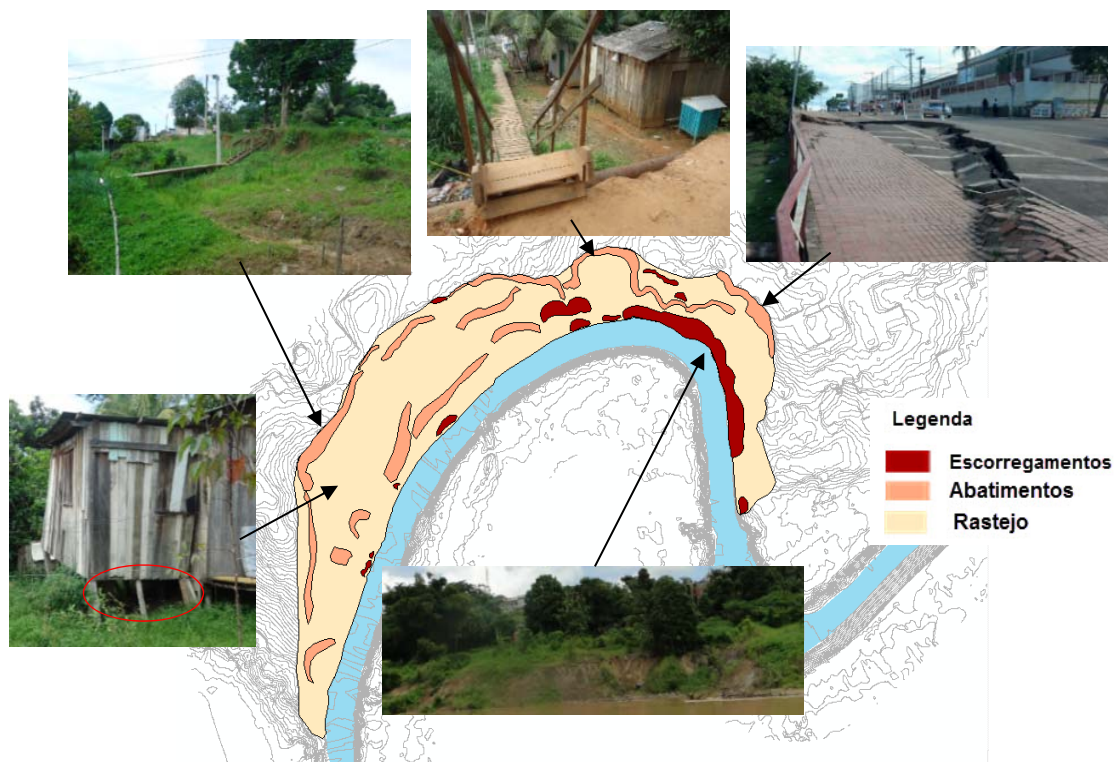


Figura 4.5 - Feições de instabilidade observadas em uma AMFer.

Com base na caracterização dos processos geológicos e na relação desses com as unidades mapeadas, gerou-se a Tabela 4.3, que apresenta os resultados da hierarquização dessas unidades, segundo sua predisposição natural ao desenvolvimento de eventos.

Tabela 4.3 - Potencial para ocorrência de eventos com base nas características geológico-geotécnicas.

UGG	Declividade predominante	Materiais inconsolidados	Processos ocorridos/esperados	SUGGs	Predisposição
S	VA (> 20%)	Argiloso; argilo-siltoso	Rastejo e/ou escorregamentos	SVA2; SVA3	Alta
	VM (12 a 20%)		Rastejo e/ou escorregamentos	SVM2; SVM3	Média
	R (6 a 12%)		Rastejo e/ou escorregamentos	SR2; SR3	Baixa
	T (<6%)		Nenhum	ST	Muito Baixa
V	VA (> 20%)	Argilo-siltoso; argilo-arenoso; Arenoso	Rastejo e/ou escorregamentos	VVA1; VVA2	Alta
	VM (12 a 20%)		Rastejo e/ou escorregamentos	VVM1; VVM2; VVM3	Média
	R (6 a 12%)		Rastejo e/ou escorregamentos	VR1	Baixa
	P (<6%)		Nenhum	VP	Muito Baixa
Q	VA (> 20%)	Sedimentos fluviais	Múltiplos Escorregamentos	QVA2	Alta
	VM (12 a 20%)		Múltiplos Escorregamentos	QVM2	Média
	P (<6%)		Nenhum	QP	Muito Baixa

Na Tabela 4.4 estão apresentados os resultados da valoração realizada com o método AHP, cujas matrizes de decisão podem ser observadas no apêndice B.

Tabela 4.4 - Fatores considerados na avaliação do potencial para ocorrência de eventos.

<i>Fatores</i>	<i>PRC</i>	<i>Classes</i>	<i>PRl</i>
Predisposição natural	50%	Muito Baixa	5,00%
		Baixa	12,69%
		Média	30,75%
		Alta	51,56%
Forma predominante da margem	25%	Ausente	8,64%
		Convexa	11,51%
		Retilínea	17,33%
		Sinuosa	26,99%
		Côncava	35,54%
Área sujeita à inundação periódica	25%	Não inundável	7,82%
		Parcialmente inundável	43,53%
		Totalmente inundável	48,66%

Através da combinação linear desses pesos, realizou-se no programa *Excel* o cálculo de índice de suscetibilidade (IS), cujos resultados variaram de 2,5 a 45,5. Na ponderação das classes, optou-se por não realizar a combinação entre as unidades com muito baixa predisposição (áreas planas) e os fatores indutores, para evitar uma majoração equivocada dessas unidades quanto ao seu grau de suscetibilidade.

Os resultados obtidos podem ser observados na Figura 4.6, onde se encontra a combinação das classes de suscetibilidade com a distribuição das feições registradas.

4.2 Prioridade de intervenção e ações mitigadoras

Na Figura 4.7 é apresentado o trecho selecionado para avaliação da prioridade de intervenção, bem como a distribuição dos compartimentos, classes de suscetibilidade e a malha gerada com a grade regular. Esta região compreende uma área aproximada de 1,1 km² dos quais 54,8% foram classificados como de Alta Suscetibilidade.

A utilização da célula como área mínima foi essencial para o desenvolvimento de todas atividades previstas, uma vez que subsidiou a coleta e a hierarquização dos dados necessários ao tratamento do problema.

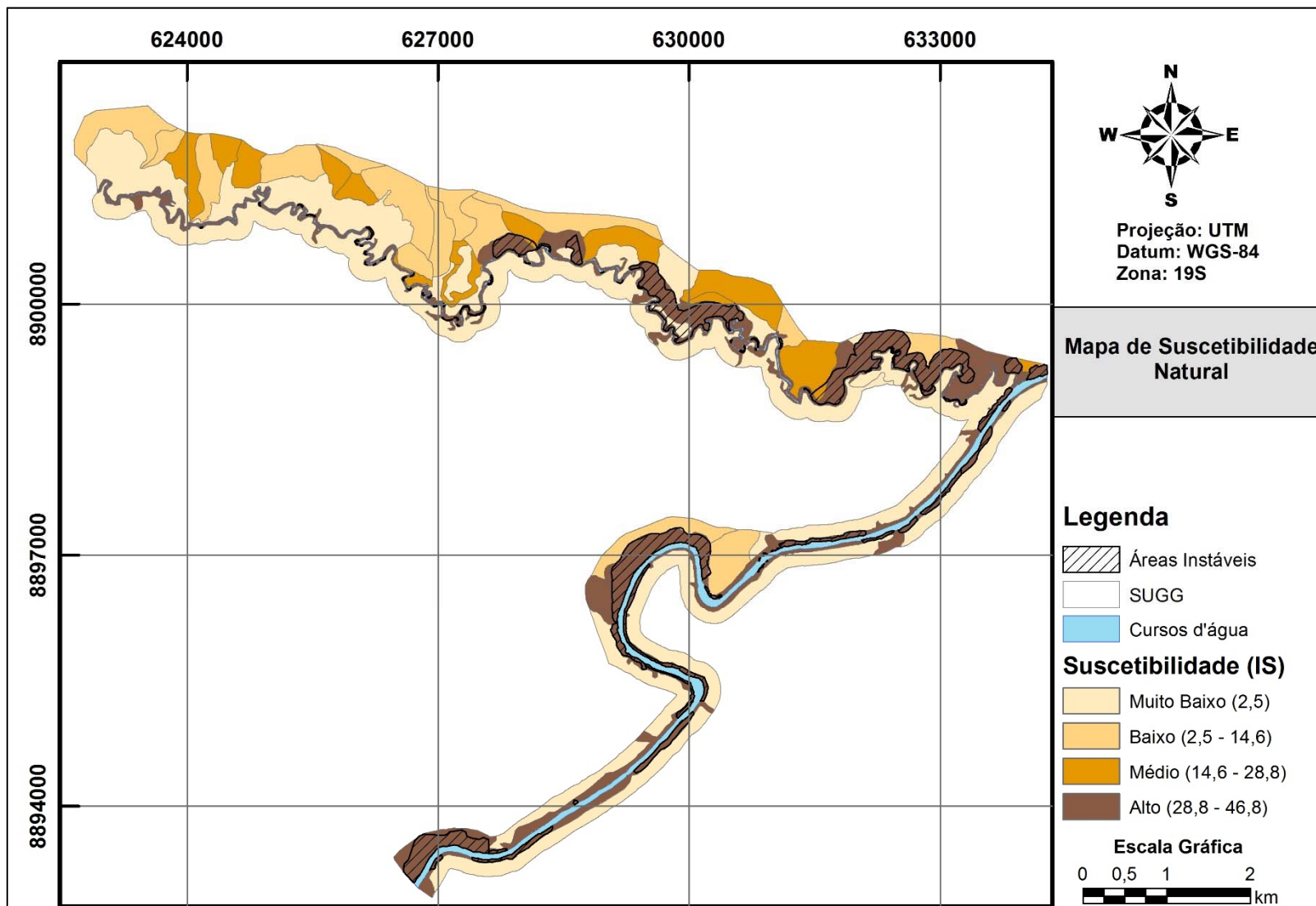


Figura 4.6 - Distribuição das classes de suscetibilidade aos movimentos gravitacionais de massa e áreas instáveis cadastradas.

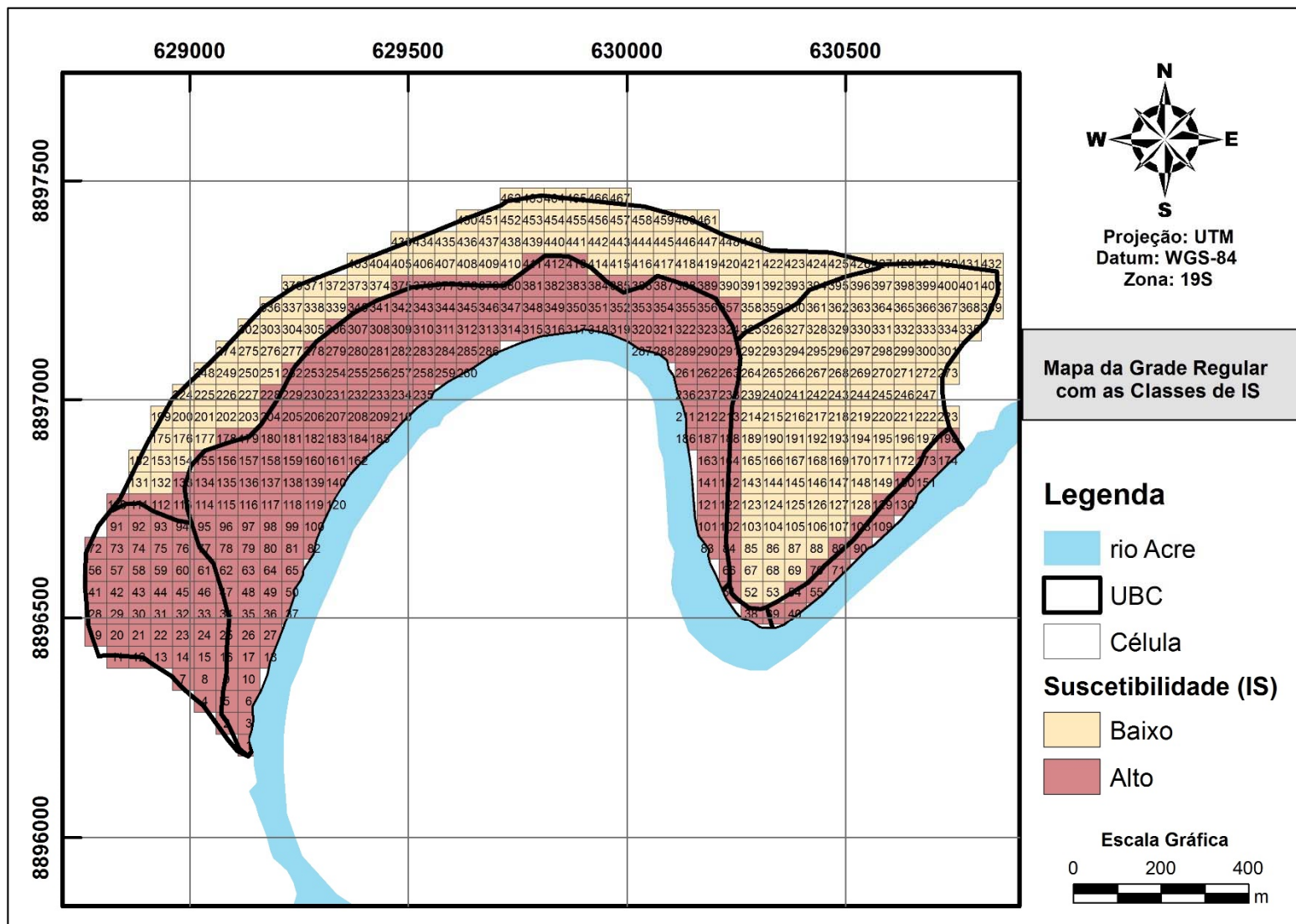


Figura 4.7 - Malha da grade regular com a sobreposição das classes de suscetibilidade na área investigada.

Os valores de IS foram inseridos no plano de informações da grade regular por meio da superposição do mapa de suscetibilidade a este plano, fazendo-se uso do operador *Zonal Statistics* do programa ArcGis.

O passo seguinte foi a caracterização de cada célula quanto aos atributos antrópicos e aos sinais de movimentação. Considerando os dados disponíveis e aqueles obtidos em trabalhos de campo, foram selecionados os componentes, indicadores, atributos e classes para esta caracterização. Na Tabela 4.5 é apresentado um exemplo desta tabulação e no Apêndice C, as informações coletadas para todas as células.

Tabela 4.5 - Tabulação dos dados

Célula (cod.)	Qual. const.	Tipo ocup.	Área ocup.	Pad. ocup.	Água sup.	Dep. de lixo/ent.	Cob. Solo	Área instab.	Mag. evid.	IS
1	SC	SC	<5	SCI	AUS	AUS	CV	75-100	SIG	A
2	SC	SC	<5	SCI	AUS	AUS	CV	25-50	SIG	A
3	SC	SC	<5	SCI	AUS	AUS	CV	75-100	SIG	A

Os mapas de atributos antrópicos (apêndice D) e de instabilidade (apêndice E) foram obtidos pela transformação dessas colunas para o formato matricial. Este procedimento foi realizado com o uso do módulo Spatial Analyst (Feature to Raster) do programa ArcGis.

Seguindo a sistemática do AHP foram obtidos os pesos para indicadores, atributos e classes, cujos resultados estão sistematizados na Tabela 4.6.

As matrizes que deram origem a tais pesos podem ser visualizadas no apêndice F. Elas apresentaram valores aceitáveis para Razão de Consistência (RC), logo foram consideradas adequadas à análise proposta.

Reconhecendo que os eventos recorrentes na área avaliada estão essencialmente relacionados à fatores naturais, considerou-se nesta análise que o potencial de destruição e a suscetibilidade natural são determinantes na avaliação da ameaça, logo atribuiu-se a esses elementos um peso sensivelmente superior, em relação ao potencial de indução.

Para estimar a vulnerabilidade, atribuiu-se ao grau de resiliência uma importância superior ao dano potencial, expressando desta maneira que a fragilidade da ocupação ao impacto de um evento perigoso, em decorrência de sua condição física e social, é invariavelmente mais importante que o valor econômico dos bens sob risco.

Tabela 4.6 - Pesos obtidos para indicadores, atributos, classes com o AHP para a componente ameaça.

Comp.	Ind.	PRI (%)	Atributos	PRA (%)	Classes	PRC (%)
AMEAÇA	Suscetibilidade	38,79	Características e comportamentos das UGGs (Tabela 4.2)	100,00	Alta	61,52
					Média	31,88
					Baixa	6,60
	Potencial de indução	14,26	Cobertura do solo	25,00	Vegetal	7,96
					Urbana	65,56
					Mista	26,48
			Concentração de lixo/entulho em talude ou escarpa	25,00	Muito baixa ou ausente	5,72
					Baixa	11,01
					Média	30,79
	Concentração de água superficial devido a vazamentos na rede de água e/ou ausência de rede de esgoto e de drenagem pluvial	50,00	Alta	52,48		
Muito baixa ou ausente			5,14			
Baixa			12,87			
Potencial de destruição	46,95	Área afetada	40,00	Média	23,33	
				Alta	58,66	
Magnitude das evidências	60,00			Sem evidências	3,57	
				<25%	9,89	
		25 a 50%	16,01			
		50 a 75%	26,38			
VULNERABILIDADE	Dano potencial	20,00	Padrão da ocupação	50,00	75 a 100%	44,15
					Ausente	4,66
	Área ocupada por edificações e infraestrutura (%)	50,00	Incipiente (processo se desenvolve lentamente, sendo perfeitamente possível o monitoramento)	12,84		
			Significativo (processo em pleno desenvolvimento, com possibilidade de monitoramento, mas é provável que ocorram escorregamentos durante episódios pluviais intensos ou por variações de nível nas drenagens)	29,65		
			Severo (alta potencialidade para ocorrerem escorregamentos a qualquer tempo, não é possível o monitoramento)	52,85		
			Alto	43,42		
	Grau de resiliência	80,00	Modo técnico-constructivo de implantação das edificações	50,00	Médio	28,24
					Baixo	16,38
					Muito baixo	8,50
					Sem construções ou infraestrutura	3,46
Tipo de ocupação (resiliência)			50,00	<5	6,04	
				5-30	16,23	
				30-60	28,79	
				60-100	48,94	
Assentamento precário (favelas, invasões, etc.)	50,00	Est. Prec. ou ausente	51,27			
		Providas de alguma estrutura	28,48			
		Bem estruturada	15,95			
		Sem construção	4,30			
Residencial e comercial	50,00	Áreas abertas	8,47			
		Sem construção	4,95			

As expressões que definiram os índices de ameaça (Eq. 4.1) e de vulnerabilidade (Eq. 4.2) foram obtidas por meio da combinação linear entre os pesos das classes e dos indicadores.

$$IA = 0,3879IS + 0,4695PD + 0,1426PI \quad \text{Eq. 4.1}$$

Em que: *IA* é o índice de ameaça; *IS* é o indicador de suscetibilidade natural; *PD* é o indicador de potencial de destruição; *PI* é o indicador de potencial de indução.

$$IV = 0,8GR + 0,2DP \quad \text{Eq. 4.2}$$

Em que: *IV* é o índice de vulnerabilidade; *GR* é o grau de resiliência; *DP* é o dano potencial.

Da mesma forma, as expressões que definiram os indicadores potencial de destruição (Eq. 4.3), potencial de indução (Eq. 4.4), grau de resiliência (Eq. 4.5) e dano potencial (Eq. 4.6) também foram obtidas por meio da combinação linear entre os pesos de suas respectivas matrizes.

$$PD = 0,005ME + 0,0025AI + 0,0025PE \quad \text{Eq. 4.3}$$

Em que: *PD* é o indicador de potencial de destruição; *ME*, refere-se à magnitude das evidências de instabilidade; *AI* refere-se ao percentual de área da célula ocupada por sinais de instabilidade; *PE* refere-se ao tipo de processo esperado.

$$PI = 0,005AS + 0,0025DR + 0,0025CO \quad \text{Eq. 4.4}$$

Em que: *AS* é o indicador de água superficial; *PI* é o indicador de potencial de indução; *DR* é o indicador de depósitos de resíduos; *CO* é o tipo de cobertura do solo.

$$GR = 0,005QC + 0,005TO \quad \text{Eq. 4.5}$$

Em que: *GR* é o grau de resiliência; *QC* é o indicador de qualidade das construções; *TO* é o tipo ocupação.

$$DP = 0,005PO + 0,005AO \quad \text{Eq. 4.6}$$

Em que: *DP* é o indicador de dano potencial; *QC* é o indicador do padrão da ocupação; *AO* refere-se ao percentual de área da célula ocupada por edificações ou infraestrutura.

Em seguida, procedeu-se a integração dos dados contidos no plano de informações da grade regular, obtendo-se um conjunto de dados compostos relacionados aos indicadores potencial de

destruição (Figura 4.8), potencial de indução (Figura 4.9), grau de resiliência (Figura 4.10) e dano potencial (Figura 4.11). As integrações foram realizadas no Microsoft Excel, com base nas equações Eq. 4.3, Eq. 4.4, Eq. 4.5, Eq. 4.6 e os valores obtidos, exportados para a tabela de atributos da grade regular.

Os mapas de ameaça (Figura 4.12) e de vulnerabilidade (Figura 4.13) foram construídos de modo semelhante, entretanto com as equações Eq. 4.1 e Eq. 4.2, respectivamente. No programa ArcGis, os valores de IA e IV foram divididos em quatro intervalos (opção *Natural Breaks*), representando, em ordem crescente, as classes baixa, moderada, alta e muito alta para cada componente.

Os resultados dessa classificação foram validados em campo, com base nos cenários apresentados na Tabela 3.1 e Tabela 3.2.

As classes de IA e IV foram substituídas pelos pesos indicados na matriz de prioridades da Tabela 3.3, variando de 0 a 3. O mapa relacionado ao índice de prioridades foi obtido multiplicando-se em cada célula os valores reclassificados de IA e IV. O mesmo é apresentado na Figura 4.14.

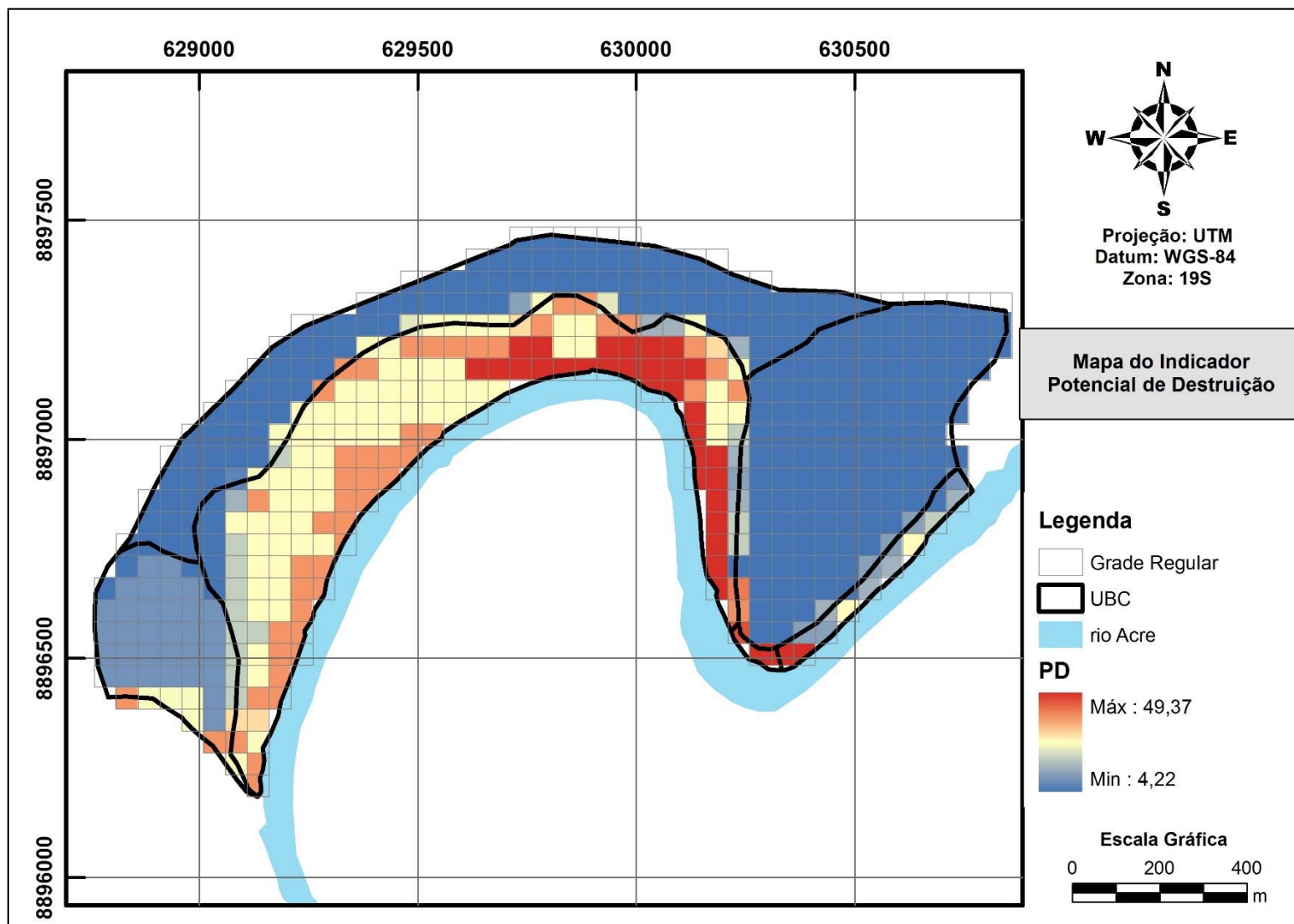


Figura 4.8 - Mapa do indicador potencial de destruição.

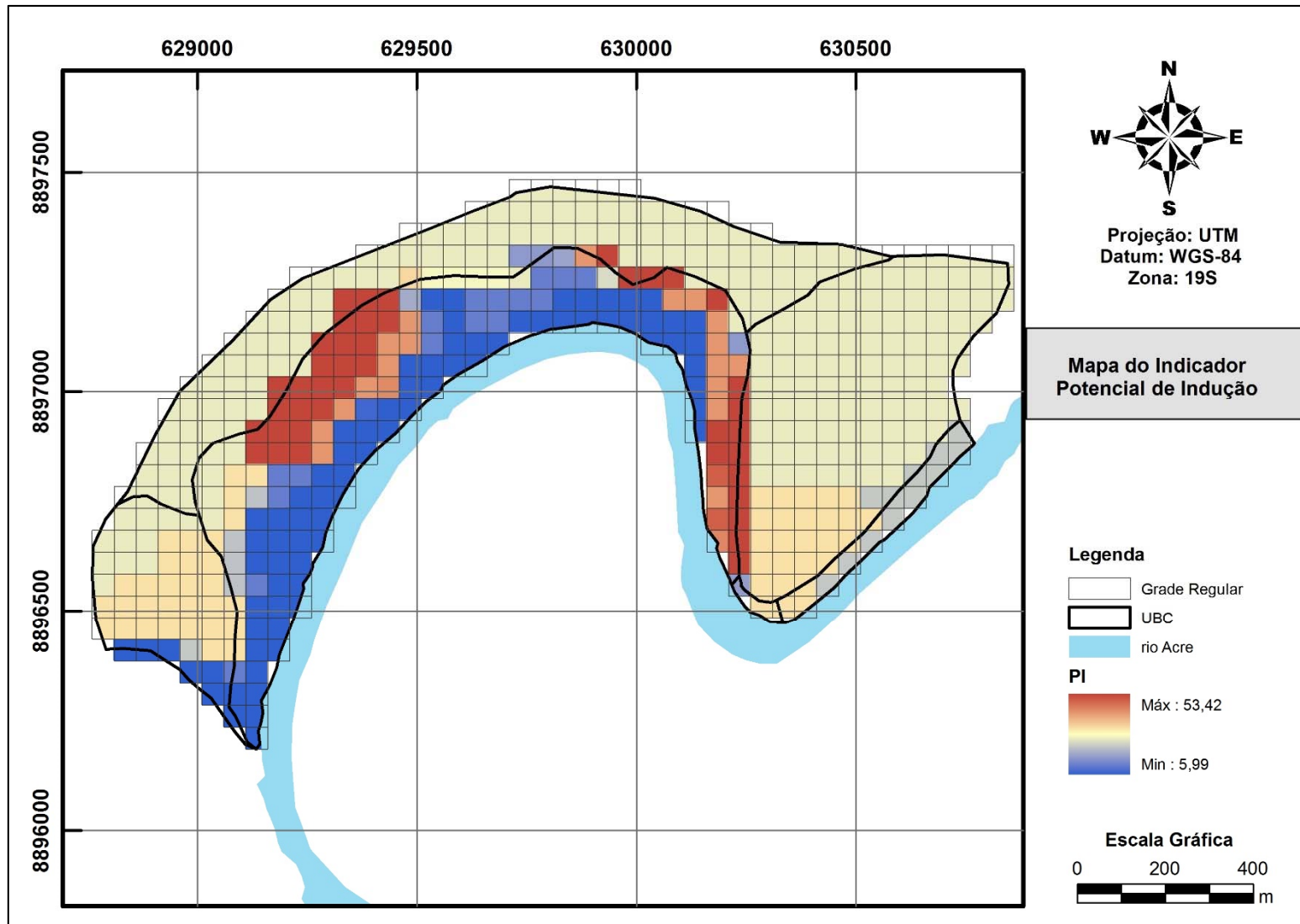


Figura 4.9 - Mapa do indicador potencial de indução.

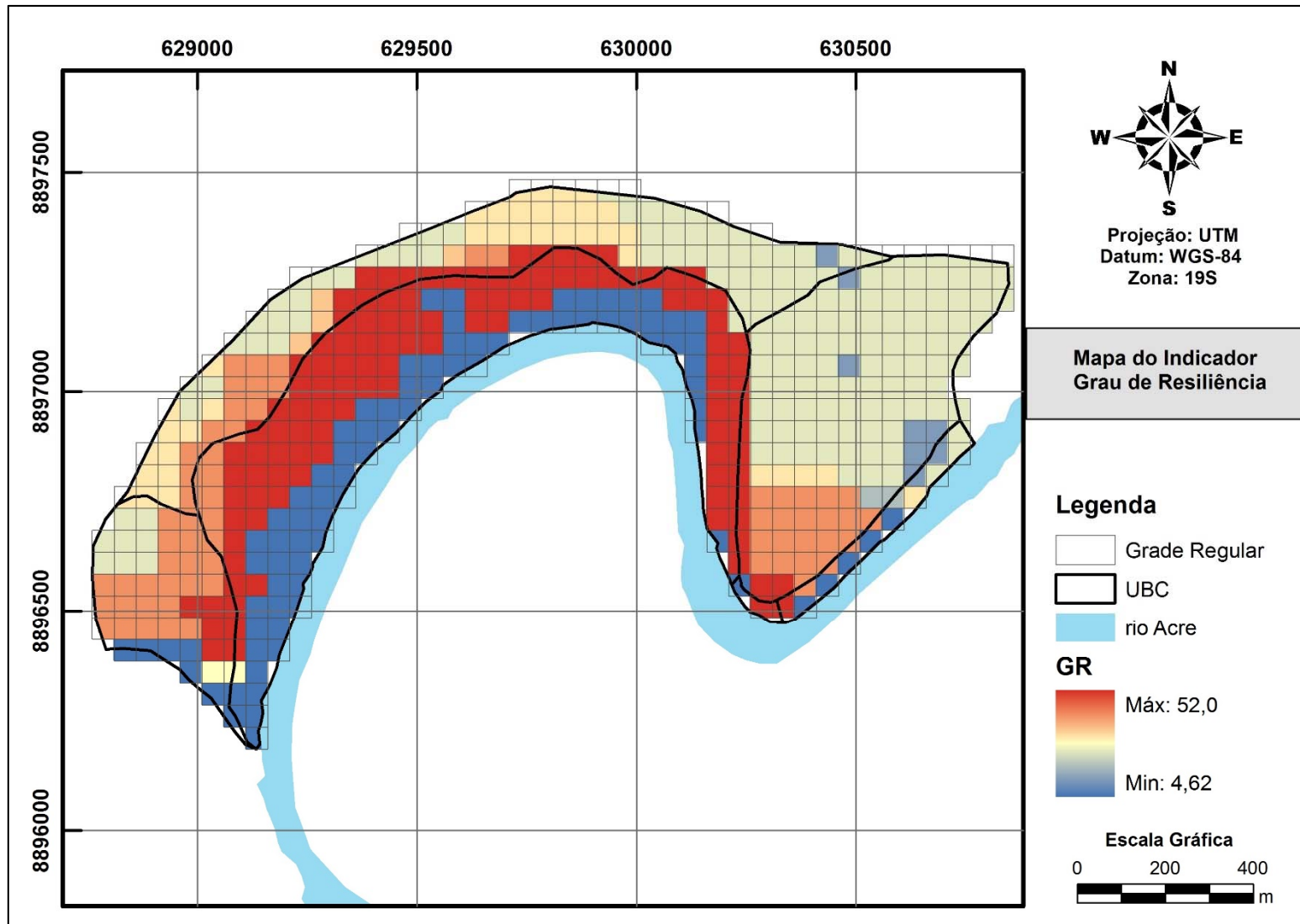


Figura 4.10 - Mapa do indicador grau de resiliência.

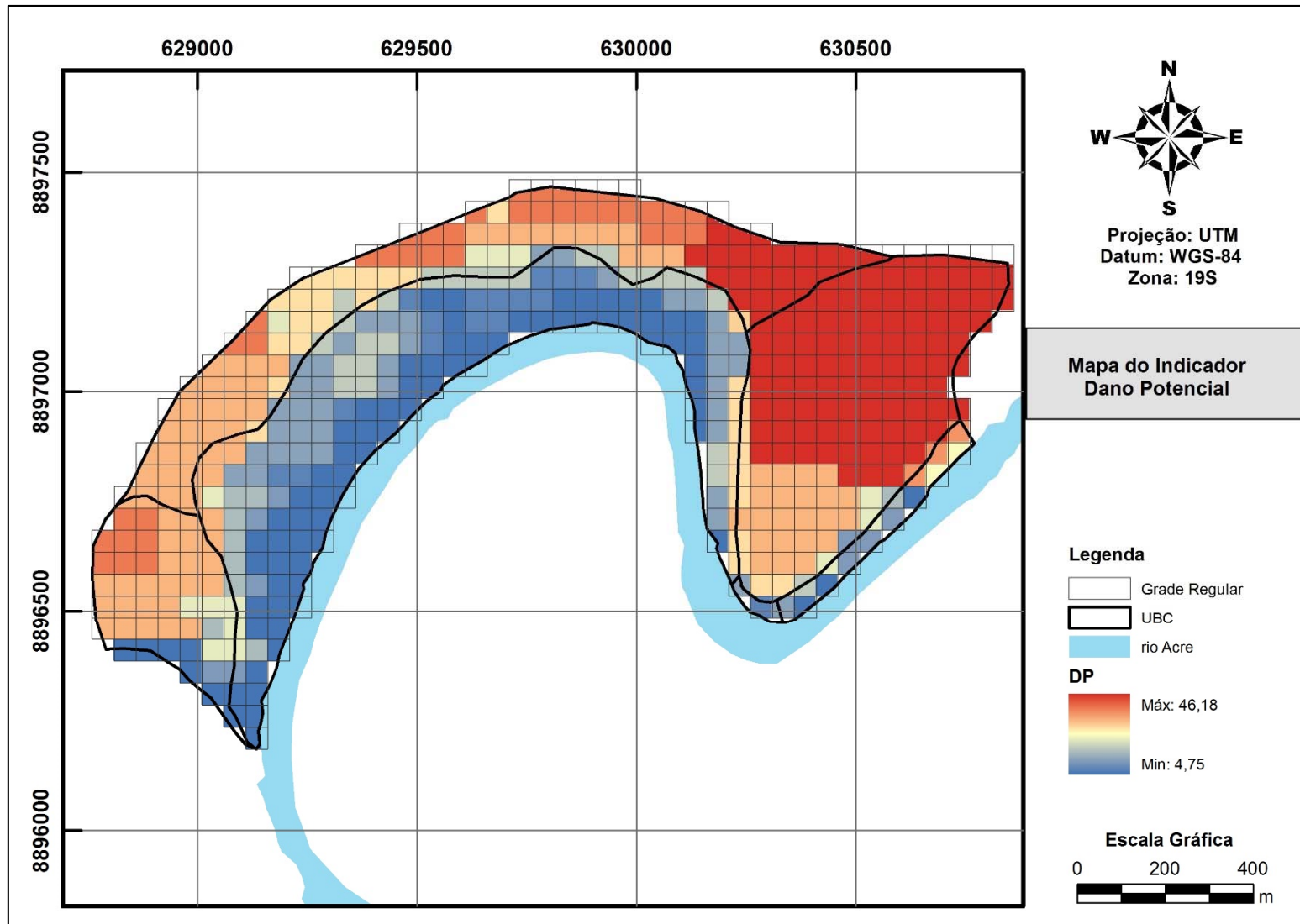


Figura 4.11 - Mapa do indicador dano potencial.

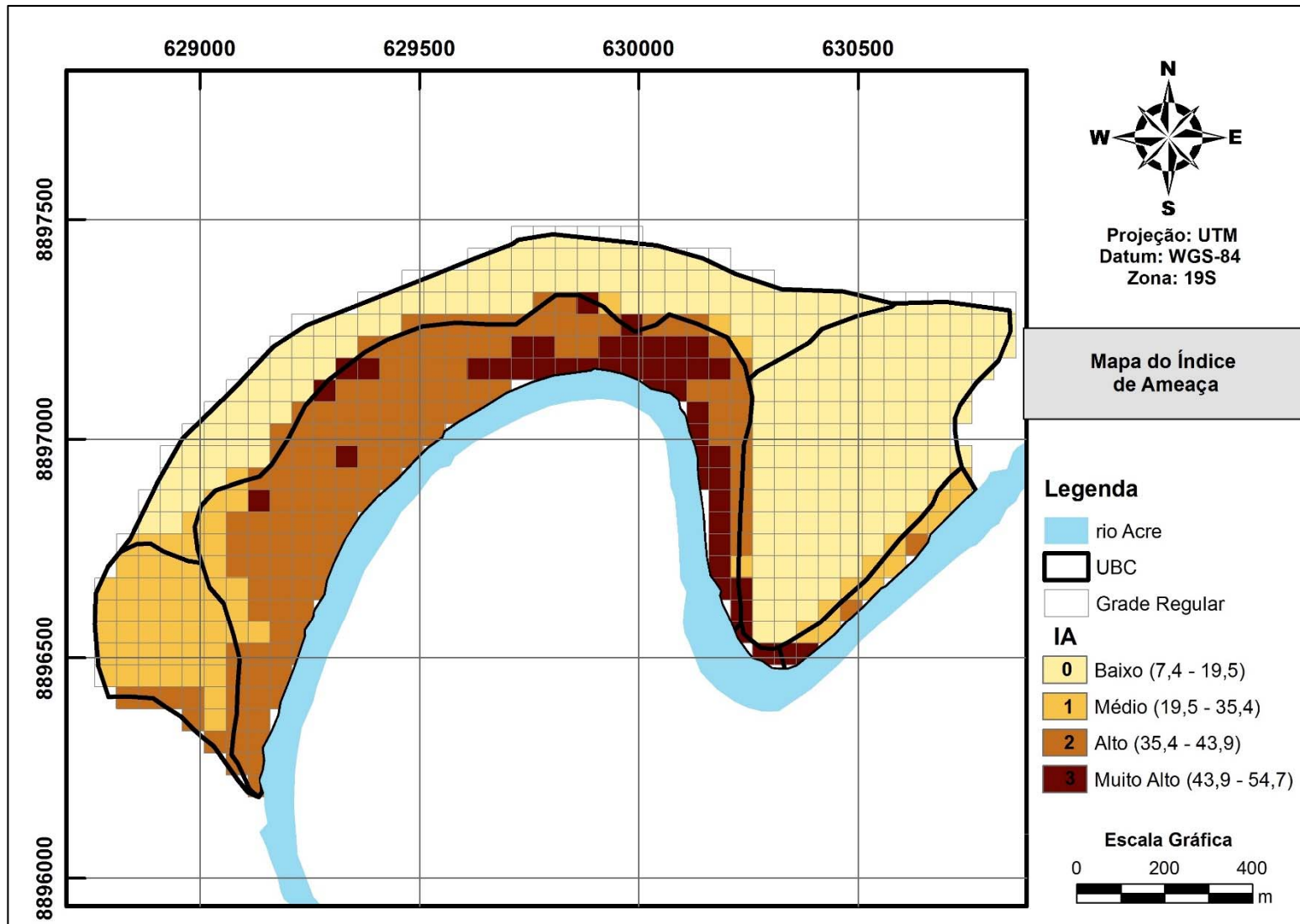


Figura 4.12 - Mapa da componente ameaça.

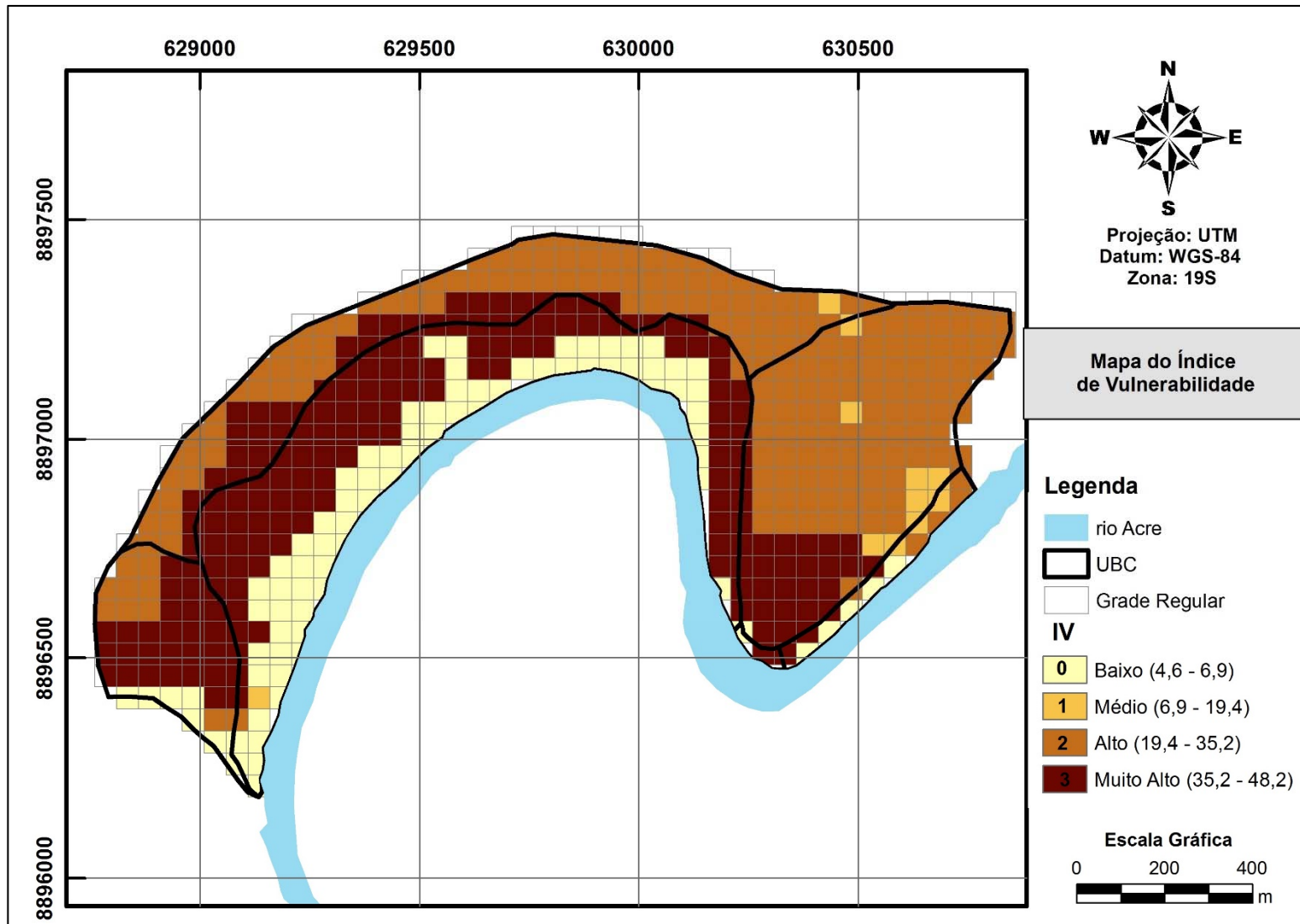


Figura 4.13 - Mapa da componente Vulnerabilidade.

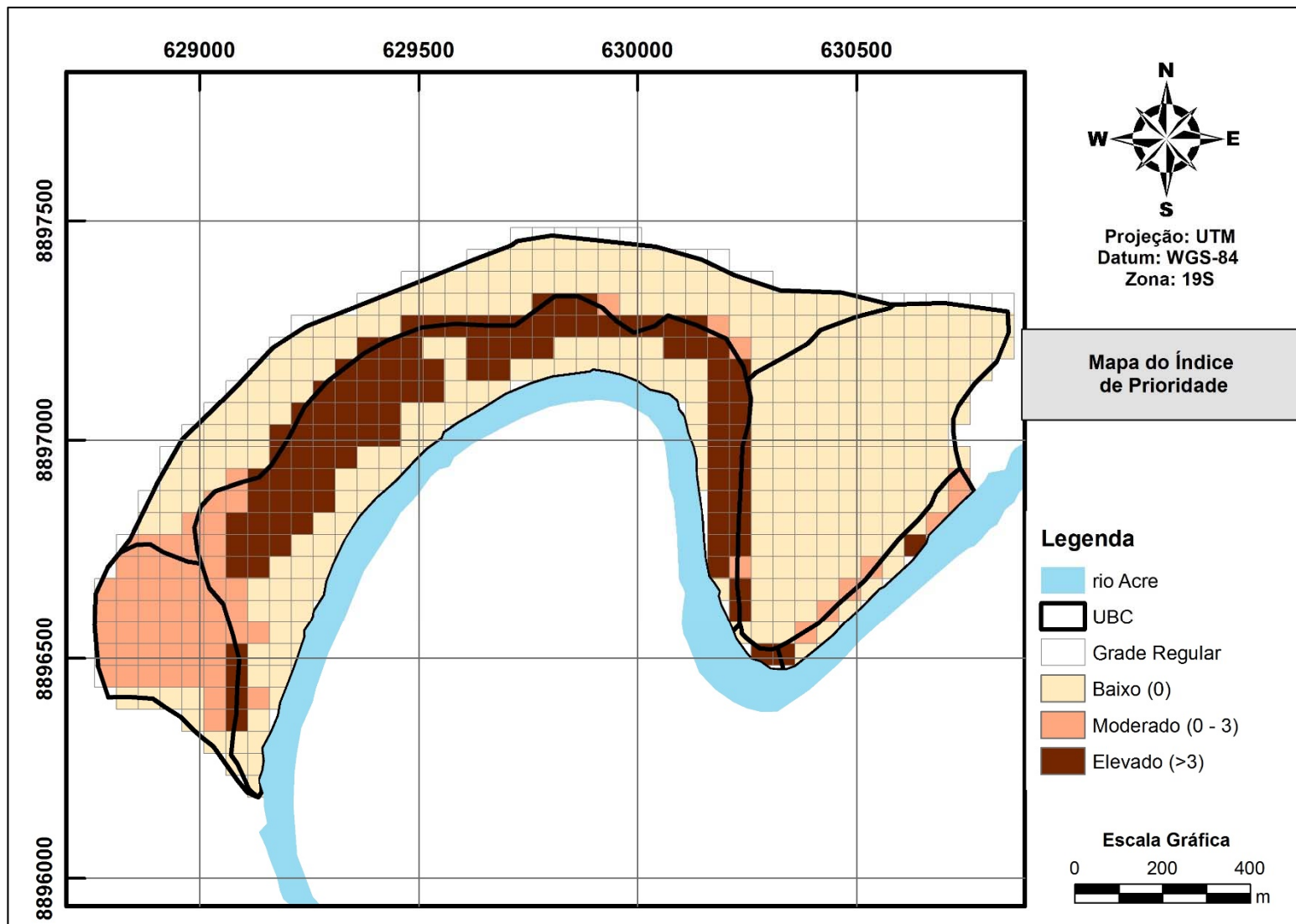


Figura 4.14 - Mapa do índice de prioridade.

Por meio da Figura 4.15, é possível perceber que 79,87% (IV alto e muito alto) da região de estudo é vulnerável a processos de instabilidade. Por outro lado, se mantidas as condições atuais, em cerca de 46,68% das áreas investigadas é muito improvável ocorram processos destrutivos, devido ao baixo grau de ameaça.

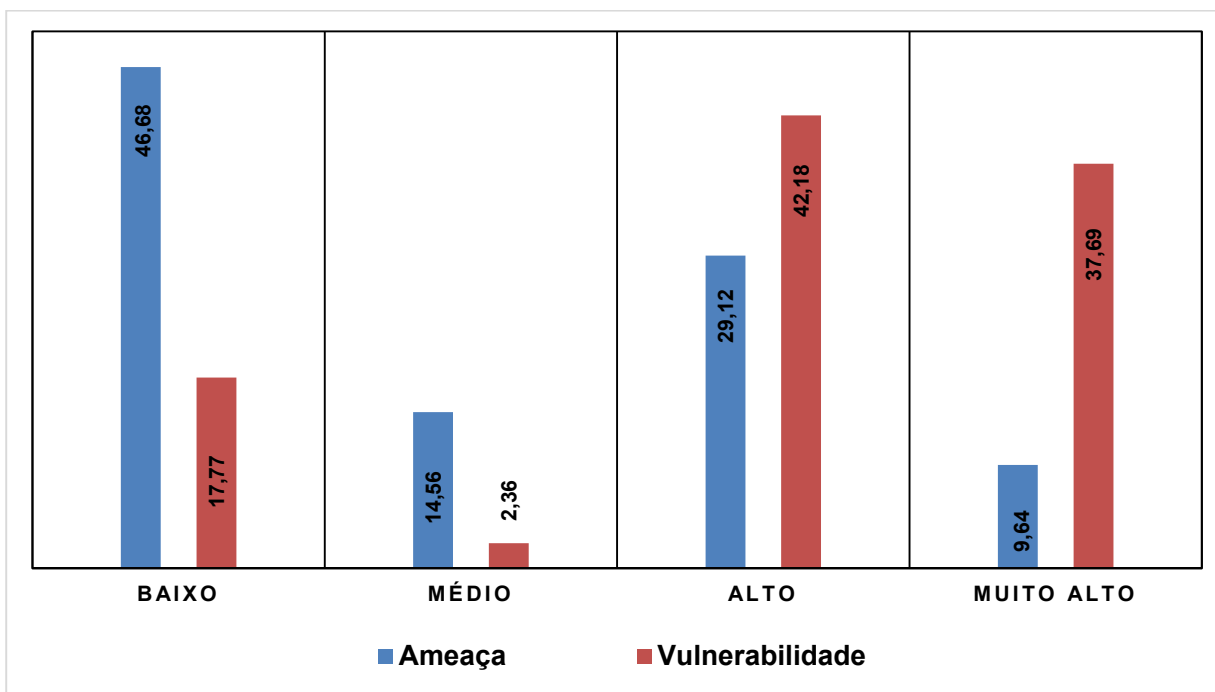


Figura 4.15 - Distribuição das classes de ameaça e vulnerabilidade em porcentagem.

As áreas com elevado grau de ameaça compreenderam 38,76% do total avaliado, as mesmas estão essencialmente concentradas na zona inundável do rio Acre e nos assentamentos precários.

As classes com prioridade moderada e elevada indicam que em 36% da área investigada há uma relação de conflito, como pode ser observado na Tabela 4.7. Já aquelas com baixa prioridade e ameaça muito alta estão relacionadas às áreas desocupadas, em que se deve coibir qualquer tipo de ocupação.

Tabela 4.7 - Distribuição das classes do índice de prioridade

Índice de Prioridade	Área (m ²)	Nº de células	% da área
Baixo	720150	304	64,01
Moderado	154950	63	13,77
Elevado	250000	100	22,22
Total	1.125.100	467	100,00

É importante destacar que durante o processo de mapeamento podem ser identificadas situações que exigem ações imediatas, de forma a não permitir a permanência das famílias nos locais identificados com maior potencial à deflagração de processos, bem como ações que podem e devem ser executadas a curto e médio prazo. Nesse sentido, julga-se de extrema importância que, concomitantemente à definição das áreas prioritárias se defina também ações a serem implementadas.

Como base nessas premissas foram definidos os seguintes tipos de ações: não intervir, não ocupar, remanejamento imediato, monitoramento periódico, monitoramento com remanejamento programado.

A decisão sobre o tipo de ação a ser implementada resultou do cruzamento entre o nível de prioridade e o grau de ameaça. O cruzamento desses dados foi realizado no Microsoft Excel e os resultados importados para a tabela de atributos da grade regular. A distribuição das células, segundo o tipo de ação mitigadora, foi sintetizada na Tabela 4.8 e representada no cartograma da Figura 4.16.

Tabela 4.8 - Distribuição das células segundo o tipo de ação mitigadora.

Grau de prioridade	Grau de ameaça				Ação	nº de células	% da área
	Baixa	Média	Alta	Muito Alta			
Baixa	218	6	59	21	Sem intervenção	218	46,68
Moderada	0	62	4	0	Monitoramento	62	13,28
Elevada	0	0	73	24	Monitoramento com remanejamento programado	77	16,49
					Remanejamento imediato	24	5,14
					Não ocupar	86	18,42

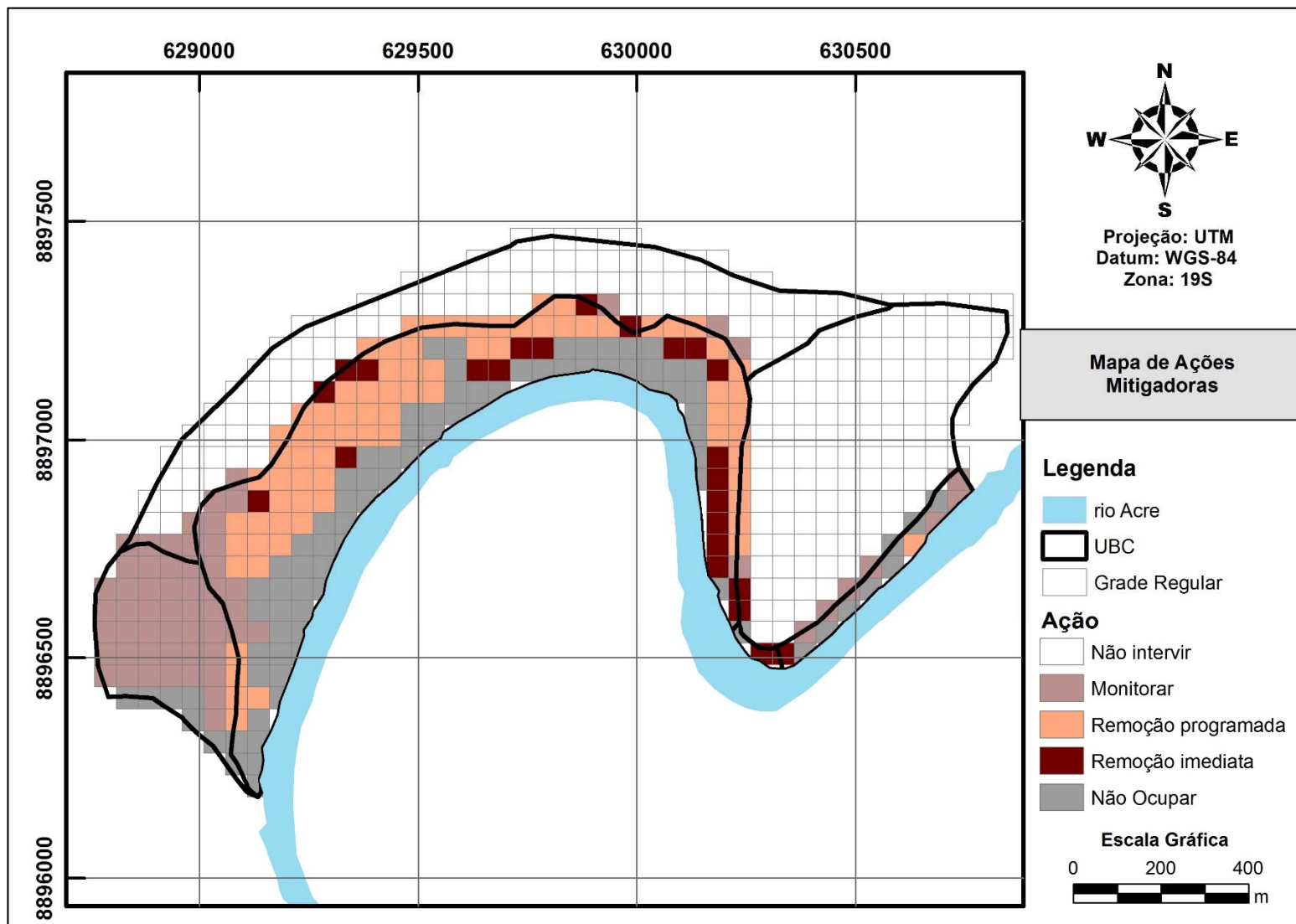


Figura 4.16 - Mapa de ações mitigadoras

Somente em 5% das áreas observou-se a necessidade de ações emergenciais. Essas células tendem a se concentrar próximas ao leito maior do rio Acre, como ilustra a Figura 4.17 e são ocupadas por edificações com baixo padrão construtivo, com infraestrutura precária e, portanto, muito susceptíveis a escorregamentos. As áreas indicadas para o monitoramento e/ou remanejamento programado seguem o mesmo padrão das ocupações observadas nas áreas críticas, entretanto concentram-se nas células caracterizadas pela ocorrência de rastejos e degraus de abatimentos.



Figura 4.17 - Comparação entre as ações mitigadoras e o cadastro de sinais de instabilidade.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

A possibilidade de ocorrência de um processo físico e de seus efeitos nocivos à sociedade não pode ser tratada com precisão matemática, uma vez que não existem condicionantes únicos ou estáticos, ou mesmo uma única percepção dos problemas e, portanto, das soluções possíveis e plausíveis de serem adotadas.

A gestão de riscos em áreas urbanas gera a necessidade de se compreender a relação entre o fenômeno natural e a vulnerabilidade dos elementos expostos. Mensurar esta relação constitui uma tarefa complexa e multidimensional, uma vez que a decisão a ser tomada depende das informações disponíveis, da percepção e preferências do avaliador quanto aos fatores físico-ambientais, socioeconômicos, políticos e culturais que condicionam o problema.

As conclusões desta pesquisa foram divididas de acordo com as duas grandes etapas de trabalho desenvolvidas e são descritas a seguir.

5.1.1 Zoneamento geológico-geotécnico

Em relação aos dados obtidos, notou-se que ainda faltam informações para propiciar uma adequada caracterização dos mecanismos associados a cada tipo processo, como por exemplo, dados que permitam estabelecer uma correlação temporal e espacial entre eventos e precipitações, assim como dados relacionados à resistência dos materiais e às superfícies potenciais de ruptura.

Os procedimentos adotados permitiram apenas um indicativo sobre o provável comportamento dos terrenos com base na inter-relação entre os fatores de indução, as formas de relevo e as características dos materiais inconsolidados.

Por meio da compartimentação fisiográfica e de levantamentos de campo, obteve-se um produto cartográfico único, no qual os elementos ambientais foram individualizados em três unidades geológico-geotécnicas que foram confrontadas com os processos deflagrados.

Duas unidades associadas ao setor geomorfológico da Depressão do Rio Branco (Solimões em relevo ondulado e Solimões em planícies e fundos de vale) e outra, à Planície Amazônica

(Sedimentos quaternários). Essas unidades foram segmentadas em 17 subunidades para representar as variações dos compartimentos quanto à declividade e à amplitude.

Os registros de movimentos gravitacionais de massa compreenderam 73 feições e totalizaram 12,3% da região de estudo. Por meio de trabalhos de campo, que subsidiaram a construção de seis seções geológico-geotécnicas, foi possível perceber que existem diferenças significativas nos processos mapeados em cada um dos setores geomorfológicos.

Na Depressão do Rio Branco, a textura argilosa e plástica confere aos solos da Formação Solimões a capacidade de se movimentar na forma de rastejo, em terrenos com declividade superior a 12%. Somando-se a isso, as flutuações do leito fluvial e os períodos de intensas precipitações promovem escorregamentos nas margens dos cursos d'água ou em áreas já fragilizadas pelo rastejo, o que gera em determinadas subunidades uma dinâmica própria, caracterizada por diversos escorregamentos, degraus de abatimentos e evidências generalizadas do rastejo.

Na Planícies Amazônica, as margens dos cursos d'água são compostas por solos aluvionares essencialmente arenosos. A declividade elevada e descargas fluviais conferem a tais terrenos uma elevada predisposição a escorregamentos rotacionais, como comprovam a frequência de múltiplas feições de escorregamentos observadas nesta subunidade.

A aplicação do método AHP para relacionar a predisposição natural e os fatores de indução dos processos considerados permitiu hierarquizar os terrenos com características semelhantes, em diferentes níveis de suscetibilidade, confirmando assim que as áreas sob ação direta da dinâmica fluvial apresentam suscetibilidades superiores aos terrenos não inundados.

5.1.2 Prioridade de intervenção e ações mitigadoras

Através do estudo de caso observou-se que os critérios e procedimentos adotados puderam reduzir a subjetividade no diagnóstico das áreas prioritárias e no planejamento das ações de mitigação dos riscos. Os seguintes aspectos levaram a esse entendimento:

- A definição de indicadores, atributos e classes dentro de uma estrutura hierárquica construída com o método AHP, permitiu uma indicação lógica e quantificada quanto à importância relativa dos elementos de decisão. No entanto, a estruturação desses elementos e a definição de critérios não elimina a necessidade de especialistas, mas permite que os dados coletados por diferentes equipes possam ser incorporados a análise;

- A definição de cenários esperados para os indicadores de Ameaça (Tabela 3.1) e de Vulnerabilidade (Tabela 3.2) permitiu validar os resultados através de trabalhos de campo;
- A proposição de uma matriz de prioridades possibilitou incorporar ao banco de dados geográfico as classes de ameaça e de vulnerabilidade, indicando de modo objetivo as áreas prioritárias;
- A superposição do nível de prioridade às classes de ameaça possibilitou a indicação de ações emergenciais e de médio prazo, cujos resultados foram validados, por meio de trabalhos de campo, mostrando-se adequados à unidade de terreno adotada.

Pelo exposto, conclui-se que os procedimentos descritos foram adequados aos objetivos da pesquisa e podem ser aplicados para outras áreas e para outros processos, necessitando de adequações quanto aos atributos e sua importância relativa.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros.

Sugere-se para futuras pesquisas:

- Dar continuidade ao estudo de caso, com atualizações periódicas do banco de dados geográfico, propiciando uma constante reavaliação das prioridades e ações mitigadoras;
- Investigar as características e propriedades físicas, hidráulicas e mecânicas dos solos e rochas que compõem o sistema hidrográfico amazônico, por meio de ensaios de laboratório e de campo, além de monitoramento e instrumentação em campo;
- Construir inventários de movimentos gravitacionais de massa que permitam estabelecer relações espaciais e temporais entre chuvas, vazões e processos deflagrados;
- Aplicar os procedimentos descritos nesta pesquisa em outros locais e para outros tipos processos (inundações por exemplo), definindo-se para tanto outros critérios e pesos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACRE, Governo do Estado do. Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Programa Estadual de Zoneamento do Estado do Acre. **Zoneamento ecológico-econômico: recursos naturais e meio ambiente: documento final, fase II - escala 1:250.000**. Rio Branco, 2006.

ACRE, Governo do Estado do. Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Programa Estadual de Zoneamento do Estado do Acre. **Zoneamento ecológico-econômico: recursos naturais e meio ambiente: documento final**. v.1, 116 p. Rio Branco, 2000.

AHRENDT, A. **Movimentos de massa gravitacionais - proposta de um sistema de previsão: aplicação na área urbana de Campos do Jordão - SP**. 360 p. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ALEOTTI, P.; CHOWDHURY, R. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 58, p. 21-44. 1999.

AMARAL JUNIOR, A. F. **Mapeamento geotécnico aplicado a análise de processos de movimentos de massa gravitacionais: Costa Verde - RJ - escala 10.000**. 210 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

AMARAL, A. M. C. D.; REIS, F. A. G. V.; GIORDANO, L. D. C.; CORRÊA, C. V. D. S., e CHAVES, C. J. Compartimentação fisiográfica pela análise integrada: estudo de caso no município de Casa Branca (SP). **Geologia USP. Série Científica**, v. 15, n. 1, p. 15-28, 2015.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABMS/ABGE. 1992, p. 721-733.

AUGUSTO FILHO, O. **Carta de risco de escorregamentos quantificada em ambiente de SIG como subsídio para planos de seguro em áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba, SP**. 196 p. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE/UNESP), Rio Claro, 2001.

AUGUSTO FILHO, O. **Cartas de risco a escorregamentos: uma proposta metodológica e sua aplicação no município de Ithabela, SP**. 150p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

AYALEW, L.; YAMAGISHI, H.; UGAWA, N. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. **Landslides**, v. 1, n. 1, p. 73-81, 2004.

BAEZA, C.; COROMINAS, J. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. **Earth surface processes and landforms**, v. 26, n. 12, p. 1251-1263, 2001.

BANA, C. A.; COSTA, C.; VANSNICK, J. C. que entender por tomada de decisão multicritério ou multiobjetivo? Florianópolis: Curso Metodologias Multicritérios de Apoio à Decisão - ENE/UFSC, ago. 1995. Apostila.

BANA, C. A.; DE CORTE, J. M.; VANSNICK, J. C. On the mathematical foundations of MACBETH. In: FIGUEIRA, J., GRECO, S.; EHRGOTT, M. (eds.) **Multiple Criteria Decision Analysis: state of the art surveys**. Kluwer Academic Publishers. 2005. Disponível em: <http://eprints.lse.ac.uk/22759/1/03061.pdf>. Acesso em 14/10/2014.

BRANS, J. P.; MARESCHAL, B. PROMETHEE methods. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; ERGOHTT, M. (org) **Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys**. Springer New York. p. 163-186, 2005.

BRASIL-DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SC.19 Rio Branco. Rio de Janeiro, 1976. 464p.

BRASIL-DSG - Diretoria de Serviço Geográfico-ME. Mapa Geográfico. Escala 1:100.000. Folha SC-19-X-C-VI. Brasília: DSG, 1980.

BRUNSDEN, D.; PRIOR, D. B. **Slope Instability**. John Wiley, Chichester, 1984.

BUENO, C. S. C. **Avaliação do Crescimento da Área Urbana da Cidade de Rio Branco-Ac através de Fotointerpretação**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1989.

CARRARA, A., A multivariate model for landslide hazard evaluation. **Mathematical Geology**. V. 15, p.403-426, 1983.

CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; OGURA, A. T. (organizadores). **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. 1. Ed. Brasília: Ministério das Cidades/Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, 2007. 176 p.

CARVALHO, J. A. L. De; IGREJA, H. L. S. Da; CUNHA S. B. Da; CARNEIRO D. S. Episódio de terras caídas no rio amazonas: Caso Costa da Águia, Parintins-Am. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...** Campo Grande, 2009. Disponível em <http://www.abrh.org.br/sgcv3/index.php?PUB=3&ID=110&PAG=9>. Acesso em 14/10/2014.

CAVALCANTE, L. M. Geologia e geomorfologia do Estado do Acre. In: ACRE. Secretaria de Estado de Estado, Ciência e Tecnologia. Programa Estadual de **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre: 2ª fase**. Rio Branco: 2006.

CERRI, L. E. S. Mapeamento de Riscos nos Municípios. In: C. S. Carvalho e T. Galvão (orgs.) **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Brasília, Ministério das Cidades, Cities Alliance, 2006, p. 46-55.

CERRI, L. E. S. **Riscos geológicos associados a escorregamentos: uma proposta para prevenção de acidentes**. 1993. 197f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). UNESP - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 1993.

CERRI, L.E.S.; NOGUEIRA, F. R.; CARVALHO, C. S.; MACEDO, E. S.; AUGUSTO FILHO, O. Mapeamento de Risco em assentamentos precários no município de São Paulo (SP). **Geociências**, n. 26, v. 2, p. 143- 150, 2007.

CERRI, L. E. S.; NOGUEIRA, F. R. Mapeamento e gestão de riscos de escorregamentos em áreas de assentamentos precários. *In*: GUIMARÃES, S. T. L.; CARPI JR, S.; GODOY, M. B. R. B. (orgs) **Gestão de áreas de riscos e desastres ambientais**. Rio Claro IGCE/UNESP, 2012, 1ª Ed., p. 285-304, 2012.

COSTA, E. A. **Avaliação de Ameaças e Risco Geotécnico Aplicados à Estabilidade de Taludes**. 160 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). UFRGS - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre. 2005.

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. Landslide Types and Processes. In: **Landslides: Investigation and Mitigation. Special Report 247. Transportation Research Board, National Research Council. National Academy Press**. Washington, D.C., p 36-75, 1996.

DE BIASI, Mario. Cartas de declividade: confecção e utilização. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 21, p. 8-13, 1970.

DELGADO, J. A. C. **Avaliação da suscetibilidade a deslizamentos por meio do uso de sistema de informações geográficas: Aplicação em uma área do eixo cafeeiro colombiano**. 2006. 109 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). UNB, Brasília, 2006.

DIAZ, E. M. P. **Segregação de efluentes líquidos industriais: Análise econômica através de decisão multicritério utilizando o método AHP- estudo de caso para o setor têxtil/acabamento de malhas-Minas Gerais**. 252 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2007.

DUARTE, A. F. As chuvas na bacia do rio Acre e o fluxo das águas em Rio Branco, Amazônia Ocidental. 2014. Disponível em https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/c8017391399ce6ccfc8b0124c013173d_5af820af0fb87f4624e0c59f21f70646.pdf

DUARTE, A. Variabilidade e tendência das chuvas em Rio Branco, Acre, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.1, p.37-42, 2005.

DURLO, M. A; SUTILI F. J. **Bioengenharia: manejo biotécnico de cursos de água**. Santa Maria: Edição do Autor, 2012. 189p.

EINSTEIN, H. H. Landslide risk - systematic approaches to assessment and management. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON LANDSLIDE RISK ASSESSMENT, 1, Honolulu. **Proceedings...** Rotterdam: Balkema, p. 25-49, 1997.

ERENER, A.; DÜZGÜN, H. S. B. Landslide susceptibility assessment: what are the effects of mapping unit and mapping method? **Environmental Earth Sciences**, v. 66, n. 3, p. 859-877, 2012.

FARIA, D. G. M. **Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do Processo de Análise Hierárquica (AHP)**. 214 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

FARIA, D. G. M.; AUGUSTO FILHO, O. Aplicação do Processo de Análise Hierárquica (AHP) no mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas. **Revista do Instituto Geológico**, v. 34, n. 1, p. 23-44, 2013

FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. **Engineering Geology**, v. 102, n. 3, p. 99-111, 2008.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (org) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Bertrand, Rio de Janeiro. p. 123-194, 1996.

FIGUEIRA, J.; MOUSSEAU, V.; ROY, B. ELECTRE methods. In: FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; ERGOHTT, M. (org) **Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys**. Springer New York, p. 133-153, 2005.

FRANCA, S. F. Da. **Padrões ribeirinhos de ocupação. Cidades amazônicas e Rio Branco**. 2013. 344 f. Tese (doutorado em Arquitetura e Urbanismo). UNB, Brasília, 2013.

GALLI, M. et al. Comparing landslide inventory maps. **Geomorphology**, v.94. p.268–289, 2008.

GARCIA, R.; ZÊZERE, J. L. Avaliação de riscos geomorfológicos: Conceitos, Terminologia e Métodos de Análise. In: III SEMINÁRIO RECURSOS GEOLÓGICOS, AMBIENTE E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO, **Anais...** p. 299-308, 2003. Disponível em: <http://riskam.ul.pt/>. Acesso em 06/05/2013.

GOMES, L. F. A. M.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos**. Tradução técnica: Marcela Cecília González Araya. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

GOMES, M. F. M. **Metodologia de análise hierárquica aplicada para escolha do sistema de disposição de subproduto da mineração com ênfase nos rejeitos de minério de ferro**. 193p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

GOMES, R. A. T; GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; FERNANDES, N. F. Análise de um modelo de previsão de deslizamentos (SHALSTAB) em diferentes escalas cartográficas. **Solos e Rocha**, São Paulo, v . 28, n. 1, p. 85-97, 2005.

GRAMANI, M.; AUGUSTO FILHO, O. Analysis of the triggering of debris flow potentiality and the run-out reach estimative: an application essay in the Serra do Mar mountain range. In: **Proc. ninth international symposium on landslides**. 2004, v. 1 p. 1477-1483.

GRASSI, J.; DEPPE, F.; LOHMANN, M.; SANGOI, D. S. Mapeamento da vulnerabilidade a inundações e deslizamentos de terra no Estado do Paraná. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR. **Anais...** Foz do Iguaçu, p. 2501-2508, 2013.

GUERRA, A. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 8.ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavações**. 2.ed. Edgar Blücher, São Paulo, 196 p., 1984.

GUZZETTI, F. Landslide hazard and risk assessment. 2006. 389p. Thesis (Ph.D.) - Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, University of Bonn, Bonn, Germany, 2006. Disponível em:<<http://geomorphology.irpi.cnr.it/Members/fausto/PhD-dissertation>>. Acesso em: 20 fevereiro de 2014.

GUZZETTI, F.; CARDINALI, M.; REICHENBACH, P.; CIPOLLA, F.; SEBASTIANI, C.; GALLI, M.; SALVATI, P. Landslides triggered by the 23 November 2000 rainfall event in the Imperia Province, Western Liguria, Italy. **Engineering Geology**, v.73, n. 3, p.229–245, 2004a.

GUZZETTI, F., REICHENBACH, P., GHIGI, S. Rockfall hazard and risk assessment along a transportation corridor in the Nera Valley, Central Italy. *Environmental Management* 34, n.2, 191-208. 2004b.

GUZZETTI, F.; MONDINI, A. C.; CARDINALI, M.; FIORUCCI, F.; SANTANGELO, M.; CHANG, K. T. Landslide inventory maps: new tools for and old problem. **Earth-Science Reviews**, v.112, p. 42-66, 2012.

HID, A. R. **Monitoramento da expansão urbana e ocupação predial às margens do igarapé São Francisco em Rio Branco-Acre**. Florianópolis, 2000. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

HUNGR, O.; LEROUÉIL, S.; PICARELLI, L. The Varnes classification of landslide types, an update. **Landslides**, v. 11, n. 2, p. 167-194, 2014.

IBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, <http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=120040>. Acesso em 10/10 de 2014.

INTARAWICHIAN, N. **A comparative study of analytical hierarchy process and probability analysis for landslide susceptibility zonation in lower Mae Chaem watershed, Northern Thailand**. 172 f. Thesis (School of Remote Sensing) Institute of Science Suranaree University of Technology. Thailand, 2009.

INTARAWICHIAN, N.; DASANANDA, S. Analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping in lower Mae Chaem watershed, northern Thailand. **Suranaree J. Sci. Technol**, v. 17, n. 3, p. 277-292, 2010.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de ocupação de encostas**. São Paulo. (Publicação, 1831). 1991. 216 p.

KAYASTHA, P.; DHITAL, M. R.; DE SMEDT, F. Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal. **Computers & Geosciences**, v. 52, n. 0, p. 398 - 408, 2013.

KOMAC, M. A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in Perialpine Slovenia. **Geomorphology**, v. 74, n. 1 - 4, p. 17-28, 2006.

LABADESSA, A. S. “Terras Caídas”, as causas naturais e antrópicas: uma ocorrência na comunidade de São Carlos - Médio Madeira/RO. **Geoiingá**, Maringá, v. 3, n. 1, p. 45-61, 2011

LAMBE, T. W. Predictions in soil engineering. **Geotechnique**, v.23, n. 2, p 149-202, 1973.

LATRUBESSE, E. **El Neogeno de Amazonia Sudoccidental**. Tese (Doutorado em Geociências). Universidad Nacional San Luis, San Luis - Argentina, 1992.

LAVELL, A. **An approach to concept and definition in risk management terminology and practice (final draft)**. Genebra: ERD-UNDP, 27p, 2000. Disponível em <<http://www.desenredando.org/public/articulos/index.html> >. Acesso em março de 2002.

LEROUEIL, S. Natural slopes and cuts: movement and failure mechanisms. **Géotechnique**, v. 51, n. 3, p.197-243, 2001.

LIMA, A. F. **Comportamento geomecânico e análise de estabilidade de uma encosta da formação barreiras na área urbana da cidade do Recife**. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2002.

MACHADO, A. RIO ACRE VAI CONTINUAR SUBINDO. [Internet]. Rio Branco, 2012; [atualizado em 19/02/2012; citado em 19/01/2012]. Disponível em: <http://www.altinomachado.com.br/2012/02/rio-acre-vai-continuar-subindo.html>. Acesso em 26/11/2014.

MAGALHÃES, R. C.; GOMES, R. C. M. Mineralogia e química de solo de várzea e suas susceptibilidades no processo de terras caídas na comunidade do Divino Espírito Santo - AM. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 3, 2013.

MAIA, M. S. O. **Zoneamento geotécnico do sítio urbano do município de Rio Branco/AC e seus arredores, para fins de planejamento com ênfase à expansão urbana, através do sensoriamento remoto**. 116 f. Dissertação (mestrado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro - SP, 2003.

MAIA, R. G.; GODOY, H. K.; YAMAGUTI, H. S.; MOURA, P. A.; COSTA, F. S.; HOLANDA, M. A.; COSTA, J. 137 p. **Projeto carvão no alto Solimões. Relatório final**. CPRM-DNPM. Rio de Janeiro, 1977.

MARINO, T. B. **Metodologia para tomadas de decisão no âmbito de riscos sócio-ambientais de áreas urbanas: desmoronamentos e enchentes em assentamentos precários na bacia do Córrego Cabuçu de Baixo - SP**. 2008. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MARTINS, V. B. **Metodologia Baseada em Sistemas de Informação Geográfica e Análise Multicritério para a Seleção de Áreas para a Construção de um Repositório para o Combustível Nuclear Usado**. 124 f. Tese (doutorado) - UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Nuclear, 2009.

MATOS, J. A.; CURSINHO, A. M. S. Caracterização geomorfológica das “Terras-Caídas” em área de várzea na comunidade Miracauera, Careiro da Várzea - AM. **Geonorte**, Edição Especial, v. 1, n. 4, p. 515 - 525, 2012.

MELLO, C. S.; CARVALHO L. R. D., CRUZ, M. J. M. Erosão/sedimentação e o modo de vida ribeirinho na Costa do Arapapá - Rio Solimões (AM). **Geonorte**, Edição Especial, v.2, n.4, p.377 - 384, 2012.

MORGENSTERN, N. R.; SANGREY, D. A. Methods of stability analysis. **Transportation Research Board Special Report**, n. 176, 1978.

NASCIMENTO, J. A. S. Do. **Aspectos Geomórficos Naturais e a Questão Ambiental da Bacia de Drenagem de Rio Acre, Amazônia, Brasil**. Dissertação (Mestrado). UFSC, Florianópolis, 1995.

NASCIMENTO, J. A. S. Do. **Vulnerabilidade a eventos climáticos extremos na Amazônia Ocidental: uma visão integrada na bacia do rio Acre**. 285 f. Tese (doutorado) Programa de Planejamento Energético COPPE/UFRJ, 2011.

NOGUEIRA, F. R. **Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: Contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal**. 269 f. Tese (Doutorado em Geologia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2002.

NOGUEIRA, F. R. Gestão dos Riscos nos Municípios. In: CARVALHO C. S.; GALVÃO T. (orgs.) **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais**. Brasília, Ministério das Cidades, Cities Alliance, 2006, p. 26-45.

NOLA, I. T. **Avaliação de dados geológico-geotécnicos prévios para elaboração de carta de eventos perigosos de movimentos de massa gravitacionais por meio de redes neurais artificiais e probabilidade**. 351p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Programa de Pós-graduação em Geotecnia da USP, São Carlos, 2015.

OGURA, A. T.; MACEDO, E. S.; MIRANDOLA, F. A.; YOSHIKAWA; N. K.; CORSI, A. C.; CANIL, K.; GRAMANI, M. F. G.; SILVA, F. C. **Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco**. Ministério as Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT, Centro de Pesquisas Sobre Desastres Naturais-CEPED, 2006.

OLIVEIRA, A. M.; FERREIRA, A. L. **Avaliação Geológico-Geotécnica da Cidade de Rio Branco; Relatório Final**. CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Vol I. 57p. Manaus, 2006.

ONU. **Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives**. Inter-Agency Secretariat International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), Genebra, Suíça, 152p, 2004.

PACHECO, J. D.; BRANDÃO, J. C. M Geomorfologia fluvial do Rio Solimões/Amazonas: estratégias do povo vazeano do sudoeste do careiro da várzea. **Geonorte**, Edição Especial. Manaus. v.2, n.4. p.542 - 554, 2012.

PEREIRA NETO, W.A. **Modelo Multicriterio de Avaliação do Desempenho Operacional do Transporte Coletivo por Ônibus no Município de Fortaleza**. Dissertação (Mestrado). EFCE, Fortaleza, 2001.

PIEIDADE, A. **Modelação espacial em sistemas de informação geográfica da susceptibilidade a deslizamentos na área de Lousa-Loures**. 149 f. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território). Universidade Nova de Lisboa, 2009.

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. Considerações a respeito dos condicionantes utilizados em pesquisas envolvendo movimentos de massa. **Geoinjá**. Maringa. v. 5, n. 1, p. 102-124, 2013.

RODRIGUES, B. B. **Proposta de sistemática para tomada de decisão relativa a movimentos de massa gravitacionais: aplicação em Ouro Preto (MG)**. 308p. Tese (Doutorado em Geociências). UNESP, Rio Claro, 2002.

RODRIGUES, B. B.; ZUQUETTE, L. V. elaboration of gravitational mass movement predisposition chart based on decision support method: part of the city of Ouro Preto, State of Minas Gerais, Brazil. **IEAG: The Geological Society of London**. Paper n. 178, 2006. Disponível em: <http://iaeg2006.geolsoc.org.uk/>, acesso em 05/07/2014.

RODRIGUES, F. H.; COELHO, J. M.; SANTOS, F. S. M. D.; AMARAL, A. M. C. D.; ZAINÉ, J. E. Avaliação da possibilidade de erosão natural e induzida na bacia hidrográfica do ribeirão das pedras, Quirinópolis (GO). **Geociências (São Paulo)**, v. 33, n. 2, p. 339-359, 2014.

RODRIGUES-CARVALHO, J. Perigos geológicos, cartografia geotécnica e proteção civil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, v. 3, Florianópolis. **Anais...** ABGE, CDROM, 1998.

ROSSONI, C. F. **Decisão multicritério: Uma pesquisa experimental para avaliação da percepção dos gestores de MPE acerca do modelo de tomada de decisão multicritério T-ODA quanto à sua aplicabilidade**. 260 f. Dissertação (Mestrado em Administração). FACCAMP, Campo Limpo Paulista, 2011.

SAATY, T. L. 2008. Relative Measurement and its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors - The Analytic Hierarchy/Network Process. **RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie A. Matemáticas**, v. 102, n. 2, p. 251-318, 2008.

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

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European journal of operational research**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. McGraw-Hill. New York, 1980.

SACS - Serviços Aéreos Cruzeiro do Sul. Fotografias aéreas na escala 1:40.000. SACS-O-189. Rio Branco, 1960.

SARKAR, S.; ANBALAGAN, R. Landslide hazard zonation mapping and comparative analysis of hazard zonation maps. **Journal of Mountain Science**, v. 5, n. 3, p. 232-240, 2008.

SARTORI, A. A. C.; SILVA, R. F. B. da; ZIMBACK, C. R. L. Combinação linear ponderada na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG. **Revista Árvore**, v.36, n.6, p. 1079-1090, 2012.

SELBY, M. J. 1993. **Hillslope Materials & Processes**. Oxford University Press, New York, 2ª ed. 451p.

SILVA, A. F. **Estudo de previsão de escorregamento a partir do fator de segurança 3D: Campos do Jordão-SP**. 353 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

SILVA, A.; SOUZA FILHO, E. de; NEVES, S. M. A. S. Erosão marginal e sedimentação no rio Paraguai no município de Cáceres (MT). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 1, p. 76 - 84, 2011.

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal Components Analysis in the Software Assisat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SIMON, H. A. **Comportamento administrativo: estudo dos processos decisórios nas organizações administrativas**. 3 eds. Rio de Janeiro: FGV, 1979.

SMA - SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SMA) - Instituto Geológico (IG) - **Carta de Risco a Movimentos de Massa e Inundação do Município de São Sebastião, SP**. São Paulo. Relatório e Anexos (15 mapas), 1996, 77 p.

SMA - SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SMA) - Instituto Geológico (IG) - **Mapeamento de Risco a escorregamentos e inundação do município de São Sebastião, SP**. São Paulo. Relatório e Anexos, 2006, 302 p.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, São Paulo, n. 2, p. 79-97. 2012.

SOETERS, R.; VAN WESTEN, C. J. Slope instability Recognition, analyses, and zonation. In: TURNER, A. K. & SCHUSTER, R. L. (Eds.), **Landslides investigation and mitigation**. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247. National Academy Press, Washington D.C., U.S.A., p. 129-177, 1996.

STERNBERG, H. O. **A água e o homem na várzea do Careiro**. 2ª ed. Belém: Emilio Goeldi, 248 p, 1998.

SUMMERFIELD, M. A. **Global Geomorphology: An Introduction to the Study of Landforms**. Longman Scientific and Technical. 537 p, 1991.

THORNBERRY-EHRLICH, T. L. **Arkansas Post National Memorial: Geologic resources inventory report**. Natural Resource Report NPS/NRSS/GRD/NRR—2013/731. National Park Service, Fort Collins. Colorado, p. 60, 2013.

TOMINAGA L. K. O. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP**. 220 f. Tese (Doutorado em Geografia Física). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

UNDP - UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Reducing disaster risk: a challenge for development**. New York, USA: UNDP, p.129, 2004.

UNISDR - UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION. **Como Construir Cidades Mais Resilientes - Um Guia para Gestores Públicos Locais**, Genebra. p. 90, 2012

VAHIDNIA, M. H., ALESHEIKH, A. A., ALIMOHAMMADI, A., HOSSEINALI, F. A GIS-based neuro-fuzzy procedure for integrating knowledge and data in landslide susceptibility mapping. **Computers & Geosciences** v. 36, p. 1101-1114, 2010.

VALENTE, A. L. S. **Integração de dados por meio de geoprocessamento, para a elaboração de mapas geotécnicos, análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana: o caso de Porto Alegre (RS)**. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia da UFRGS. Porto Alegre, 1999.

VAN WESTEN, C. J. **Application of Geographic Information Systems to Landslide Hazard Zonation**. 245 f. Ph-D Dissertation Technical University Delft. ITC-Publication Number 15, Enschede, The Netherlands, 1993.

VAN WESTEN, C. J. Geo-information tools for landslide risk assessment: an overview of recent developments. In: LACERDA, EHRLICH, FONTOURA & SAYÃO (eds). **Landslide: Evaluation and Stabilization**. Proceedings of the ninth International Symposium on Landslides. Rio de Janeiro, v. 1, p. 39-56, 2004.

VANACÔR, R. N.; ROLIM, S. B. A. Mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos usando técnicas de estatística bivariada e sistema de informações geográficas na região nordeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 1, p. 15-28, 2012.

VARANDA, E. **Mapeamento quantitativo de risco de escorregamentos para o 1º Distrito de Petrópolis utilizando sistema de informações geográficas**. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). COOPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2006.

VARNES, D. J. Landslides Hazard Zonation - a review of the principles and practice. Paris: UNESCO, 63 p., 1984.

VARNES, D. J. Landslides types and processes. **Highway Research Board**, Special Report, V. 29, p. 20 - 47, 1958.

VARNES, D. J. Slope movement and types and process. In: **Landslides: Analysis and control**. SCHUSTER, R. L.; KRIZEK R. J. (Eds.). Transportation Research Board Special Report 176. National Academy of Sciences, Washington DC, p.11-33, 1978.

VEDOVELLO, R. **Zoneamentos Geotécnicos Aplicados à Gestão Ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs**. Rio Claro, 2000. 153 p. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. 2000.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. **Fundações: critérios de projeto: investigação de subsolo: fundações superficiais**, v.1, nova ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

WU, C. H.; CHEN, S. C. Determining landslide susceptibility in Central Taiwan from rainfall and six site factors using the analytical hierarchy process method. **Geomorphology**, v. 112, n. 3, p. 190-204, 2009.

WU, T. H.; TANG, W. H.; EINSTEIN, H.H. Landslide hazard and risk assessment. In: TURNER, A. K.; SCHUSTER, R. L.(editors). **Landslides: investigation and mitigation**. Washington, D.C: National Academy Press, Chap. 6, Special Report 247, Transportation Research Board, p.106-118, 1996.

YALCIN, A.; REIS, S.; AYDINOGLU, A. C.; YOMRALIOGLU, T. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. **Catena**, v. 85, n. 3, p. 274-287, 2011.

ZHANG, W.; MONTGOMERY, D. R. Digital elevation model grid size, landscape representation, and hydrologic simulations. **Water resources research**, v. 30, n. 4, p. 1019-1028, 1994.

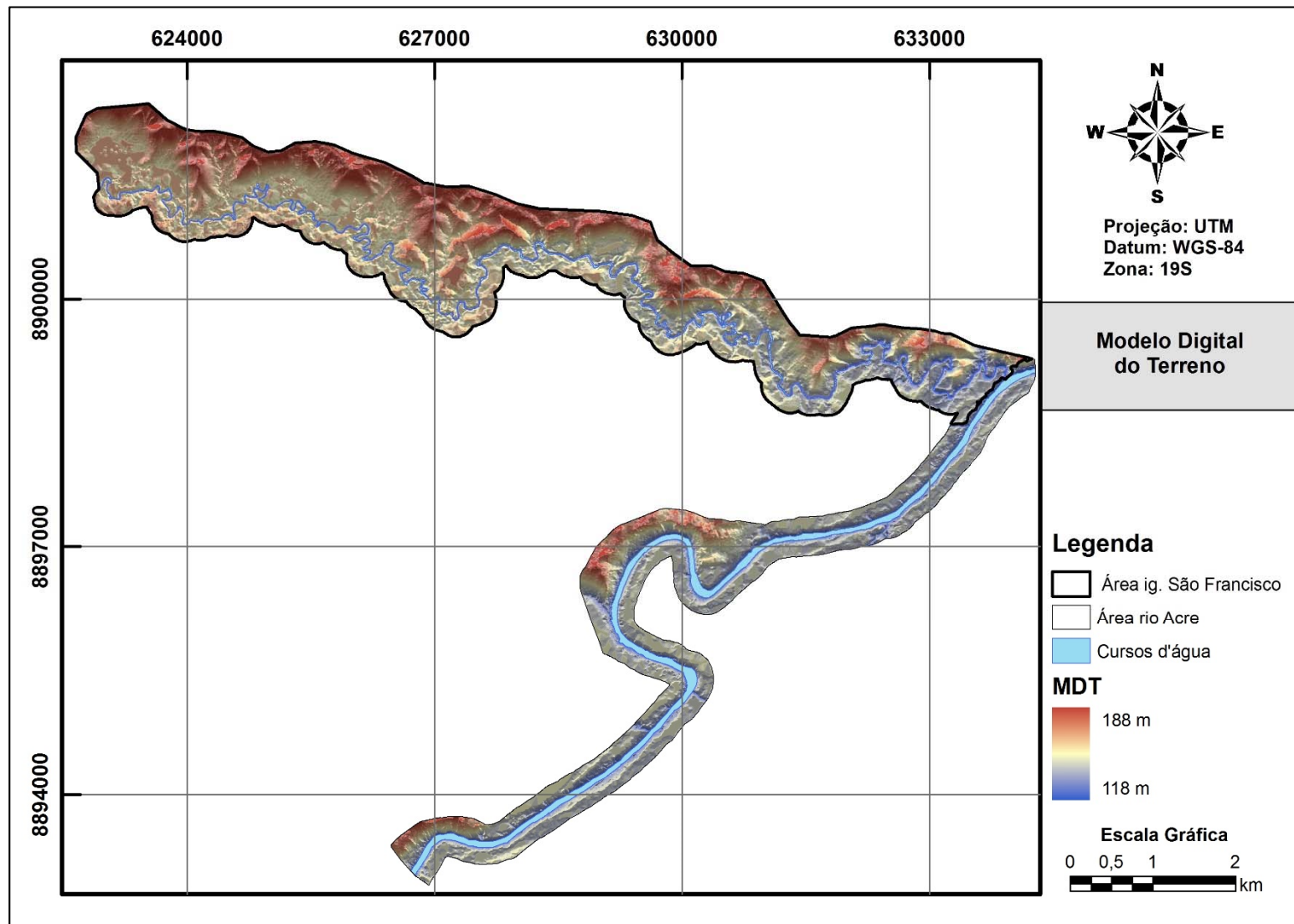
ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. **Cartografia geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

APÊNDICES

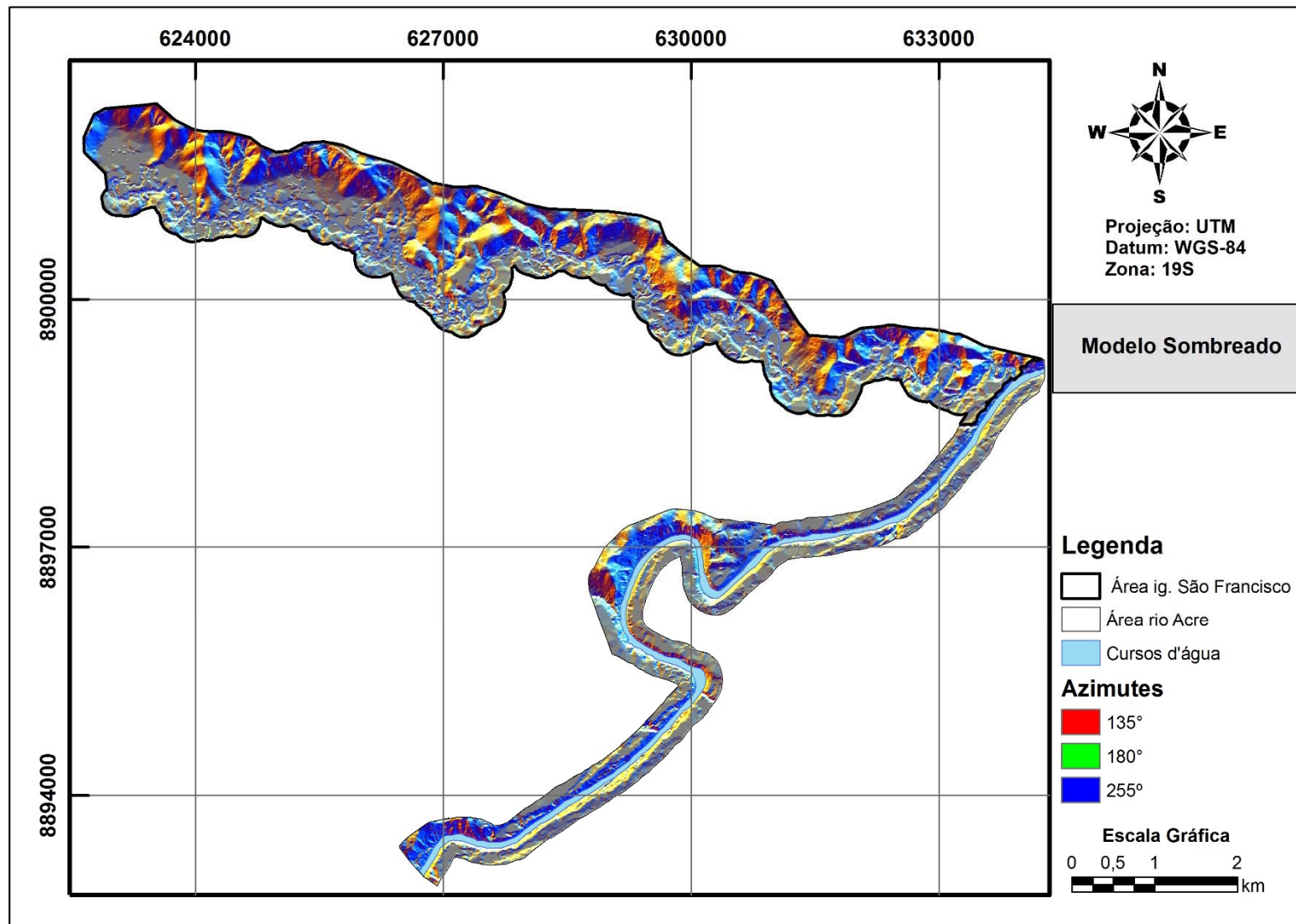
APÊNDICE A

MAPAS BÁSICOS PARA COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA E AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE

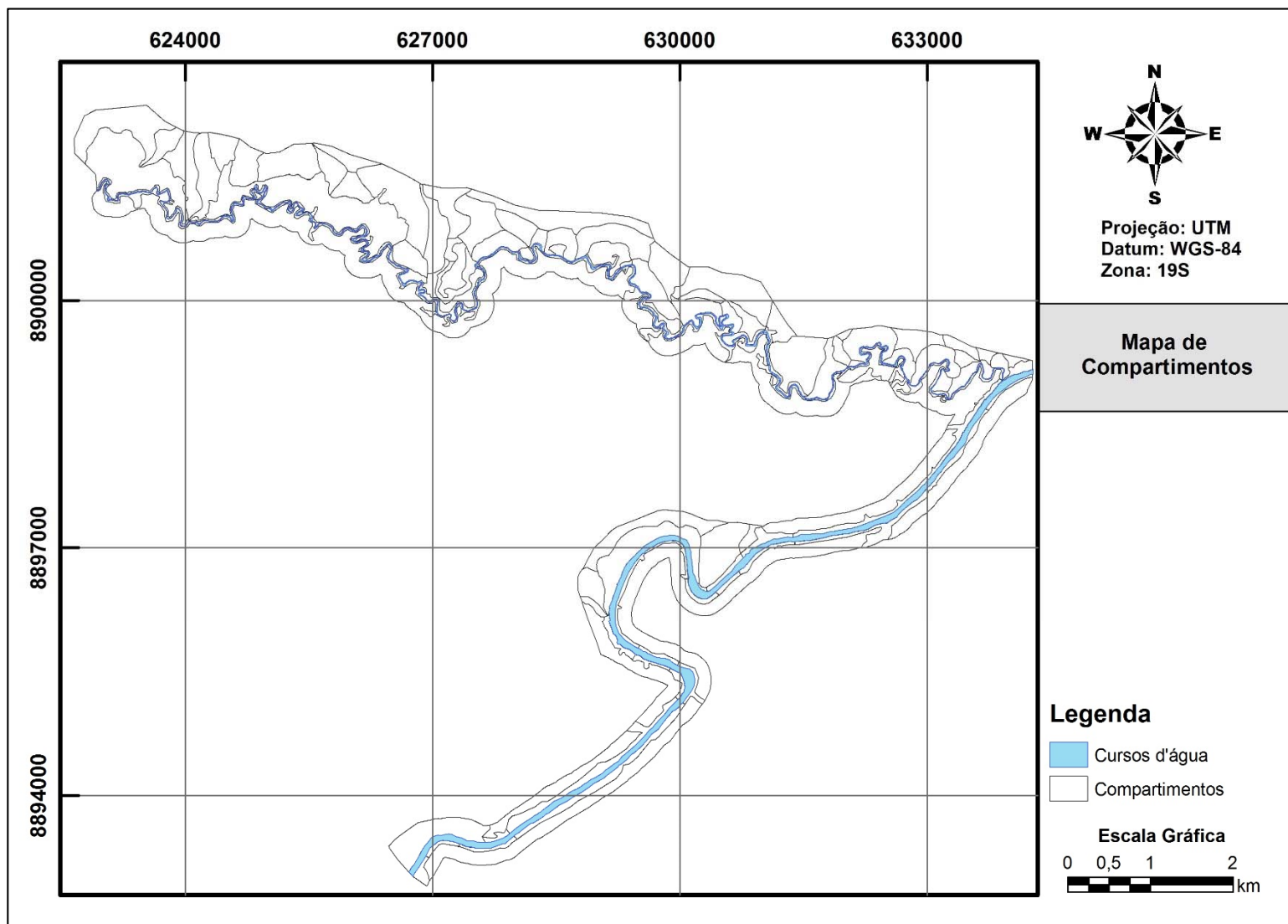
A.1 - MODELO DIGITAL DO TERRENO



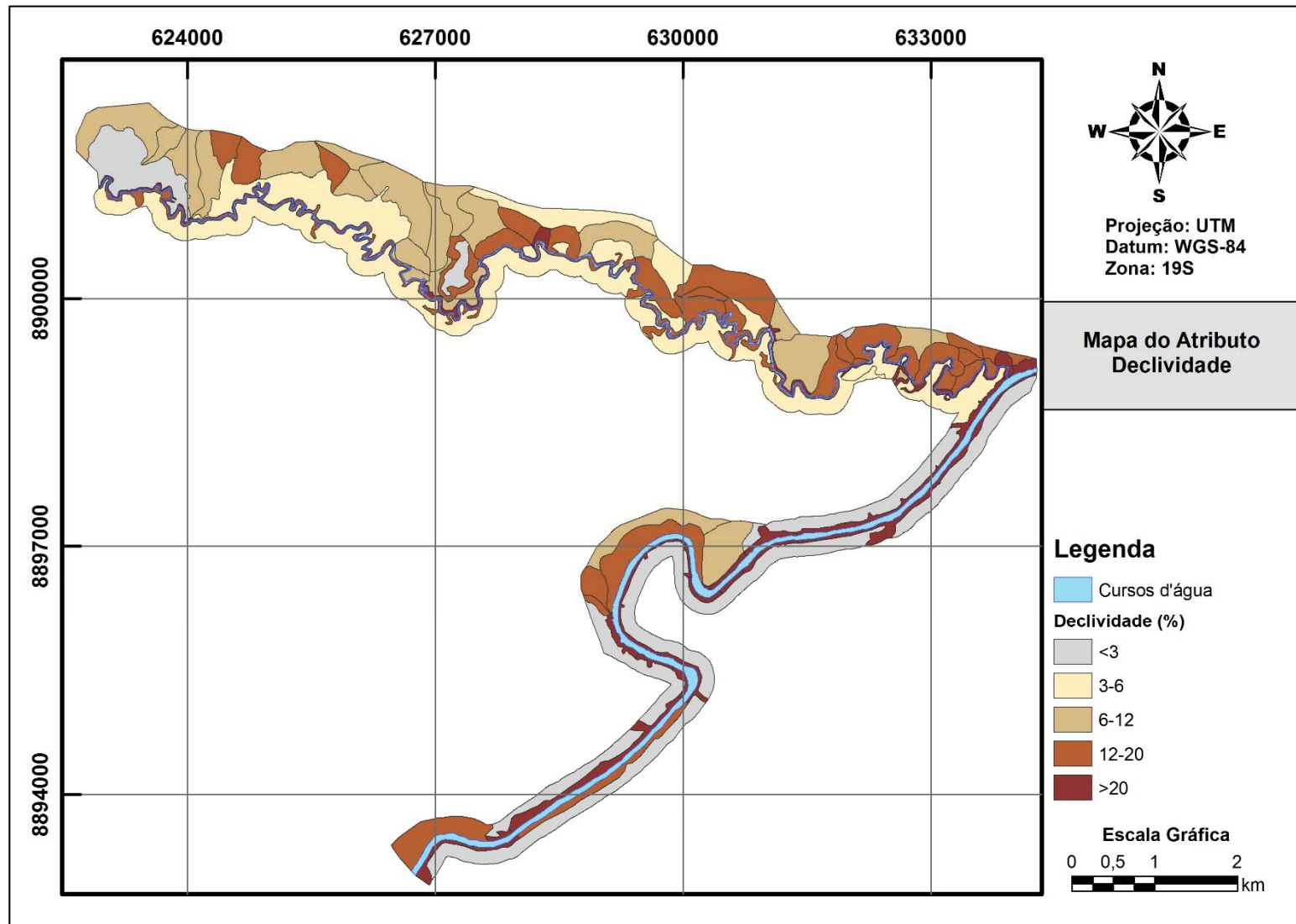
A.2 - MODELO SOMBREADO DO TERRENO



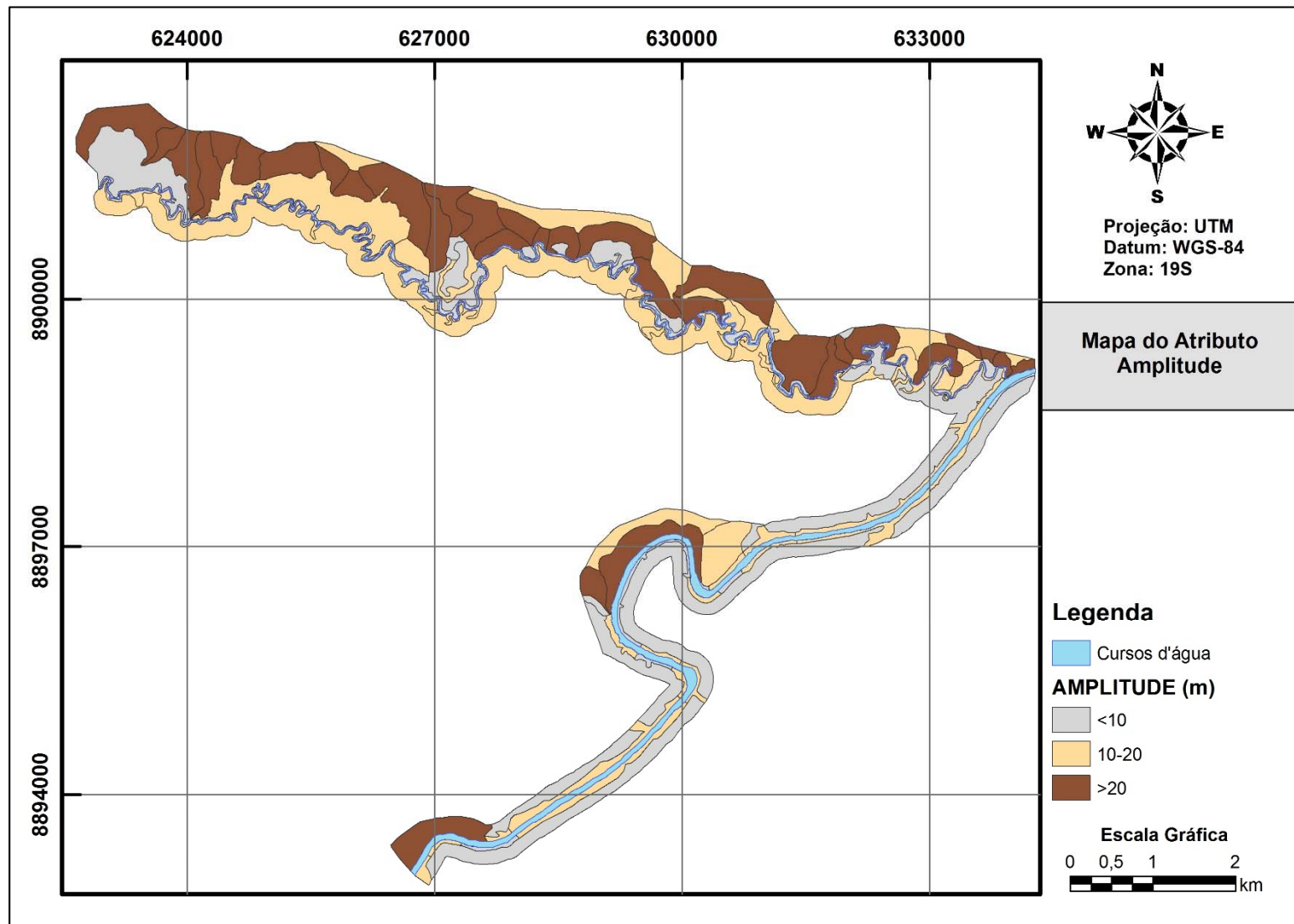
A.3 - MAPA DE COMPARTIMENTAÇÃO DE TERRENOS



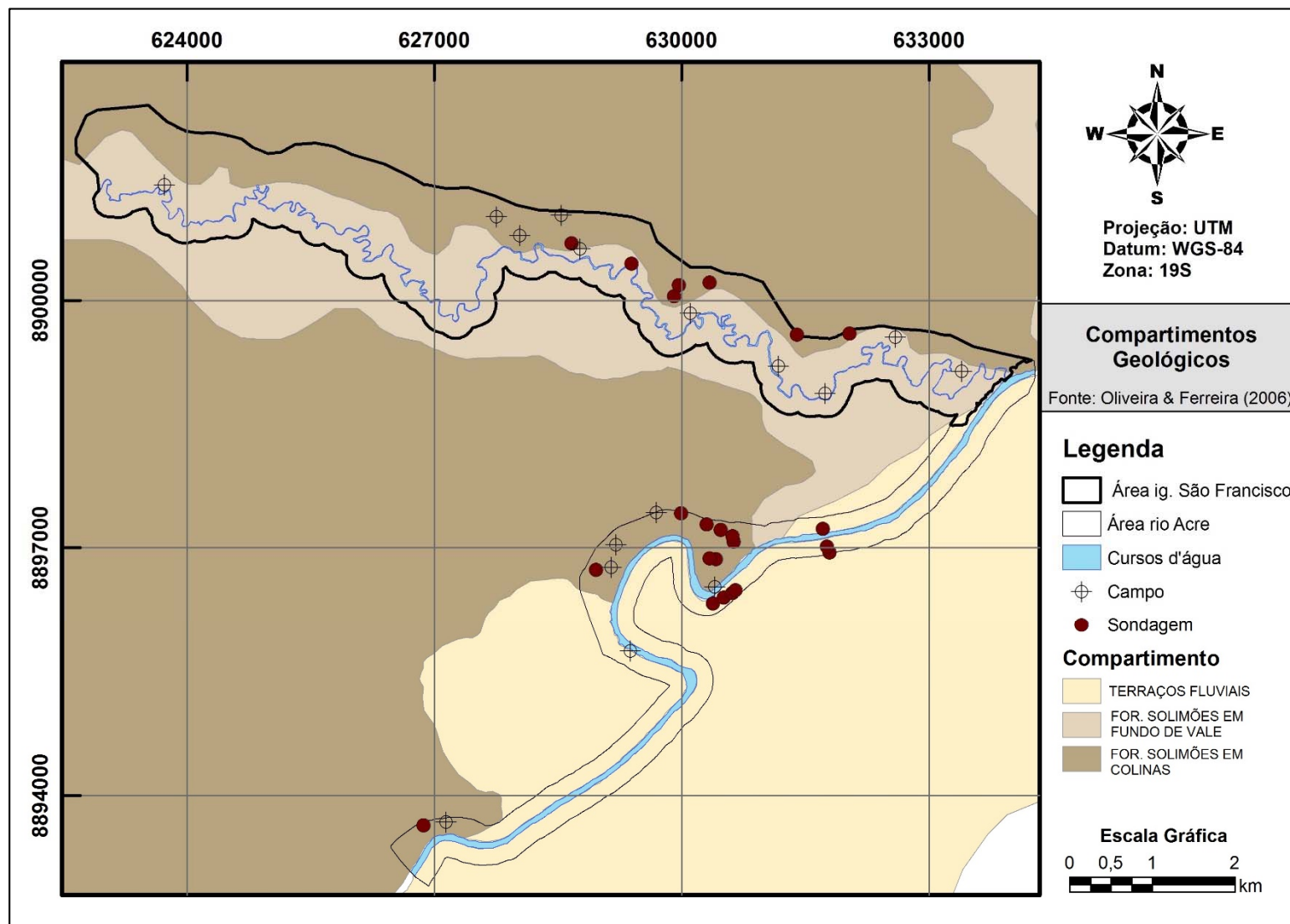
A.4 - MAPA DO ATRIBUTO DECLIVIDADE



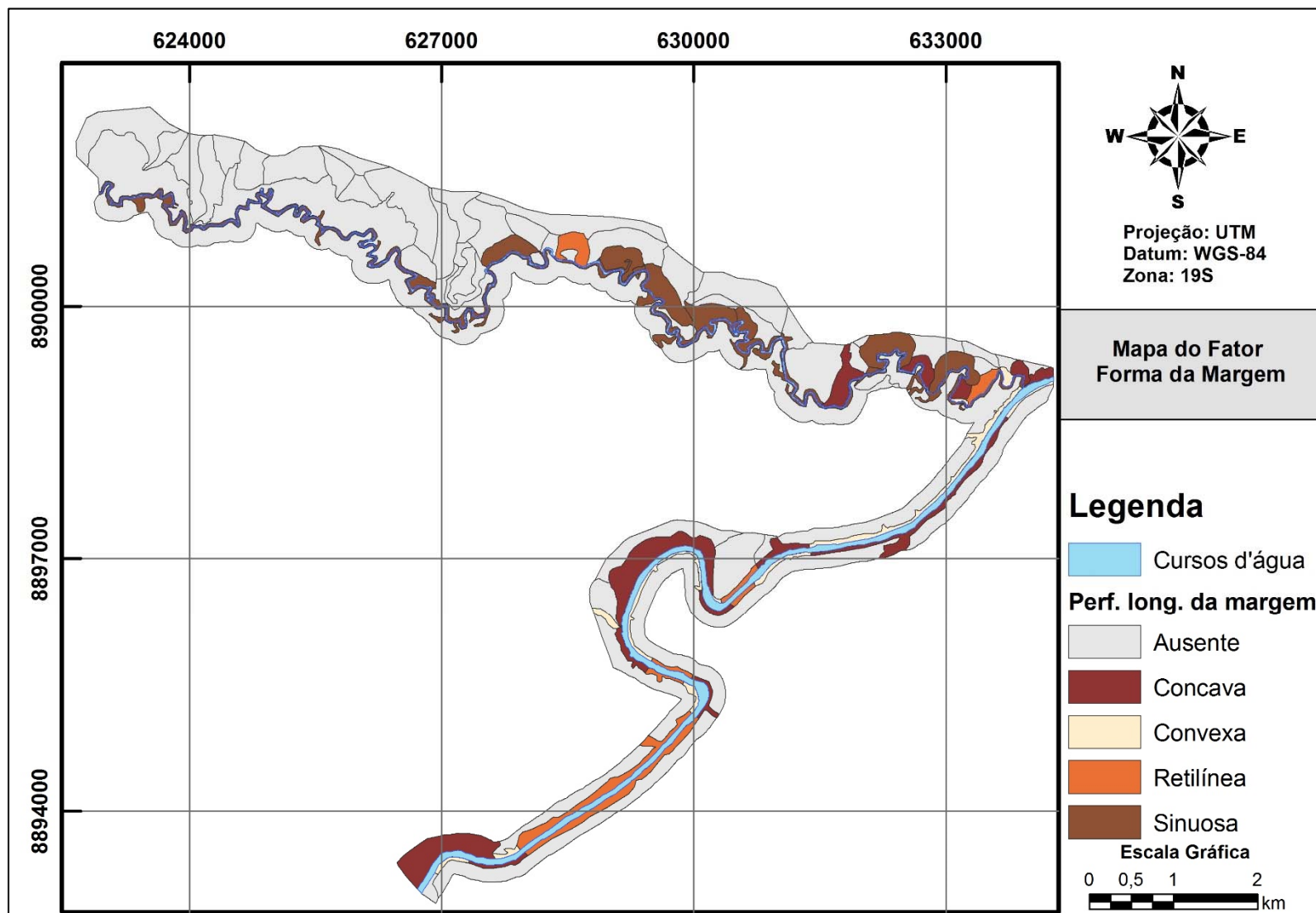
A.5 - MAPA DO ATRIBUTO AMPLITUDE



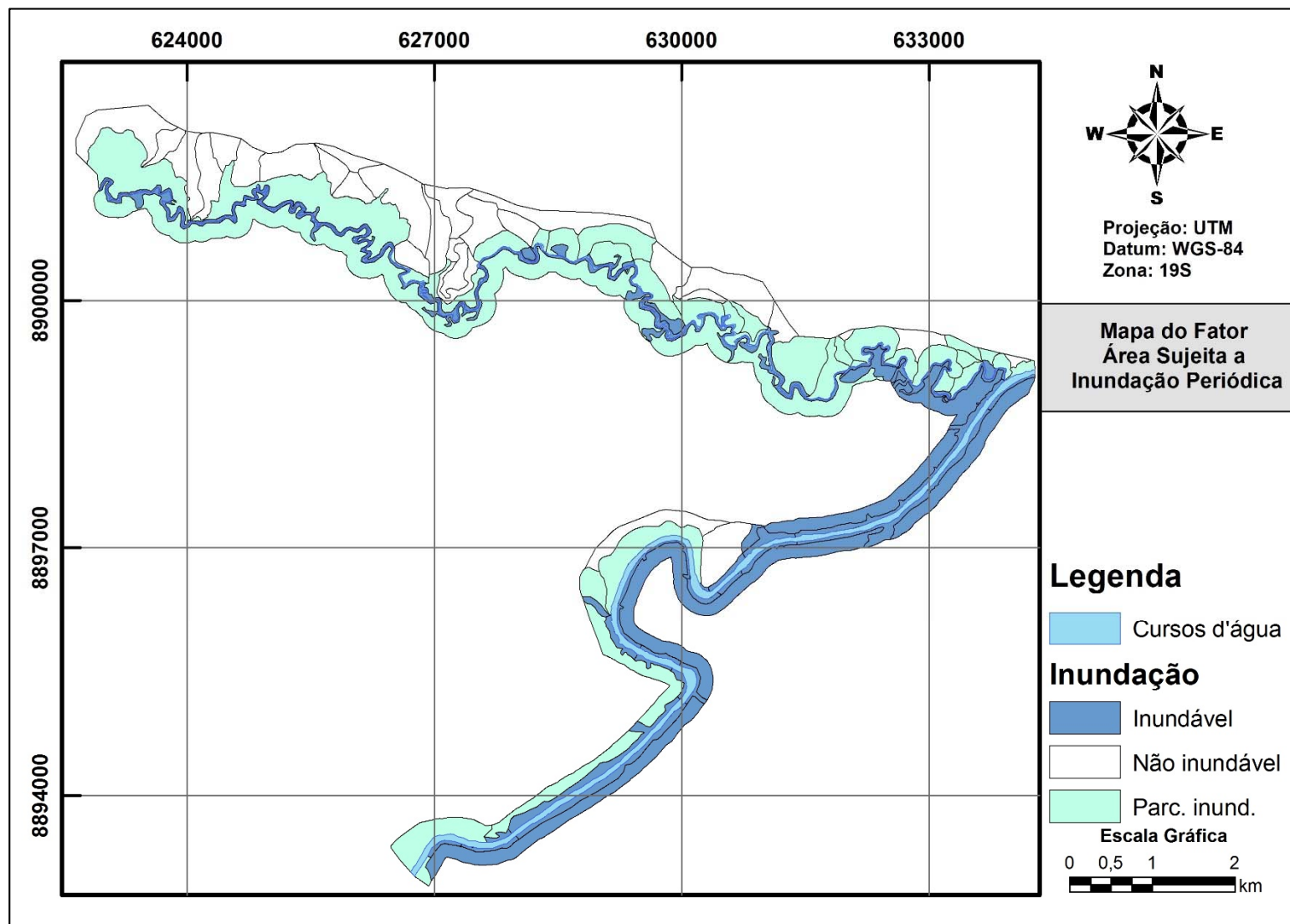
A.6 – DISTRIBUIÇÃO DAS SONDAGENS, PONTOS DE CAMPO E COMPARTIMENTOS GEOLÓGICOS



A.7 - MAPA DO FATOR FORMA DA MARGEM



A.8 - MAPA DO FATOR ÁREA SUJEITA A INUNDAÇÃO PERIÓDICA



APÊNCIDICE B

MATRIZES DE COMPARAÇÃO

(Suscetibilidade Natural)

B.1 - Matriz relacionada aos fatores condicionantes da suscetibilidade natural.

SECETIBILIDADE NATURAL (FATORES)	COD	Matriz de comparação						Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	
PREDISPOSIÇÃO NATURAL	[1]	1	1/3	1/6				0,0500
FORMA DA MARGEM	[2]	3	1	1/3				0,2500
INUNDAÇÃO PERIÓDICA	[3]	6	3	1				0,2500
AV. Máx=4,03108		R.C=0,01151				I.C=0,01036		

B.2 - Matriz relacionada às classes de predisposição dos atributos naturais.

PREDISPOSIÇÃO NATURAL (CLASSES)	COD	Matriz de comparação						Pesos
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	
MUITO BAIXA	[1]	1	1/3	1/6	1/9			0,0500
BAIXA	[2]	3	1	1/3	1/4			0,1269
MÉDIA	[3]	6	3	1	1/2			0,3075
ALTA	[4]	9	4	2	1			0,5156
AV. Máx=4,03108		R.C=0,01151				I.C=0,01036		

B.3 - Matriz relacionada ao fator forma da margem.

FORMA DA MARGEM (CLASSES)	COD	Matriz de comparação						Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	
AUSENTE	[1]	1	1/2	1/2	1/3	1/3		0,0864
CONVEXA	[2]	2	1	1/2	1/3	1/3		0,1151
RETILÍNEA	[3]	2	2	1	1/2	1/2		0,1733
SINUOSA	[4]	3	3	2	1	1/2		0,2699
CÔNCAVA	[5]	3	3	2	2	1		0,3554
AV. Máx=5,13063		R.C= 0,02916				I.C=0,0326575		

B.4 - Matriz relacionada ao fator área sujeita a inundação periódica.

INUNDAÇÃO PERIÓDICA	COD	Matriz de comparação						Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	
NÃO INUNDÁVEL	[1]	1	1/7	1/5				0,0782
TOTALMENTE INUNDÁVEL	[2]	7	1	1				0,4866
PARCIALMENTE INUNDÁVEL	[3]	5	1	1				0,4353
AV. Máx= 3,01834		R.C=0,01087				I.C=0,0063		

APÊNDICE C

TABELA DE ATRIBUTOS ANTRÓPICOS E DE INSTABILIDADE

Célula (cod.)	Qual. const.	Tipo ocup.	Área ocup.	Pad. ocup.	Água sup.	Dep. de lixo/ent.	Cob. Solo	Área instab.	Mag. evid.	IS
1	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
2	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	25-50	SIG	A
3	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
4	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
5	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
6	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	25-50	SIG	A
7	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	25-50	SIG	A
8	PA	SC	<5	BX	CMBX	AUS	CV	AUS	INC	A
9	PA	SC	<5	BX	CMBX	AUS	M	50-75	SIG	A
10	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	50-75	SIG	A
11	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
12	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	25-50	SIG	A
13	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	25-50	SIG	A
14	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	URB	25-50	SIG	A
15	PA	AP	30-60	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
16	PA	AP	30-60	BX	CME	AUS	URB	50-75	INC	A
17	SC	SC	30-60	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
18	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
19	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
20	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
21	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
22	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
23	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
24	PA	AP	5-30	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
25	PA	AP	30-60	BX	CME	AUS	URB	50-75	INC	A
26	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
27	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
28	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
29	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
30	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
31	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
32	PA	AP	30-60	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
33	PA	AP	30-60	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
34	PA	AP	30-60	BX	CME	AUS	URB	50-75	INC	A
35	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
36	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
37	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
38	PA	AP	<5	MBX	CME	AUS	URB	75-100	SEV	A
39	PA	AP	5-30	MBX	CME	AUS	URB	75-100	SEV	A
40	SC	SC	<5	SCI	CME	AUS	URB	75-100	SEV	A
41	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	INC	A
42	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
43	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A

Célula (cod.)	Qual. const.	Tipo ocup.	Área ocup.	Pad. ocup.	Água sup.	Dep. de lixo/ent.	Cob. Solo	Área instab.	Mag. evid.	IS
44	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
45	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
46	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
47	PA	AP	5-30	BX	CME	AUS	M	50-75	INC	A
48	PA	AP	<5	BX	CMBX	AUS	M	50-75	INC	A
49	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
50	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
51	SC	SC	5-30	MBX	CME	AUS	CV	50-75	SEV	A
52	PA	AP	60-100	MBX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
53	PA	AP	60-100	MBX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
54	PAE	AP	30-60	MBX	CME	AUS	URB	<25	INC	A
55	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	URB	<25	INC	A
56	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	INC	A
57	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	INC	A
58	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	INC	A
59	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
60	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
61	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
62	PA	AP	5-30	BX	CME	AUS	M	50-75	INC	A
63	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
64	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
65	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
66	PA	AP	60-100	MBX	CAL	AUS	URB	<25	SEV	A
67	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
68	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
69	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
70	PAE	AP	30-60	BX	CME	AUS	URB	25-50	INC	A
71	SC	SC	<5	BX	CMBX	AUS	URB	75-100	INC	A
72	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	A
73	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	INC	A
74	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	INC	A
75	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
76	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	INC	A
77	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	A
78	PA	AP	5-30	BX	CME	AUS	M	50-75	INC	A
79	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
80	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
81	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
82	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
83	SC	SC	<5	SCI	CAL	CME	CV	75-100	SEV	A
84	PA	AP	60-100	MBX	CAL	CME	URB	25-50	SEV	A
85	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
86	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
87	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
88	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
89	PAE	AP	<5	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	A
90	SC	SC	<5	BX	CMBX	AUS	URB	25-50	INC	A
91	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	A
92	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	INC	A

Célula (cod.)	Qual. const.	Tipo ocup.	Área ocup.	Pad. ocup.	Água sup.	Dep. de lixo/ent.	Cob. Solo	Área instab.	Mag. evid.	IS
93	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	INC	A
94	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	A
95	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	A
96	PA	AP	5-30	BX	CME	AUS	URB	50-75	INC	A
97	PA	AP	<5	BX	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
98	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
99	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
100	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
101	PA	AP	5-30	MBX	CAL	CME	M	75-100	SEV	A
102	PA	AP	60-100	BX	CAL	AUS	URB	AUS	AUS	A
103	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
104	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
105	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
106	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
107	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
108	PAE	AP	30-60	BX	CME	AUS	URB	<25	INC	A
109	SC	SC	<5	BX	CMBX	AUS	URB	25-50	INC	A
110	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	A
111	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	A
112	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	A
113	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	A
114	PAE	AP	30-60	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	A
115	PA	AP	5-30	BX	CME	AUS	URB	50-75	INC	A
116	PA	AP	5-30	BX	CME	AUS	M	75-100	INC	A
117	PA	AP	<5	BX	CMBX	AUS	M	75-100	INC	A
118	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
119	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
120	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
121	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	M	75-100	SEV	A
122	PA	AP	60-100	MBX	CAL	AUS	URB	50-75	INC	A
123	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
124	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
125	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
126	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
127	PAE	AP	60-100	BX	CME	AUS	URB	AUS	AUS	B
128	PAE	AA	30-60	BX	CMBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
129	PAE	AA	30-60	BX	CMBX	AUS	URB	<25	INC	A
130	PAE	RC	<5	BX	CMBX	AUS	URB	75-100	INC	A
131	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
132	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
133	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	A
134	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	A
135	PA	AP	5-30	MBX	CME	AUS	URB	75-100	INC	A
136	PA	AP	5-30	MBX	CME	AUS	URB	75-100	INC	A
137	PA	AP	<5	MBX	CMBX	AUS	M	75-100	INC	A
138	PA	AP	<5	MBX	CMBX	AUS	M	75-100	INC	A
139	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
140	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
141	PA	AP	30-60	MBX	CAL	CME	M	75-100	SEV	A

Célula (cod.)	Qual. const.	Tipo ocup.	Área ocup.	Pad. ocup.	Água sup.	Dep. de lixo/ent.	Cob. Solo	Área instab.	Mag. evid.	IS
142	PA	AP	60-100	MBX	CAL	AUS	URB	50-75	INC	A
143	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
144	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
145	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
146	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
147	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
148	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
149	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
150	BE	AA	30-60	ALTO	CMBX	AUS	URB	<25	INC	A
151	BE	RC	<5	ALTO	CMBX	AUS	URB	50-75	INC	A
152	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
153	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
154	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
155	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	A
156	PA	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	25-50	INC	A
157	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	SIG	A
158	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	INC	A
159	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	INC	A
160	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	M	75-100	INC	A
161	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
162	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
163	PA	AP	30-60	MBX	CAL	CME	URB	75-100	SEV	A
164	PA	AP	60-100	MBX	CAL	AUS	URB	25-50	INC	A
165	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
166	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
167	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
168	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
169	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
170	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
171	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
172	BE	AA	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
173	BE	AA	30-60	ALTO	CMBX	AUS	URB	AUS	AUS	A
174	BE	RC	<5	ALTO	CMBX	AUS	URB	25-50	INC	A
175	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
176	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
177	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
178	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	<25	AUS	A
179	PA	AP	60-100	MBX	CAL	AUS	URB	25-50	SIG	A
180	PA	AP	5-30	MBX	CAL	CME	URB	75-100	INC	A
181	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	INC	A
182	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	M	75-100	INC	A
183	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
184	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
185	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
186	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
187	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	SEV	A
188	PA	AP	60-100	MBX	CAL	AUS	URB	<25	INC	A
189	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
190	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B

Célula (cod.)	Qual. const.	Tipo ocup.	Área ocup.	Pad. ocup.	Água sup.	Dep. de lixo/ent.	Cob. Solo	Área instab.	Mag. evid.	IS
191	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
192	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
193	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
194	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
195	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
196	BE	AA	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
197	BE	AA	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
198	BE	RC	30-60	ALTO	CMBX	AUS	URB	AUS	INC	A
199	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
200	BE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
201	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
202	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
203	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
204	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	URB	50-75	INC	A
205	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	INC	A
206	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	INC	A
207	PA	AP	<5	MBX	CAL	AUS	M	75-100	SIG	A
208	SC	SC	<5	SCI	CMBX	CBX	CV	75-100	SIG	A
209	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
210	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
211	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
212	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	M	75-100	SEV	A
213	PA	AP	60-100	MBX	CAL	AUS	URB	25-50	INC	A
214	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
215	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
216	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
217	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
218	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
219	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
220	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
221	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
222	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
223	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
224	BE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
225	BE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
226	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
227	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
228	PAE	AP	60-100	MBX	CAL	AUS	URB	25-50	SIG	A
229	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	INC	A
230	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	INC	A
231	PA	AP	30-60	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	INC	A
232	PA	AP	30-60	MBX	CAL	AUS	M	75-100	INC	A
233	PA	AP	5-30	MBX	CAL	CBX	M	75-100	INC	A
234	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
235	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
236	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
237	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	M	75-100	INC	A
238	PA	AP	60-100	MBX	CAL	AUS	URB	50-75	INC	A
239	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B

Célula (cod.)	Qual. const.	Tipo ocup.	Área ocup.	Pad. ocup.	Água sup.	Dep. de lixo/ent.	Cob. Solo	Área instab.	Mag. evid.	IS
240	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
241	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
242	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
243	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
244	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
245	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
246	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
247	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
248	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
249	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
250	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
251	PAE	AP	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
252	PA	AP	5-30	MBX	CBX	AUS	URB	25-50	SIG	A
253	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	INC	A
254	PA	AP	30-60	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	INC	A
255	PA	AP	30-60	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	INC	A
256	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	M	75-100	INC	A
257	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
258	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
259	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
260	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
261	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
262	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	M	75-100	INC	A
263	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	M	75-100	INC	A
264	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
265	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
266	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
267	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
268	BE	AA	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
269	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
270	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
271	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
272	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
273	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
274	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
275	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
276	BE	RC	30-60	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
277	BE	AP	30-60	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
278	PA	AP	30-60	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	SIG	A
279	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	INC	A
280	PA	AP	30-60	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	INC	A
281	PA	AP	30-60	MBX	CAL	AUS	M	75-100	INC	A
282	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	M	75-100	INC	A
283	PA	AP	<5	MBX	CMBX	AUS	M	75-100	INC	A
284	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
285	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
286	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
287	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
288	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A

Célula (cod.)	Qual. const.	Tipo ocup.	Área ocup.	Pad. ocup.	Água sup.	Dep. de lixo/ent.	Cob. Solo	Área instab.	Mag. evid.	IS
289	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
290	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	M	75-100	INC	A
291	PA	AP	5-30	MBX	CBX	AUS	M	75-100	SIG	A
292	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
293	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
294	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
295	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
296	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
297	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
298	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
299	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
300	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
301	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
302	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
303	BE	RC	5-30	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
304	BE	RC	30-60	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
305	BE	AP	30-60	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
306	PA	AP	30-60	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	SIG	A
307	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	SIG	A
308	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	URB	75-100	INC	A
309	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	M	75-100	INC	A
310	PA	AP	<5	MBX	CMBX	AUS	M	75-100	INC	A
311	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
312	PA	AP	<5	MBX	CMBX	AUS	M	75-100	SEV	A
313	PA	AP	<5	MBX	CMBX	AUS	M	75-100	SEV	A
314	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
315	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
316	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
317	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
318	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
319	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
320	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
321	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
322	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
323	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	M	75-100	SIG	A
324	BE	RC	5-30	ALTO	CBX	AUS	URB	25-50	SIG	A
325	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
326	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
327	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
328	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
329	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
330	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
331	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
332	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
333	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
334	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
335	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
336	BE	RC	30-60	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
337	BE	RC	30-60	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B

Célula (cod.)	Qual. const.	Tipo ocup.	Área ocup.	Pad. ocup.	Água sup.	Dep. de lixo/ent.	Cob. Solo	Área instab.	Mag. evid.	IS
338	BE	AP	30-60	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
339	PA	AP	30-60	MBX	CAL	AUS	URB	AUS	AUS	B
340	PA	AP	60-100	MBX	CAL	AUS	URB	25-50	SIG	A
341	PA	AP	30-60	MBX	CAL	CME	URB	25-50	SIG	A
342	PA	AP	<5	MBX	CMBX	CME	M	75-100	SIG	A
343	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
344	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SIG	A
345	PA	AP	<5	MBX	CMBX	AUS	M	75-100	SIG	A
346	PA	AP	<5	MBX	CMBX	AUS	M	75-100	SIG	A
347	PA	AP	<5	MBX	CMBX	AUS	M	75-100	SEV	A
348	PA	AP	<5	MBX	CMBX	AUS	M	75-100	SEV	A
349	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
350	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	INC	A
351	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
352	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
353	SC	SC	<5	SCI	CMBX	AUS	CV	75-100	SEV	A
354	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	M	75-100	SEV	A
355	PA	AP	5-30	MBX	CAL	AUS	M	75-100	SIG	A
356	PA	AP	30-60	MBX	CAL	AUS	URB	50-75	SIG	A
357	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	25-50	INC	A
358	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
359	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
360	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
361	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
362	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
363	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
364	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
365	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
366	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
367	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
368	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
369	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
370	BE	RC	30-60	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
371	BE	RC	30-60	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
372	BE	RC	30-60	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
373	PA	AP	60-100	MBX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
374	PA	AP	60-100	MBX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
375	PA	AP	60-100	MBX	CBX	CME	URB	<25	SIG	A
376	PA	AP	30-60	MBX	CBX	CBX	URB	25-50	SIG	A
377	PA	AP	30-60	MBX	CBX	CBX	URB	25-50	SIG	A
378	PA	AP	30-60	MBX	CBX	CBX	URB	25-50	SIG	A
379	PA	AP	30-60	MBX	CBX	CBX	URB	25-50	SIG	A
380	PA	AP	30-60	MBX	CBX	AUS	URB	50-75	SIG	A
381	PA	AP	<5	MBX	CMBX	AUS	M	75-100	SIG	A
382	PA	AP	<5	MBX	CMBX	AUS	M	75-100	INC	A
383	PA	AP	<5	MBX	CMBX	AUS	M	75-100	INC	A
384	PA	AP	5-30	MBX	CMBX	CAL	M	75-100	SIG	A
385	PA	AP	30-60	MBX	CAL	CAL	M	75-100	SIG	A
386	PA	AP	30-60	MBX	CAL	CME	URB	25-50	INC	A

Célula (cod.)	Qual. const.	Tipo ocup.	Área ocup.	Pad. ocup.	Água sup.	Dep. de lixo/ent.	Cob. Solo	Área instab.	Mag. evid.	IS
387	PA	AP	30-60	MBX	CAL	AUS	URB	25-50	INC	A
388	PA	AP	30-60	MBX	CBX	AUS	URB	25-50	SIG	A
389	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	A
390	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
391	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
392	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
393	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
394	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
395	BE	AA	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
396	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
397	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
398	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
399	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
400	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
401	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
402	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
403	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
404	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
405	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
406	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
407	BE	AP	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
408	PAE	AP	30-60	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
409	PAE	AP	30-60	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
410	PA	AP	30-60	BX	CBX	AUS	M	<25	INC	B
411	PA	AP	5-30	MBX	CBX	AUS	M	25-50	SIG	A
412	PA	AP	5-30	MBX	CBX	CBX	M	75-100	SIG	A
413	PA	AP	30-60	MBX	CAL	AUS	M	75-100	SIG	A
414	PA	AP	30-60	MBX	CAL	AUS	URB	<25	SIG	B
415	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
416	BE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
417	BE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
418	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
419	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
420	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
421	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
422	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
423	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
424	BE	AA	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
425	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
426	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
427	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
428	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
429	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
430	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
431	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
432	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
433	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
434	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
435	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B

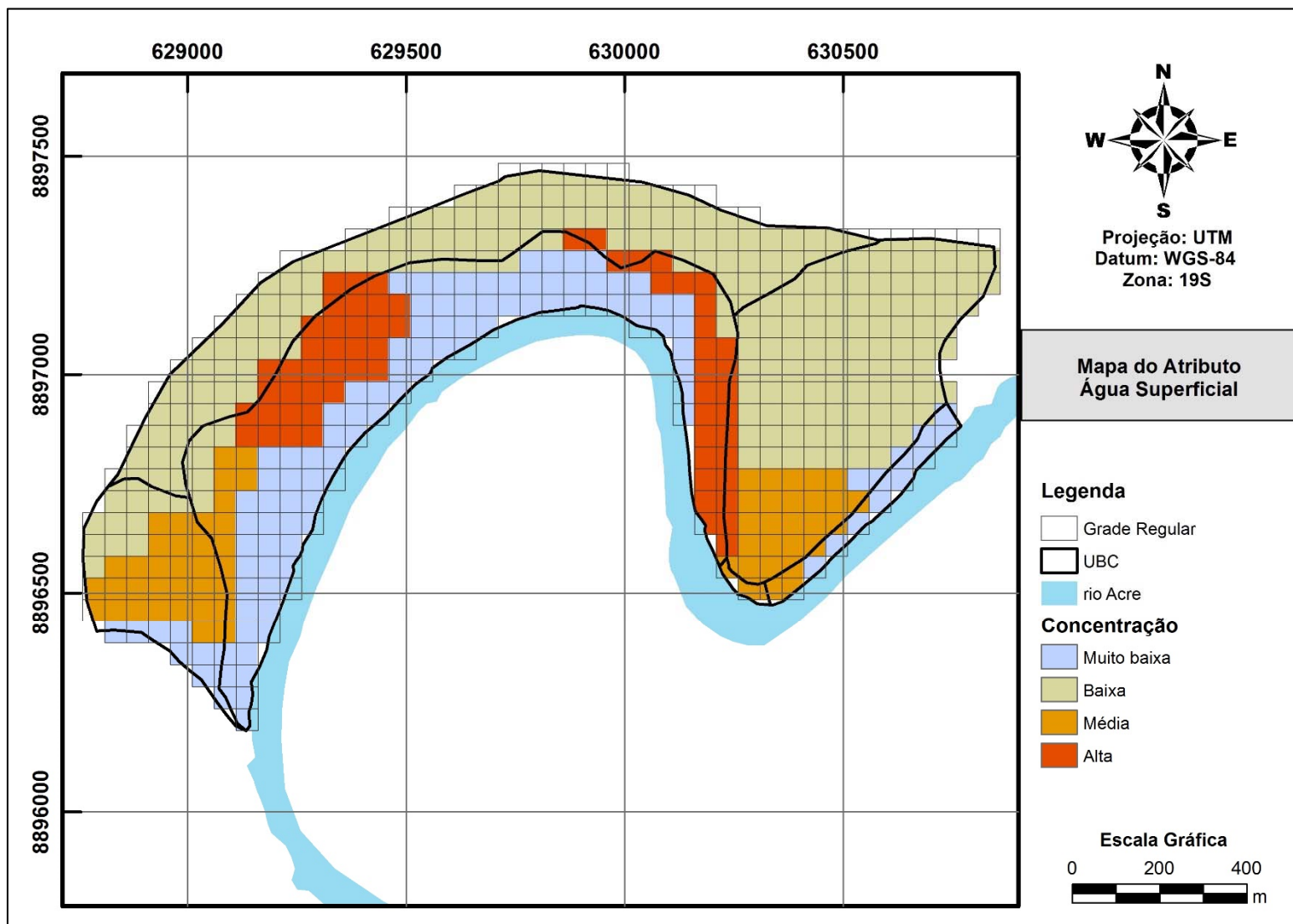
Célula (cod.)	Qual. const.	Tipo ocup.	Área ocup.	Pad. ocup.	Água sup.	Dep. de lixo/ent.	Cob. Solo	Área instab.	Mag. evid.	IS
436	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
437	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
438	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
439	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
440	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
441	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
442	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
443	PAE	RC	60-100	BX	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
444	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
445	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
446	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
447	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
448	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
449	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
450	PAE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
451	PAE	RC	30-60	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
452	PAE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
453	PAE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
454	PAE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
455	PAE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
456	PAE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
457	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
458	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
459	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
460	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
461	BE	RC	60-100	ALTO	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
462	PAE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
463	PAE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
464	PAE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
465	PAE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
466	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B
467	BE	RC	60-100	ME	CBX	AUS	URB	AUS	AUS	B

Legenda: BE (bem estrutura); PAE (providas de alguma estrutura); PA (precária ou ausente); SC (Sem construções); AP (assentamento precário ou subnormal); RC (residencial ou comercial); AA (áreas abertas); ALTO (padrão alto); ME (padrão médio); BX (padrão baixo); MBX (padrão muito baixo); SCI (sem construção ou infraestrutura); CAL (concentração alta); CME (concentração média); CBX (concentração baixa); CMBX (concentração muito baixa); AUS (ausente); URB (urbana); CV (cobertura vegetal); M (mista); INC (incipiente); SIG (significativo); SEV (severo); SEM (sem evidências); A (Suscetibilidade Alta); B (Suscetibilidade Baixa).

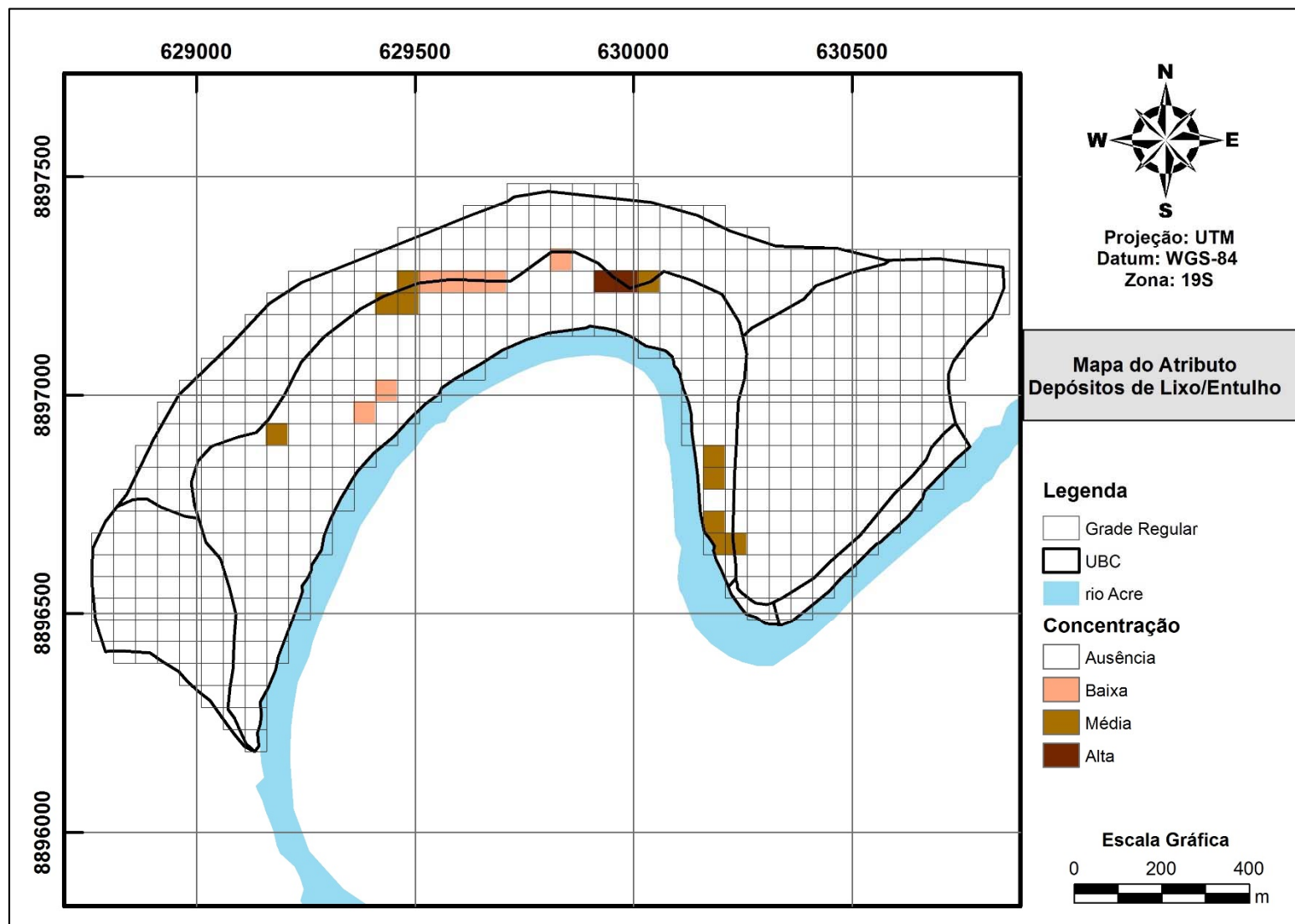
APÊNDICE D

MAPAS DE ATRIBUTOS ANTRÓPICOS

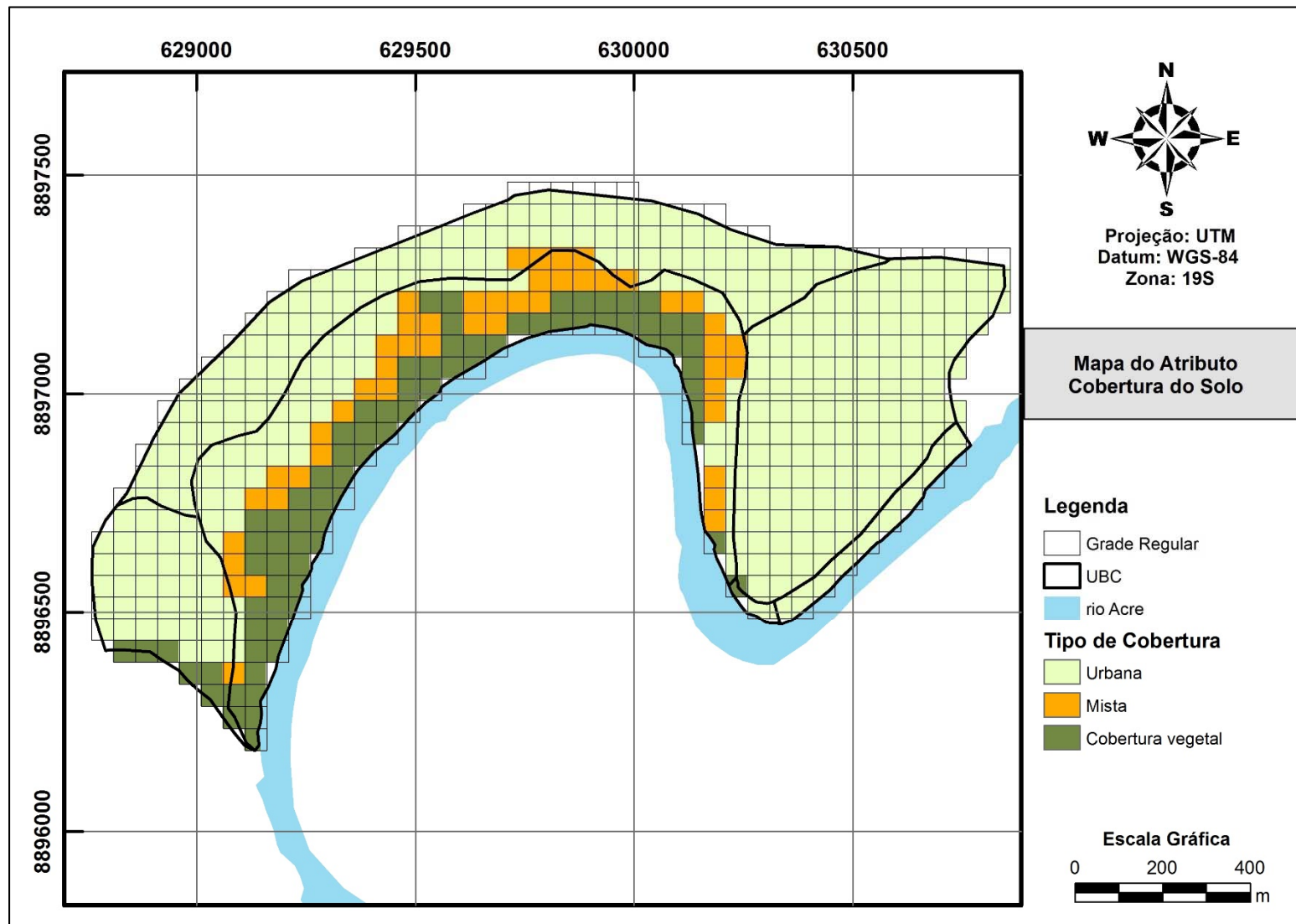
D.1 - MAPA DO ATRIBUTO ÁGUA SUPERFICIAL



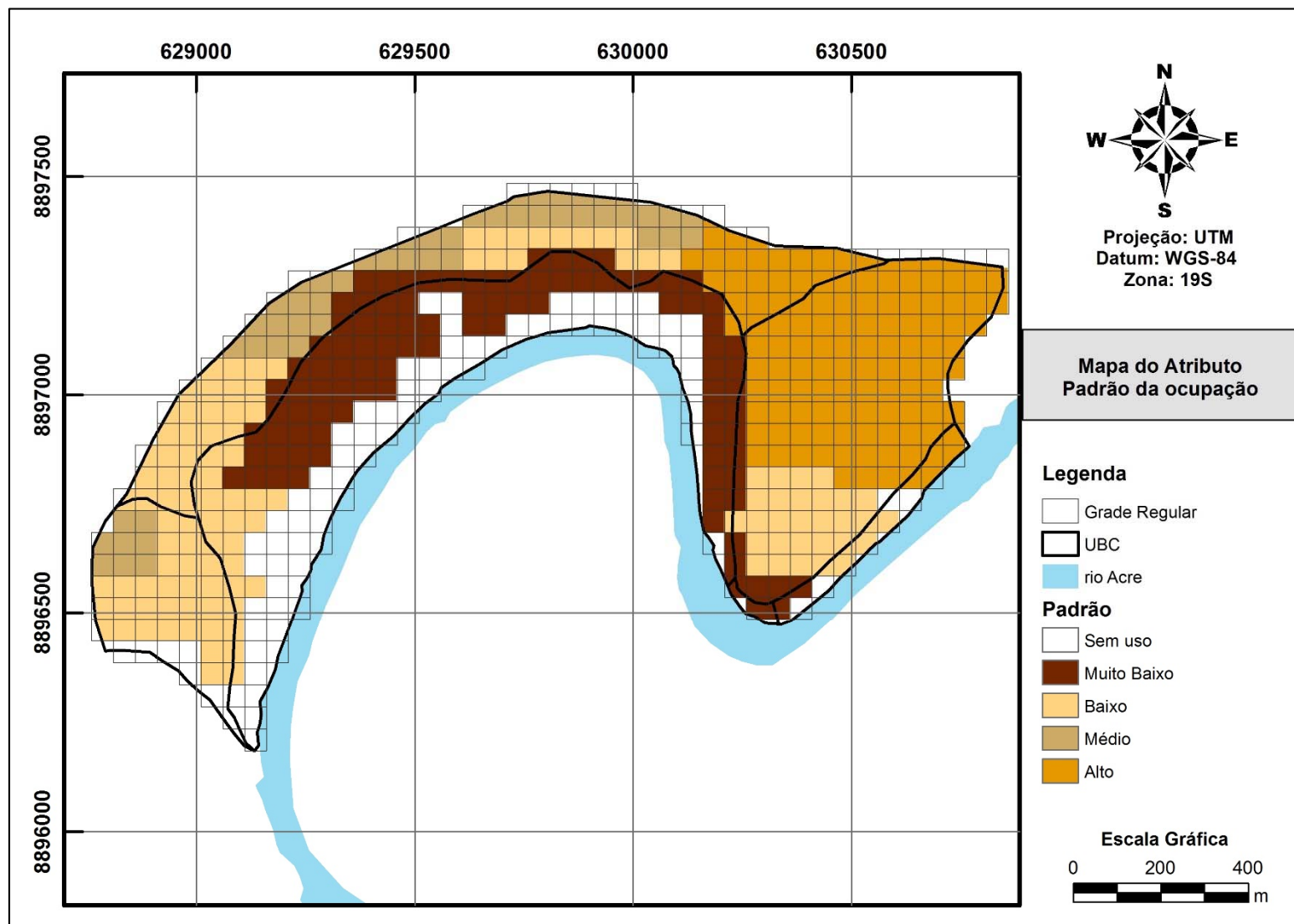
D.2 - MAPA DO ATRIBUTO DEPÓSITO DE RESÍDUOS SÓLIDOS



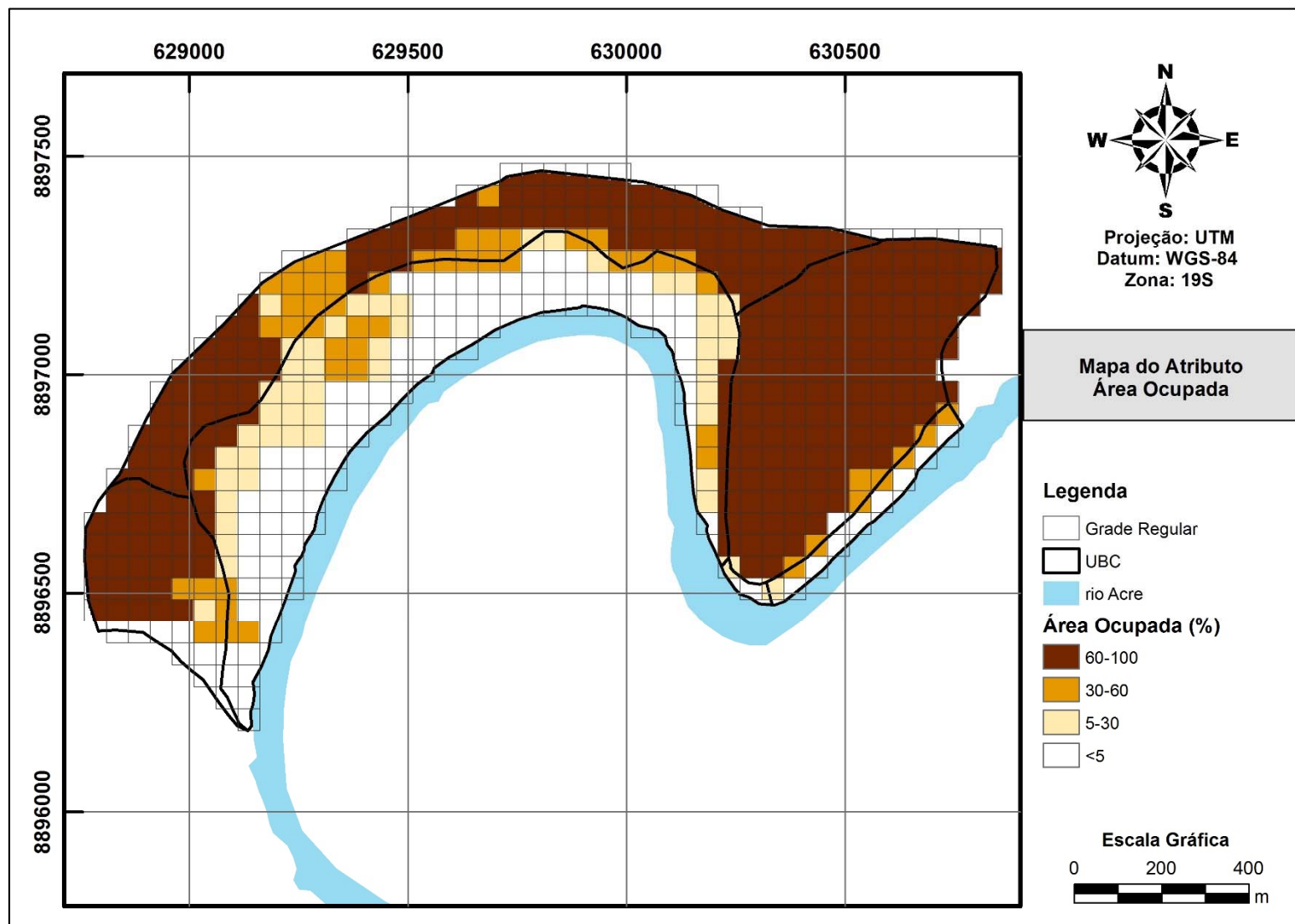
D.3 - MAPA DO ATRIBUTO COBERTURA DO SOLO



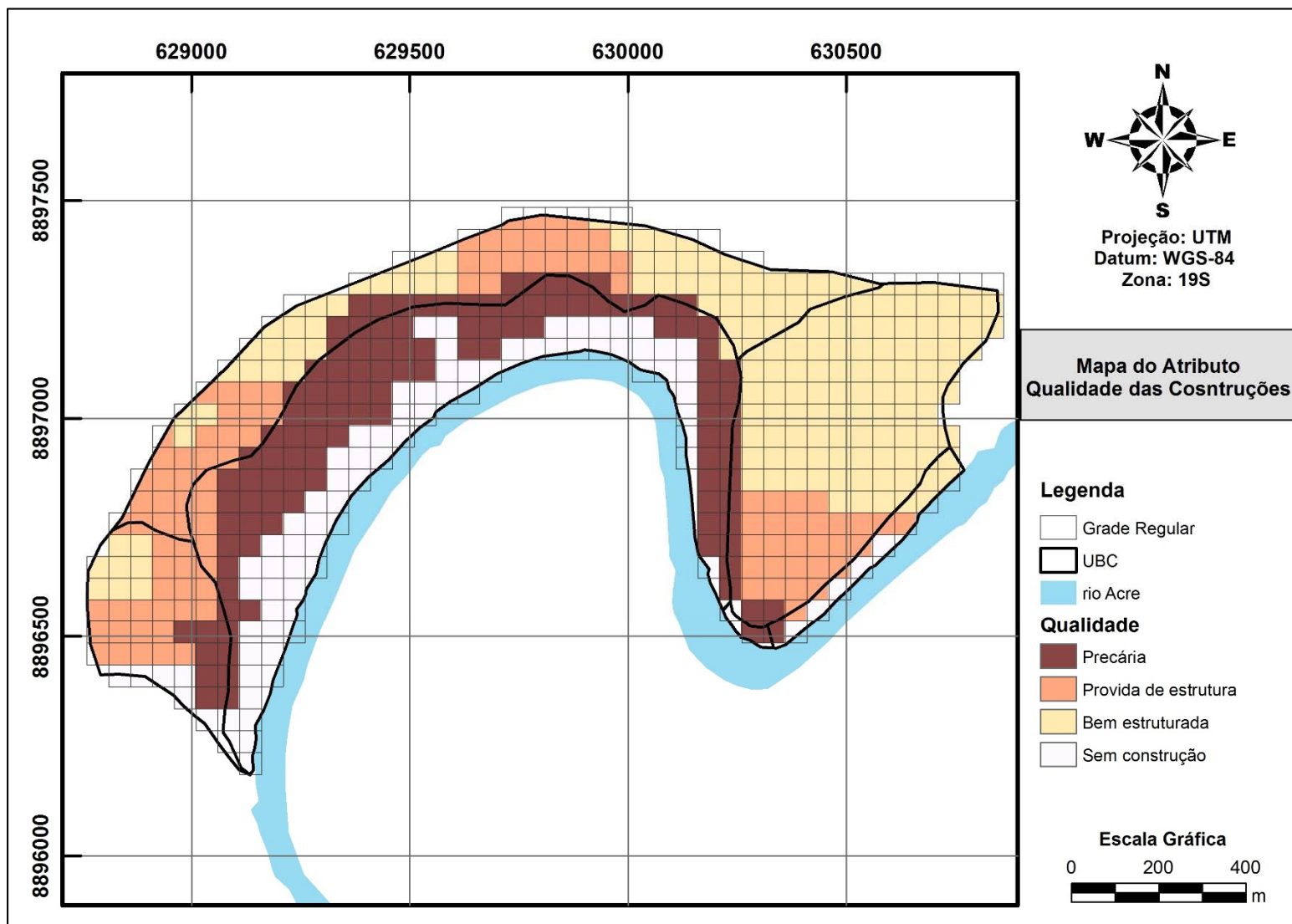
D.4 - MAPA DO ATRIBUTO PADRÃO DA OCUPAÇÃO



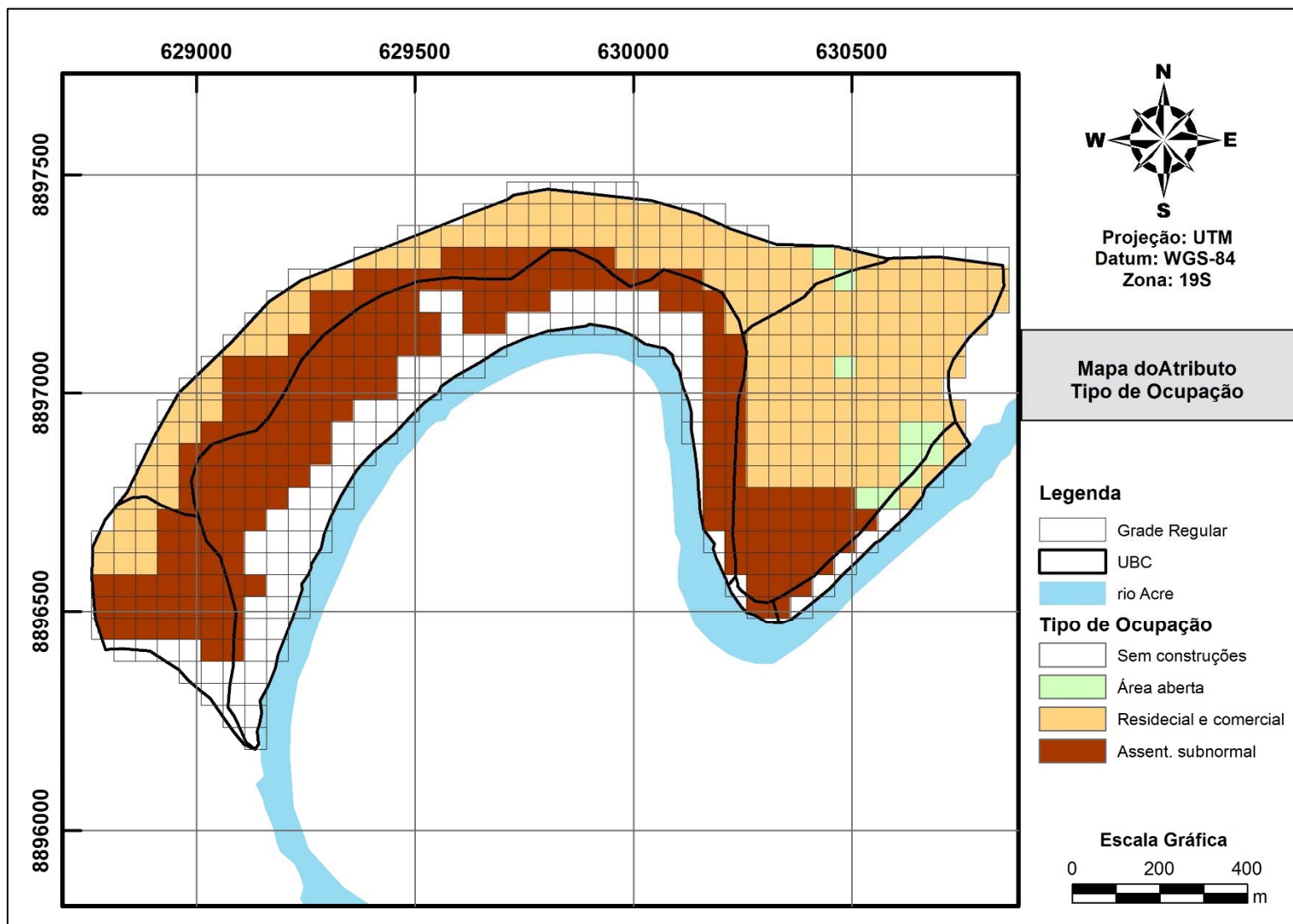
D.5 - MAPA DO ATRIBUTO ÁREA OCUPADA



D.6 - MAPA DO ATRIBUTO QUALIDADE DAS CONSTRUÇÕES



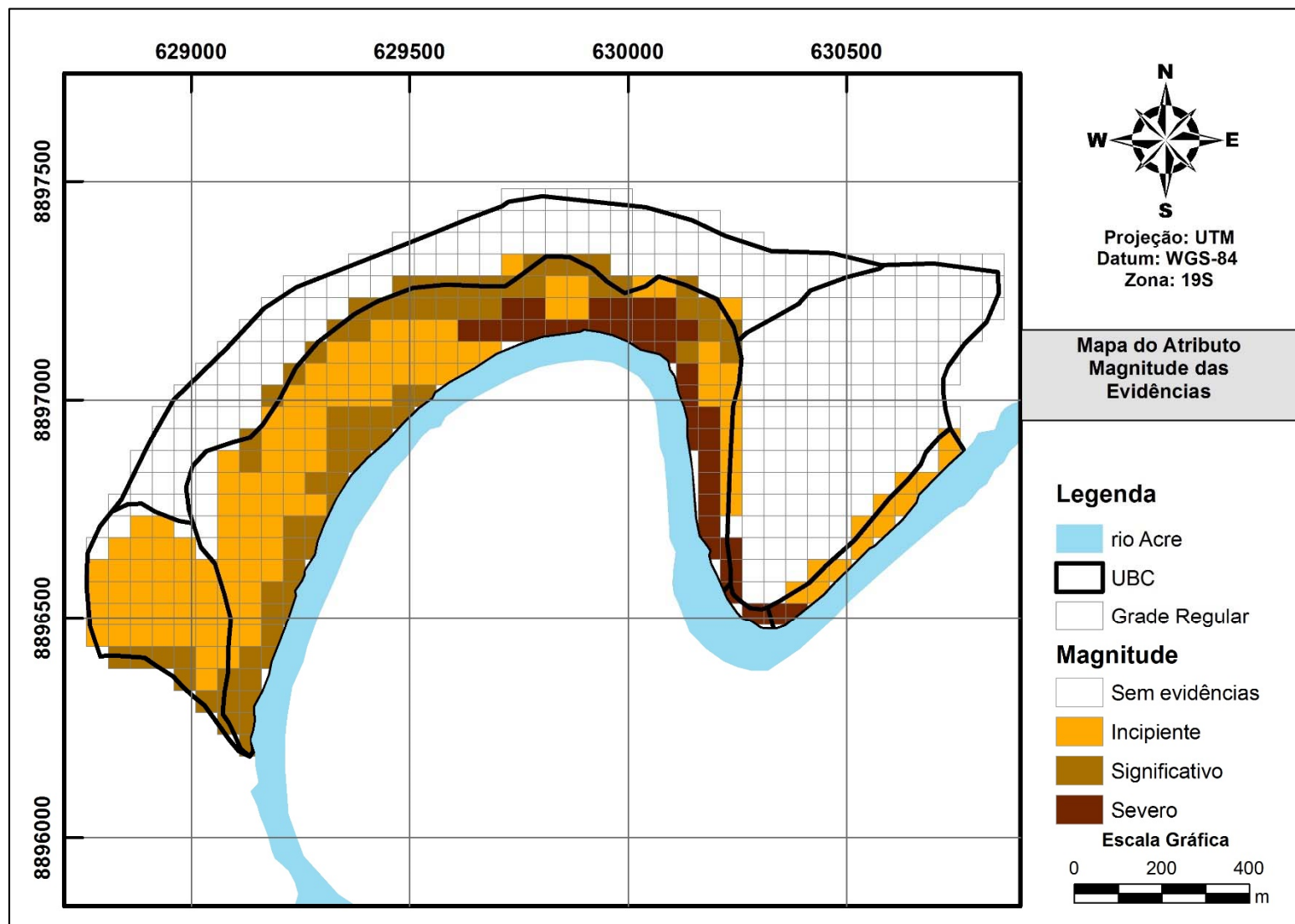
D.7 - MAPA DO ATRIBUTO TIPO DE OCUPAÇÃO



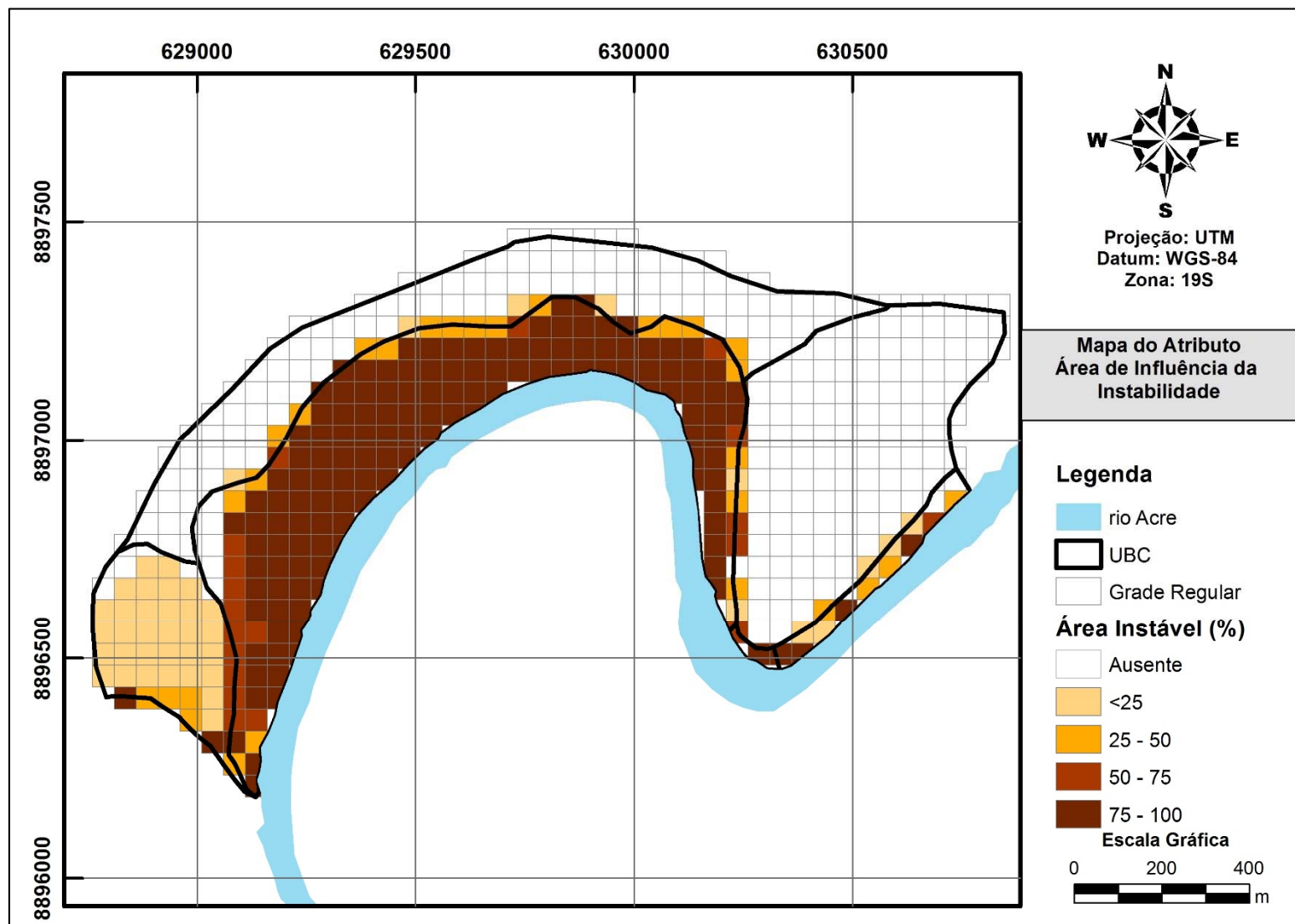
APÊNDICE E

MAPAS DOS ATRIBUTOS CARACTERÍSTICA DA INSTABILIDADE

E.1 - MAPA DO ATRIBUTO MAGNITUDE DAS EVIDÊNCIAS



E.2 - MAPA DO ATRIBUTO ÁREA DE INFLUÊNCIA DA INSTABILIDADE



APÊNDICE F

MATRIZES DE COMPARAÇÃO

F.1 - Matriz relacionada aos indicadores da ameaça.

(AMEAÇA) INDICADORES	COD	Matriz de comparação							Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	
SUSCETIBILIDADE NATURAL	[1]	1	3	3/4					0,3879
POTENCIAL DE INDUÇÃO	[2]	1/3	1	1/3					0,1426
POTENCIAL DE DESTRUIÇÃO	[3]	1 1/3	3	1					0,4695
AV. Máx= 3,0		R.C=0,0					I.C=0,0		

F.2 - Matriz relacionada aos indicadores da vulnerabilidade.

VULNERABILIDADE (INDICADORES)	COD	Matriz de comparação							Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	
GRAU DE RESILIÊNCIA	[1]	1	4						0,8000
DANO POTENCIAL	[2]	1/4	1						0,2000
AV. Máx= 2,0		R.C=0,0					I.C=0,0		

F.3 - Matriz relacionada às classes de suscetibilidade.

SUSCETIBILIDADE (CLASSES)	COD	Matriz de comparação								Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	
ALTA	[1]	1	2	9						0,6152
MÉDIA	[2]	1/2	1	5						0,3188
BAIXA	[3]	1/9	1/5	1						0,0660
AV. Máx= 3,00123		R.C=0,00106					I.C=0,000615			

F.4 - Matriz relacionada aos atributos do potencial de indução.

POTENCIAL DE INDUÇÃO (ATRIBUTOS)	COD	Matriz de comparação								Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	
COBERTURA DO SOLO	[1]	1	1	1/2						0,2500
LANÇ. DE LIXO/ENTULHO EM ENCOSTA	[2]	1	1	1/2						0,2500
ÁGUA SUPERFICIAL	[3]	2	2	1						0,5000
AV. Máx= 3,0		R.C=0,0					I.C=0,00			

F.5 - Matriz relacionada aos atributos do potencial de destruição.

POTENCIAL DE DESTRUIÇÃO (ATRIBUTOS)	COD	Matriz de comparação								Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	
MAGNITUDE DAS EVIDÊNCIAS	[1]	1	2	2						0,5000
ÁREA DE INFLUÊNCIA DA INSTABILIDADE	[2]	1/2	1	1						0,2500
PROCESSO ATUANTE/ESPERADO	[3]	1/2	1	1						0,2500
AV. Máx= 3,0		R.C=0,0					I.C=0,0			

F.6 - Matriz relacionada aos atributos do dano potencial.

DANO POTENCIAL (ATRIBUTOS)	COD	Matriz de comparação								Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	
PADRÃO DA OCUPAÇÃO	[1]	1	1							0,5000
ÁREA OCUPADA (%)	[2]	1	1							
AV. Máx= 2,0		R.C=0,0				I.C=0,0				

F.7 - Matriz relacionada aos atributos do grau de resiliência.

GRAU DE RESILIÊNCIA (ATRIBUTOS)	COD	Matriz de comparação								Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	
QUALIDADE DAS CONSTRUÇÕES	[1]	1	1							0,5000
TIPO DE OCUPAÇÃO	[2]	1	1							0,5000
AV. Máx= 2,0		R.C=0,0				I.C=0,0				

F.8 - Matriz relacionada às classes do atributo água superficial.

ÁGUA SUPERFICIAL (CLASSES)	COD	Matriz de comparação								Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	
MUITO BAIXA OU AUSENTE	[1]	1	1/3	1/5	1/9					0,0514
CONCENTRAÇÃO BAIXA	[2]	3	1	1/2	1/5					0,1287
CONCENTRAÇÃO MÉDIA	[3]	5	2	1	1/3					0,2333
CONCENTRAÇÃO ALTA	[4]	9	5	3	1					0,5866
AV. Máx=4,03708		R.C=0,01373				I.C=0,01236				

F.9 - Matriz relacionada às classes do atributo depósito de resíduos.

DEPÓSITO DE RESÍDUOS (CLASSES)	COD	Matriz de comparação								Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	
AUSENTE	[1]	1	1/3	1/5	1/7					0,0572
CONCENTRAÇÃO BAIXA	[2]	3	1	1/4	1/6					0,1101
CONCENTRAÇÃO MÉDIA	[3]	5	4	1	1/2					0,3079
CONCENTRAÇÃO ALTA	[4]	7	6	2	1					0,5248
AV. Máx=4,1219		R.C=0,04515				I.C=0,040633				

F.10 - Matriz relacionada às classes do atributo cobertura do solo.

COBERTURA DO SOLO (CLASSES)	COD	Matriz de comparação								Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	
COBERTURA VEGETAL	[1]	1	1/7	1/4						0,0796
URBANA	[2]	7	1	3						0,6556
MISTA	[3]	4	1/3	1						0,2648
AV. Máx= 3,03254		R.C=0,02805				I.C=0,01627				

F.11 - Matriz relacionada às classes do atributo padrão da ocupação.

PADRÃO DA OCUPAÇÃO (CLASSES)	COD	Matriz de comparação								Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	
ALTO	[1]	1	2	3	5	9				0,4342
MÉDIO	[2]	1/2	1	2	4	8				0,2824
BAIXO	[3]	1/3	1/2	1	2	6				0,1638
MUITO BAIXO	[4]	1/5	1/4	1/2	1	3				0,0850
SEM CONSTRUÇÃO OU INFRAESTRUTURA	[5]	1/9	1/8	1/6	1/3	1				0,0346
AV. Máx=5,07038		R.C=0,01571				I.C=0,01759				

F.12 - Matriz relacionada às classes do atributo área ocupada pela instabilidade.

ÁREA OCUPADA (%) (CLASSES)	COD	Matriz de comparação								Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	
<5	[1]	1	1/3	1/5	1/7					0,0604
5-30	[2]	3	1	1/2	1/3					0,1623
30-60	[3]	5	2	1	1/2					0,2879
60-100	[4]	7	3	2	1					0,4894
AV. Máx= 4,0192		R.C=0,00711				I.C=0,0064				

F.13 - Matriz relacionada às classes do atributo qualidade das construções.

QUALIDADE DAS CONSTRUÇÕES (CLASSES)	COD	Matriz de comparação								Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	
ESTRUTURA PRECÁRIA OU AUSENTE	[1]	1	2	4	9					0,5127
PROVIDAS DE ALGUMA ESTRUTURA	[2]	1/2	1	2	7					0,2848
BEM ESTRUTURADA	[3]	1/4	1/2	1	5					0,1594
SEM CONSTRUÇÃO	[4]	1/9	1/7	1/5	1					0,0430
AV. Máx=4,06115		R.C=0,02265				I.C=0,020383				

F.14 - Matriz relacionada às classes do atributo tipo de ocupação.

TIPO DE OCUPAÇÃO (CLASSES)	COD	Matriz de comparação								Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	
AGLOMERADO SUBNORMAL	[1]	1	2	6	9					0,5286
RESIDENCIAL E COMERCIAL	[2]	1/2	1	5	7					0,3372
ÁREAS ABERTAS	[3]	1/6	1/5	1	2					0,0847
SEM CONSTRUÇÃO	[4]	1/9	1/7	1/2	1					0,0495
AV. Máx=4,04195		R.C=0,01554				I.C=0,013983				

F.15 - Matriz relacionada às classes do atributo magnitude das evidências.

MAGNITUDE DAS EVIDÊNCIAS (CLASSES)	COD	Matriz de comparação								Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	
AUSENTE	[1]	1	1/4	1/6	1/9					0,0465
INCIPIENTE	[2]	4	1	1/3	1/5					0,1284
SIGNIFICATIVO	[3]	6	1/3	1	1/2					0,2965
SEVERO	[4]	9	1/5	1/2	1					0,5285
AV. Máx= 4,07937		R.C=0,0294				I.C=0,026456				

F.16 - Matriz relacionada às classes do atributo área de influência da instabilidade.

ÁREA DE INFLUÊNCIA DA INSTABILIDADE (CLASSES)	COD	Matriz de comparação								Peso
		[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	
AUSÊNCIA	[1]	1	1/4	1/5	1/7	1/9				0,0357
<25%	[2]	4	1	1/2	1/3	1/5				0,0989
25 a 50%	[3]	5	2	1	1/2	1/3				0,1601
50 a 75%	[4]	7	3	2	1	1/2				0,2638
75 a 100%	[5]	9	5	3	2	1				0,4415
AV. Máx= 5,08019		R.C=0,0179				I.C=0,02004				