

AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS EM MARGENS DE CURSOS D'ÁGUA DA CIDADE DE RIO BRANCO (AC).

SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT TO GRAVITATIONAL MASS MOVEMENTS IN RIVER BANKS OF RIO BRANCO CITY, BRAZIL.

Ricardo Ribeiro do NASCIMENTO¹, Gustavo Ferreira SIMÕES²

(1) Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – CCET/UFAC. Bloco Omar Sabino, Campus Universitário. BR-364, km 4. Distrito Industrial, 69.920-900. Rio Branco/AC. Endereço eletrônico: rricardo@ufac.br

(2) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Escola de Engenharia da UFMG, Av. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha 31270-901. Belo Horizonte /MG. Endereço eletrônico: gustavo@desa.ufmg.br

Introdução
Área de Estudo
Materiais
Procedimentos Metodológicos
Resultados e Discussão
Conclusões
Agradecimentos
Referências

RESUMO - Este artigo apresenta os resultados do estudo de avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa gravitacionais que foi realizado em duas áreas marginais da cidade de Rio Branco-AC. O estudo baseou-se na análise integrada de informações básicas do meio físico. Essas informações foram sistematizadas em um banco de dados georreferenciado e permitiram individualização dos terrenos em unidades fisiográficas, cujas características geológico-geotécnicas foram avaliadas frente aos processos geodinâmicos mapeados. Os resultados consistem principalmente na carta de suscetibilidade em escala 1:5.000, obtida como o resultado da inter-relação das unidades mapeadas e dos fatores indutores dos processos deflagrados.

Palavras-chave: Movimento de massa gravitacional. Suscetibilidade. Rio Branco. Acre. Brasil.

ABSTRACT - This article presents the results of the evaluation study of the susceptibility to gravitational mass movements, which was carried out in two marginal areas of the city of Rio Branco-AC, Brazil. The study was based on an integrated analysis of basic environmental information. The information was systematized in a geographic database and allowed individualization of the area into physiographic units, in which geological-geotechnical characteristics were evaluated by comparison with the mapped processes. The results consist mainly of the susceptibility chart in 1:5,000 scale, obtained from the interrelation between the mapped units and the inducing factors of the triggered processes.

Keywords: Gravitational mass movement. Susceptibility. Rio Branco. Acre. Brazil.

INTRODUÇÃO

Em alguns canais fluviais do sistema hidrográfico amazônico, como o rio Acre e seus tributários, são observadas diversas feições de instabilidade com características muito peculiares. Conhecidas, regionalmente, pela designação de Terras Caídas, essas formas de instabilidade são decorrentes de processos geodinâmicos externos que podem associar, em uma mesma unidade de paisagem, diferentes tipos de movimentos de massa gravitacionais.

Embora não ocasionem um elevado número de vítimas fatais, processos dessa natureza têm causado, direta ou indiretamente, danos extensos às propriedades em diversas cidades da região Norte do Brasil.

Em razão da falta do necessário conhecimento, principalmente, sobre a gênese

dos processos, há uma imensa dificuldade para se equacionar, de forma clara e objetiva, as porções do relevo mais favoráveis ao desenvolvimento desses fenômenos naturais, o que muitas vezes, resulta em projetos construtivos inadequados e no planejamento deficiente da ocupação dessas áreas.

Entende-se, portanto, que os mapeamentos voltados à caracterização e avaliação geotécnica dos terrenos podem fornecer subsídios importantes à problemática abordada, à medida que promovem a indicação das características e comportamentos dos terrenos em função da avaliação pretendida (Fernandes & Cerri, 2011).

Vedovello (2000) destaca que as potencialidades e limitações dos terrenos devem ser avaliadas com base no entendimento dos mecanismos associados ao fenômeno

geológico avaliado e como esses se associam aos diferentes tipos de relevo e materiais geológicos.

Dentre os procedimentos de aquisição de dados mais usados em mapeamento geotécnicos, 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).

Frente ao exposto, o objetivo deste trabalho

é contribuir para o melhor conhecimento de algumas características geológico-geotécnicas que se relacionam com processos de instabilidade atuantes nas margens em cursos d'água de uma região pouco estudada sobre esse tema, que é a cidade de Rio Branco (Figura 1), capital do estado do Acre.

Sob a perspectiva de que essa região é frequentemente atingida por movimentos de massa gravitacionais, procurou-se caracterizar os tipos de movimentos de massa gravitacionais a partir da análise integrada dos componentes do meio físico (relevo, cursos d'água e materiais geológicos), visando o zoneamento da região em diferentes classes de suscetibilidade.

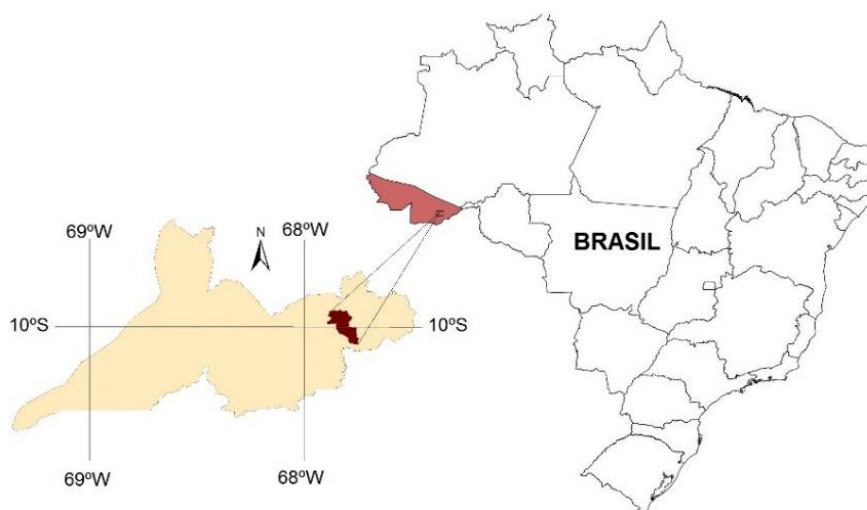


Figura 1 - Localização do município de Rio Branco.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange duas faixas de terrenos adjacentes aos principais cursos d'água da área urbana de Rio Branco, o rio Acre e o igarapé São Francisco. Essas áreas receberam as designações “área rio Acre” e “área igarapé São Francisco” para indicar o canal com o qual se limitam, como pode ser observado na Figura 2.

O rio Acre, com uma largura média de 100m, é o maior canal de drenagem do município. Na área urbana de Rio Branco, o igarapé São Francisco é o maior afluente do rio Acre. Com largura média de 15m, este curso d'água é o principal responsável pela macrodrenagem local, respondendo por cerca de 70% da drenagem natural (Hid, 2000).

Uma característica marcante desse sistema fluvial para promoção de movimentos de massa gravitacionais diz respeito à relação entre as chuvas e as descargas dos canais.

O regime pluviométrico da região é caracterizado por um período chuvoso, cujo trimestre mais crítico, ocorre entre janeiro e março e é responsável por cerca de 40% da precipitação total anual (1.944mm).

A distribuição temporal das chuvas nessa região resulta em alterações bruscas da cota dos canais, refletindo diretamente nas características da geomorfologia da Bacia em que os mesmos estão inseridos (Latrubresse, 1992).

Em Rio Branco, foram registrados, pela Coordenadoria de Defesa Civil Estadual, entre 1971 e 2016, 23 eventos de enchentes no rio Acre, com vazões acima de 900m³/s, entre os meses de janeiro e março, com cotas superiores a 13,0m; e 11 eventos de vazões inferiores a 50m³/s, relacionadas a níveis inferiores a 1,8m.

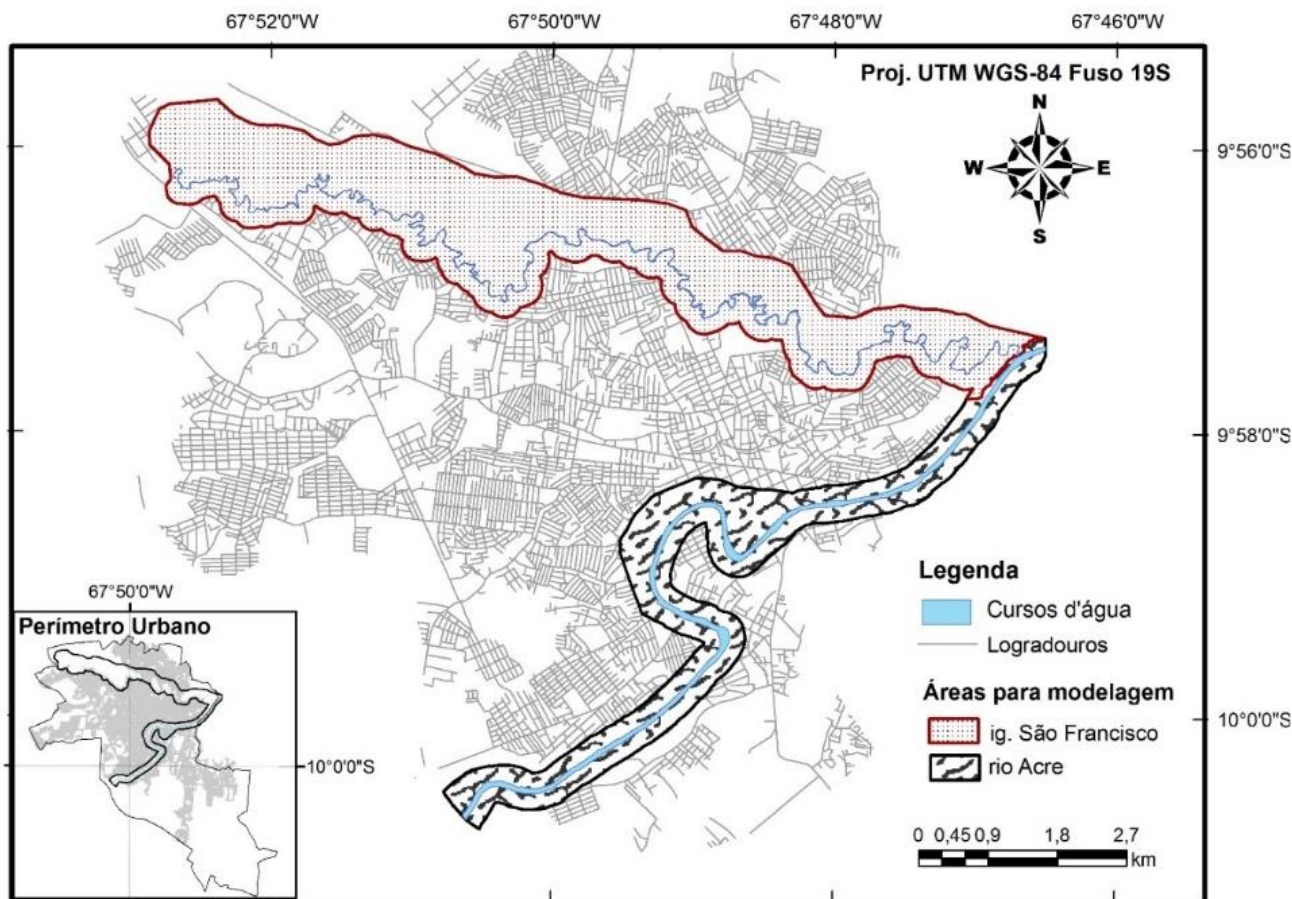


Figura 2 - Localização das áreas de avaliação.

Uma característica marcante desse sistema fluvial para promoção de movimentos de massa gravitacionais diz respeito à relação entre as chuvas e as descargas dos canais.

O regime pluviométrico da região é caracterizado por um período chuvoso, cujo trimestre mais crítico, ocorre entre janeiro e março e é responsável por cerca de 40% da precipitação total anual (1.944mm).

A distribuição temporal das chuvas nessa região resulta em alterações bruscas da cota dos canais, refletindo diretamente nas características da geomorfologia da Bacia em que os mesmos estão inseridos (Latrubresse, 1992).

Em Rio Branco, foram registrados, pela Coordenadoria de Defesa Civil Estadual, entre 1971 e 2016, 23 eventos de enchentes no rio Acre, com vazões acima de 900m³/s, entre os meses de janeiro e março, com cotas superiores a 13,0m; e 11 eventos de vazões inferiores a 50m³/s, relacionadas a níveis inferiores à 1,8m.

O revelo local é sustentado por rochas sedimentares, de origem continental e de idade cenozoica, constituídas basicamente por

argilitos e siltitos, maciços ou finamente laminados, pertencentes à Formação Solimões (Brasil, 1976).

Sob o aspecto geomorfológico, o trecho selecionado envolve regiões com características ambientais específicas, visto que atravessa duas províncias distintas: a Depressão do Rio Branco e a Planície Amazônica (Acre, 2006).

A Depressão do Rio Branco é caracterizada por apresentar colinas suaves com topos aplainados ou pouco convexos e vales em V com baixo grau de dissecação. Nessa unidade predominam solos plásticos, com textura argilosa ou argilo-siltosa, sotopostos em discordância angular com as rochas sedimentares da formação do Solimões (Acre, 2006; Cavalcante, 2006).

A Planície Amazônica se forma por colmatagem de sedimentos em suspensão e pela construção de planícies e terraços orientada por ajustes tectônicos e acelerada por evolução de meandros. Os padrões de drenagem nela presentes são o meândrico e o anastomosado, indicando ajuste hidrodinâmico em áreas rebaixadas. Ela é caracterizada por vários níveis

de terraços e as várzeas recentes, com diques e lagos de meandro (Acre, 2006; Latrubresse, 1996).

Na área de estudo, Latrubresse (1992) observou que esta unidade é composta pelos depósitos aluviais quaternários e sedimentos recentes, que fazem parte da planície de inundação do rio Acre. Feres (1998) e Maia (2003) observaram que os materiais inconsolidados presentes nesta unidade apresentam espessura variável e são constituídos por areias finas, com intercalações

entre camadas orgânicas e solos moles.

Devido à distinção de contextos geológico e geomorfológico, os movimentos de massa gravitacionais atuantes nas áreas avaliadas se processam com intensidade e características distintas.

Os rastejos e os escorregamentos rotacionais são os movimentos de massa gravitacionais mais significativos nessa região, devido ao volume da massa movimentada e por causarem perdas materiais significativas às ocupações ali presentes (Oliveira & Ferreira, 2006).

MATERIAIS

As informações utilizadas nesta pesquisa foram obtidas por meio de trabalhos de campo, produtos cartográficos existentes e imagens de sensoriamento. Os principais materiais utilizados foram:

- Mosaico digital de fotografias 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 de um metro na escala 1:5.000, obtido por

perfilamento a laser aerotransportado no ano de 2013;

- Base cartográfica em escala de 1:5.000, do ano 2013, contendo planos de informações de logradouros, lotes, cursos d'água, 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);
- Banco de dados de sondagem do tipo SPT (*Standard Penetration Test*) contendo 23 perfis inseridos na área de estudo.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento do trabalho foi organizado em três etapas principais, fundamentando-se na análise integrada das características do meio físico para definir das unidades da paisagem e inferir sobre os fatores exógenos atuantes.

Inicialmente, procedeu-se uma pesquisa bibliográfica e documental que subsidiou o desenvolvimento de uma base teórico-metodológica, a construção de um banco de dados geográfico e a definição de critérios para avaliação dos terrenos. A etapa seguinte consistiu no tratamento das informações disponíveis com duas finalidades principais: realizar uma compartimentação fisiográfica preliminar dos terrenos e identificar áreas com sinais ou evidências de instabilidade. Por fim, os esforços concentraram-se na realização de trabalhos de campo que visaram à caracterização geotécnica das áreas compartimentadas e à identificação de fatores relacionados aos processos deflagrados.

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

- **P1 (Modelo digital do terreno ou 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, considerando a escala de trabalho e reconhecendo a importância do MDT para o sucesso das etapas subsequentes, 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)*.
- **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*).

- **P3 (Mapa de compartimentos)** – Com base no plano P2, foram identificadas as linhas de ruptura de declive, que permitiram definir a segmentação dos terrenos em polígonos representativos de superfícies aplainadas (planícies e topos) e superfícies inclinadas.

O passo seguinte foi a caracterização de cada compartimento quanto aos atributos declividade e amplitude. Um plano de informações referente à declividade 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 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).

A amplitude foi obtida 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.

O mapa de unidades compartimentadas foi cruzado com o mapa geológico de Oliveira e Ferreira (2006), o que possibilitou um enquadramento preliminar dos compartimentos quanto ao setor geomorfológico com base na estimativa dos materiais geológicos presentes em cada compartimento.

Os trabalhos de campo associados à análise das sondagens SPT objetivaram a obtenção de dados relacionados com a textura e a espessura

dos materiais inconsolidados, os tipos litológicos, a presença de nível freático e as características dos processos atuantes. Os dados contidos nos boletins de sondagem foram confirmados e extrapolados para outras áreas com semelhança morfológica, com base na análise tátil-visual de perfis de alteração expostos em taludes marginais e cortes nos terrenos. 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 às drenagens e, quando possível, sobre o período de ocorrência do evento.

As unidades decorrentes da compartimentação preliminar constituíram a base para o armazenamento dos dados geotécnicos, permitindo que os diferentes compartimentos fossem categorizados em Unidades Geológico-Geotécnicas (UGGs) e Subunidades Geológico-Geotécnicas (SUGGs). As UGGs representam 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.

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

A definição do grau de predisposição dos diferentes tipos de SUGGs baseou-se na hierarquização de seus respectivos atributos, de acordo com a maior ou menor influência que essas características exercem no condiciona-

mento dos processos geodinâmicos. Nesse sentido, foram considerados, em ordem decrescente, os seguintes atributos: declividade, material de cobertura inconsolidada e a concentração de processos.

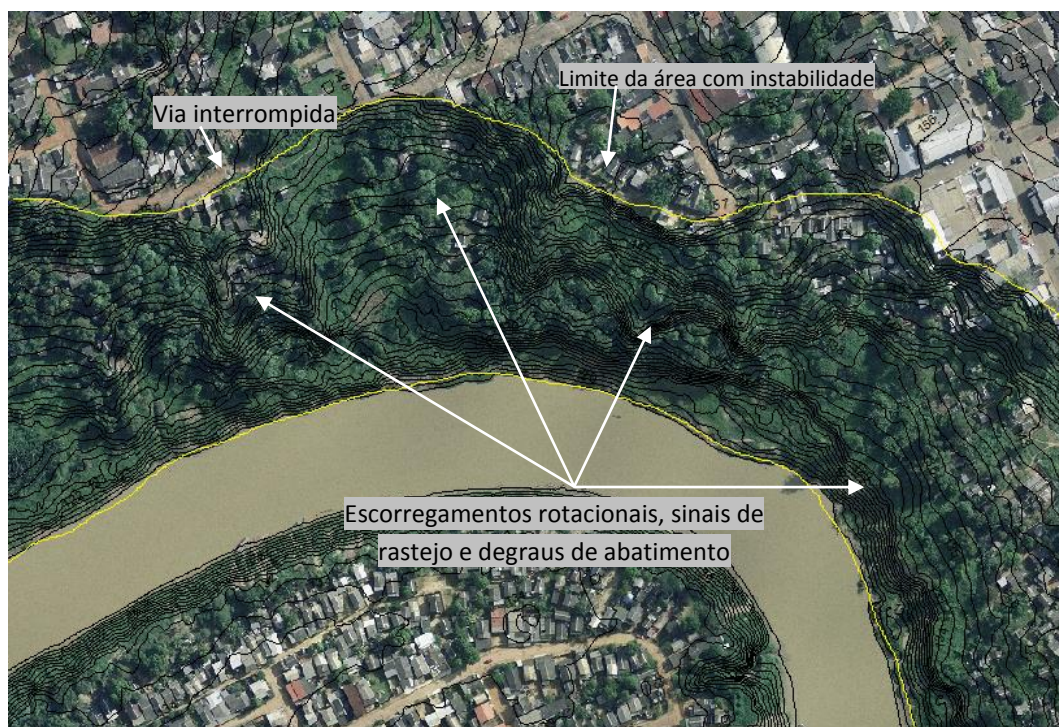


Figura 3 - Delimitação de uma área com múltiplas feições (AMFer).

Os trabalhos realizados permitiram inferir que os processos considerados estão intrinsecamente associados aos efeitos causados pela infiltração das águas de chuva e pelas solicitações impostas pela dinâmica fluvial (erosão e oscilação de nível).

Conquanto seja reconhecido o papel da pluviosidade como agente destabilizador 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 fatores relacionados à distribuição da velocidade da água (perfil longitudinal da margem) e à área da unidade 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 & Sutili, 2012). O perfil longitudinal da margem busca 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.

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 três 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.

A tomada de decisão quanto ao grau de suscetibilidade resultou da combinação entre o grau de predisposição das subunidades geológico-geotécnicas para o desenvolvimento

de eventos e os fatores de indução considerados.

A importância relativa desses elementos foi estimada por meio da rotina de apoio à decisão denominada de Processo de Análise Hierárquico – AHP (Saaty, 1990).

O AHP é uma técnica de análise baseada em uma árvore de decisão, que consiste em formalizar a compreensão intuitiva de problemas complexos, mediante a um modelo hierárquico conceitual, nos quais, os julgamentos realizados, são comparados e avaliados por meio da obtenção de pesos normalizados para cada critério avaliado. Alguns exemplos de sua aplicação em estudos relacionados à movimentos de massa gravitacionais podem ser encontrados em trabalhos como: Rodrigues & Zuquete (2006); Faria & Augusto Filho (2011); Paula & Cerri (2012); Kayastha et al. (2013).

Seguindo a sistemática do AHP, descrita por Saaty (1990) na qual os critérios de decisão foram estruturados em matrizes quadradas e recíprocas, posteriormente, comparados aos pares, conforme escala predefinida apresentada na tabela 1.

As operações matemáticas que permitiram a obtenção desses pesos normalizados foram realizadas por meio do programa ASSISTAT 7.7 (Silva & Azeredo, 2009). Uma vez que as comparações e os pesos relativos foram estabelecidos, fez-se a aferição da coerência dos julgamentos, considerando-se, para tal, os valores de razão de consistência menores ou iguais a 0,10, como preconiza o método AHP.

O grau de suscetibilidade para cada compartimento foi obtido a partir da combinação linear entre os pesos de critérios e classes, por meio da seguinte equação:

$$IS = \sum_{i=1}^n PRC_i \times PRL_i \quad (1)$$

Em que: *IS* é o índice de suscetibilidade natural no compartimento *i*; *PRC_i* é peso relativo normalizado do critério no compartimento *i*; *PRL_i* é o peso relativo normalizado da classe presente no compartimento *i*; *n* é número de critérios.

Por fim, os resultados foram validados através da sobreposição entre mapa gerado e o grupo de feições cadastradas.

Tabela 1 - Escala de julgamento de importância (modificada de Saaty, 1990).

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 à 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

RESULTADOS E DISCUSSÃO

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 iden-

tificar três Unidades Geológico-Geotécnicas que estão associadas aos setores geomorfológicos da Depressão do Rio Branco e da Planície Amazônica. Essas unidades foram segmentadas em 17 subunidades para representar as variações quanto à declividade e à amplitude dos compartimentos.

A distribuição dessas áreas é apresentada na Figura 4 e a descrição de suas características

geológico-geotécnica encontra-se, de forma resumida, nos quadros 1 e 2.

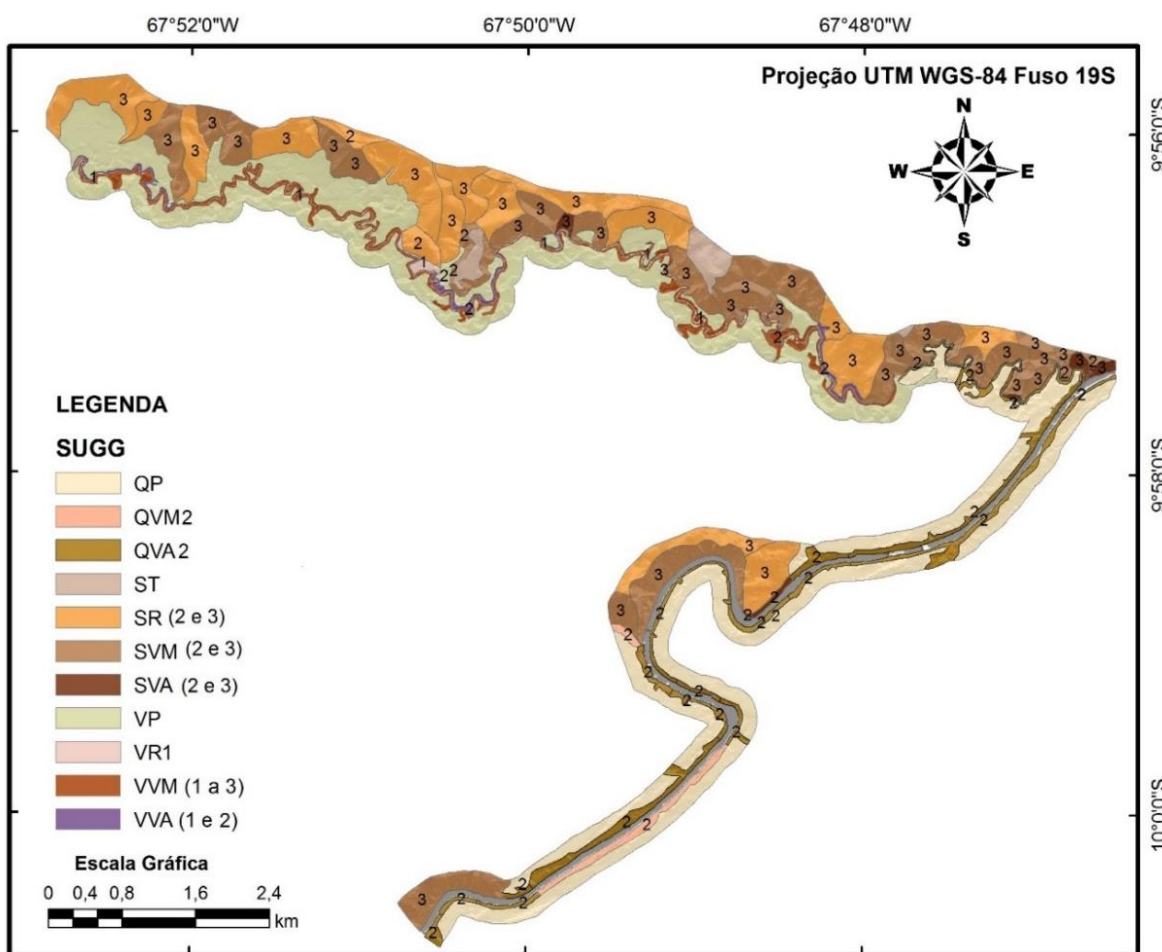


Figura 4 - Mapa de compartimentos geológico-geotécnicos.

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, em que 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 de massa gravitacionais 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 5, assim como a localização das seções geológico-geotécnicas utilizadas para caracterização dos processos.

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 6) que exhibe a concentração de áreas instáveis por subunidade geológico-geotécnica. As SUGGs que não possuem qualquer registro de instabilidade foram excluídas desse gráfico.

Quadro 1. Síntese das características do meio físico nas unidades geológico-geotécnicas, situadas no setor geomorfológico da Depressão do Rio Branco.

Características do Meio Físico			SUGG	
UGG	Geologia	Relevo e nível d'água	Material inconsolidado	
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).	Topos aplainados ou pouco convexos (T) Rampas, superfícies com declividade entre 6 e 12% (R) Amplitude*: 2 ou 3 Vertente com declividade moderada, entre 12 e 20% (VM) Amplitude*: 2 ou 3 Vertente com declividade alta, maior que 20% (VA); Amplitude*: 2 ou 3	ST SR2 SR3 SVM2 SVM3 SVA2 SVA3
		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: > 3,0m; 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) Rampas - superfícies com declividade entre 6 e 12% (R); Amplitude*: 1. Vertente em fundo de vale com declividade moderada, entre 12 e 20% (VM); Amplitude*: 1 a 3 Vertente em fundo de vale com declividade alta, maior que 20% (VA); Amplitude*: 1 ou 2

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

Quadro 2. Síntese das características do meio físico nas subunidades geológico-geotécnicas situadas no setor geomorfológico da Planície Amazônica.

Características do Meio Físico			SUGG	
UGG	Geologia	Relevo e nível d'água	Material inconsolidado	
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).	Planície (P) Vertente com declividade moderada, entre 12 e 20% (VM); Amplitude*: 2 Vertente com declividade alta, maior que 20% (VA); Amplitude*: 2.	QP QVM2 QVA2

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

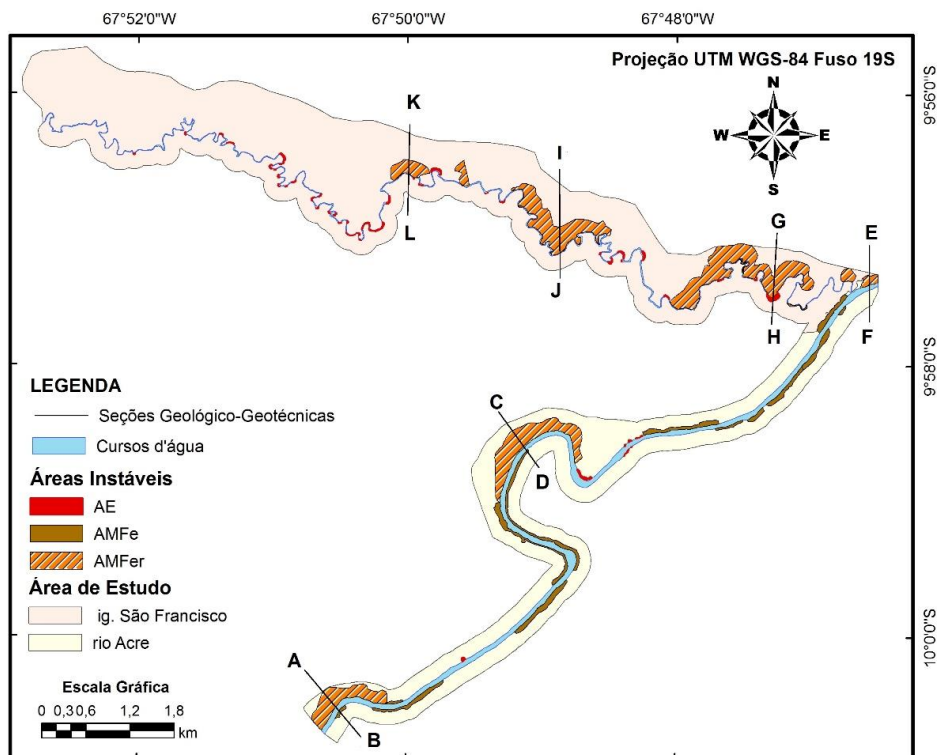


Figura 5 - Áreas instáveis cadastradas.

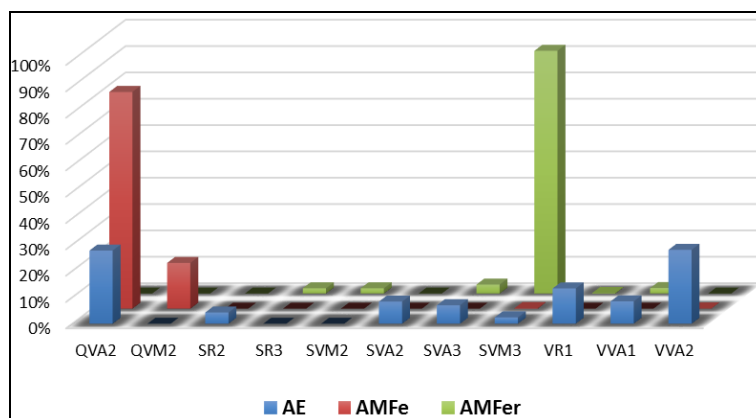


Figura 6 - Distribuição das ocorrências por tipo de SUGG.

Pela leitura da Figura 6, 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.

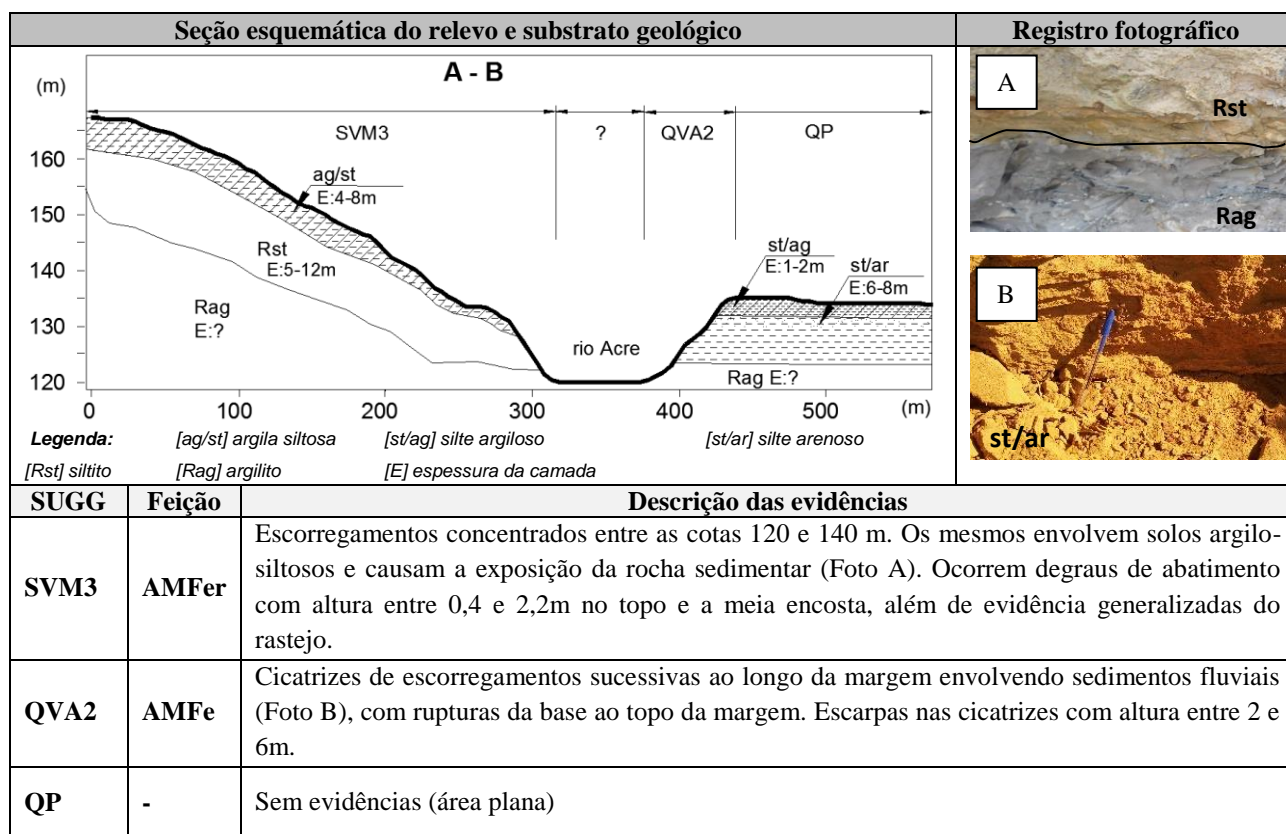
A conjugação de escorregamentos e rastejo (AMFer) foi evidenciada somente na Formação Solimões, cujos sinais de movimentação basicamente se concentram na SUGG SVM3 (90%).

Para os trabalhos que envolvem a previsão da ocorrência de movimentos de massa gravita-

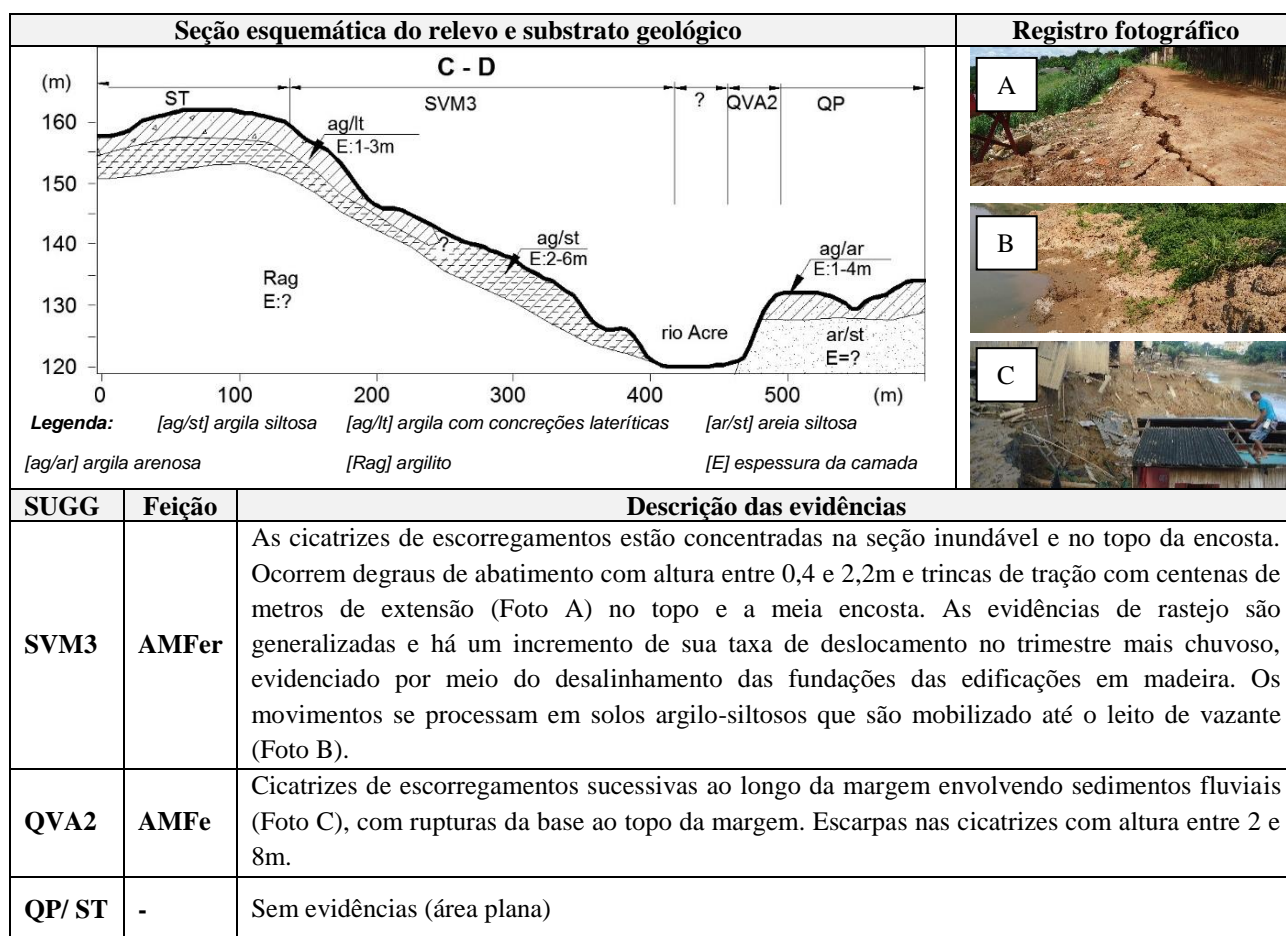
cionais de qualquer natureza, em encostas naturais, é importante que se tenha em mente que os mesmos ocorrem a partir de uma sequência de eventos e/ou estágios, cuja caracterização é muito importante. Nesse sentido, foram construídas as seções geológico-geotécnicas cuja localização está indicada na Figura 5 e as mesmas, apresentadas, nas Pranchas 1 a 6, juntamente com a descrição das evidências, dos materiais geológicos, além de registros fotográficos.

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).

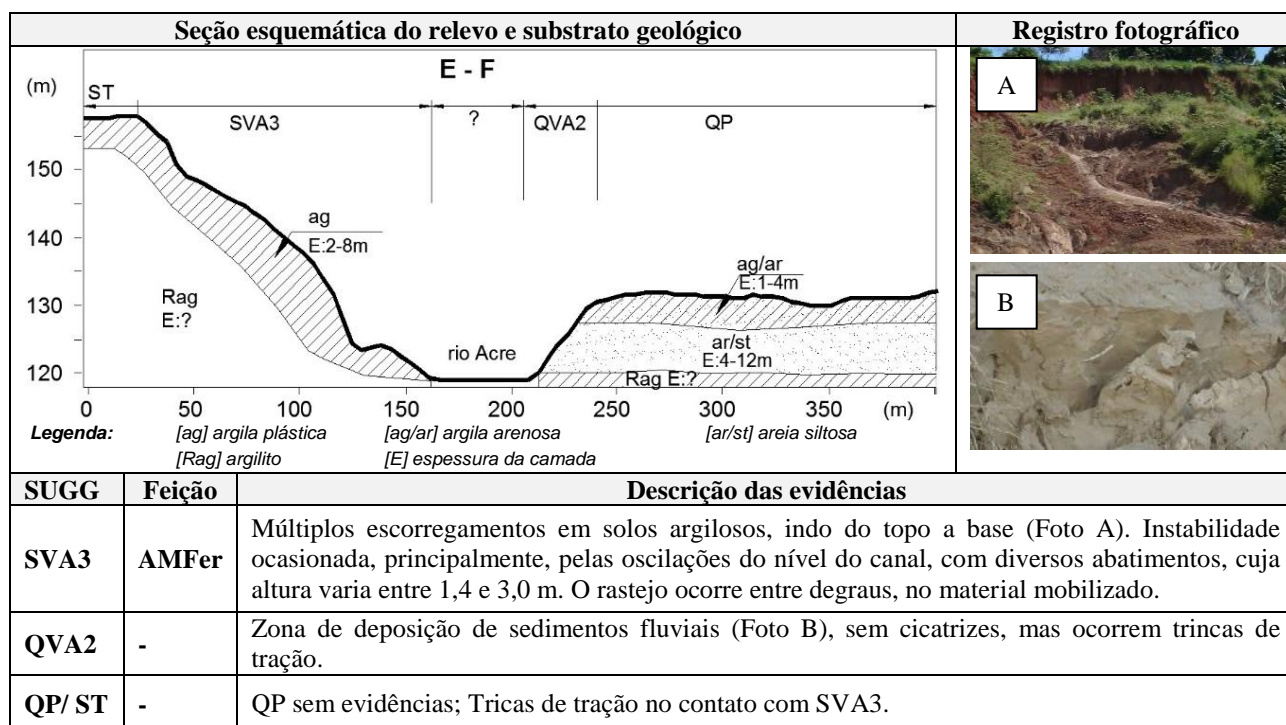
Prancha 1 - Seção AB - síntese do relevo, do substrato geológico e processos geológicos.



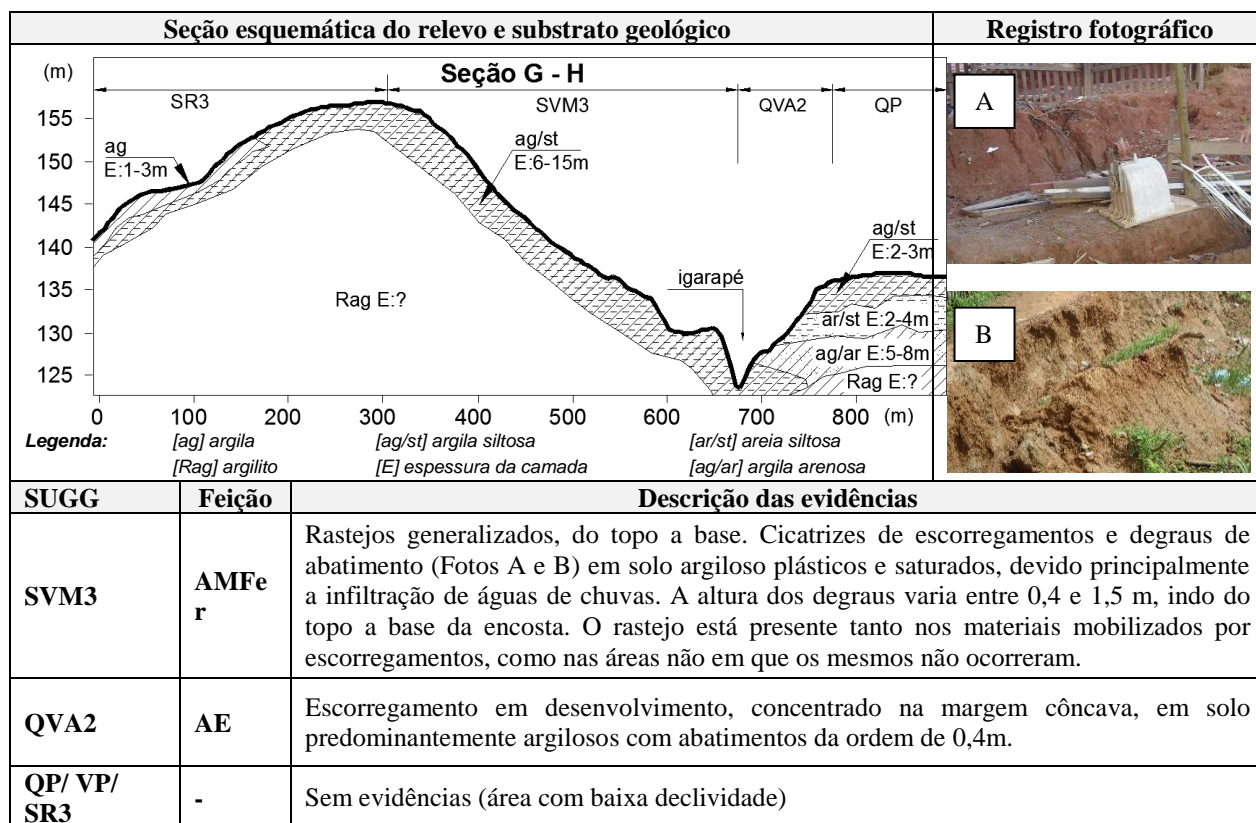
Prancha 2 - Seção CD - síntese do relevo, do substrato geológico e processos geológicos.



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



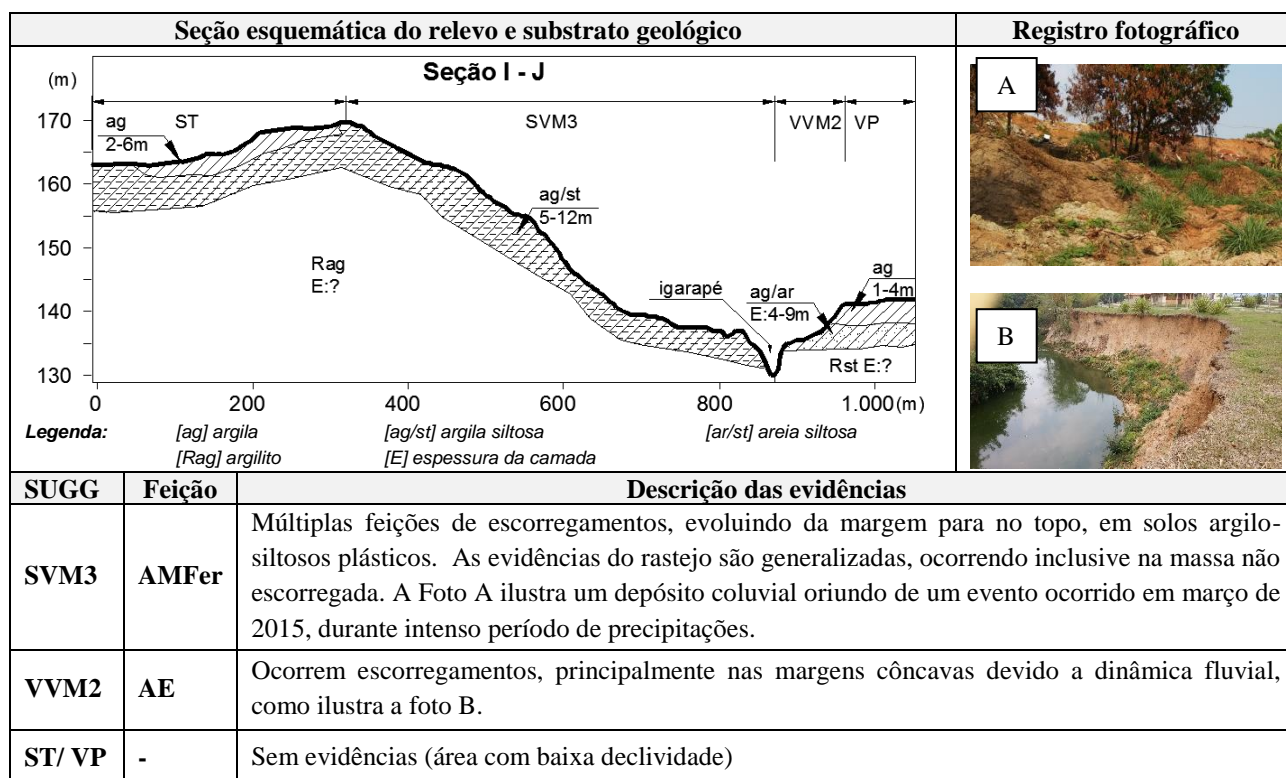
Prancha 4 - Seção GH - síntese do relevo, do substrato geológico e processos geológicos.



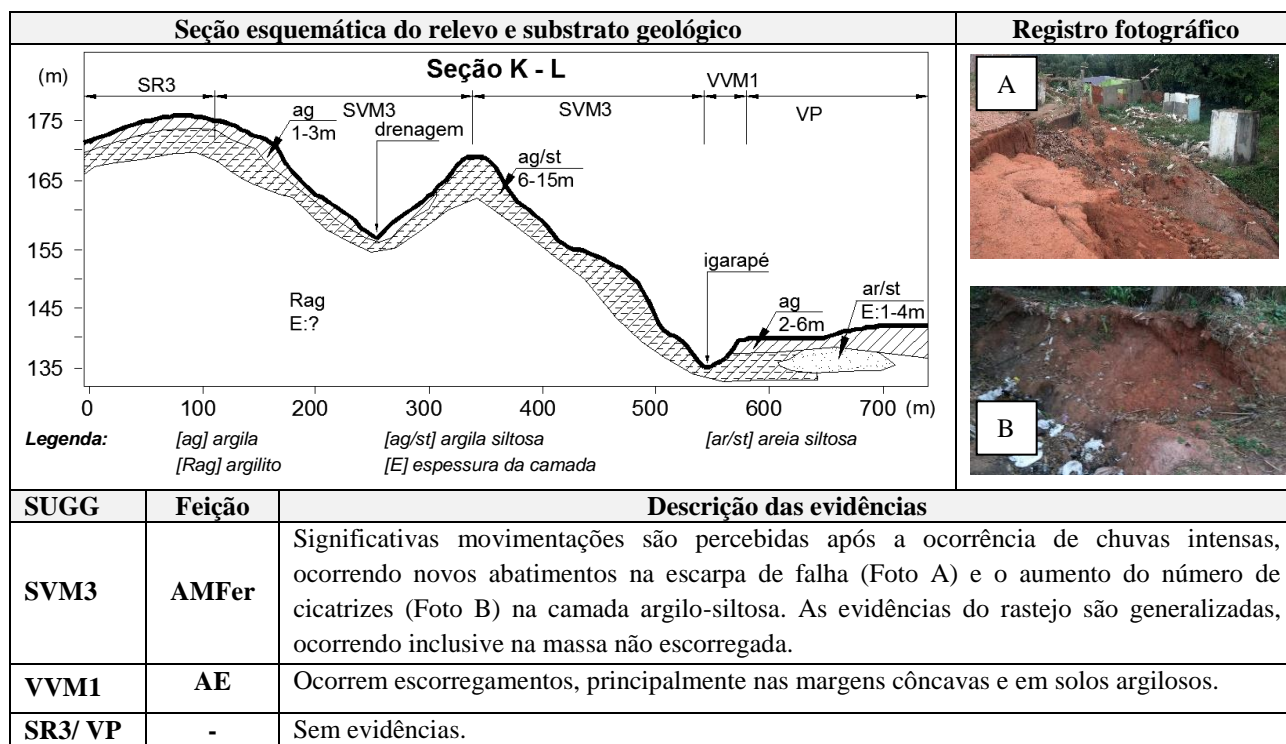
As informações e os dados obtidos evidenciam que os processos observados estão intrinsecamente relacionados a dois tipos de fatores exógenos: às oscilações de descargas no leito fluvial e à infiltração das águas de chuva. No primeiro caso, a elevação do nível d'água pode desestabilizar as margens devido, principalmente, ao acréscimo de

pressões neutras no interior do maciço e a 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.

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



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



Mais frequentemente, este tipo de movimentação afeta os materiais inconsolidados e deixam cicatrizes arqueadas (Figura 7) 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 7 - 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 que recobrem as colinas da Formação Solimões. Os mesmos ocorrem principalmente em terrenos com declividade entre 13 e 20%, possivelmente, em razão da infiltração de águas de chuva ou devido às sobrecargas e à 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 dos escorregamentos observados (Leroueil et al., 1996)

Nas colinas da Formação Solimões, a su-

pressão 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 resulta nas diversas feições de instabilidade observadas nas AMFer (escarpas, blocos abatidos, trincas de tração no topo e depósitos coluviais), como ilustra a Figura 8.

Com base na caracterização dos processos geológicos e na relação desses com as unidades mapeadas, gerou-se a Tabela 2, que apresenta os resultados da hierarquização dessas unidades, segundo sua predisposição natural ao desenvolvimento de eventos.



Figura 8 - Feições de instabilidade observadas em uma AMFer.

Tabela 2 - 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

Tabela 3 - Potencial para ocorrência de eventos com base nas características geológico-geotécnicas.

Fatores	PRC	Classes	PRI
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 a inundação periódica	25%	Não inundável	7,82%
		Parcialmente inundável	43,53%
		Totalmente inundável	48,66%

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da valoração realizada com o método AHP.

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 46,8. 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 agrupados em quatro classes utilizando-se os respectivos critérios:

- Muito baixo - valor do IS mínimo, ou seja, compreende às unidades com predisposição muito baixa, em que não se computou o peso dos fatores indutores;
- Baixo - valores inferiores à média aritmética e superiores ao IS mínimo;
- Médio - valores iguais ou superiores à média aritmética e inferiores à média somada ao desvio padrão;
- Alto - valores iguais ou superiores à média somada ao desvio padrão.

A validação dos resultados pode ser observada na Figura 9, onde se encontra a combinação das classes de suscetibilidade com as feições registradas na área de estudo.

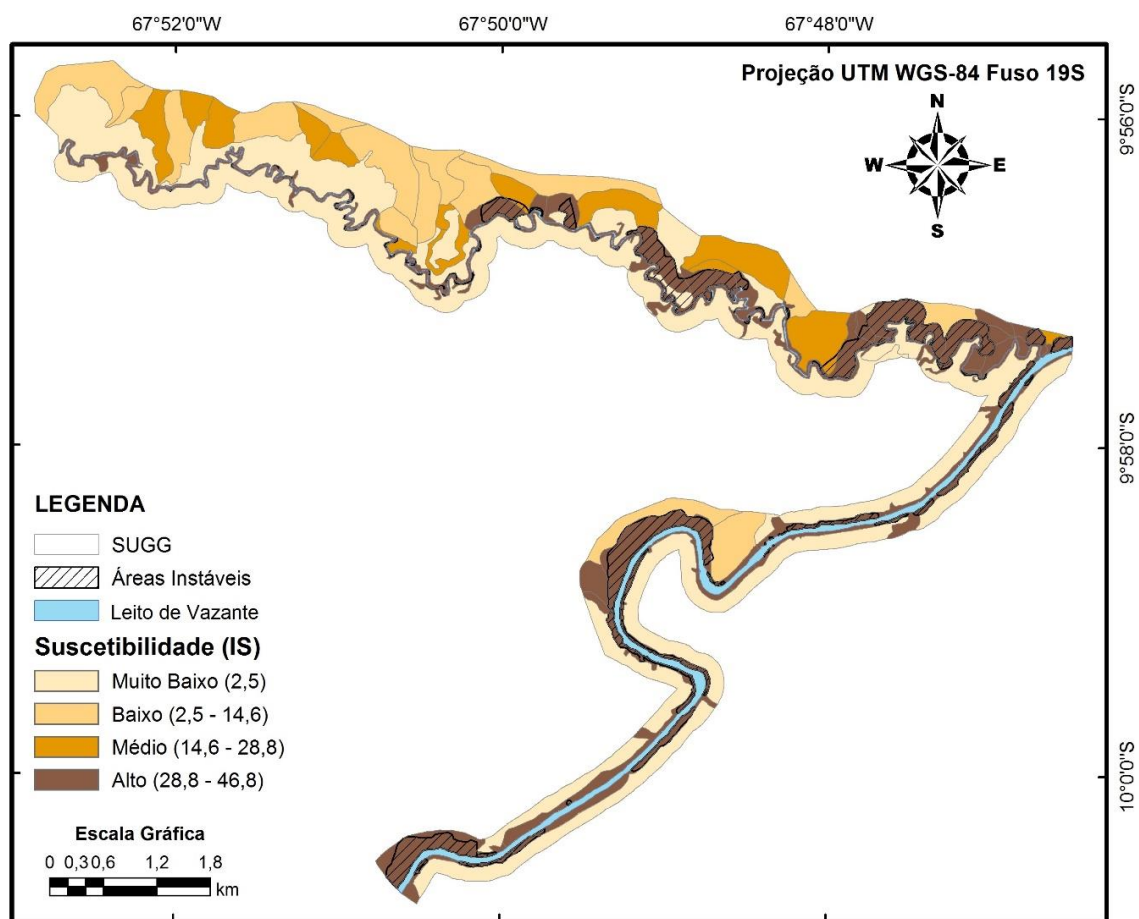


Figura 9 - Distribuição das classes de suscetibilidade aos movimentos de massa gravitacionais considerados.

CONCLUSÕES

Por meio da compartimentação fisiográfica dos terrenos e levantamentos de campo, obteve-se um produto cartográfico único, no qual os elementos ambientais foram individualizados em unidades homogêneas. Essa abordagem evitou o cruzamento aleatório de informações dispersas no espaço, que poderiam gerar resultados sem qualquer relação física com os eventos.

Em relação aos dados obtidos, notou-se que ainda faltam informações para propiciar uma adequada caracterização dos mecanismos associados aos processos, 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.

A avaliação indireta permitiu apenas um indicativo sobre os possíveis fatores de indução e a hierarquização dos compartimentos, com base nas formas de relevo e nas características dos materiais inconsolidados.

Mesmo reconhecendo as limitações e imprecisões quanto aos dados obtidos e as inferências realizadas, os resultados desta atividade contribuíram para o aumento do conhecimento sobre a gênese dos processos considerados, permitindo inferir que as chuvas e a dinâmica fluvial agem mutuamente na desestabilização das encostas.

Observou-se também que rastejo constitui um agente preparatório para ocorrência de escorregamentos nas colinas da Formação Solimões. Sua detecção, ainda no estágio de pré-ruptura, é de fundamental importância para prevenção de acidentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às instituições de fomento à pesquisa CAPES, CNPq e FAPEMIG e também, à prefeitura municipal de Rio Branco (AC) pelas informações fornecidas.

REFERÊNCIAS

- 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.
- 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.
- BRASIL-DNPM, Departamento Nacional de Produção Mineral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SC.19 -Rio Branco. Rio de Janeiro, 464 p., 1976.
- CAVALCANTE, L.M. Geologia e geomorfologia do Estado do Acre. In: ACRE. Secretaria de Estado de Estado, Ciência e Tecnologia. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Acre: 2ª fase**. Rio Branco, 2006.
- DE BIASI, M. Cartas de declividade: confecção e utilização. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 21, p. 8-13, 1970.
- DURLO, M.A & SUTILI F.J. **Bioengenharia: manejo biotécnico de cursos de água**. Santa Maria: Edição do Autor, 189 p., 2012
- 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.
- FERNANDES, F.M. & CERRI, L.E.D.S. Elaboração da carta geotécnica de suscetibilidade de um trecho da rodovia marechal rondon-sp-300 (SP, Brasil). **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 457-465, 2011.
- FERES, R. **Caracterização geotécnica de uma bacia hidrográfica urbana (Rio Branco-AC) com ênfase nos processos de ocupação dos fundos de vale**. São Carlos, 1998, 203 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos.
- HID, A.R. **Monitoramento da expansão urbana e ocupação predial às margens do igarapé São Francisco em Rio Branco-Acre**. Florianópolis, 2000. 167 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- 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, p. 398 - 408, 2013.
- LATRUBESSE, E. **El Neogeno de Amazonia Sudoccidental**. San Luis, 1992. Tese (Doutorado em Geociências). Universidad Nacional San Luis.
- LATRUBESSE, E. **Mapa de geomorfologia da faixa fluvial do rio Acre: escala 1:40.000**. Laboratório de Geomorfologia e Sedimentologia, UFAC, Rio Branco, 1996.
- 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**. Rio Claro, 2003, 116 p. Dissertação (Mestrado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
- OLIVEIRA, A.M. & FERREIRA, A.L. **Avaliação Geológica Geotécnica da Cidade de Rio Branco; Relatório Final**. CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. v. I. 57 p. Manaus, 2006.
- PAULA, B.L.D. & Cerri, L.E.D.S. Aplicação do processo analítico hierárquico (AHP) para priorização de obras de intervenção em áreas e setores de risco geológico nos municípios de Itapeçerica da Serra e Suzano (SP). **Geociências**, v. 31, n. 2, p. 247-257, 2012.
- 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. **IAEG**, n. 178, 2006. Disponível em http://iaeg2006.geolsoc.org.uk/cd/PAPERS/IAEG_178.PDF, Acesso em 28/08/2015.
- RODRIGUES, F.H., COELHO, J.M., SANTOS, F.S.M.D., AMARAL, A.M.C.D., e ZAINE, J.E. Avaliação da possibilidade de erosão natural e induzida na bacia hidrográfica do ribeirão das pedras, Quirinópolis (GO). **Geociências**, v. 33, n. 2, p. 339-359, 2014.
- 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.
- SILVA, F.A.S. & AZEVEDO, C.A.V. Principal Components Analysis in the Software Assstat statistical Attendance. In: **WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE**, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.
- 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.

*Manuscrito recebido em 8 de abril de 2016
Revisado e aceito em 9 de setembro de 2016*