



## Voçorocas urbanas e protocolo de avaliação de risco geoambiental aplicado em Açailândia-MA

Antônio Carlos da Silva Miranda, Aline Maria Meiguins de Lima.

Agente de Defesa Civil - CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO MARANHÃO e-mail: [sgtbmiranda@gmail.com](mailto:sgtbmiranda@gmail.com). (correspondente)  
Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências. E-mail: [alinemeiguins@gmail.com](mailto:alinemeiguins@gmail.com)

Artigo submetido em 28/02/2020 e aceite em 11/02/2021

### RESUMO

As formas de uso e ocupação da terra sem planejamento tendem a gerar diversos problemas no processo de expansão das cidades, dentre estes, citam-se os riscos geológicos. Este estudo propõe uma sistemática base de caracterização de voçorocas em ambientes urbanizados, voltada para a análise de risco geoambiental, tendo como exemplo de aplicação as voçorocas de Açailândia (MA). A metodologia utilizou análises qualitativas e quantitativas, visando compreender a origem do processo erosivo urbano (natural e/ou antrópico) e os efeitos decorrentes dos fenômenos naturais, fatores controladores e das ações antrópicas. Como aplicação do método foram escolhidas duas voçorocas localizadas em áreas com características distintas, sendo uma em zona de transição rural para urbana (periurbana) e a outra em uma área urbanizada. De acordo com os resultados encontrados as voçorocas analisadas são classificadas como  *muito grande* , com volumes erodidos acima de 40.000 m<sup>3</sup>, tendo elevada influência do crescimento da cidade, implicando na necessidade de procedimentos e ações voltadas a gestão de riscos e de redução dos impactos referentes aos processos erosivos.

Palavras-chave: Risco geológico, processos erosivos, uso do solo.

## Urban gullies and geoenvironmental risk assessment protocol applied in Açailândia-MA

### ABSTRACT

The land use and occupation without planning tend to generate several problems in the process of expansion of the cities, for example, the geological risk. This study proposes a systematic basis for characterizing gullies in urbanized environments, applied for the analysis of geoenvironmental risk, using gullies in Açailândia (MA) as an application example. The methodology used qualitative and quantitative analyzes to understand the origin of the urban erosion process (natural and/or anthropic) and the effects resulting from natural phenomena and controlling by anthropic actions. As application of the method, two gullies located in areas with different characteristics were chosen, one in a rural to urban transition zone (peri-urban) and the other in an urbanized area. According to the results found the gullies analyzed are classified as  *very large* , with the eroded volumes above 40000 m<sup>3</sup>, with high influence of city growth, which means the need to implement procedures and actions applied to risk management and reduction of impacts regarding the erosion.

Keywords: Geological risk, erosion, land use.

### Introdução

O histórico de ocorrências dos desastres geológicos ocorridos nos centros urbanos brasileiros vem provocando danos físicos, socioeconômicos e ambientais, Silva et al. (2016) e Zamparoni (2017) destacam que a evolução de processos erosivos em ambientes urbanos é associada as relações não harmônicas vinculadas

aos modos de apropriação do solo e uso dos recursos naturais.

O fenômeno de erosão representa um ciclo natural de evolução modelador do relevo, estes podem ser vinculados aos processos de origem: pluvial (ação das chuvas), fluvial (ação das águas dos rios), de gravidade (movimentação de rochas pela força da gravidade), eólicos (ação dos ventos), glacial (ação das geleiras), química (alterações

químicas no solo), geológicos (ou natural, devida ao processo natural de denudação e evolução da superfície terrestre) e antrópicos (processo rápido e destrutivo, induzido principalmente pela ação humana) (Guerra et al., 2017).

Para Cerri et al. (2018) estes são influenciados por alterações do meio ambiente, provocadas pelo uso da terra nas suas várias formas, desde o desmatamento e a agricultura, até obras urbanas e viárias, que de alguma forma, propiciam a concentração das águas do escoamento superficial.

A evolução gradual do efeito da erosão sobre a superfície da terra, pode gradar de formas de estruturação iniciais como sulcos (*rills*) com o surgimento de pequenos canais formados no solo pelo escoamento superficial, com uma profundidade não superior a 30 cm, correspondendo a uma fase inicial da erosão linear (Caprario et al., 2017). Oliveira et al. (2018) descrevem que o incremento do processo pode provocar rapidamente a formação de ravinas, estas constituem canais profundos e alongados com profundidade que pode variar entre 0,5 a 1,5 m podendo em alguns casos apresentar dimensões superiores a estas. Sua evolução pode dar origem as voçorocas, que segundo Rubira et al. (2016) são incisões erosivas de 1 a 12 m de profundidade, com largura que pode ultrapassar 30 m, dependendo dos padrões de erosividade e erodibilidade.

Duarte e Silva Filho (2019) descrevem a erosividade como a capacidade da chuva em causar erosão, ou seja, é considerada como o fator mais ativo da erosão hídrica. Graça et al. (2015) e Teófilo-Salvador et al. (2019) destacam que, as precipitações pluviométricas de maior intensidade

e com grande frequência elevam o risco de ocorrência da erosão, dependendo das condições de erodibilidade, esta por sua vez é vinculada as características naturais do perfil de alteração da rocha, variando também com as condições de manejo do solo (Stefanoski et al., 2016). Miqueloni et al. (2015), Restrepo e Juan (2015) e Zamparoni (2017) abordam que o agravamento destas condições, vinculadas as vulnerabilidades de meio (natural ou antrópico), podem resultar em desastres naturais.

Este estudo propõe uma sistemática base de caracterização de voçorocas em ambientes urbanizados, voltada para a análise de risco geoambiental, aplicando a proposta no município de Açailândia (Maranhão). Onde, segundo a CPRM (2017), a urbanização crescente na sede municipal e entorno vem potencializando e desencadeando o surgimento de processos erosivos com intensidades e dimensões preocupantes, que se iniciam em pequenos sulcos, que se transformam em ravinas e terminam em grandes voçorocas.

## Material e métodos

O município de Açailândia (MA) pertence à Mesorregião Oeste Maranhense e a Microrregião Imperatriz, limitando-se ao Norte com o município de Bom Jardim, ao Sul com os municípios de São Francisco do Brejão e Cidelândia, a Leste com os municípios Bom Jesus da Selva, Amarante do Maranhão e João Lisboa e a Oeste com o município de Itinga do Maranhão e o estado do Pará. Sua área territorial é de 5.806.307 km<sup>2</sup>, com população de 110.543 hab. e densidade de 19,04 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2018). (Figura 1)

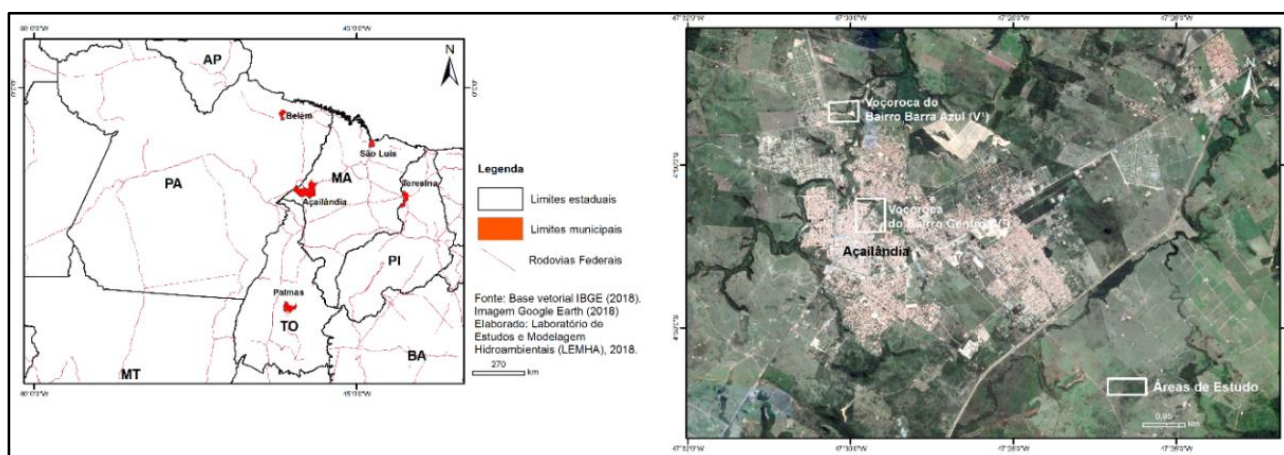


Figura 1: Localização da Área de estudo.

A cidade de Açailândia apresenta uma altitude média de 240 m acima do nível do mar e está distante 568 km da capital São Luís (e a 68 km da segunda maior cidade maranhense,

Imperatriz/MA); surgiu na década de 60 em função da construção da rodovia BR-010 e desenvolveu pela exploração madeireira e nas décadas de 70 e 80 com o desenvolvimento agropastoril principal

contribuinte para sua expansão econômica, devido a sua localização estratégica formada por entroncamentos rodo-ferroviário, que tem favorecido o desenvolvimento comercial e industrial, através das BR-010 (liga Belém a Brasília) e BR-222 (liga a BR-316) principal elo de escoamento rodoviário regional e nacional, além de um pólo metalúrgico que beneficiam a matéria-prima (minério de ferro), transportada através das ferrovias Carajás/São Luís e Norte-Sul (ainda não concluída) também utilizadas para escoamento de produtos agrícolas produzidos em grandes escalas na região a serem exportados através do Porto de Itaqui-São Luís.

A Tabela 1 e a Figura 2 resumem as principais características físicas de Açailândia e a localização das voçorocas de estudo, onde se destaca que a presença de todos os fatores que traduzem uma vulnerabilidade natural à erosão:

elevadas topografias associadas a uma rede de drenagem com comportamento aproximadamente radial (em torno da sede municipal) e treliça/angular nas sub-bacias formadoras, o que implica em uma forte atuação do escoamento superficial; boa pluviometria em parte do ano; e com características de um espesso perfil tipicamente sedimentar (Prosdocimi et al., 2016, Sampaio et al., 2017, Toledo Medrano et al., 2018).

A sistemática adotada constou da caracterização de voçorocas segundo a proposição apresentada na Tabela 2 e desenvolvida a partir dos trabalhos de: Dirane e Vieira (2014), Vieira e Abreu (2014), Guerra et al. (2014), Lima et al. (2014), Guerra et al. (2017), Arabameri et al. (2019) e Batista et al. (2019). Foram admitidos os conceitos apresentados nestes trabalhos, assim como as proposições de dimensão.

Tabela 1: Resumo dos principais aspectos do meio natural - Açailândia (MA).

Características	Descrição
<p><b>- Hidrografia</b> Agência Nacional de Águas (2017)</p>	<p>A hidrografia é formada de cursos de águas pequenos portes geralmente intermitentes, em consequência da posição municipal como divisor de águas para as bacias hidrográficas dos rios Capim, Gurupi e Pindaré e cursos de água permanentes formados pelos rios Ararandeuá (Bacia Rio Capim), Itinga/Açailândia (Bacia Rio Gurupi) e o Pindaré. A sede do município, é cortada por vários córregos contribuintes do rio Açailândia, sendo os mais importantes os Córregos Água Branca e Esperança.</p>
<p><b>- Clima e precipitação</b> Villas Bôas et al. (1999); Nascimento et al. (2015); Açailândia (2017)</p>	<p>Segundo a classificação de Köppen, o clima da região, é tropical (A<sub>w</sub>) úmido com dois períodos bem definidos: um chuvoso, que vai de novembro a abril, e outro seco, correspondente aos meses de maio a outubro. As deficiências hídricas na região se manifestam a partir do mês de maio quando a mesma deixa de ser influenciada pela convergência intertropical. O período seco se estende até o mês de outubro, apresentando o déficit hídrico mais críticos nos meses de junho a agosto. O período chuvoso inicia-se geralmente em novembro ou dezembro e se prolonga até maio, com valores superiores a 400 mm em abril.</p>
<p><b>- Geologia</b> CPRM (1999) Açailândia (2017)</p>	<p>As áreas de maior altitude apresentam depósitos detríticos e/ou lateríticos com sedimento arenoso, areno-argiloso e conglomerático; abaixo dos depósitos sedimentares terciários está a Formação Itapecuru (Cretácea Superior), formada por arenitos, siltitos e folhelhos depositados em ambiente fluvial e lacustre. A Formação Itapecuru é exposta nos fundos de vales e encostas escavadas.</p>
<p><b>- Tipos de solos</b> Marçal e Guerra (2003); CPRM (2017)</p>	<p>Os tipos de solos predominantes estão enquadrados no grupo das areias e argilas por serem essas as texturas que condicionam o comportamento erosivo, correspondendo ao latossolo vermelho-amarelo e argissolo vermelho-amarelo.</p>
<p><b>- Geomorfologia</b> Villas Bôas e Araújo (1999); Marçal e Guerra (2003); Açailândia (2017)</p>	<p>Distribuem-se inúmeros platôs (áreas mais elevadas do relevo de uma região, com extensões variadas e declividades baixas, circundadas normalmente por escarpas e encostas) fragmentados e separados pela rede de drenagem, com altitudes máximas atingem 390 m; o município está inserido nos domínios da Bacia Sedimentar do Parnaíba, e morfologicamente, apresentam-se como capeamentos de platô, encontradas nos mais diferentes níveis topográficos e aflora na sede municipal, onde as maiores elevações encontram-se nas proximidades da cidade de Açailândia. Existem superfícies dissecadas em escarpas erosivas, relacionadas às ravinas e encostas de vales encaixados, que representam áreas de elevada susceptibilidade erosiva.</p>

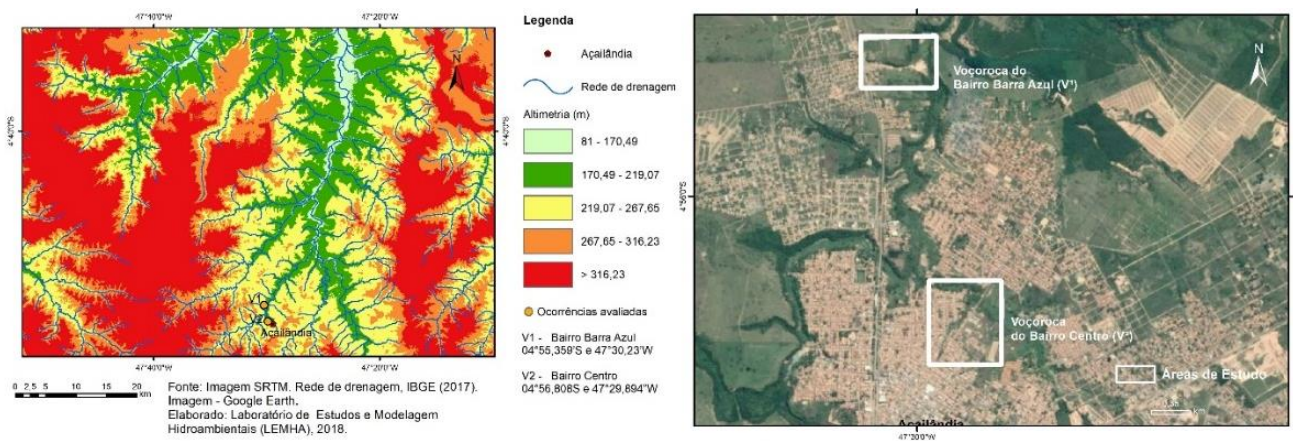


Figura 2: Altimetria e rede de drenagem.

A formulação da Tabela 2 reuniu alguns dos principais conceitos identificados para a caracterização de feições erosivas, destacando: (a) sua origem, tradicionalmente associada como natural ou antrópica, porém havendo espaço para indicar a presença dos dois condicionantes; (b) fatores controladores, neste caso abordando os conceitos de erosividade e erodibilidade, para diferenciar o potencial de influência hídrica, que é um acelerador natural dos processos erosivos; (c) as características da encosta, que são associadas a fatores topográficos e geomorfológicos; e (d) a cobertura vegetal, que corresponde a um elemento potencial de conservação e recuperação de áreas afetadas por processos erosivos.

Quanto a caracterização das voçorocas, foram escolhidos elementos considerados mais comuns e aplicáveis em reconhecimento de campo e por sensoriamento remoto, voltados a sua tipologia, forma e tamanho, este último consta de diversos indicadores, neste trabalho assumiu-se o contexto volumétrico. E por último se apresenta a “classificação do desastre geológico de voçoroca” segundo o SINPDEC (Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil), que é uma informação numérica para este fim.

No relativo aos aspectos descritivos de feições erosivas foi usada a terminologia exemplificada em diversos casos, como os apresentados em Guerra et al. (2014), Vieira e Abreu (2014) e Guerra et al. (2017):

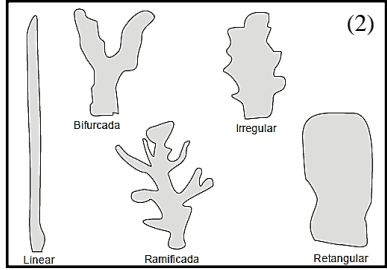
- Alcovas de regressão: podem ocorrer tanto por escoamento superficial (filetes subverticais) ou por exfiltração do lençol freático ou também pela combinação de ambos.
- Pedestais (*demoiselles*): relacionados à erosão por salpicamento e ao escoamento superficial difuso.

- Escamamentos: formadas pelo acúmulo de material fino (areia fina ou muito fina) sobre superfície mais resistente. O transporte dessas partículas ocorre em forma de pequenos fluxos laminares verticais a subverticais.
- Marmitas: erosão por quedas d’água (*plunging pool*) ou por fluxo turbilhonar.
- Costelas: feições de detalhes que demonstram algum tipo de resistência ao cisalhamento, são produzidas pela ação de filetes subverticais ou pela ação de exfiltração do lençol freático.
- Costelas separadas por depressões: a presença dessas duas feições confirma as diferenças entre o material mais resistente (costelas) e o menos resistente (depressões).
- Dutos: podem ocorrer nas paredes das voçorocas e estão relacionados à existência de macroporos. Podem originar-se de fraturas de tração, de raízes de plantas e de atividade biótica.

Para validação da proposta foram realizadas atividades de reconhecimento de campo durante os anos de 2017 e 2018, junto com ao Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Maranhão e a Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Açailândia que responde pela COMPDEC (Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil) de Açailândia.

Para análise de detalhe, em função das dimensões das estruturas foram utilizados o modelo digital de elevação (MDE) gerado a partir das Imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*, resolução de 30 m), associado a imagens de satélite obtidas pelo sistema *Google Earth* e geração de perfis de elevação do terreno, com base no MDE. Tendo sido realizada uma avaliação das principais condicionantes topográficas em Qgis, utilizando as variáveis descritas na Tabela 3.

Tabela 2: Sistemática proposta de caracterização de voçorocas em ambientes urbanos.

Descritor	Variável	Detalhamento																			
<b>Característica quanto a origem</b>	Natural	- Fluvial - Pluvial	- Marinha - Outra (descrever)	- Eólica - Por gravidade																	
	Antrópica (principais fatores de caracterização e influência)	Práticas antrópicas	- Obras de infraestrutura (abertura de estradas e ampliação de lotes urbanos). - Obras de infraestrutura urbana (sistema de arruamento, de drenagem e aterro). - Ocupação urbana em áreas naturalmente vulneráveis - Outras (descrever).																		
		Tipos de ameaças (indicadores e mecanismos de aceleração)	Instabilidade: trinca no terreno, muro embarrigado de aterro, trincas nas moradias, degraus de abatimento, inclinação de árvores, postes e muros. Potencial de saturação do solo: presença de fossas, presença de esgoto (lançamento livre), surgência de água, vazamentos, drenagem água pluvial com livre infiltração, lançamento de águas servidas.																		
		Características dos imóveis e infraestrutura da área de risco	Infraestrutura Pública e Comunitária: hospitais, escolas, igrejas, postos de saúde, etc. Tipos de ocupação: casa de alvenaria, madeira, mista; residenciais coletivos, horizontais, verticais etc.																		
<b>Características dos fatores controladores</b>	Erosividade	- Ação das gotas de chuva (erosão por salpicamento) - Infiltração - Escoamento (superficial e subsuperficial)																			
	Erodibilidade	- Litológicos (tipos de rochas e grau de alteração do perfil) - Textura (combinação granulométrica do perfil de alteração) - Densidade aparente (compactação do solo) - Estabilidade dos agregados - Teor de matéria orgânica																			
<b>Característica da encosta</b>		- Declividade acima dos 15% - Declividade abaixo dos 15% - Comprimento ou altura da encosta em metros. - Formato da encosta: retilínea, côncava, convexa ou mista.																			
<b>Cobertura vegetal</b>		- Nativa - Reflorestamento - Capoeira - Pastagem - Outras (descrever)																			
<b>Caracterização das voçorocas</b>	Quanto ao tipo (1)	- Conectadas: escoamento concentrado nas partes baixas da encosta. - Desconectadas: encontrando-se na parte superior da encosta, não estão ligadas a nenhuma rede de drenagem. - Integradas: junção das formas anteriores, constituindo uma só incisão erosiva.																			
	Quanto à forma			Em linear, bifurcada, ramificada, irregular e retangular. Onde cada forma é resultante de processos específicos e das características do local de ocorrência, tais como geologia (litologia e estrutura), relevo (forma e declividade), solo, cobertura vegetal e o sistema de drenagem superficial ou subsuperficial.																	
	Quanto ao tamanho	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ord.</th> <th>(3) Volume erodido</th> <th>Tamanho</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>Até 1.000 m<sup>3</sup></td> <td>Muito pequena</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>de 1.000 m<sup>3</sup> até 10.000 m<sup>3</sup></td> <td>Pequena</td> </tr> <tr> <td>03</td> <td>Entre 10.000 m<sup>3</sup> até 20.000 m<sup>3</sup></td> <td>Média</td> </tr> <tr> <td>03</td> <td>Entre 20.000 m<sup>3</sup> até 40.000 m<sup>3</sup></td> <td>Grande</td> </tr> <tr> <td>05</td> <td>Mais de 40.000 m<sup>3</sup></td> <td>Muito grande</td> </tr> </tbody> </table>	Ord.	(3) Volume erodido	Tamanho	01	Até 1.000 m <sup>3</sup>	Muito pequena	02	de 1.000 m <sup>3</sup> até 10.000 m <sup>3</sup>	Pequena	03	Entre 10.000 m <sup>3</sup> até 20.000 m <sup>3</sup>	Média	03	Entre 20.000 m <sup>3</sup> até 40.000 m <sup>3</sup>	Grande	05	Mais de 40.000 m <sup>3</sup>	Muito grande	Relacionando ao volume erodido em m <sup>3</sup> , em: pequena, média, grande e muita grande.
Ord.	(3) Volume erodido	Tamanho																			
01	Até 1.000 m <sup>3</sup>	Muito pequena																			
02	de 1.000 m <sup>3</sup> até 10.000 m <sup>3</sup>	Pequena																			
03	Entre 10.000 m <sup>3</sup> até 20.000 m <sup>3</sup>	Média																			
03	Entre 20.000 m <sup>3</sup> até 40.000 m <sup>3</sup>	Grande																			
05	Mais de 40.000 m <sup>3</sup>	Muito grande																			
<b>Classificação do desastre geológico</b>	Metodologia do SINPDEC	1 - Categoria natural 4 - Subgrupo erosão 3 - Subtipo voçorocas ou voçorocas	1 - Grupo geológico 3 - Tipo erosão continental																		

Fonte: Vieira e Albuquerque (2004): (1) p. 4; Vieira (2008): (2) p. 56; (3) p. 59. Adaptado de Dirane e Vieira (2014), Vieira e Abreu (2014), Guerra et al. (2014), Lima et al. (2014), Guerra et al. (2017), Arabameri et al. (2019) e Batista et al. (2019).

Tabela 3: Variáveis topográficas analisadas.

Variável	Descrição
Declividade ( <i>slope</i> )	Apresenta a declividade em graus.
Nível base da rede de canais ( <i>Channel Network Base Level</i> )	Apresenta as elevações do nível base da rede de canais interpolada.
Acumulação do fluxo ( <i>Flow Accumulation</i> )	Identifica o potencial de fluxo de cada célula em um MDE.
Fator LS	Referente ao fator de comprimento do declive (LS), conforme a Equação Universal de Perda do Solo (USLE), tem base na inclinação do declive e na área de captação (específica), associada ao seu comprimento de rampa.
Posição relativa do declive ( <i>Relative Slope Position</i> )	O parâmetro controla a posição da altura relativa máxima em função da inclinação. Quanto mais próximo de 1, mais plano.
Fator de segurança ( <i>Factor of Safety</i> )	Este módulo calcula a estabilidade da inclinação (expressa como um fator de segurança - FS), onde em um potencial plano de cisalhamento com FS menor que 1 configura o maior grau de instabilidade, e quanto maior o valor, maior a estabilidade.

Fonte: QGis.

## Resultados e discussão

As Figuras 3 e 4 indicam que a área urbana de Açailândia se desenvolveu nas vertentes de um divisor topográfico (Figura 3A) direcionando-se do topo para o vale de duas sub-bacias do rio Açailândia (Figura 3B). A região concentra baixas declividades ( $< 6^\circ$ ) (Figura 3C), porém ocorrem áreas próximas de acumulações do fluxo do escoamento superficial (Figura 3D); onde o declive se acentua em vários pontos, como observado pela relação de LS (Figura 4A), a posição relativa do declive (Figura 4B) se afasta de 1 (ou seja, das formas mais planas), com relativa redução de FS (Figura 4C).

Os fatores topográficos do entorno da sede municipal, indicam que o município deve estar atento aos riscos geoambientais, uma vez que sua totalidade, encontra-se em áreas com influência do escoamento superficial e condicionadas pelo padrão de relevo, com uma forte orientação N-S, marcado por uma alternância entre topos e vales, com um gradiente altimétrico (diferença entre as menores e maiores cotas) superior a 300 m (Figura 3A).

Esta é a característica geral que potencializa a ocorrência de voçorocas em função do crescimento da área urbana de Açailândia, a ocupação das áreas próximas aos vales, onde as condições de declividade favorecem a concentração do escoamento superficial (Figura 3B). Assim, a natural retirada da cobertura vegetal com a urbanização e a impermeabilização do solo, tornam-se agentes potenciais para desencadear o processo (Castillo e Gómez, 2016).

O detalhamento de duas ocorrências, uma na região central de Açailândia e outra na área de

expansão demonstram estas influências. Neste estudo, foi adotada a sistemática proposta na Tabela 2 e os elementos descritivos que constam em trabalhos elaborados com a mesma temática de Dirane e Vieira (2014), Vieira e Abreu (2014), Lima et al. (2014), CPRM (2017), Guerra et al. (2017) e Batista et al. (2019).

A Figura 2 localiza as feições destacadas, sendo VI em ambiente de expansão e V2 na região central da cidade. Esta diferença é importante pois representa o crescimento da influência do antropismo sobre as mesmas.

As Figuras 5 e 6 apresentam os principais aspectos da voçoroca do Bairro Barra Azul (VI), indicando seu crescimento de 2005 até 2017, nitidamente influenciado pela ampliação da área urbana de Açailândia. O mapeamento apresentado foi elaborado utilizando imagens de satélite, com a vetorização da área da voçoroca por ano, indicando assim suas diferenças.

Apesar de indicativo, a utilização de sensores remotos para este fim é necessária, dada as dificuldades de mapear em campo as reais dimensões. O cálculo volumétrico, foi estimado a partir das observações de campo e que constam em CPRM (2017).

Comparando esta, com a localizada no Bairro Centro (V2) (Figura 7), de dimensão menor, observa-se que os processos e feições são semelhantes. Os elementos topográficos (Figuras 3 e 4) indicam que ambas têm similaridades caracterizadas pela sua localização próxima a base dos divisores topográficos, onde a relação entre a altimetria e o comprimento de rampa se acentuam, favorecendo o escoamento superficial (Leite et al., 2016).

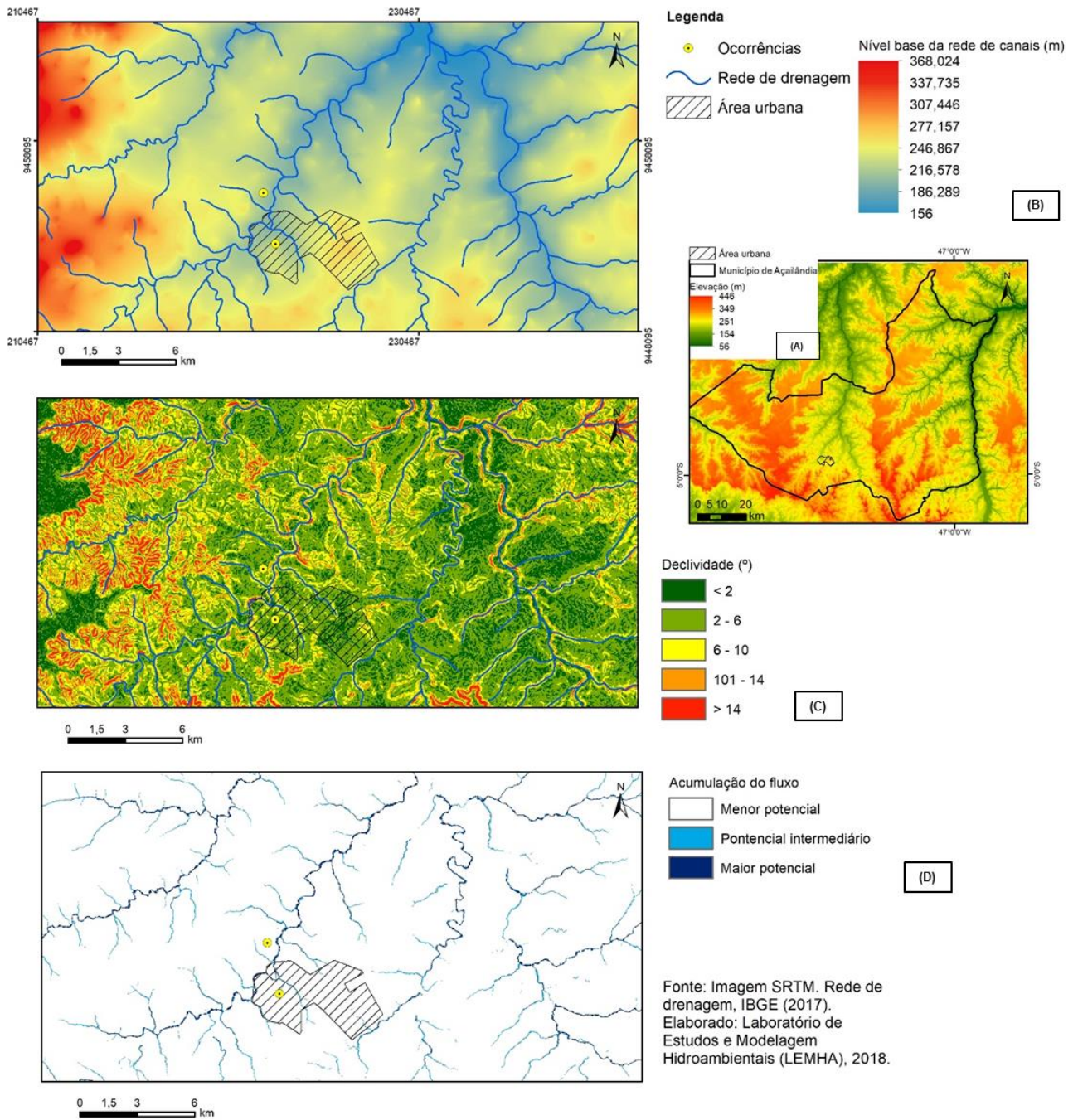


Figura 3: Variáveis topográficas analisadas: (A) Altimetria; (B) Nível base da rede de canais (*Channel Network Base Level*); (C) Declividade (*slope*); e (D) Acumulação do fluxo (*Flow Accumulation*).

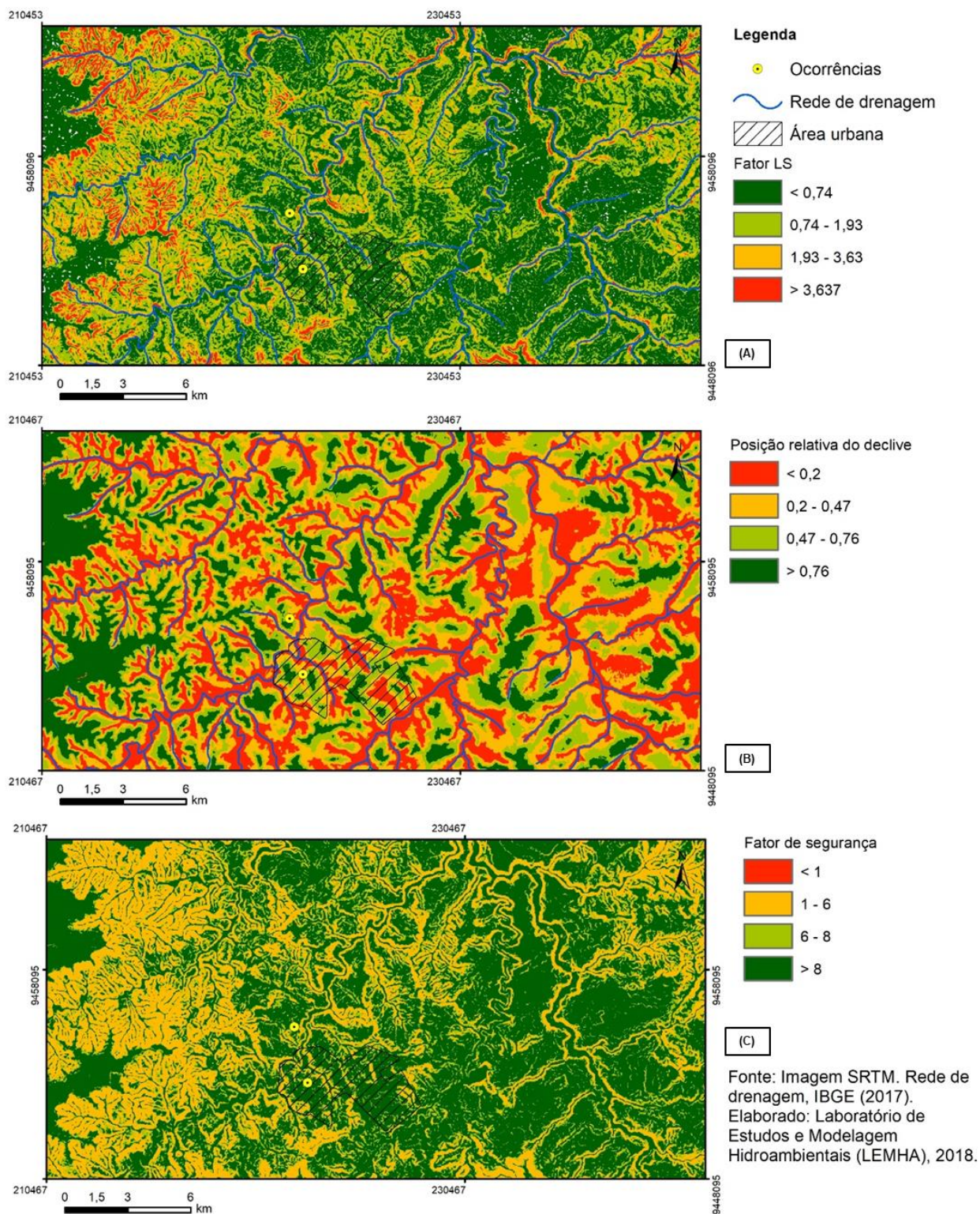
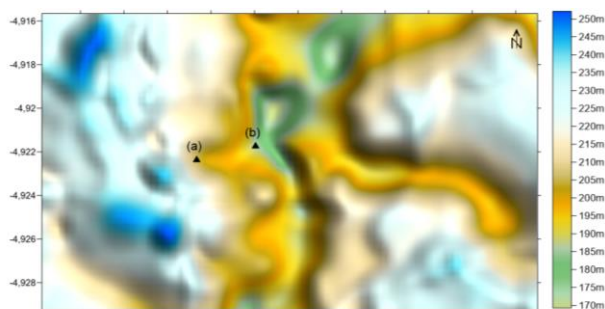
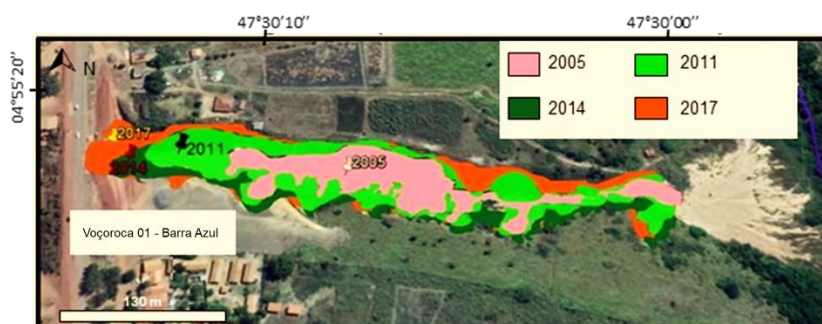
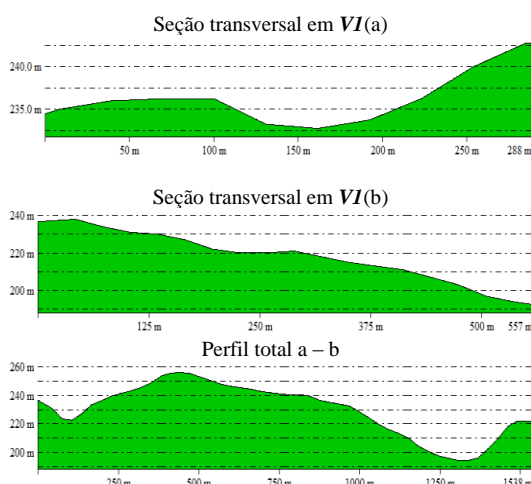


Figura 4: Variáveis topográficas analisadas: (A) Fator LS; (B) Posição relativa do declive (*Relative Slope Position*); e (C) Fator de segurança (*Factor of Safety*).



Modelo 3D do Perfil (a - b)



Parâmetro/ano	2005	2011	2014	2017
Tipo	Conectada	Conectada	Conectada	Integrada
Forma	Ramificada	Ramificada	Ramificada	Ramificada
Profundidade (m)	25	30	45	50
Largura (m)	45	50	55	65
Comprimento (m)	298	420	430	460
Área (m <sup>2</sup> )	13.410	21.000	23.650	29.900
Volume erodido - estimado (m <sup>3</sup> )	335.250	630.000	1.064.250	1.495.000
Tamanho	Muito grande	Muito grande	Muito grande	Muito grande

**(I) DESCRIÇÃO:** a voçoroca (VI - do Bairro Barra Azul) encontra-se no topo de um perfil marcado por uma alta variação topográfica com declividade superior a 14°, os dois eixos perpendiculares, (a) que marca o início da feição e (b) que marca o final da feição, indicam quebras suaves, mais aberta em (a) e mais fechada em (b); o seu eixo longitudinal apresenta uma suave inclinação de W para E.

Optou-se por dividi-la em três partes: cabeceira, meio e cauda. A cabeceira inicia na base do talude da BR-010 (platô) e estende a 100 m; a área intermediária compreende o intermédio da cabeceira/cauda; e a cauda inicia a 180 m do platô e extrema com as áreas de várzeas do rio Açailândia. Foram observadas as seguintes feições: erosão laminar de sulcos, ravinas, escamamentos e pedestais; desestruturação das paredes encosta por solapamento de base, alcovas de regressão, cicatriz de escoamento lateral, fendas, quedas de árvores e blocos de solos, sinas de movimentos de massa de solo e rastejo e sistemas radiculares expostos.

**(II) EVOLUÇÃO:** de 2005 a 2011 pode ter ocorrido um avanço erosivo de 122 m da cratera voçoroca nos sentidos do platô (BR-010), incluindo laterais e profundidade. De 2011 a 2014 avançou somente 10 m; e de 2014 a 2017, 30 m. Esta pode ser classificada como do tipo conectado (devido à cratera da voçoroca ainda não ter atingido a parte superior da encosta localizada no talude da BR-010), de forma ramificada (pois a cratera apresenta nas suas laterais ramificações de feições erosivas) e de tamanho muito grande (onde CPRM (2017) afirma que desde 2005 já ultrapassava os 40.000m<sup>3</sup> de solo erodido).

Figura 5: Síntese dos aspectos que caracterizam a voçoroca do Bairro Barra Azul (VI).

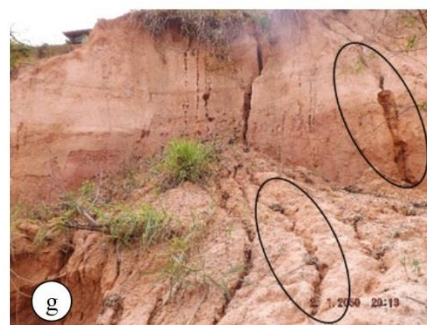
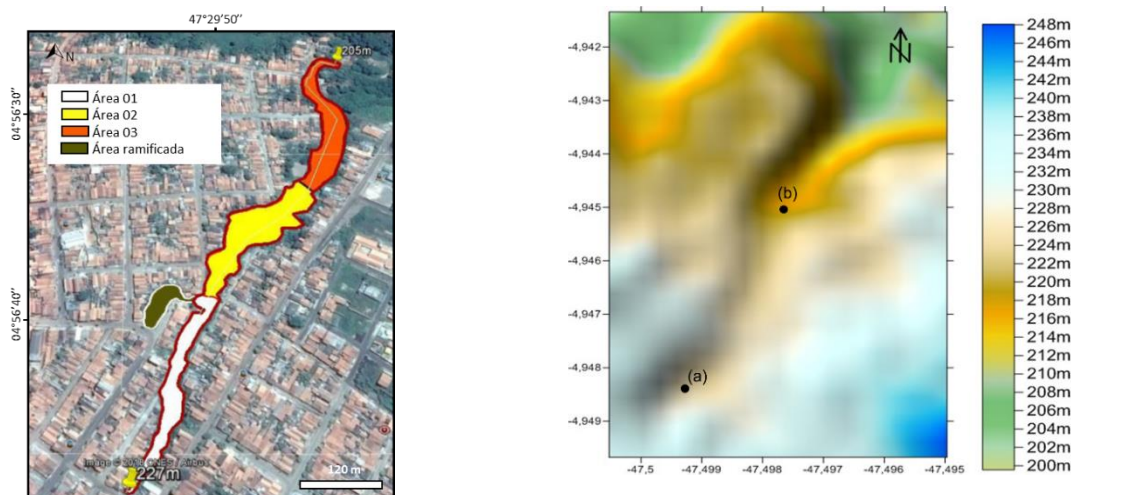


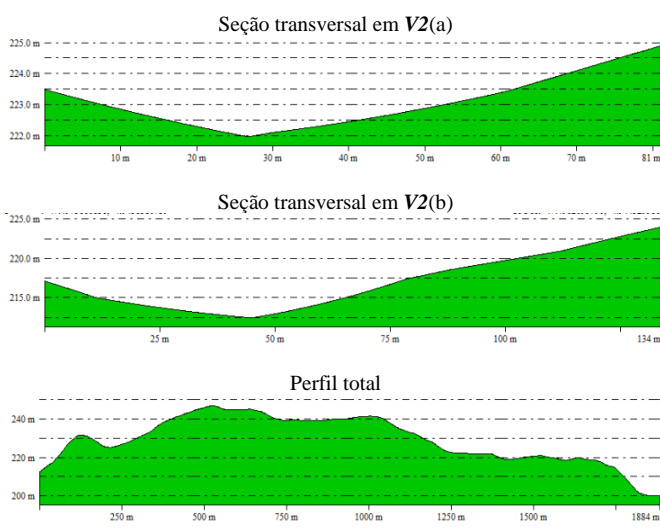
Figura 6: Voçoroca do Bairro Barra Azul. Visão geral: (a) Área 01 (Cabeceira); (b) Área 02 (Intermediário); (c) Área 03 (Cauda); (d) Área 04 (Várzea). Em destaque: (e) Deslizamento do perfil em função da ação do escoamento superficial e da gravidade. (f) Ravinações de diferentes profundidades, produtos da evolução da erosão laminar. (g) Feições erosivas já associadas a fendas de deslocamento de massa, demonstrando as zonas de risco da voçoroca.



Modelo 3D do Perfil (a - b)

**(I) DESCRIÇÃO:** a voçoroca (V2) encontra-se no topo, gradando para uma vertente côncava, com alta variação topográfica e declividade superior a 15°. Os dois eixos perpendiculares (a), que marca o início da feição; e (b), que marca o final da feição apresentam quebras suaves abertas e no seu eixo longitudinal observa-se uma suave inclinação de SW para NE.

**(II) EVOLUÇÃO:** evoluiu inicialmente no sentido cauda cabeceira, e posteriormente só no sentido canal para as encostas laterais, isso pós-estabilização do platô com a construção de um sistema de galerias com de dutos de concreto e murros de contenção de concreto e gabião. O platô desta voçoroca está localizado na Rua Maranhão interligado na área da cabeceira e se estende por 734 m até a sua cauda finalizando em um vale.



Área	Extensão (m)	Perímetro (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Feições	Antropismo
01	236	551	3789	Fendas e solapamento de base; movimento de massa; sistema radicular exposto.	Acúmulo de resíduos. Lançamento de esgotos. Borda do talude erosivo. Áreas ocupadas sem proteção contra evolução do processo erosivo.
02 e 03	487	1116	15306	Fendas provenientes de escoamento superficial; alcovas de regressão; erosão laminar e sulcos.	Área com evidências de movimentação, ambiente favorecido com o lançamento de esgotos que intensificam o escoamento superficial, agravado pelo acúmulo de lixo. Na porção mais inferior, a região encontra-se parcialmente recuperada, com a presença de obras de contenção.

Figura 7: Síntese dos aspectos que caracterizam a voçoroca do Bairro Centro (V2).

Porém, o diferencial é o antropismo. Como V2 está no centro de um espaço densamente urbanizado, sua dinâmica passa a ter um contexto misto, onde o escoamento concentrado pelo regime de chuvas e fluvial, passam a ter contribuições como o esgotamento sanitário e o lançamento do sistema de coleta de águas pluviais, além da concentração de resíduos (lixo) que representam um “sedimento” de fácil remoção e transporte.

A ocorrência de múltiplas feições erosivas em diversos estágios (onde se pode observar a

gradação da erosão laminar para ravinas até chegar as dimensões de voçorocas) demonstra as múltiplas influencias que a região sofre pela associação do escoamento superficial e subterrâneo (a presença de dutos e surgências de água, também indica escoamento subterrâneo), com as intervenções decorrentes da urbanização.

Vieira e Abreu (2014) e Simonetti et al. (2018) afirmam que o surgimento e evolução das voçorocas estão ligados as variações das taxas de erosão, as ações dos fatores controladores e

antrópicos. Em Açailândia os anos de 2011, 2014 e 2017 foram marcados pelas constantes e elevadas ocorrências pluviométricas no período chuvoso (Figura 8), estas podem ter contribuído para o avanço erosivo da *VI*, que atingiu a parte superior da encosta do talude da BR-010 (Figura 6a), destruindo parte do platô (metade da pista).

Stefanoski et al. (2016) e Oliveira et al (2018) destacam a importância da cobertura vegetal na proteção, amortecendo e interceptando a

água da chuva, auxiliando no controle os processos erosivos. Sua retirada, como observado na área do Bairro Centro (Figura 9), pode ocasionar a formação de cicatrizes de fluxo superficial (erosão cascata), alcovas de regressão, fendas e solapamento de base favorecendo o avanço do voçorocamento por quedas de blocos de solos (Castillo e Gómez, 2016; Selkimäki e González-Olabarria, 2017).

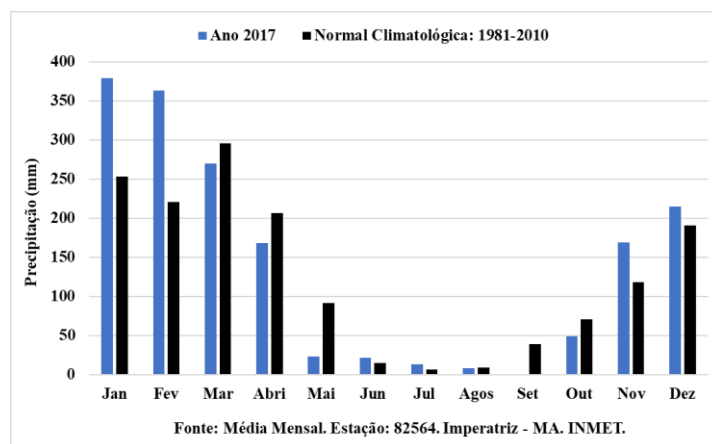


Figura 8: Distribuição das chuvas em Açailândia: média mensal do período.



Figura 9: Ocorrências observadas em *V2*. (a) Residência em risco; (b) lixo doméstico; (c) canalização do esgoto; (d) sinais de rastejo. (1) Movimento de massa; (2) fendas e solapamento de base; (3) sistema radicular exposto; (4) canal fluvial; (5) ravinas e erosão laminar.

Para Labrière et al. (2015), Bergonse e Reis (2016) e Souza et al. (2019) os processos erosivos são causados por forças ativas, através das características das chuvas, da declividade e comprimento do declive do terreno e da capacidade que tem o solo de absorver água; e por forças passivas, associadas a resistência que exerce o solo à ação erosiva da água e a densidade da cobertura vegetal. Tais fatores, sofrem a influência direta das formas de uso da terra. Se a região se torna também uma região de concentração de habitações precárias e com ausência de saneamento básico, o risco torna-se potencial pelo incremento da vulnerabilidade.

As perdas podem ser econômicas (galerias pluviais, redes elétricas, praças, lagoas de tratamentos de efluentes, linhas de esgotos, vias asfálticas, habitações entre outras estruturas de construções civis) ou sociais pela possibilidade de no momento da ocorrência de um evento (rápido e em horário de maior presença de pessoas) os efeitos acarretarem diretamente em impactos aos indivíduos envolvidos (Ornelas et al., 2014, Rubira et al., 2016).

O que leva a necessidade de municípios como Açailândia desenvolverem um planejamento voltado a gestão de riscos de desastres, podendo se elencar as seguintes medidas:

(a) Medidas Não Estruturais, Pré-desastre (identificação e avaliação do risco): a COMPDEC deve desenvolver ações que possam construir e/ou promover a percepção dos riscos pela comunidade, na construção de um ambiente seguro e sustentável, preparando-a para ser resiliente, assim como o seu remanejamento quando evidenciado o risco eminente.

(b) Medidas Estruturais, Pós-desastre: áreas de voçorocas necessitam em caráter de urgência de intervenções, com ações corretivas para contenção dos voçorocamentos e obras de infraestrutura de saneamento básico e medidas prospectivas na recuperação da área já atingida pelo seu avanço.

Porém, o prioritário sempre será administrar a regularização destes espaços, tendo como base um Plano Diretor, uma vez que não são ambientes favoráveis para expansão de moradias e de elevado custo para o poder público para reabilitação, devendo se priorizar seu uso como espaços verdes, atuando com ferramentas educativas e de fiscalização para contenção da migração populacional para estas áreas.

## Conclusão

A proposição de uma sistemática para o levantamento e caracterização de voçorocas em ambientes urbanos possibilita um mecanismo de

apoio a gestão municipal no controle de desastres naturais vinculados aos processos erosivos.

Sua aplicação demonstrou que a evolução das voçorocas dos bairros Barra Azul e Centro de Açailândia (MA) é favorecida por fatores controladores: erosividade (chuvas) e erodibilidade, ocasionada pela desestruturação da cobertura de solos, associada ao declive e comprimento das encostas desprotegidas de cobertura vegetal; além dos efeitos do antropismo na base das encostas desestruturando-as e provocando quedas de barreiras, pelo lançamento de resíduos sólidos e efluentes.

O resultado é a alteração da paisagem natural ligada principalmente ao desmatamento e a implantações de obras de infraestrutura urbana. Foi observado que a vulnerabilidade do ambiente é natural, porém o avanço do dimensionamento do canal das voçorocas com a urbanização é constante, o que leva a necessidade do município de Açailândia ter um plano de gestão de riscos de desastres, que apoie ações preventivas e de apoio no pós-desastre, com atenção para o período chuvoso da região.

## Referências

- Açailândia. 2017. Relatório final da política local de saneamento básico e do plano municipal de saneamento básico. Açailândia, MA: Prefeitura Municipal de Açailândia, 135 p.
- Arabameri, A., Cerda, A., Tiefenbacher, J. P. 2019. Spatial Pattern Analysis and Prediction of Gully Erosion Using Novel Hybrid Model of Entropy-Weight of Evidence. *Water*, 11, 1129. DOI: 10.3390/w11061129
- Batista, D. C. L., Vieira, A. F. S. G., Marinho, R. R. 2019. Uso do 'Google Earth Pro' no mapeamento de voçorocas na área urbana de Manaus (AM), Brasil. *Geosaberes Revista de Estudos Geoeducacionais*, 10, 1-12. DOI: 10.26895/geosaberes.v10i20.689
- Bergonse, R., Reis, E. 2016. Controlling factors of the size and location of large gully systems: A regression-based exploration using reconstructed pre-erosion topography. *Catena*, 147, 621-631. DOI: 10.1016/j.catena.2016.08.014034
- Caprario, J., Rech, A. S., Caprario, G. N., Finotti, A. R. 2017. Simulação Hidrossedimentológica da Bacia Hidrográfica do Rio Quatorze, Francisco Beltrão (Paraná, Brasil). *Anuário do Instituto de Geociências*, 40, 1, 102-114, DOI: 10.11137/2017\_1\_102\_114
- Castillo, C., Gómez, J. A. 2016. A century of gully erosion research: urgency, complexity and study approaches. *Earth-Science Reviews*, 160,

- 1, 300-319. DOI: 10.1016/j.earscrev.2016.07.009
- Cerri, R. I., Reis, F. A. G. V., Gramani, M. F., Gabelini, B. M., Zaine, J. E., Sisto, F. P., Giordano, L. C. 2018. Análise da influência de atributos fisiográficos e morfométricos na definição da suscetibilidade de bacias hidrográficas à ocorrência de corridas de massa. *Geologia USP*, 18, 1, 35-50. DOI: 10.11606/issn.2316-9095.v18-133737
- CPRM. 1999. Carta Geológica folha Açailândia: SB.23-V-A. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil Carta Geológica - Escala 1:250.000. Anexo I.
- CPRM. 2017. Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Açailândia - Maranhão. Brasília - DF: Serviço Geológico do Brasil, 38 p.
- Dirane, A. C. M., Vieira, A. F. S. G. 2014. Mapeamento das incisões erosivas do tipo voçorocas na rodovia AM 010/Manaus - Itacoatiara. *Revista Geonorte*, 5, 18, 50-54.
- Duarte, M. L., Silva Filho, E. P. 2019. Estimativa da erosividade da chuva na bacia hidrográfica do rio Juma com base em dados do satélite TRMM. *Caderno de Geografia*, 29, 56. DOI: 10.5752/p.2318-2962.2019v29n56p45
- Graça, C. H., Passig, F. H., Kelniar, A. R., Piza, M. A., Carvalho, K. Q., Arantes, E. J. 2015. Multitemporal analysis of estimated soil loss for the river Mourão watershed, Paraná-Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 75, 120-130. DOI: 10.1590/1519-6984.00613suppl
- Guerra, A. J. T., Fullen, M. A., Jorge, M. C. O., Bezerra, J. F. R., Shokr, M. S. 2017. Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: A Review. *Pedosphere*, 27, 27-41. DOI: 10.1016/S1002-0160(17)60294-7
- Guerra, A. J. T., Fullen, M. A., Jorge, M. C. O., Alexandre, S. T. 2014. Soil Erosion and Conservation in Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 37, 81-91. DOI: 10.11137/2014\_1\_81\_91
- IBGE. 2018. Cidades: Açailândia (MA). Brasília - DF: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em [https:// ibge.gov.br](https://ibge.gov.br).
- Labrière, N., Locatelli, B., Laumonier, Y., Freycon, V., Bernoux, M. 2015. Soil erosion in the humid tropics: A systematic quantitative review. *Agr Ecosyst Environ*, 203, 127-139. DOI: 10.1016/j.agee.2015.01.027
- Leite, O. C., Orlando, P. H. K., Viola, M. R. 2016. Mapeamento de feições erosivas lineares em Três Ranchos (GO). *Espaço em Revista*, 18, 2, 100-110.
- Lima, E. R. V., Pinto, S. A. F., Landim, P. M. B. 2014. Análise multivariada e cartografia de síntese no estudo da erosão dos solos. *Revista do Departamento de Geografia*, 2014, 40-93. DOI: 10.11606/rdg.v0i0.537
- Marçal, M. S., Guerra, A. J. T. 2003. Indicadores Ambientais Relevantes para a Análise da Suscetibilidade à Erosão dos Solos em Açailândia (MA). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 4, 2, 1-16.
- Miqueloni, D. P., Gianello, E. M., Bueno, C. R. P. 2015. Variabilidade espacial de atributos e perda de solo na definição de zonas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 45, 1, 18-28. DOI: 10.1590/1983-40632015v4528029
- Nascimento, F. C. A., Braga, C. C., Araújo, F. R. C. D., Costa, E. V. S. 2015. Caracterização de eventos secos e chuvosos na microrregião de Imperatriz - MA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8, 2, 325-333. DOI: 10.26848/rbgf.v8.2.p325-333
- Oliveira, F. F., Santos, R. E. S., Araújo, R. C. 2018. Processos erosivos: dinâmica, agentes causadores e fatores condicionante. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, 5, 3, 60-83.
- Ornelas, M. G., Ferraz, C. M. L., Ramos, C. G., Ursine, D. L., Rodrigues, J. P. L., Baffa, M. C. C. 2014. Voçorocamento em meio urbano e planejamento ambiental um estudo de caso em Teófilo Otoni-MG. *Revista Geonorte*, 10, 1, 722-726.
- Prosdocimi, M., Tarolli, P., Cerdà, A. 2016. Mulching practices for reducing soil water erosion: A review. *Earth-Science Reviews*, 161, 191-203. DOI: 10.1016/j.earscrev.2016.08.006.
- Restrepo A., Juan D. 2015. El impacto de la deforestación en la erosión de la cuenca del río Magdalena (1980-2010). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 39, 151, 250-267. DOI: 10.18257/raccefyn.141
- Rubira, F. G, Melo, G. V, Oliveira, F. K. S. 2016. Proposta de padronização dos conceitos de erosão em ambientes úmidos de encosta. *Revista de Geografia*, 33, 1, 168-193.
- Sampaio, L. F., Rodrigues, V. G. S., Bressiani, D. A., Ferreira, R. R. M. 2017. Hydrologic and hydraulic simulations for use in macrodrainage designs for gully management and recovery. *DYNA*, 84, 202, 129 -136. DOI: 10.15446/dyna.v84n202.61254
- Selkimäki, M., González-Olabarria, J. R. 2017. Assessing gully erosion occurrence in forest lands in Catalonia (Spain). *Land Degradation Development*, 28, 616-627. DOI: 10.1002/ldr.2533

- Silva, V. P. R., Silva, M. T., Souza, E. P. 2016. Influence of land use change on sediment yield: a case study of the sub-middle of the São Francisco River Basin. *Engenharia Agrícola*, 36, 6, 1005-1015. DOI: 10.1590/1809-4430-eng.agric.v36n6p1005-1015/2016
- Simonetti, V. C., Silva, D. C. C., Oliveira, R. A., Sabonaro, D. Z., Rosa, A. H. 2018. Análise da suscetibilidade do solo a processos erosivos do Parque Natural Municipal Corredores de Biodiversidade (PNMCBIO) de Sorocaba (SP). *Revista Espaço Geográfico em Análise*, 44, 169 - 180. DOI: 10.5380/raega.v44i0.48838
- Souza, F. G., Melo, V. F., Araújo, W. F., Araújo, T. H. C. 2019. Losses of soil, water, organic carbon and nutrients caused by water erosion in different crops and natural savannah in the northern Amazon. *Revista Ambiente & Água*, 14, 1, e2126. DOI: 10.4136/ambi-agua.2126
- Stefanoski, D. C., Figueiredo, C. C., Santos, G. G., Marchão, R. L. 2016 Selecting soil quality indicators for different soil management systems in the Brazilian Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51, 1643-1651. DOI: 10.1590/s0100-204x2016000900064
- Teófilo-Salvador, E., Morales-Reyes, G. P., Muciño-Castañeda, R., Esteller-Alberich, M. V. 2019. Experimentación reducida-controlada in situ del deslizamiento de suelo por efecto de flujo subsuperficial de agua. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 20, 3, e026. DOI: 10.22201/ fi.25940732e.2019.20n3.026
- Toledo Medrano, M. L., Fernández Reynoso, D. S., Martínez Menez, M. R., Rubio Granados, E., García Rodríguez, J. L. 2018. Identificación de covariables ambientales que influyen en la formación de cárcavas en la Mixteca Oaxaqueña. *Terra Latinoamericana*, 36, 4, 323-335. DOI: 10.28940/terra.v36i4.329
- Vieira, A. F. S. G., Abreu, N. R. P. 2014. Histórico das voçorocas em Manaus-Amazonas-Brasil. *Revista Geonorte*, 10, 27-45.
- Vieira, A. F. G., Albuquerque, A. R. C. 2004. Cadastramento de voçorocas e análise do risco erosivo em estradas: BR -174 (Trecho Manaus-Presidente Figueiredo). In: *Simpósio Nacional de Geomorfologia*, 5, Encontro Sul-Americano de Geomorfologia, 1, 2004. Anais ... Santa Maria, RS: UFSM.
- Vieira, A. F. G. 2008. Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): fatores controladores e impactos urbano-ambientais. 223 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC.
- Villas Bôas, J. M., Araújo, C. C. 1999. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Açaílândia: Folha SB.23-V-A, escala 1:250.000. Estados do Pará e Maranhão. Brasília: CPRM.
- Zamparoni, C. A. G. P., Santos, L., Soares, J. C. O. 2017. Susceptibilidade a inundações no perímetro urbano de Cáceres-MT. *Caderno de Geografia*, 27, 623-641. DOI: 10.5752/p.2318-2962.2017v27n51 p623