

Informe Técnico-Científico de Prevenção de Desastres e Ordenamento Territorial

Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial | Departamento de Gestão Territorial

V. 1, N. 1 Rio de Janeiro, dezembro 2020

Determinação indireta da erodibilidade do talude marginal da comunidade Fátima de Urucurituba, Município de Santarém, Pará, Brasil e sua relação com suscetibilidade à erosão fluvial

Indirect determination of the riverbank's erodibility nearby Fátima de Urucurituba community, Municipality of Santarém, Pará, Brazil and its relationship with susceptibility to fluvial erosion

Iris Celeste Nascimento Bandeira (iris.bandeira@cprm.gov.br)¹Sheila Gatinho Teixeira (sheila.teixeira@cprm.gov.br)¹¹ Serviço Geológico do Brasil - CPRM, Escritório Rio de Janeiro

Abstract

Erosive processes known as “terras caídas” (fallen lands or soils) are generally correlated with river erosion in the Amazon region. These processes are very feared by the inhabitants, since they are associated with large slips margins reaching areas often occupied. An example of this event occurred in the community of Fátima de Urucurituba, located in the municipality of Santarém, State of Pará, on the left bank of the Amazon River, where erosive process associated with land movements caused material damage to the region's residents. Due to these occurrences, the Geological Survey of Brazil – CPRM evaluated the risk levels of the surrounding area, as well as conducted a research on the erodibility factor of marginal sediments in this community, by two indirect methods: Bouyoucos and Wischmeier. The two methods came to different but close results, exhibiting erodibility factors above 0.106 t.ha.h/ha.Mj. This value is directly correlated to a predominantly silty material with large amounts of quartz, and significant parts of muscovite, chlorite, alkaline feldspar, plagioclase and presence of expansive clay-minerals, with little organic matter content and permeability ranging from low to moderate. This results, when associated with high rainfall indexes and high flows make the land high susceptible to river erosion.

Keywords: Amazon river, terras caídas, riverbank erosion, hazard, risk.

Palavras chave: Rio Amazonas, Terras Caídas, Perigo, Risco.

INTRODUÇÃO

Inúmeros municípios da região amazônica são atingidos por desastres decorrentes de processos de erosão fluvial, que causam escorregamentos e solapamentos de grandes proporções nas margens de grandes rios. Esse processo, regionalmente denominado “terras Caídas” é muito temido na região devido à capacidade de transformação da paisagem e aos transtornos que causam aos moradores ribeirinhos.

Segundo Bandeira *et al.* (2018) e Bandeira e Teixeira (2019), foram identificadas 236 áreas de risco na região amazônica referentes a esse processo erosivo, onde mais de 26.000 pessoas vivem sob o risco de sofrerem danos físicos e materiais. Além deste trabalho, existem diversas referências a terras caídas na Amazônia,

como as da Costa do Miracauera – Paraná da Trindade, Município de Itacoatiara – AM (CARVALHO, 2006); Costa da Águia, Parintins - AM (CARVALHO *et al.*, 2009); Médio Solimões/Coari-Amazonas (FREITAS; ALBUQUERQUE, 2012); Costa do Arapapá - margem esquerda do Rio Solimões; comunidade de São Carlos – Médio Madeira/RO (LABADESSA, 2011), entre outros que não foram publicados e nem divulgados.

A comunidade Fátima de Urucurituba, localizada na margem esquerda do Rio Amazonas, também, apresenta esta problemática, que pode ser constatada por vários eventos erosivos e de movimentos de terra que ocorrem há vários anos. Um exemplo foi o que aconteceu em 2010, quando um evento de terras caídas causou a destruição da escola, 10 casas e recuo de 500 m da margem. Devido à esta ocorrência, SGB-CPRM

foi demandado pela Defesa Civil Estadual a realizar a setorização de risco no local, onde se constatou que toda a margem da referida comunidade apresentava risco alto à erosão fluvial.

Considerando, ainda, que as propriedades do solo que influenciam a erodibilidade são as mesmas que afetam a velocidade de infiltração da água no solo, a permeabilidade e a capacidade de absorção de água; e aquelas que modificam a resistência à dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da enxurrada (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1995), que a quantificação da erodibilidade associa-se a suscetibilidade a erosão do solo (FOSTER, 1982), este trabalho tem o objetivo de identificar os fatores de erodibilidade do talude marginal e correlacionar com a suscetibilidade ao processo erosivo fluvial.

CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA ÁREA ESTUDADA

A área de estudo é representada pela comunidade Fátima de Urucurituba, no município de Santarém (Figura 1), no estado do Pará, na margem esquerda do Rio Amazonas, onde existem mais de 150 famílias vivendo sobre depósitos aluvionares recentes, inseridos na bacia sedimentar do Amazonas.

Em termos de geomorfologia, está localizada na Planície Amazônica (DANTAS; TEIXEIRA, 2013), coberta por floresta e áreas de pastagem, associada à bacia hidrográfica do Rio Amazonas. Nessa região, o referido rio apresenta margens em forma côncava, convexa e retilínea; largura entre 3,5 a 7 km; vazão líquida acima de 150.000,00 m³/s (TEIXEIRA; SILVA; LOPES, 2018) e profundidade entre 3 e 40m (BRASIL, 2020), com amplitude média do nível d'água entre o máximo da cheia (maio) e o mínimo da vazante (novembro) de aproximadamente 4,5m, para a série histórica (1968-2006) registrada na estação fluviométrica de Santarém, que compõe a Rede Hidrometeorológica Nacional (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2020). Essa amplitude proporciona que, durante a cheia do rio, extensas massas de terra sejam submergidas devido ao aumento da poropressão e que, na vazante, devido à pressão hidrostática, ocorram deslizamentos. A área de estudo está sob uma pequena influência da maré dinâmica, caracterizando essa porção do Rio Amazonas como a zona superior do estuário, onde as amplitudes de maré são diminuídas devido à forte influência da vazão do rio (GALLO; VIZON, 2005). Essa hidrodinâmica fluvial associa-se a um clima tropical úmido, onde as maiores precipitações pluviométricas ocorrem de janeiro a maio, sendo os meses mais chuvosos março e abril e os menos chuvosos setembro e outubro (Figura 2).

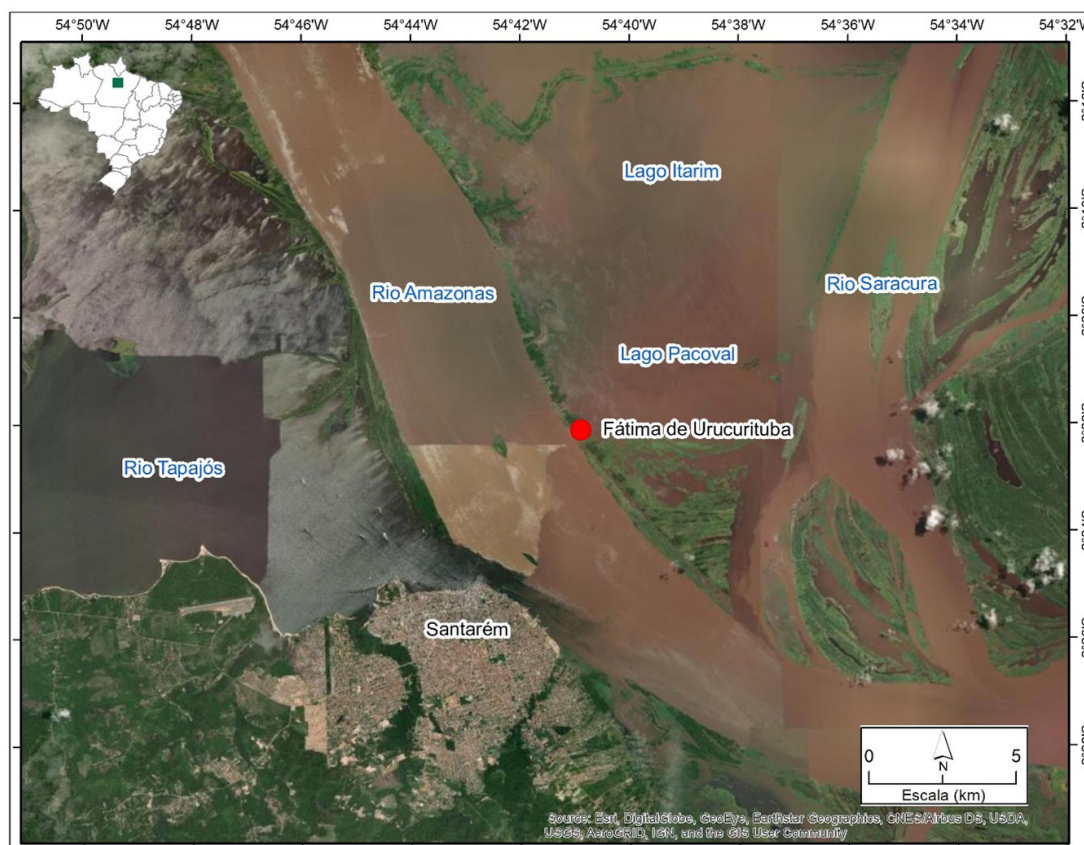


FIGURA 1. Mapa de localização da comunidade Fátima de Urucurituba, município de Santarém, estado do Pará. Fonte: elaborado pelos autores.

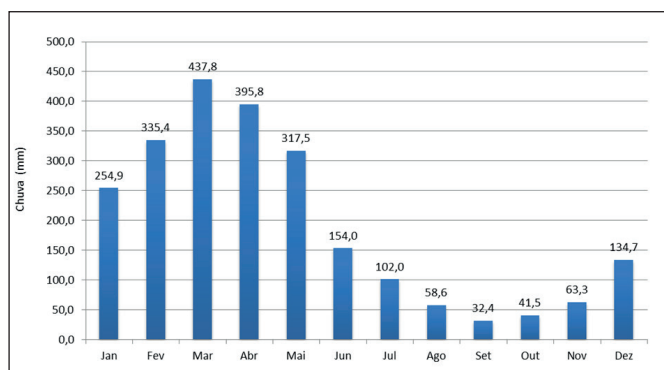


FIGURA 2 - Média mensal de chuva no município de Santarém, Pará, Brasil no período de 1969 a 2018, Estação Pluviométrica de Santarém (00254000). Fonte: Banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2020).

Segundo Luzardo e Teixeira (2012), toda comunidade em estudo apresenta risco alto à erosão fluvial (terras caídas), onde já ocorreram vários eventos erosivos que causaram perdas materiais significativas para os moradores do local, como a destruição da escola e de diversas moradias (Figura 3).

Segundo Teixeira *et al.* (2018), a partir da análise multitemporal de imagens de satélite de 31 anos (1985 a 2016), foi possível quantificar o recuo linear da margem onde fica situada a localidade, que foi de 1,4 km em 31, e foi incrementado a partir de 2005, sendo que no período de 2005 a 2016 a taxa de recuo foi de aproximadamente 82m/ano (Figura 4).

MÉTODOS

Neste estudo, o fator erodibilidade do solo (K) foi calculado por dois métodos indiretos: Bouyoucos (1935) e Wischmeier, Johnson e Cross (1971).



FIGURA 3 - Processo erosivo nas margens do Rio Amazonas. Comunidade Fátima de Urucurituba. Fonte: <http://g1.globo.com/pa/santarem-regiao/noticia/2014/01/terras-caidas-assusta-moradores-de-comunidade-em-santarem.html>

O método de Bouyoucos (1935) considera a textura dos solos como fator principal e utiliza a Equação 1 para o cálculo de erodibilidade.

$$K = ((\% \text{ areia} + \% \text{ silte}) / (\% \text{ argila})) / 100$$

(Equação 1)

Onde: K é o fator de erodibilidade do solo de cada sub-horizonte (t.ha.h/ha.MJ.mm) t= tonelada, ha = hectare, h = hora, MJ = megajoule e mm = milímetro; e % areia, % silte e % argila representam as respectivas frações para cada sub-horizonte.

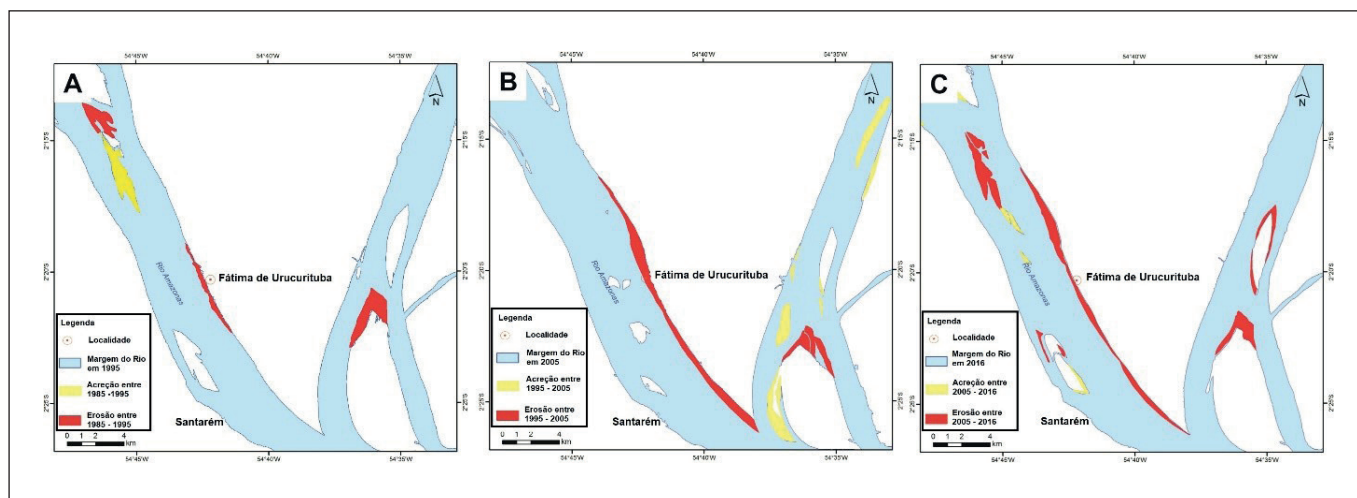


FIGURA 4 - Mudanças nas margens do Rio Amazonas na comunidade Fátima de Urucurituba e entorno, no período de 1985-2016, com indicação das áreas com acreção (amarelo) e erosão (vermelho): A – 1985 a 1995; B – 1995-2005 e C- 2005 a 2016. Fonte: Teixeira *et al.* (2018).

O método de Wischmeier, Johson e Cross (1971) baseia-se nos parâmetros de textura, matéria orgânica, permeabilidade e estrutura do material, e utiliza a Equação 2 para obter a erodibilidade.

$$K = 0,1317 [2,1(10^{-4}) (12-MO)M^{1,14} + 3,25(S-2)+2,5(P-3)/100] \text{ (Equação 2)}$$

Onde: o fator 0,1317 é adotado para obter o parâmetro em unidades do Sistema Internacional; 'M' – parâmetro baseado na textura do solo, representado pela soma das frações silte (%) e areia fina (%) (fração entre 0,002 a 0,1 mm), multiplicada por 100 menos o teor de argila (%); 'MO' – teor de matéria orgânica (%); 'S' e 'P' – parâmetros que caracterizam, respectivamente, a estrutura e a permeabilidade do solo.

Os valores de classe de estrutura do solo (S) são diferenciados em: granular muito fina (1), granular fina (2), granular média ou grossa (3) e em blocos, laminar ou mássica (4).

Os valores de P para permeabilidade são diferenciados em: rápida (1), moderada a rápida (2), moderada (3), lenta a moderada (4), lenta (5) e muito lenta (6), correlacionáveis com a faixa de valores de permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica elaborada por Fetter (2001) (Tabela 1).

TABELA 1 - Faixa de valores de permeabilidade intrínseca e condutividade hidráulica da água para vários materiais não consolidados.

Classe de permeabilidade	Material	Permeabilidade intrínseca (cm ²)	Condutividade hidráulica (cm.s ⁻¹)
6	Argila	10 ⁻¹⁴ -10 ⁻¹¹	10 ⁻⁹ -10 ⁻⁶
5	Silte; silte arenoso	10 ⁻¹¹ -10 ⁻⁹	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁴
4	Areia argilosa	10 ⁻¹¹ -10 ⁻⁹	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁴
3	Areia siltosa; areia fina	10 ⁻¹⁰ -10 ⁻⁸	10 ⁻⁵ -10 ⁻³
2	Areia bem distribuída	10 ⁻⁸ -10 ⁻⁶	10 ⁻³ -10 ⁻¹
1	Cascalho bem distribuído	10 ⁻⁷ -10 ⁻⁵	10 ⁻² -10 ⁰

Fonte: Fetter (2001).

Para obtenção do parâmetro "M", foi feita uma caracterização textural dos sedimentos marginais, coletados na comunidade, através de análise granulométrica pelo método de espalhamento a laser, no laboratório do SGB-CPRM de Manaus. Os resultados foram colocados em curvas e, posteriormente, realizou-se a classificação

nos diagramas triangulares de Folk (1954), usando as porcentagens acumuladas em cada faixa granulométrica: argila, silte e areia.

O parâmetro "MO" foi determinado através de análise química da fração 'terra fina', termo utilizado para referir-se à fração do solo/sedimento com partículas inferiores a 2 mm de diâmetro, tendo sido realizado de acordo com as metodologias prescritas pelo Manual de Métodos de Análise de Solo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2011).

Também foi realizada análise mineralógica por difração de raio X (DRX) no laboratório do SGB-CPRM de Manaus, com o objetivo de identificar a presença de argilas expansivas que podem favorecer o processo erosivo.

Vale ressaltar que no trabalho não foi feita análise quantitativa dos minerais expansivos, pois o método de difratometria de raios X consiste em uma técnica semi-quantitativa, que possibilita a identificação de minerais, mas não possibilita quantificá-los de forma direta. Para obtenção de dados quantitativos, seria ideal uma análise por fluorescência de raios X (FRX).

A caracterização estrutural foi feita por observações visuais de campo.

Para a medida da condutividade hidráulica (permeabilidade), utilizou-se o método do infiltrômetro de anéis (open end hole), onde se cravou um tubo de PVC de 0,1m de diâmetro, em três profundidades: 0,40m, 0,8m e 1,2m, para impedir a dispersão lateral da água que foi inserida. Tomou-se a medida do parâmetro "H" (distância entre o topo do tubo e o fundo do furo, no caso 0,47m. Em seguida, preencheu-se o tubo com água e mediu-se a distância inicial entre o topo e o nível da água (M), resultando na altura da coluna d'água inicial (h₀ = H-M_i). Finalmente, durante o intervalo de tempo (Δt) de 1 minuto media-se a nova posição da lâmina d'água (M_f), obtendo-se a altura da coluna d'água final (h = H - M_f).

Esses valores foram aplicados na seguinte equação:

$$kv = 2,303x(R/4Δt)x[\log(h_0/h)] \text{ (Equação 3)}$$

Onde:

R = raio do tubo;

h₀ = coluna d'água inicial;

h = coluna d'água final;

Δt = tempo decorrido para o rebaixamento entre h₀ e h.

Os valores de erodibilidade obtidos foram correlacionados com as classes de erodibilidade de Mannigel *et al.* (2002), Raimo *et al.* (2019), Freire e Pessotti (1974) (Tabela 2). Ademais, foram comparados com informações de suscetibilidade à erosão (Tabela 3) pela textura dos solos de Llopis Trillo (1999).

TABELA 2 - Classes de erodibilidade do solo segundo Mannigel *et al.* (2002), Raimo *et al.* (2019), Freire e Pessotti (1974).

Classificação	Classe de Erodibilidade (Mg ha h ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹)		
Extremamente alto	k >0,0600		
Muito alto	0,045 a 0,060	k > 0,065	k > 0,50
Alto	0,030 a 0,045	0,046 a 0,065	0,50-0,35
Médio	0,015 e 0,030	0,032 e 0,046	0,35-0,25
Baixo	0,009 a 0,015	0,013 e 0,032	0,25-0,10
Muito baixo	k <0,009	k <0,013	k < 0.10
Fonte:	Mannigel <i>et al.</i> (2002) Fator de erodibilidade no estado de São Paulo calculado pela expressão de Bouyoucos (1935)	Raimo <i>et al.</i> (2019) Fator de erodibilidade no estado de Mato Grosso usando a expressão de Wischmeier <i>et al.</i> (1971)	Freire e Pessotti (1974) Fator de erodibilidade no estado de São Paulo usando a expressão de Wischmeier <i>et al.</i> (1971)

TABELA 3 - Suscetibilidade à erosão pela textura dos solos.

Símbolo	Descrição do Solo - Classificação Unificada	Erodibilidade
GW	Pedregulho e mistura de pedregulho e areia bem graduados, com poucos ou sem finos.	↓
GP	Pedregulho e mistura de pedregulho e areia mal graduados, com poucos ou sem finos.	
SW	Areias e areias pedregulhosas bem graduadas, com poucos ou sem finos.	
GM	Cascalho siltoso, misturas de cascalho e areia, areia e silte.	
CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada, argilas gordas.	
CL	Argilas inorgânicas de plasticidade baixa ou média, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras.	
OL	Siltos orgânicos, siltos e argilas orgânicas de plasticidade baixa.	
MH	Siltos inorgânicos, solos arenosos finos ou siltosos micáceos e diatomáceos, solos elásticos.	
SC	Areias argilosas.	
SM	Areias siltosas.	
ML	Siltos inorgânicos e areias muito finas, pó de pedra, areias finas siltosas ou argilosas e siltos argilosos pouco plásticos.	

Fonte: Llopis Trillo, 1999.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise textural

Na comunidade Fátima de Urucurituba, verificou-se que o talude marginal apresenta altura de 14m (BRASIL, 2020). No entanto, a coleta das amostras para as análises foi feita apenas nos dois metros emersos, durante o período da vazante (setembro de 2017). As referidas análises, quando plotadas no diagrama triangular que avalia as porcentagens de areia, silte e argila (FOLK, 1954), constituem um único grupo, no campo do silte arenoso, sempre com baixa porcentagem de argila (Figura 5) e curvaturas exibindo materiais bem graduados (Figura 6). No entanto, no campo, observou-se que a textura do horizonte B1 mostra-se fina a média e a textura

dos horizontes B4 e B5 muito fina, com características plásticas e aspecto textural siltico-argiloso (Figura 6).

Análise mineralógica

Em termos de mineralogia, o talude marginal estudado apresenta predomínio de quartzo e porções significativas de muscovita, plagioclásio (albita) e clorita (nimita) (Tabela 4), com presença de feldspato alcalino nos horizontes B4 e B5.

Também foi detectada esmectita (nontronita), um argilomineral expansível do tipo 2:1, nos horizontes B3 e B4, onde havia uma textura com materiais mais finos (Tabela 4).

Considerando a sequência de estabilidade para minerais de fração de argila nos solos, proposta por Jackson (1968), pode se dizer que o material do talude marginal da comunidade Fátima de Urucurituba apresenta índice

de intemperismo num estágio recente (solos jovens) a intermediário, com presença de minerais como plagioclásios, feldspato potássico, esmectita e clorita. Esses minerais apresentam estabilidade moderada e, portanto, estão mais suscetíveis ao intemperismo e à erosão.

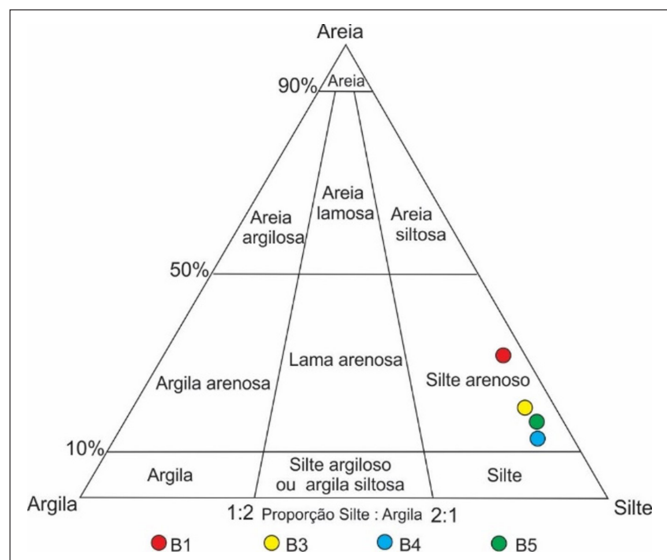


FIGURA 5 - Diagrama de Folk (1954), com proporções de argila, silte e areia e a classificação das amostras do talude marginal da comunidade Fátima de Urucurituba. Fonte: elaborado pelos autores.

TABELA 4 - Caracterização mineralógica do material do talude marginal por difratometria de raios X.

Minerais identificados	Horizontes			
	B1	B3	B4	B5
Quartzo	X	X	X	X
Muscovita	X	X	X	X
Esmectita (nontronita)		X	X	
Feldspato alcalino (Ortoclásio)			X	
Feldspato alcalino (Microclínio)				X
Plagioclásio (albita)	X	X	X	X
Clorita (nimita)	X	X	X	X

Fonte: elaborado pelos autores.

Condutividade Hidráulica / Permeabilidade

Foram encontrados três valores de condutividade hidráulica para o talude marginal emerso (Tabela 5), diminuem à medida que se aprofunda no perfil, porque há aumento no teor de sedimentos argilosos em detrimento à porção superior do talude marginal, que possui textura mais arenosa e mais permeável. Observa-se que foi utilizado o mesmo valor do horizonte B4 para o B5, por possuírem texturas muito semelhantes.

TABELA 5 - Valores de condutividade hidráulica para o material do talude marginal.

Amostra	Profundidade	Condutividade hidráulica - k (cm/s)
B1	0,4m	$1,88 \times 10^{-3}$
B3	0,4 – 0,8m	$1,22 \times 10^{-4}$
B4	0,8 a 1,10m	$2,31 \times 10^{-6}$
B5	1,10 a 2m	$2,31 \times 10^{-6}$

Fonte: elaborado pelos autores.

Análise de erodibilidade

Os cálculos do fator de erodibilidade (K), pelo método de Bouyoucos (1935), mostraram valores acima de 0,11 t.ha/h/ha.Mj.mm, conforme se observa na Tabela 6. Esses valores indicam solos de extrema erodibilidade, conforme trabalhos de Mannigel *et al.* (2002) que utiliza essa mesma metodologia.

Pelo método Wischmeier, Johnson e Cross (1971), os valores de erodibilidade obtidos ficaram entre 0,104 e 0,108 (Tabela 7). Esses valores indicam solos de extrema erodibilidade, conforme as classes de Raimo *et al.* (2019).

Apesar de diferentes, os resultados com as metodologias propostas por Bouyoucos (1935) e por Wischmeier, Johnson e Cross (1971) mostram valores próximos, evidenciando que a erodibilidade dessa área mostra-se intrinsecamente relacionada com a alta quantidade de silte. Corroborando

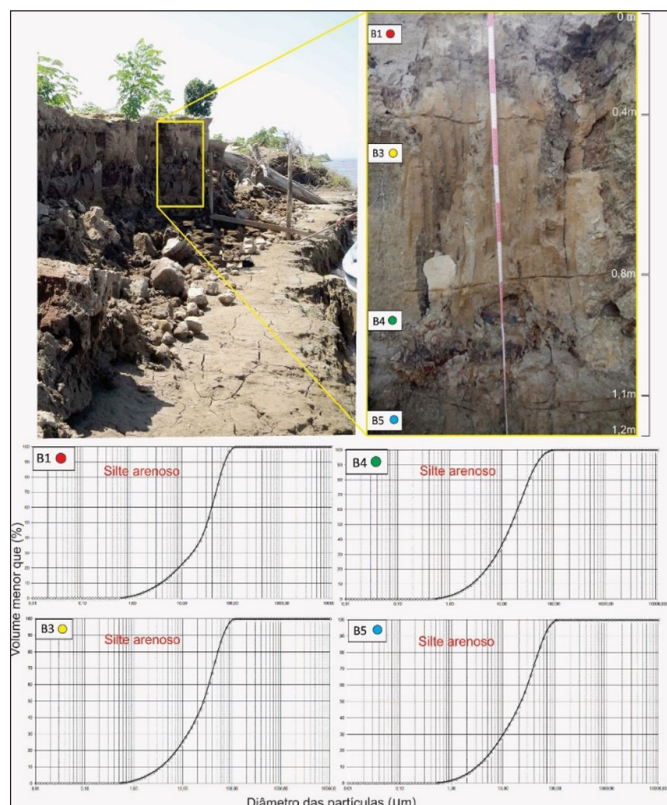


FIGURA 6 - Talude marginal localizado na comunidade Fátima de Urucurituba, composto predominantemente por silte arenoso, com a localização das amostras coletadas e suas respectivas curvas granulométricas. Fonte: elaborado pelos autores.

TABELA 6 - Valores texturais e fator de erodibilidade (K) do material que sustenta o talude marginal localizado na comunidade Fátima de Urucurituba, conforme método de Bouyoucos (1935).

Amostra	Profundidade	Argila (%)	Silte (%)	Areia Fina (%)	Fator erodibilidade (k)
B1	0,4m	5,6	70,6	23,8	0,168
B3	0,4 – 0,8m	5,85	80,15	14	0,160
B4	0,8 a 1,10m	7,98	87,9	4,12	0,115
B5	1,10 a 2m	6,6	82	11,4	0,141

Fonte: elaborado pelos autores.

TABELA 7 - Fator de erodibilidade (K) do material que sustenta o talude marginal localizado na comunidade Fátima de Urucurituba, conforme método de Wischmeier, Johson e Cross (1971).

Amostra	Profundidade	%Silte + % Areia fina * 100 – % Argila (M)	Matéria orgânica (%) (MO)	Tipo de Estrutura (S)	Classe de permeabilidade (P)	Fator de erodibilidade (k)
B1	0,4m	8911,36	0,2	3	3	0,108
B3	0,4 – 0,8m	8864,2225	0,17	2	4	0,106
B4	0,8 a 1,10m	8467,6804	0,1	1	6	0,104
B5	1,10 a 2m	8723,56	0,1	1	6	0,104

Fonte: elaborado pelos autores.

com a ideia de que solos compostos, principalmente por siltes e areias finas ou argilas dispersivas, tendem a ser mais erosivos (LAL, 1994). Desta forma, com base nos dados granulométricos, nas classes de erodibilidade de Mannigel *et al.* (2002) e de Raimo *et al.* (2019) e no sistema hierárquico de Llopis Trillo (1999), verifica-se que o talude marginal da comunidade Fátima de Urucurituba apresenta valores de erodibilidade elevados, indicando extremas erodibilidades. No entanto, pela classificação de Freire e Pessotti (1974), os resultados obtidos para o talude em questão indicam uma classe de erodibilidade muito baixa, em conformidade com Bastos (1999), que sugere que solos erodíveis seriam aqueles com $K > 0,20$. Assim, não há um consenso em relação a um valor limite de K que permita a distinção objetiva entre solos suscetíveis e solos resistentes à erodibilidade. Até porque não há uma classificação para todos os solos do Brasil, principalmente para Cambissolos Flúvicos, caso do talude estudado. Mas pelos dados de campo, desta e de outras regiões, sabe-se que o material em questão (sedimentos modernos silteco-arenosos) são muito suscetíveis ao fenômeno das terras caídas. Portanto, os valores de Bouyoucos (1935) e de Wischmeier, Johson e Cross (1971) são mais condizentes com a realidade observada.

Existem propriedades que tendem a induzir a suscetibilidade de um solo à erosão e outras que, em sentido oposto, são claramente relacionadas à resistência do mesmo. Por exemplo, solos expansíveis são mais suscetíveis à erosão, ao passo que aqueles que exibem índices de plasticidade elevados tendem a ser mais resistentes aos

processos erosivos. Neste contexto, considerando apenas a expansibilidade dos minerais, uma vez que não foram realizadas análises de plasticidade, somada à textura silteco-arenosa do material, pode-se dizer que o talude marginal em questão, por conter em dois horizontes minerais expansivos, apresenta alta suscetibilidade a processos erosivos.

Considerando-se que o desencadeamento dos processos erosivos não é determinado por um fator exclusivo, mas por um conjunto de diferentes variáveis inter-relacionadas, como litologia, solo, clima, relevo, cobertura vegetal e ação antrópica, e que para a erosão fluvial leva-se em conta também a vazão, carga sedimentar e a variação do nível da água do rio, é importante estabelecer a interação desses fatores de forma consistente, de modo que se possam formular critérios de estimativa prévia sobre o potencial à erodibilidade dos solos.

Desta forma, os dados de erodibilidade obtidos, quando associados aos dados hidrológicos, mostram que o talude marginal estudado será facilmente erodível. Principalmente, por possuir alta suscetibilidade à erosão condicionada a um alto teor de silte e a presença de minerais expansivos, associados a um alto índice pluviométrico e vazões líquidas do rio acima de $150.000\text{m}^3/\text{s}$ (TEIXEIRA; SILVA; LOPES, 2018). Ressalta-se, que ainda são necessários dados quantitativos sobre os minerais expansivos para se avaliar mais precisamente o grau de suscetibilidade do terreno, pois solos expansivos apresentam uma alta susceptibilidade à degradação e à erosão hídrica (KÄMPF; MARQUES; CURTI, 2012).

CONCLUSÕES

As análises realizadas no talude marginal da comunidade Fátima de Urucurituba mostraram que o mesmo, em sua parte superior, é composto predominantemente por material fino de textura siltosa a silto-arenosa, de permeabilidade moderada e com presença de minerais expansivos, pouco coesos e facilmente erodíveis. Esta condição de erodibilidade deve estar relacionada à grande quantidade de silte, uma vez que, quando compactado, o terreno siltoso poderá apresentar fissuras, pela falta de plasticidade, e ser facilmente levado pela correnteza. A erodibilidade, também, pode ser maior por conta da presença de argilominerais expansivos (esmectita), mas que precisam ser quantificados para uma melhor avaliação da suscetibilidade. Essas características, associadas às elevadas vazões do Rio Amazonas, propicia uma área com alta suscetibilidade à erosão fluvial.

Ressalta-se que este estudo mostra que o referido talude marginal tem alta suscetibilidade à erosão fluvial e que pode ser facilmente erodido por processo de corrosão/abrasão devido à correnteza do rio, porém não apresenta elementos suficientes para explicar o processo de solapamento de grandes massas de terra. Sabe-se que o terreno é pouco estável, mas não se tem pleno conhecimento dos elementos desencadeadores do solapamento. Desta forma, sugere-se que sejam realizados:

i) Estudos sedimentológicos mais detalhados, como avaliação de um perfil mais profundo para verificar a sequência estratigráfica do depósito aluvionar, observando-se diferenças litológicas, e quantificar os argilominerais expansivos.

ii) Análise de perfis sísmicos, para observar tanto a questão da sedimentação quanto a presença ou não de falhas.

iii) Testes geotécnicos mais específicos, como de resistência (limite de ruptura), saturação do solo e pressão hidrostática (poropressão na cheia e vazante do rio).

iv) Análise geofísica-geotécnica para avaliar a erosão interna e o fluxo interno da água no terreno.

v) Perfilagem com o aparelho ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), com o objetivo de se estabelecer o perfil batimétrico e de velocidade do rio em frente à comunidade.

REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Banco de dados**. Versão 3.1.1. Brasília: ANA, 2020. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 20 abr. 2020.

BANDEIRA, I. C. N.; ADAMY, A.; ANDRETTA, E. R.; COSTA DA CONCEIÇÃO, R. A.; ANDRADE, M. M. N. Terras caídas: Fluvial erosion or distinct phenomenon in the Amazon?. *Environmental Earth Sciences*, v. 77, p. 1-16, 2018.

BANDEIRA, I. C. N.; TEIXEIRA, S. G. **Risco de terras caídas na Amazônia**. Apresentado no 1º Encontro Brasileiro em Redução de Riscos de Desastres – IRRD, 1., 2019, Porto Alegre. Porto Alegre: ABRRD, 2019.

BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1995.

BOUYOUCOS, G. W. The clay ration as a criterion as susceptibility of soils to erosion. *Jour. Amer. Soc. Agron.*, v. 27. p. 738-741, 1935.

BRASIL. Marinha. **Cartas Raster**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-segnav/cartas-raster>. Acesso: 12 jun 2020.

CARVALHO, J. A. L. **Terras caídas e consequências sociais: Costa do Miracauera – Paraná da Trindade, Município de Itacoatiara – AM, Brasil**. 2006. Dissertação (Mestrado em Sociedade e Cultura na Amazônia) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2006.

CARVALHO, J. A. L.; CUNHA, S. B.; IGREJA, H. L. S.; CARNEIRO, D. de S. Episódio de Terras Caídas no Rio Amazonas: caso Costa da Águia, Parintins–Am. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande. **Anais** [...] Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios>. Acesso 15 abr. 2017. (link não funcionou)

DANTAS, M. E.; TEIXEIRA, S. G. Origem das paisagens. In: JOÃO, X. S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. **Geodiversidade do estado do Pará**. Belém: CPRM, 2013. p. 23-51.

EMBRAPA. **Manual de método de análise de solos**. 2. ed. Revista. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. (Documentos; 132)

FETTER, C. W. Properties of aquifers. In: FETTER, C. W. **Applied hydrogeology**. 4th ed. Upper Saddle River, N. J., Prentice Hall, 2001. p. 84-88.

FOLK, R. L. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *Journal of Geology*, v. 62, n. 4, p. 344-359, 1954.

FOSTER, G. R. Modeling the erosion process. In: BASSELMAN, J. A. (ed.). **Hydrological modeling of small watersheds**. St. Joseph: ASAE, 1982. p.297–300.

FREIRE, O.; PESSOTTI, J. E. S. Erodibilidade dos solos do estado de São Paulo. *An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz*, Piracicaba, v. 31, p. 333-350, 1974. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0071-12761974000100026>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0071-12761974000100026&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 05 out. 2020.

- FREITAS, F. T. de; ALBUQUERQUE, A. R. Análise temporal sobre as "Terras Caídas" no médio Solimões/Coari (AM). **Mercator**, Fortaleza, v. 11, n. 25, p. 129-140, 2012.
- GALLO, M. N.; VINZON, S. B. Generation of overtides and compound tides in Amazon estuary. **Ocean Dynamics**, v. 55, p. 441-448, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10236-005-0003-8>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10236-005-0003-8>. Acesso em: 05 set. 2020.
- JACKSON, M. L. Weathering of primary and secondary minerals in soils. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 9., 1968, Adelaide. **Transaction**. Adelaide: International Society of Soil Science, 1968. v. 4, p. 281-292.
- KÄMPF, N.; MARQUES, J. J.; CURI, N. Mineralogia dos solos Brasileiros. In: KER, J. C.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (ed.) **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. cap. 7, p. 82-128.
- LABADESSA, A. S. "Terras Caídas", as causas naturais e antrópicas: uma ocorrência na comunidade de São Carlos – Médio Madeira/RO. **Geoiंगा: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, Maringá, v. 3, n. 1, p. 45-61, 2011. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Geoiंगा/article/view/49156/751375140350>. Acesso em: 05 set. 2020.
- LAL, R. **Soil erosion research methods**. 2nd ed. EUA: Soil and Conservation Society, 1994.
- LLOPIS TRILLO, G. **Control de la erosión y obras de desagüe – Manual de estabilización y revegetación de taludes**. Madri: Entorno Grafico S. L., 1999.
- LUZARDO, R.; TEIXEIRA, S. G. **Relatório de Ação Emergencial para Reconhecimento de Áreas de Alto e Muito Alto risco a Movimentos de Massa e Enchentes - Município de Santarém - PA**. Belém: CPRM, 2012.
- MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. de P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. da R. Fator Erodibilidade e Tolerância de Perda dos Solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.
- RAIMO, L. A. L.; AMORIM, R. S. S.; TORRES, G. N.; BOCUTI, E. D.; COUTO, E. G. Variabilidade espacial da erodibilidade no estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 55-67, 2019. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA18122>. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/index.php/rca/article/view/17019>. Acesso em: 05 out. 2020.
- TEIXEIRA, S. G.; SILVA, R. L. L.; LOPES, D. F. Influência de parâmetros hidrológicos no processo de erosão fluvial na região de Santarém-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 16., 2018, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: ABGE, 2018.
- WISCHMEIER, W. H.; JOHSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 26, n. 5, p. 189-193, 1971.



INFORME TÉCNICO-CIENTÍFICO DE PREVENÇÃO DE DESASTRES E ORDENAMENTO TERRITORIAL
V.1, N.1, 2020

Publicação on-line seriada do Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial
Departamento de Gestão Territorial – DEGET
Disponível em: rigeo.cprm.gov.br
Serviço Geológico do Brasil – CPRM
Av. Pasteur, 404 - Urca - Rio de Janeiro - RJ - BRASIL
CEP: 22.290-255
Telefone:(21) 2295-0032
Contatos: seus@cprm.gov.br / solicita.deget@cprm.gov.br

COMISSÃO DE PUBLICAÇÃO

Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial: Alice Silva de Castilho
Departamento de Gestão Territorial: Maria Adelaide Mansini Maia
Corpo Editorial: Carlos Schobbenhaus Filho, Cassio Roberto Silva, Maria Adelaide Mansini Maia, Maria Angélica Barreto, Sandra Fernandes da Silva, Diogo Rodrigues da Silva.
Editor: Eduardo Paim Viglio
Corpo de revisores: Aline Costa Nogueira, André Luis Invernizzi, Débora Lamberty, Douglas da Silva Cabral, Heródoto Góes, Iris Celeste Nascimento Bandeira, Ivan Bispo de Oliveira Filho, José Luiz Marmos, Júlio César Lana, Marcelo Eduardo Dantas, Marcelly Ferreira Machado, Melissa Franzen, Michele Silva Santana, Patrícia da Fonseca Almeida, Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff, Raimundo Almir Costa da Conceição, Rogério Valença Ferreira, Sheila Gatinho Teixeira, Thiago Dutra dos Santos e Tiago Antonelli.
Revisão de texto: Irinéa Barbosa da Silva
Normalização bibliográfica: Rede de Bibliotecas Ametista
Editoração eletrônica: Divisão de Editoração Geral – DIEDIG