

Caracterização geomorfométrica de áreas afetadas por deslizamentos no alto curso da bacia do igarapé do Mindú, Manaus (AM).

Tiago Fonseca Rodrigues¹
Rogério Ribeiro Marinho¹

¹ Universidade Federal do Amazonas – UFAM
Departamento de Geografia
Av. General Rodrigo Octavio - Manaus - AM, Brasil
rodriguestf.geo@gmail.com; rogeo@ufam.edu.br

Abstract. This paper analyzes the morphometric characteristics of areas affected by landslides in an important basin in urban area of Manaus (AM), the Mindú upper river basin. Geomorphometric data derived by digital elevation model was analyzed with landslides data point collected by Civil Defense. Topographic and thematic data were analyzed in geographical information system (GIS). The results indicate that the basin presents high vulnerability to the occurrence of landslides. This study shows that geomorphometric data and landslides records are of great importance for environmental management and for orientation of Civil Defense preventive actions regarding to the risk areas in Amazon cities.

Palavras-chave: morphometry, landslides, urban basin, morfometria, deslizamentos, bacia urbana.

1. Introdução

Áreas de risco fazem parte do mosaico de problemas de cidades vulneráveis a ocorrências de desastres naturais. O aumento da frequência dos desastres, seus grandes prejuízos e perdas podem ser relacionados ao crescimento e expansão urbana. Um desastre natural de acordo com Tominaga (2009) pode ocorrer quando um fenômeno natural atinge áreas ou regiões habitadas pelo homem ocasionando danos e perdas. No Brasil os desastres estão principalmente relacionados a fenômenos hidroclimáticos extremos, como as inundações e deslizamentos de terra. Esses fenômenos muitas vezes estão associados à intensa e prolongado período de chuvas.

O aumento de desastres relacionados a inundações e deslizamentos de terra é considerado por muitos autores como consequência direta do processo de urbanização no Brasil nas últimas décadas (SANTOS, 2007). O crescimento das cidades, conduzido pelo aumento demográfico implicou na expansão da espacialidade urbana. A degradação de áreas frágeis pelo desmatamento e ocupação irregular para construção de moradias tornam áreas vulneráveis aos desastres, que causam perdas econômicas e sociais variadas.

O alto curso do igarapé do Mindú é uma área densamente urbanizada da cidade de Manaus, onde se verifica todos os anos um número significativo de ocorrências de deslizamentos e diversos outros processos erosivos registrados pela Defesa Civil Municipal. Assim, a caracterização das formas do terreno da bacia torna-se um importante instrumento do poder público para a gestão territorial de problemas relacionados aos deslizamentos.

Os tipos e a intensidade dos processos atuais de esculturação do terreno estão fortemente relacionados com a forma da superfície terrestre. Atualmente, as variáveis morfométricas têm uma aplicação mais direta nos estudos ambientais voltados para o planejamento e uso da terra. Neste contexto, o presente trabalho trata da caracterização de áreas afetadas por deslizamentos na bacia hidrográfica do alto curso do igarapé do Mindú a partir do uso de dados geomorfométricos.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Localização da área de estudo

A bacia hidrográfica do Igarapé do Mindú ocupa 25% do território do município e possui a maior extensão entre os canais de drenagem da área urbana (MANAUS, 2008). O igarapé do

Mindú apresenta, de sua nascente até sua foz, cerca de 20 km de extensão. O alto curso da bacia do igarapé do Mindú (Figura 1) situa-se entre as zonas norte e leste de Manaus. As nascentes se localizam próximo ao Jardim Botânico Adolpho Ducke e no Parque Municipal Nascentes do Mindú.

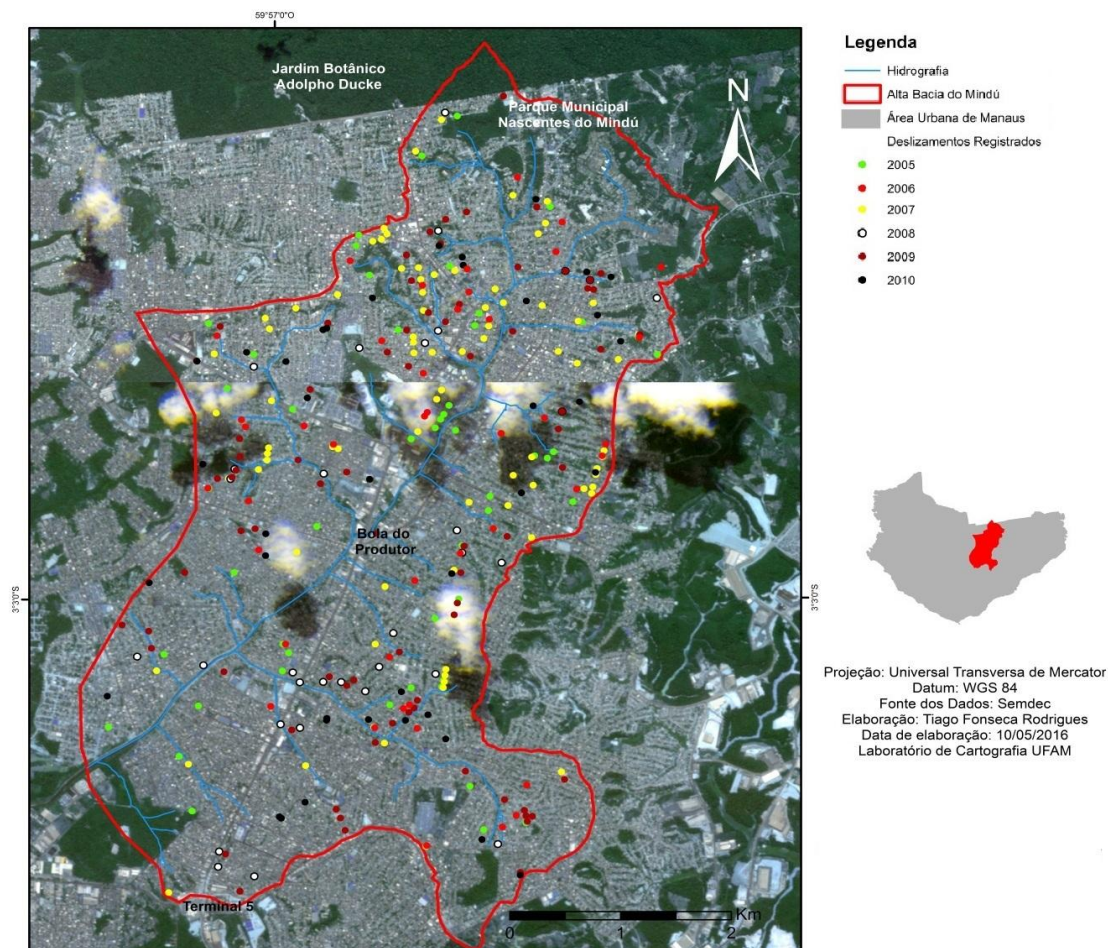


Figura 1. Distribuição dos registros de deslizamentos na área de estudo.

2.2 Material

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados os seguintes dados: (a) 321 registros de ocorrências de deslizamento da Defesa Civil Municipal observado entre os anos 2005 e 2010; (b) base cartográfica vetorial com limite da bacia, arruamento e hidrografia disponibilizado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA); (c) imagem de satélite de alta resolução espacial RapidEye de 09 de Agosto de 2011; (d) dados morfométricos oriundos do projeto Topodata INPE (VALERIANO, 2008) disponibilizado em formato matricial, sistema de projeção UTM datum WGS-1984 com tamanho de pixel de 1 arco-segundo (~30 metros). Os registros de deslizamentos coletados pela Defesa Civil municipal também podem ser classificados como desabamentos, tombamentos ou escorregamentos, segundo definições de Fernandes e Amaral (1996).

2.3 Processamentos e análises

Para realizar a caracterização morfométrica da bacia e das áreas afetadas por deslizamentos foram utilizadas análises considerando a área de estudo, parâmetros lineares e topográficos, conforme a Tabela 1. As equações para obtenção dos parâmetros morfométricos são oriundos de Christofolletti (1980), Teodoro et al. (2007) e Tonello (2005).

Para caracterizar as áreas afetadas por deslizamentos foi realizada uma análise pontual através da sobreposição dos dados de ocorrência com as seguintes variáveis morfométricas: elevação, declividade numérica, classes de declividade e formas de terreno. Os processamentos e manipulação dos dados foi realizado por meio do software ArcGis 10.1 e planilha eletrônica.

Tabela 1. Relação dos parâmetros morfométricos analisados

Análise	Parâmetro	Definição	Equação
Linear	Quantidade de Canais	Número de canais de drenagem.	
	Comprimento total dos canais (L)	Distância entre a nascente e a foz do canal de drenagem.	
	Densidade Hidrográfica (Dh)	Relação existente entre o número de rios ou cursos d'água (N) e a área da bacia hidrográfica (A).	$Dh = \frac{N}{A}$
	Densidade de Drenagem (Dd)	Relação existente entre o comprimento de rios ou cursos d'água (L) e a área da bacia hidrográfica (A).	$Dd = \frac{L}{A}$
Zonal	Área (A)	Área drenada pelo conjunto do sistema fluvial, incluindo os divisores topográficos.	
	Perímetro (P)	Comprimento da linha imaginária que delimita a bacia.	
	Fator de Forma (F)	Relaciona a forma da bacia com um retângulo. Corresponde à razão entre a largura média e o comprimento axial da foz ao ponto mais longínquo.	$F = \frac{A}{L^2}$ em que A é a área da bacia de drenagem; e L é o comprimento do eixo da bacia.
	Coefficiente de Compacidade (Kc)	Relaciona a forma da bacia a um círculo. Quanto mais distante de 1, mais alongada a bacia será.	$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$ em que P é o perímetro da bacia; e A é a área da bacia.
	Índice de circularidade (Ic)	Varia à medida que a bacia aproxima-se a forma circular e diminui a medida que a forma torna alongada.	$C = \frac{12,57 \times A}{P^2}$ em que A é a área da bacia; e P é o perímetro da bacia
	Topográfica	Elevação	Variação da altitude do terreno.
Declividade numérica		Ângulo de inclinação da superfície do terreno em relação à horizontal.	
Classe de declividade		Classificação de uma determinada área em faixas de declividade segundo Embrapa (1999).	
Forma de terreno		Combinação entre a curvatura vertical e a curvatura horizontal do terreno.	

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização geomorfométrica da bacia

Os resultados da caracterização geomorfométrica são apresentados na Tabela 2, os quais indicam uma área de drenagem de 26,21 km² e perímetro de 28,40 km para esta bacia. A

forma da bacia pode ser considerada alongada, uma vez que o valor do coeficiente de compacidade (K_c) ficou distante de 1, assim como valores do fator de forma (F) igual a 0,35 e do índice de circularidade (I_c) igual a 0,40. Tais índices podem indicar uma bacia pouco circular, que pode levar a uma menor concentração do deflúvio, e a possibilidade de uma menor capacidade de infiltração da água.

A densidade de drenagem observada foi de 1,99 km.km², o que pode indicar uma bacia altamente drenada. O padrão de drenagem da bacia revelou-se do tipo dendrítica com canais de quarta ordem, comum para pequenas e médias bacias hidrográficas e que demonstra o elevado grau de dissecação fluvial da bacia.

Tabela 2. Características geomorfométricas para a bacia do alto igarapé do Mindú

Características	Valores
Área (A)	26,21 km ²
Perímetro (P)	28,40 km
Coeficiente de Compacidade (K_c)	1,55
Fator de Forma (F)	0,35
Índice de Circularidade (I_c)	0,40
Padrão de Drenagem	Dendrítica
Orientação	SW
Densidade Hidrográfica (D_h)	4,80 canais/km ²
Densidade de Drenagem (D_d)	1,99 km.km ²
Quantidade de Canais	126
Comprimento total dos canais (L)	52,22 km

As variáveis topográficas elevação, declividade, classes de declividade e formas de terreno constituíram a análise do relevo da área de estudo, representados na Figura 2. Esta bacia possui uma elevação média de 63 metros, e valores mínimo e máximo de 29 e 123 metros, respectivamente. A respeito dos dados de declividade, a bacia apresentou um valor máximo de 33°, mínimo de 0,36° e média de 09° de inclinação do terreno. Considerando a classificação do terreno em função da declividade (EMBRAPA, 1999), predomina na área do estudo relevo do tipo ondulado em 51,80% da bacia, seguido por terrenos do tipo suave ondulado (37,10%), forte ondulado (7,40%) e plano (3,70%).

Os dados relativos às formas de terreno buscam representar a combinação da curvatura vertical e horizontal do relevo (VALERIANO, 2008), com importância devido à influência que exerce sobre o escoamento superficial da água, pois dependendo da curvatura pode exercer maior ou menor potencial a deslizamentos de terra. Na área em estudo, predomina vertentes da forma côncavo-convergente em 22% da bacia.

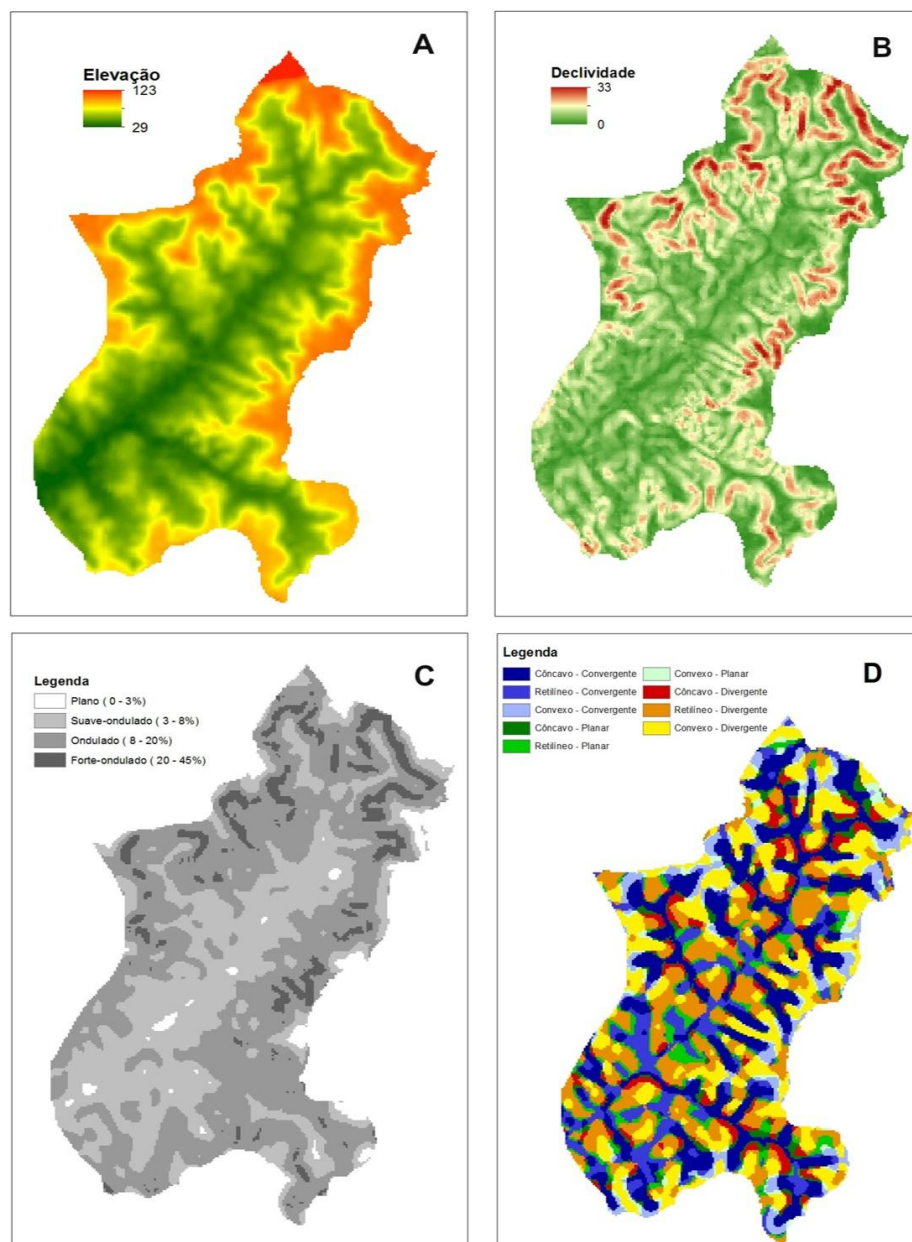


Figura 2. Representação das variáveis topográficas: elevação (A), declividade numérica em % (B) classes de declividades (C) e formas de terreno (D).

3.2 Caracterização geomorfométrica das ocorrências de deslizamentos na bacia

A fim de compreender o comportamento das ocorrências de deslizamentos de terra sobre o relevo da bacia foi realizada a sobreposição espacial dos registros da Defesa Civil e variáveis topográficas, cujos resultados são apresentados na Figura 3.

Para a variável elevação o maior número de registros ocorreu no intervalo de 50 - 60 metros. No intervalo de maior elevação de (86 - 100 metros) foram registrados apenas 14,68% do total de ocorrências de deslizamentos. Em áreas com declividade variando entre 7° e 13° graus de inclinação do terreno foram observadas o maior número de ocorrências de deslizamentos, com 38% do total. Na análise da relação entre deslizamentos e as classes de declividade, terrenos do tipo ondulado compreendem 61% do total de registros observados na bacia, enquanto que áreas em maior inclinação tiveram menos que 15% dos registros de deslizamentos.

Neste estudo, a forma do terreno do tipo côncavo-convergente, que representa áreas com maior concentração e acúmulo de escoamento, apresentou o maior número de ocorrências de deslizamentos, com 26,50% do total de registros. Por outro lado, as formas do tipo divergente-retilíneo e divergente-convexo representam áreas com maior dispersão do escoamento, e na área em estudo tiveram 17% e 15% do total de registros, respectivamente.

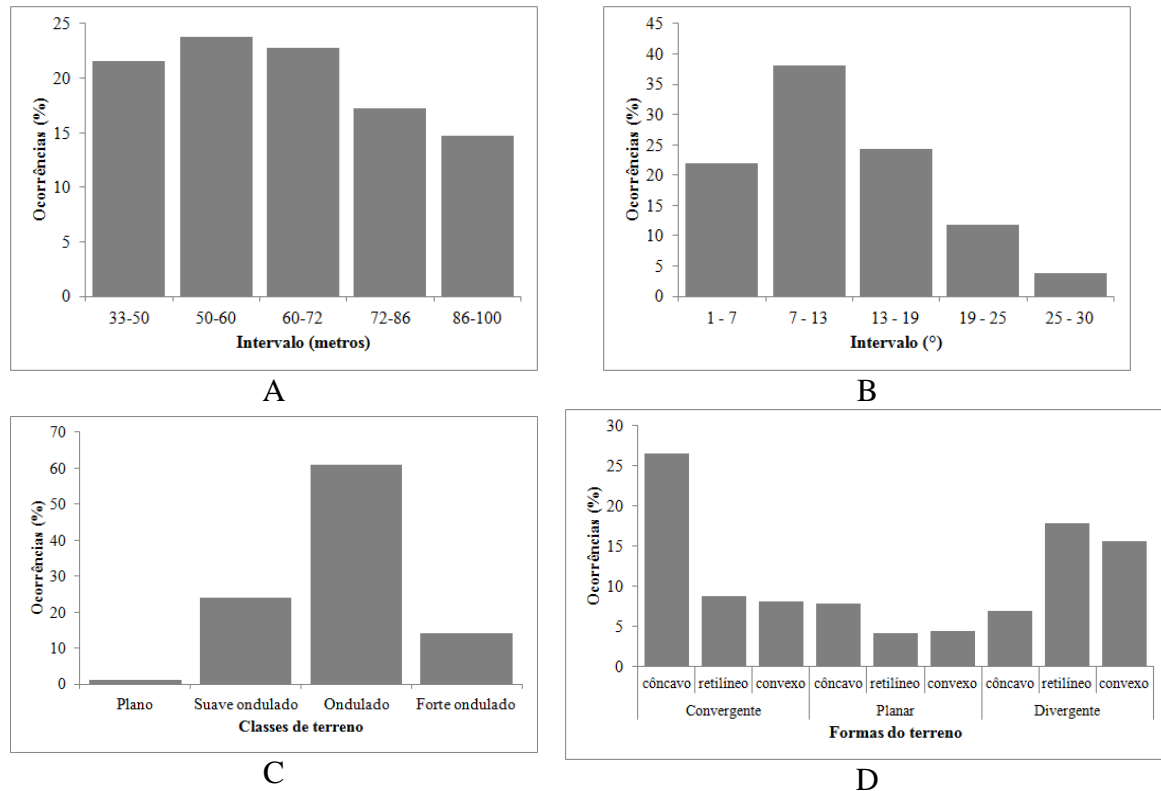


Figura 3. Frequência relativa dos registros de deslizamentos em relação aos dados de elevação (A), declividade numérica (B), classes de declividade (C) e formas de terreno (D).

Feições erosivas do tipo ravinas e voçorocas também são problemas relacionados ao terreno em áreas urbana da cidade de Manaus (VIEIRA, 2008), no entanto, os resultados obtidos nesta pesquisa indicam que a bacia aparentemente não apresenta condicionantes para a ocorrência de processos destes erosivos. A forma de encosta convexa-convergente é amplamente relacionada ao desenvolvimento de processos erosivos, porém não é a forma que predomina nesta bacia. No entanto, isto não significa que não há possibilidade de desenvolvimento de erosões na bacia, uma vez que o nível de alteração da paisagem original desta área urbana é bastante elevado, assim como, nesta área existe um elevado número de nascentes.

A bacia do alto curso do igarapé do Mindú apresenta alta vulnerabilidade a deslizamentos de terra pelo fato da forma côncava-convergente ser predominante na bacia, e que conforme Fernandes e Amaral (1996) são formas de terrenos muito associadas a deslizamentos. Neste sentido, Coelho Neto e Avelar (2007) argumentam que a vulnerabilidade aumenta principalmente na distribuição e rotas de fluxo da água em cabeceiras de drenagem, onde a forma côncavo-convergente associa-se diretamente ao risco de deslizamento.

As condições físicas do terreno, vinculadas ao tipo de uso do solo urbano podem interferir na dinâmica hidrológica e geomorfológica da bacia. Essa condição implica na necessidade de ações que visem à proteção destas áreas naturalmente mais frágeis. Estudos morfométricos oferecem vários indicadores que podem ser utilizados para compreender processos

hidrogeomorfológicos (REBELLO, 2010), neste sentido, a caracterização dos registros de deslizamentos na alta bacia do Mindú preenche um papel importante relacionado ao entendimento da dinâmica ambiental local.

4. Conclusões

As informações derivadas de dados geomorfométricos e registros de deslizamentos são de grande valia à gestão ambiental em áreas de risco. Parâmetros descritores do terreno, derivados de dados topográficos, fornecem referenciais básicos para o conhecimento dos sistemas ambientais em questão e oferecem subsídios para o direcionamento de ações de planejamento do espaço. Esses parâmetros servem como ponto de partida para a definição e elaboração de indicadores ambientais.

Os parâmetros geomorfométricos utilizados neste estudo forneceram informações importantes para o direcionamento de políticas públicas em bacias hidrográficas urbanas, quanto a sua preservação e conservação ambiental, bem como na identificação de áreas vulneráveis a desastres naturais, como deslizamentos e inundações.

Destacamos o baixo custo para obtenção destas informações aqui apresentadas, no entanto, ressaltamos a necessidade do conhecimento técnico adequado para manipulação e interpretação dos resultados. Desta forma, é possível estabelecer um banco de dados sistematizado e indicadores ambientais com a finalidade de tornar o processo de gestão ambiental mais eficiente e eficaz, melhorando a qualidade de vida da população a partir de um uso mais racional do espaço.

Agradecimentos

Este trabalho é parte da monografia de bacharelado em Geografia intitulada “Análise geomorfométrica de deslizamentos no alto curso da bacia do igarapé do Mindú, Manaus (AM)” apresentada junto ao Departamento de Geografia da Universidade Federal do Amazonas. Os autores agradecem a Secretaria Municipal de Defesa Civil do Município de Manaus, ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e Ministério do Meio Ambiente pela disponibilização dos dados espaciais, e ao Laboratório de Cartografia e Geoprocessamento (LabCarGEO) pelo apoio na execução da pesquisa.

Referências Bibliográficas

- Christofolletti, Antonio. **Geomorfologia**. São Paulo: Blucher, 1980.
- Coelho neto, Ana Luiza; Avelar, André de Souza. O uso da terra e a dinâmica hidrológica: comportamento hidrológico e erosivo de bacias de drenagem. In: Santos, Rosely (org.). **Vulnerabilidade ambiental desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007, p 59-73. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1051.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2016.
- Embrapa, centro nacional de pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa produção de informação. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 1999.
- Fernandes, Nelson Ferreira; Amaral, Claudio. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: Guerra, Antônio José Teixeira; Cunha, Sandra Baptista da. **Geomorfologia e meio ambiente**, 1996.
- Manaus (Prefeitura). **Plano de manejo do corredor ecológico urbano do igarapé do Mindú, 2008**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1051.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2016.
- Rebello, Adorea. A erosão no contexto das bacias hidrográficas. In: Rebello, Adorea (org.). **Contribuições teórico-metodológicas da geografia física**. Manaus: EDUA, 2010.
- Santos, Rosely (org.). **Vulnerabilidade ambiental desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007.
- Teodoro, Valter Luiz et al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfológica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista uniara**, v. 11, n. 20, p. 137-156, 2007.

- Tominaga, Lídia Keiko. (org). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: instituto geológico, 2009. 196p.
- Tonello, Kelly Cristina. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das pombas, Guanhões, MG**. 2005. 69f. Tese (doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Valeriano, Márcio de Morisson. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos, SP: INPE, 2008.
- Vieira, Antônio Fábio Guimarães. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais**. 2008. 310f. Tese (doutorado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2008.