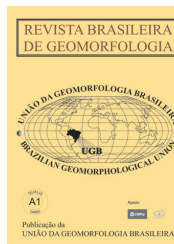


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 13, nº 4 (2012)



RELACIONAMENTO ENTRE A MUDANÇA DA REDE DE DRENAGEM DEVIDO À CONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS URBANAS E O SURGIMENTO DE VOÇOROCAS E RAVINAS NO BAIRRO DO JARDIM BOTÂNICO NO DISTRITO FEDERAL

RELATIONSHIP BETWEEN THE NETWORK DRAINAGE CHANGE DUE TO THE CONSTRUCTION OF URBAN STRUCTURES AND THE DEVELOPMENT OF GULLIES AND RAVINES IN THE JARDIM BOTÂNICO NEIGHBORHOOD IN THE FEDERAL DISTRICT

Leonardo Figueiredo de Freitas

Departamento de Geografia da Universidade de Brasília (UnB) – Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte – CEP: 70910-900 – Brasília, DF – e-mail: leoffreitas@gmail.com

Renato Fontes Guimarães

Departamento de Geografia da Universidade de Brasília (UnB) – Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte – CEP: 70910-900 – Brasília, DF – e-mail: renatofg@unb.br

Osmar Abílio de Carvalho Junior

Departamento de Geografia da Universidade de Brasília (UnB) – Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte – CEP: 70910-900 – Brasília, DF – e-mail: osmarjr@unb.br

Roberto Arnaldo Trancoso Gomes

Departamento de Geografia da Universidade de Brasília (UnB) – Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte – CEP: 70910-900 – Brasília, DF – e-mail: robertogomes@unb.br

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:
10/05/2012

Data de Aprovação:
30/04/2013

Palavras-chave:

Modelo digital de terreno, mapa de fluxo acumulado, erosão, hidrologia urbana, drenagem urbana.

Keywords:

Digital elevation model, map of flow accumulation, erosion, urban hydrology, urban drainage.

Resumo

A alteração da superfície do terreno em decorrência da urbanização, por meio da instalação de estruturas como arruamentos e edificações, altera significativamente a dinâmica do escoamento superficial. Uma das consequências dessa alteração é a concentração do escoamento, o que pode desencadear o aparecimento de ravinas e voçorocas. Nesses processos além dos impactos a jusante, o avanço das erosões ameaça a própria estrutura urbana. O presente trabalho tem como objetivo aplicar um método desenvolvido para identificar zonas suscetíveis à ocorrência de processos erosivos no bairro do Jardim Botânico no Distrito Federal. O método é baseado na definição de dois cenários: (a) pré-urbanização e (b) pós-urbanização. Para estes cenários foram gerados modelos digitais de terreno e mapas de fluxo acumulado. A partir da subtração dos mapas de fluxo acumulado foram apontadas as zonas que receberam aumento ou redução do fluxo em decorrência da urbanização. O resultado dessa análise ficou altamente correlacionado com as erosões identificadas, bem como se constatou que a declividade é fundamental na definição das zonas suscetíveis. Esse método pode ser utilizado para auxiliar no planejamento de novas áreas de expansão urbana, ou, para replanejar áreas já existentes, em regiões com características semelhantes as do Distrito Federal.

Abstract

The change of ground surface due to urbanization, through the installation of structures such as roads and buildings, significantly changes the dynamics of runoff. One consequence of this change is the flow concentration, which can trigger the onset of ravines and gullies. These processes beyond the downstream impacts also threaten the very urban structure for the advancement of erosion. The present work aims to apply a method developed to identify areas susceptible to the occurrence of erosion in the neighborhood of the Jardim Botânico in the Federal District. The method is based on the definition of two scenarios: a) pre-urbanization b) post-urbanization area. For these scenarios were generated digital elevation models and maps of flow accumulation. From the subtraction of maps of flow accumulation were pointed out areas where happen an increase or decrease the flow due to urbanization. The result of this analysis was highly correlated with the erosion identified and it was found that the slope is crucial in defining the susceptible areas. This method can be used to assist in planning of new areas of urban expansion, or to redesign existing areas, in regions with similar characteristics.

Introdução

O desenvolvimento urbano tem sido um dos principais vetores de mudanças da superfície terrestre, que vem se intensificando nas últimas décadas com o crescimento populacional. A expansão urbana e a alta intensidade de chuva provocam nas diferentes partes do mundo erosões aceleradas do solo com alto impacto destrutivo (ARCHIBOLD et al., 2003; BOUCHNAK et al., 2009; BUSNELLI et al., 2009; NAZARI et al., 2011, WOLMAN, 1967). No Brasil as condições tropicais com chuvas torrenciais e perfis de solo espessos promovem a ocorrência dos processos erosivos sendo um importante tema de estudo tanto em ambiente urbano (CARRIJO & BACCARO, 2000; IKEMATSU et al. 2007) como rural (BACELLAR et al 2005; COSTA et al. 2007; DOMINGUES et al. 1998; SALGADO et al.; 2008).

Nas áreas urbanas o adensamento de edificações e pavimentações modifica a superfície topográfica e a dinâmica hidrológica (GURNELL et al., 2007, POFF et al., 2006). Com a urbanização ocorre a impermeabilização total ou parcial do solo, que não permite a infiltração da água da chuva de forma eficiente, resultando em um aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial, que se concentram nos arruamentos e galerias de águas pluviais (ARNOLD, 1986; CLINTON et al., 1981; PORTO et al., 2004, SALOMÃO, 1999). Assim, a urbanização altera os regimes fluviais das bacias hidrográficas, ocasionando os seguintes fatores: (a) aumento na quantidade total de escoamento superficial; (b) aumento da frequência das inundações, (c) diminuição global do fluxo de base; e (d) alterações dos hidrogramas que apresentam um aumento na vazão de pico em um menor intervalo de tempo (AKAN & HOUGHTALEN, 2003; HOLLIS, 1975; LAZARO, 1975; SANDER, 1986). Normalmente, mudanças morfológicas dos cursos d'água, como o alargamento do canal, são observadas após a urbanização em resposta as mudanças do regime de fluxo de água e sedimentos (MCBRIDE et al., 2005; PIZZUTO et al. 2000; NELLER, 1988). No entanto, a intensificação dos fluxos de água pode desestabilizar os canais gerando erosões aceleradas, ao invés de desenvolver uma nova forma de equilíbrio (TRIMBLE, 1997). Portanto, torna-se necessário que se identifiquem as

áreas suscetíveis à erosão pela concentração do fluxo da água e que se façam obras para evitar tal situação.

Grande esforço tem sido desenvolvido para o monitoramento e mitigação dos danos das erosões em áreas urbanas. As voçorocas e ravinas apresentam desenvolvimento acelerado e podem representar risco às pessoas e prejuízos devido à perda de equipamentos urbanos, como ruas, pontes, entre outros (OLIVEIRA et al., 1987; BIGARELLA et al., 2007). Nesta abordagem, o monitoramento do processo de urbanização é fundamental para quantificar as alterações geomorfológicas e hidrológicas (LEOPOLD, 1973). A partir do monitoramento busca-se o desenvolvimento de modelos de previsão que são fundamentais para o planejamento do uso da Terra (CUNHA & GUERRA, 2010).

Muitos estudos de monitoramento dos processos erosivos adquirem as informações temporais a partir de dados históricos utilizando mapas topográficos, fotografias aéreas ou imagens sequenciais de sensoriamento remoto (BOCCO, 1991; GIORDANO & MARCHISIO, 1991; NACHTERGAELE & POESEN, 1999). Neste contexto, diferentes técnicas de processamentos digitais de imagens multiespectrais tem sido aplicadas para o mapeamento de erosões (CARDOSO et al., 1994; MARTÍNEZ-CASASNOVAS & POCH, 1998). Outro importante dado no estudo do processo erosivo é o Modelo Digital de Elevação (MDE) que permitem extrair informações morfométricas das superfícies erodidas (BETTS & DEROSE, 1999, MARTINEZ-CASANOVAS et al., 2004). A diferenciação de MDEs sequenciais ao longo do tempo permite uma análise espacial da dinâmica geomorfológica, identificando os locais estáveis e de mudança e estimando os volumes de erosão e sedimentação (JAMES et al., 2012; MARZOLFF & POESEN, 2009; THOMA et al., 2005, WHEATON et al., 2009). Carvalho Junior et al. (2010) realizaram a subtração temporal do fluxo acumulado com o propósito de correlacionar a concentração do fluxo de água em área urbana com os processos erosivos e evidenciar as alterações da dinâmica do escoamento superficial e a suscetibilidade à erosão. Normalmente os dados são sistematizados em Sistema de Informação Geográfica (SIG), que permite simular cenários que favorecem a identificação dos fatores que desencadeiam os processos erosivos (GRAF, 2000, RAMOS et al., 2002).

O presente trabalho tem como objetivo identificar as áreas mais susceptíveis à ocorrência de voçorocas e ravinas devido às alterações do escoamento superficial pelos elementos urbanos, como construções e arruamentos em área de condomínios do Distrito Federal. Nesse propósito foi aplicado o método de subtração temporal dos atributos do terreno (altimetria e fluxo acumulado) extraídos do MDE referente aos períodos de pré e pós-urbanização. A identificação de alterações da dinâmica do escoamento superficial por intermédio de modelagem hidrológica em ambiente urbano possibilita identificar as áreas de concentração do fluxo e de maior suscetibilidade à erosão (CARVALHO JÚNIOR et al., 2010; MARK et al., 2004).

Área de estudo

O Distrito Federal possui um clima com forte sazonalidade caracterizado por dois períodos bem distintos: um seco e frio (período entre maio e setembro) e outro úmido e quente (período entre outubro e abril) (BRASIL, 2003). A precipitação média anual é da ordem de 1500mm, onde os meses de dezembro a março concentram 47% da precipitação anual. As temperaturas mais altas ficam na média dos 26°C e as mais baixas, entre 10°C e 12°C (BRASIL, 2003). A evapotranspiração real fica em torno de 900 mm anuais, onde os meses de maio a setembro apresentam déficit hídrico, enquanto o período de outubro a abril apresenta superávit (COIMBRA, 1987).

A geologia do Distrito Federal é composta pelos Grupos Paranoá, Canastra, Araxá e Bambuí e suas respectivas coberturas de solos residuais ou coluvionares (FARIA, 1995). Na área de estudo ocorrem os Grupos Paranoá e Canastra ambos de idade Meso/Proterozóica. O Grupo Paranoá ocupa a maior parte do Distrito Federal, sendo constituído por sete unidades litoestratigráficas correlacionáveis da base para o topo, com as seqüências deposicionais das áreas-tipo da região de Alto Paraíso de Goiás: Q2, S, A, R3, Q3, R4 e PC (FARIA, 1995). O Grupo Canastra representa uma associação de rochas metassedimentares psamíticas e pelíticas frequentemente contendo carbonato (BARBOSA, 1955), na região de estudo é constituído essencialmente de filitos variados (clorita filitos, quartzo-fengita filitos e clorita-carbonato filitos) com grau metamórfico em fácies xisto verde (FARIA, 1995; CAMPOS, 2004).

A geomorfologia apresenta um forte controle estrutural salientando um padrão de dobramento em domo e bacia (NOVAES PINTO et al., 1994). O domo de Brasília apresenta uma estrutura elíptica de 60km por 40km, em que a sua evolução está vinculada a erosão diferencial. A

parte central do domo foi erodida, pela intensificação do intemperismo ao longo das fraturas axiais da dobra, expondo rochas menos resistentes que foram erodidas configurando um formato anelar (MARTINS et al., 2004). Desta forma, houve uma inversão do relevo onde as drenagens no centro do domo inicialmente eram centrífugas e passaram a ter um comportamento centrípeto com a intensificação da erosão no núcleo. Os quartzitos por serem rochas mais resistentes formam as Chapadas nas partes mais altas do relevo, enquanto que as ardósias e filitos que são mais susceptíveis à erosão formam as áreas deprimidas. A área de estudo se encontra no flanco externo do domo de Brasília entre duas unidades geomorfológicas: a Chapada nas áreas mais altas e a Região Dissecada de Vale nas áreas deprimidas da bacia do rio São Bartolomeu (NOVAES PINTO et al., 1994).

Os processos de erosão linear ocorrem naturalmente na região, mas a interferência humana intensifica os seus efeitos. Muitos estudos foram realizados no Distrito Federal para descrever a distribuição e os fatores dos processos erosivos lineares, principalmente de ravinas e voçorocas (ARCAYA, 2007; MARTINS 2005; MORTARI, 1994; OLIVEIRA, 2011; OLIVERIA, 2002; SILVA, 1986). As voçorocas no Distrito Federal apresentam uma evolução em forma de “V” encaixadas sobre as camadas inclinadas de saprólitos de ardósia e metarrinitos (Mortari, 1994). O material em profundidade se torna mais resistente, tendendo a estabilizar o fundo da erosão, dificultando a ação meandrante do canal de fundo. Devido à conformação e inclinação das camadas ocorre um impedimento do desenvolvimento lateral da erosão.

O adensamento populacional no Distrito Federal tem provocado importantes mudanças ambientais (LORZ et al., 2012). No Distrito Federal houve um processo desorganizado da ocupação do território por condomínios privados, onde muitos são irregulares ou ilegais ocupando áreas de preservação permanentes, como: nascentes, faixa marginal de rios e encostas de morros (PAVIANI, 2010). O planejamento dos condomínios e acessos muitas vezes não obedece às regras de urbanização, apesar de normalmente terem uma infraestrutura mínima, como: asfalto, iluminação e em algumas partes um precário sistema de drenagem de águas pluviais.

A área de estudo está localizada no bairro do Jardim Botânico próximo ao Plano Piloto do Distrito Federal (Figura 1). Trata-se de uma área residencial que se desenvolveu a partir de loteamentos, em terras públicas e particulares, crescendo à margem do Governo do Distrito Federal. Em 1999 passou a ser considerada como um bairro e em 2004 foi transformado em Região Administrativa pela Lei Distrital nº 3.435/2004. Contudo a poligonal, ainda, não foi definida. Estima-se que vivem na área cerca de 25.000 habitantes.

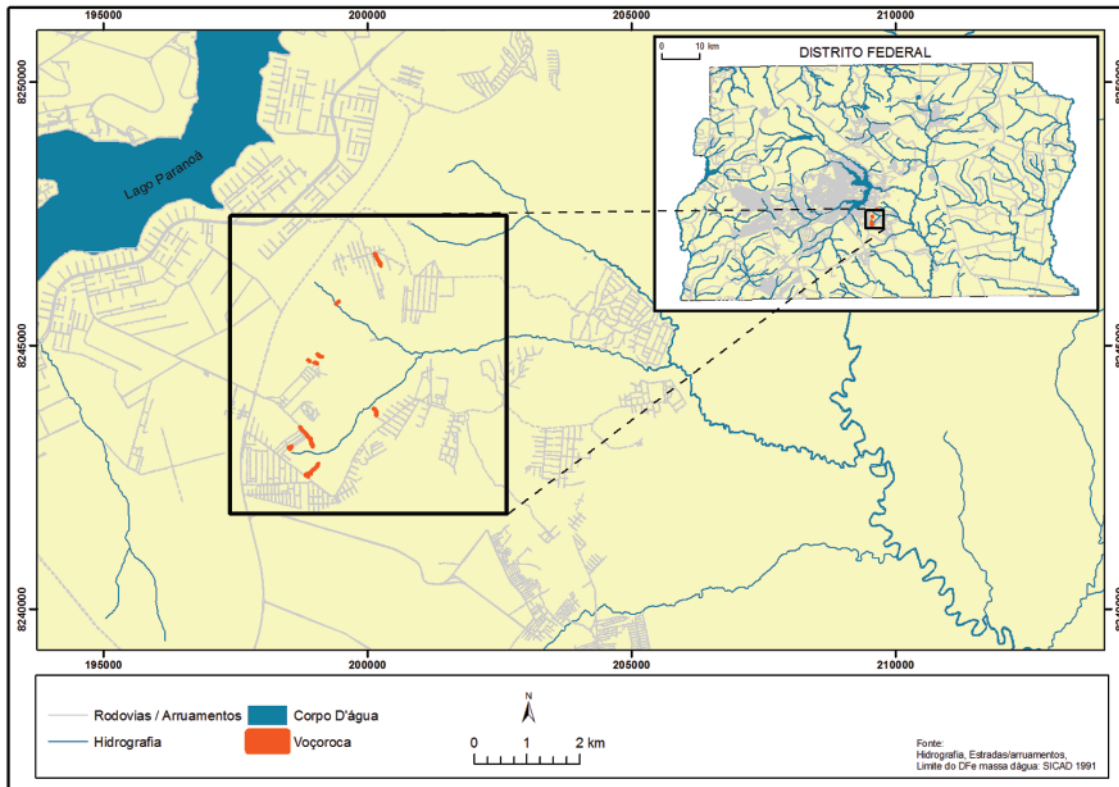


Figura 1 – Mapa de localização do bairro Jardim Botânico em Brasília (DF).

Metodologia

Elaboração do Modelo Digital de Elevação

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas as cartas topográficas digitais na escala de 1:10.000 da Companhia de Planejamento do Distrito Federal (CODEPLAN) conforme o Sistema Cartográfico do Distrito Federal (SICAD). O território do DF localiza-se em 2 fusos do sistema UTM (fuso 23 e fuso 22), porém a representação cartográfica é feita apenas no fuso 23 que foi expandido a oeste pelo SICAD que possui articulação sistemática própria e consiste na referência oficial para os trabalhos de cartografia e urbanismo do território do DF. As cartas possuem curvas de nível equidistantes de 5 em 5 metros. A partir desses dados foram gerados dois conjuntos de cartas, uma referente à pré-urbanização (eliminado as feições urbanas) e a outra da pós-urbanização (contendo todos os elementos urbanos atuais).

Com o propósito de resgatar as condições naturais antes da intervenção humana (pré-urbanização) as cartas topográficas foram corrigidas por interpretação visual de forma a eliminar a presença de feições relativas às construções, arruamentos, cortes e aterros de estrada (Figura 2). O MDE relativo à superfície pré-urbanização foi obtido pela interpolação das curvas de nível pelo módulo Topogrid do programa ArcGIS 9.3 (HUTCHINSON, 1989). A resolução

espacial dos MDE utilizada neste trabalho foi de 5 metros. Os parâmetros relativos da interpolação foram ajustados de forma a obter um MDE de melhor precisão. O simples emprego dos parâmetros pré-definidos no programa tem como resultado uma superfície que apresenta falsos patamares (efeito escada) nas proximidades das curvas de nível, que interfere no resultado dos mapas derivados, como: declividade, aspecto e fluxo acumulado. Portanto, os valores devem ser adequados para cada tipo de MDE. Diferentes parâmetros foram testados até obtenção do MDE sem a presença de feições espúrias e inconsistentes. A Tabela 1 apresenta os parâmetros utilizados no MDE pré-urbanização para as curvas de nível (coluna Vetor). A Figura 3 demonstra as diferenças dos resultados considerando os parâmetros padrões e os obtidos neste trabalho. Com os ajustes é possível notar que os valores de declividade tendem a apresentar uma declividade uniforme, com o MDE apresentando um comportamento mais retilíneo. No fluxo acumulado os ajustes permitem eliminar inconsistências e falsas feições que dividem o fluxo (Figura 4a), tornando o fluxo contínuo com a eliminação dos falsos patamares (Figura 4b).

Em contraposição, nas cartas pós-urbanização às construções e arruamentos foram inseridas com as respectivas elevações, de forma a condicionar o fluxo de água. O MDE pós-urbanização utilizou como base o MDE da carta

topográfica, onde a grade foi convertida para pontos. Assim, o valor de cada pixel passou a ser representado por um ponto. Os pontos referentes às quadras foram separados dos que não sofrerão alteração e somados de 4 metros (Figura 5). Desta forma, as casas simulam os divisores de águas, enquanto os arruamentos representam os canais de drenagem (Figura 6). No entanto, os vetores dos arruamentos devem ter um tratamento prévio de sua direção de fluxo, pois estes transpassam vários divisores de águas e vales, não tendo a mesma disposição no terreno que a hidrografia, a qual inicia no ponto mais alto e sempre tende ao ponto mais baixo, seguindo a declividade.

Para estabelecer uma direção de fluxo dos vetores referentes aos arruamentos devem ser realizadas as seguintes etapas: (a) segmentação do vetor em comprimentos de até dez metros, e (b) estabelecimento da direção de fluxo para cada segmento com base no MDE da carta topográfica. Desta forma, a direção do fluxo do arruamento foi estabelecida, da mesma forma que a hidrografia. Os dados foram interpolados pelo módulo Topogrid para gerar o MDE pós-urbanização, considerando os pontos como dados primários de elevação e os valores de ajustes dos parâmetros de interpolação conforme demonstra a coluna “Ponto” na Tabela 1.

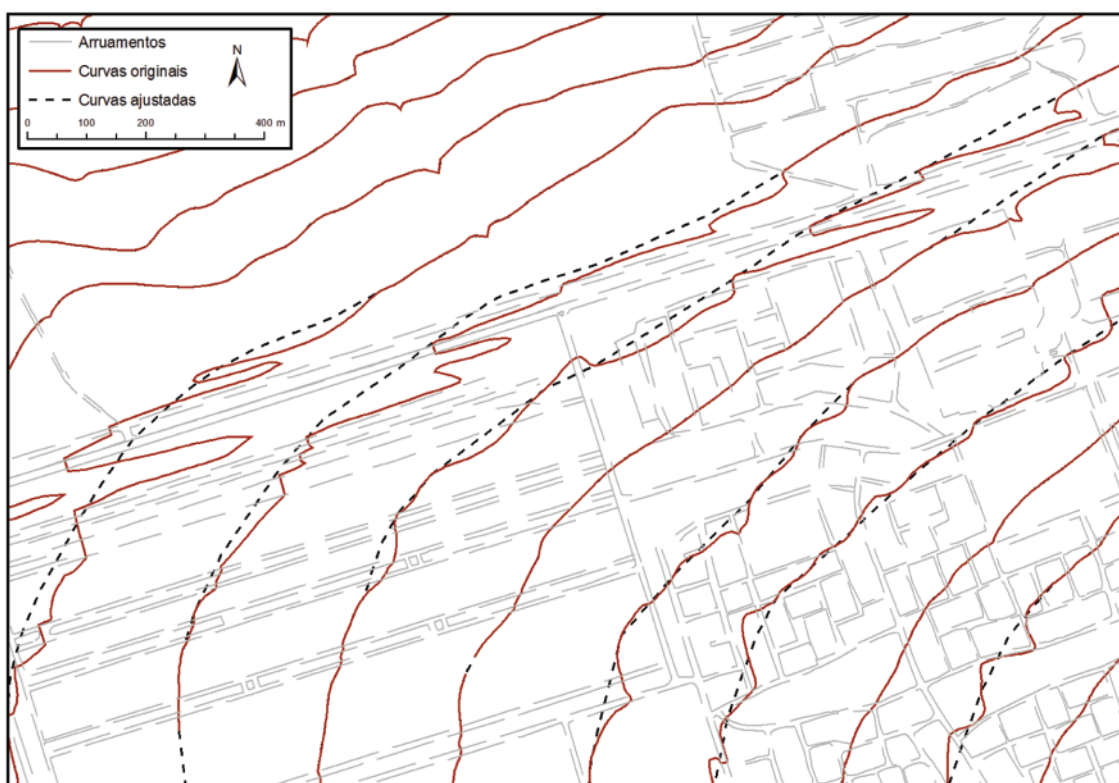


Figura 2 – Curvas de nível originais (CODEPLAN/SICAD-1992) e editadas para eliminar as feições antrópicas.

Fluxo acumulado

O escoamento superficial é considerado um dos mais relevantes indicadores para o planejamento urbano (WHITFORD et al., 2001). O fluxo acumulado (área de contribuição) é um atributo de terreno obtido pelo MDE que auxilia simular o escoamento superficial da água apontando os locais onde há concentração ou dissipação do fluxo. Este atributo representa a área potencial da produção do escoamento superficial sendo amplamente utilizado para delimitação de canais de drenagem (JENSON & DOMINGUE, 1988; JENSON, 1991; MARTZ & GARBRECHT, 1992; OLIVEIRA et al 2007; PILOTTI et al., 1996), zonas de saturação do solo (O’LOUGHLIN, 1986; MOORE et al., 1988; FLORINSKY et al., 2002; GREEN &

ERSKINE, 2004; GÜNTNER et al., 2004); erosão do solo e movimento de massa (MONTGOMERY & DIETRICH, 1994; DESMET & GOVERS, 1995). Com isso, é possível identificar em quais locais do terreno o fluxo tende a acumular e de onde ele vem. Vários algoritmos têm sido propostos para estimar o fluxo acumulado a partir do MDE onde a principal distinção entre os métodos é o mecanismo de partição do fluxo a partir da célula central em relação aos seus vizinhos (ERSKINE et al. 2006; GRUBER & PECKHAM, 2009). Os algoritmos são normalmente classificados como: (a) direção única onde todo o fluxo é transferido para uma única célula vizinha com menor elevação, ou (b) múltipla direção que realiza uma partição do fluxo para múltiplos vizinhos. Nestas duas categorias são destacados respectivamente os métodos D8 e D-Inf.

Tabela 1 – Configuração dos parâmetros do Topogrid para cada tipo de dado de entrada.

Parâmetro	Padrão	Vetor	Ponto	Descrição
Margem em células (Margin in cells)	20	20	20	Distância em células para interpolar além da extensão de saída especificada e limiteParte inferior do formulário
Menor valor z para ser utilizado na interpolação (Smallest z value to be used in interpolation)	(Em branco)	(Em branco)	(Em branco)	Limitar o menor valor e o maior valor para interpolação
Maior valor z para ser utilizado na interpolação (Largest z value to be used in interpolation)	(Em branco)	(Em branco)	(Em branco)	
Aplicação da drenagem (Drainage enforcement)	ENFORCE	ENFORCE	ENFORCE	O tipo de aplicação da drenagem na interpolação. Utilizado para remoção de depressões no canal de drenagem, quando desejado.
Tipo do dado primário (Primary type of input data)	COUNTOUR	COUNTOUR	SPOT	O tipo do dado de entrada com informações de elevação dominante.
Número máximo de interações (Maximum number of iterations)	40	45	40	Número máximo de interações da interpolação. Valores acima de 30 limpam pequenas depressões, já valores acima de 45 raramente têm utilidade na limpeza de mais depressões.
Penalidade de rugosidade (Roughness penalty)	(Em branco)	0	0,5	Utilizado para suavizar a interpolação. Para linhas o sugerido é entre 0 e 0,5.
Fator de erro de discretização (Discretisation error factor)	1	1.5	1	Utilizado para ajustar a intensidade da suavização. Valores menores resultam em menos suavização
Erro padrão vertical (Vertical standard error)	0	1	0	A quantidade de erro aleatório nos valores de z do dado de entrada.
Tolerância 1 (Tolerance 1)	(Em branco)	2.5	0	Essa tolerância reflete a acurácia e densidade dos pontos de elevação em relação à drenagem. Por padrão o valor é ajustado para 2.5 quando o dado é linha e 0 quando o dado é ponto.
Tolerância 2 (Tolerance 2)	(Em branco)	100	200	Essa tolerância previne que a drenagem ultrapasse barreiras com altitudes irreais. O padrão é 100 para linha e 200 para ponto.

O'Callaghan & Mark (1984) propuseram o método D8 para a geração de mapa de fluxo acumulado, onde, em uma área de 3 x 3 pixels o fluxo correspondente ao pixel central é destinado a um dos oito pixels vizinhos, de acordo com o valor de menor altimetria. Conforme Ramos et al. (2003), este método apresenta algumas limitações quando comparado com outro de distribuição proporcional.

No método D-Inf (D_{∞}) a representação da área de contribuição é dada de forma proporcional (TARBOTON, 1997). Esse método simula o comportamento do fluxo em uma área já saturada e é uma evolução do método D8 introduzido por O'Callaghan & Mark (1984), onde o fluxo é distribuído para apenas um dos oito pixels vizinhos, de acordo com a maior declividade do terreno, tendo a limitação de que cada uma das

oito possibilidades está separada por 45°. No método D_{∞} a direção do fluxo está entre os valores 0 e 2π e é determinada no sentido descendente dos declives mais íngremes sobre as oito facetas triangulares formadas a partir de uma janela de pixel 3x3 centrada sobre o pixel de interesse. A área é calculada pela repartição do fluxo a partir de um pixel entre os dois pixels a juzante proporcional ao ângulo de inclinação.

Para o desenvolvimento deste trabalho foi gerado um mapa de fluxo acumulado utilizando o método do D-Inf (D_{∞}) para o terreno pré-urbanização e outro para o terreno pós-urbanização. Os mapas de fluxo acumulado obtidos têm suas unidades em metros, mas para que o resultado possa ser mais bem visualizado foi aplicada uma função logarítmica.

RELACIONAMENTO ENTRE A MUDANÇA DA REDE DE DRENAGEM DEVIDO À CONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS URBANAS E O SURGIMENTO DE VOÇOROCAS E RAVINAS NO BAIRRO DO JARDIM BOTÂNICO NO DISTRITO FEDERAL

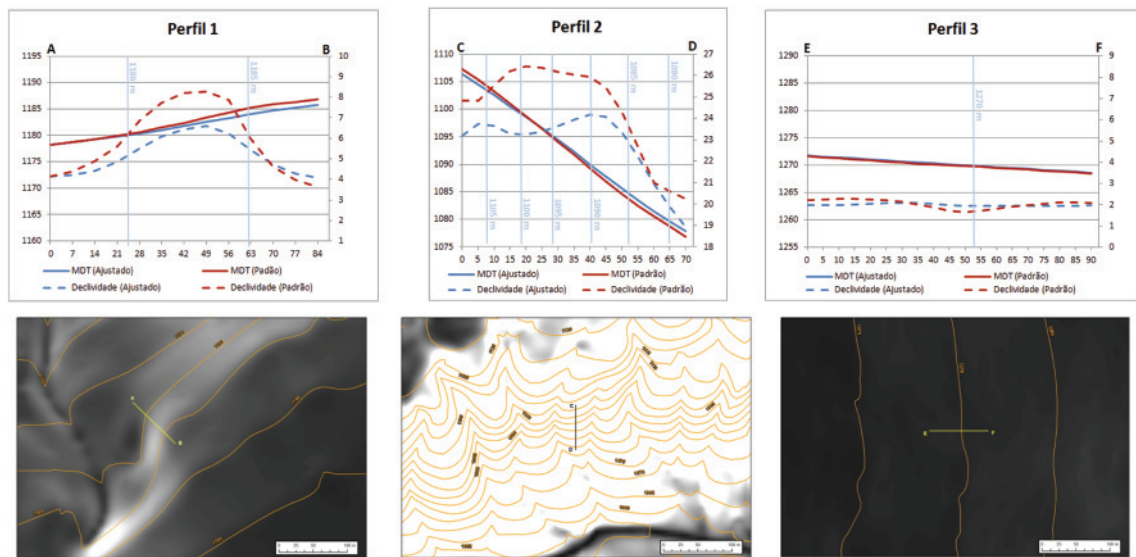


Figura 3 – Resultados dos perfis a partir de MDEs elaborados com parâmetros padrão e ajustados. Perfil 1: local com declividade média, pequena suavização da altimetria e grande suavização da declividade; Perfil 2: local com declividade mais acentuada, pequena suavização da altimetria e grande suavização da declividade; Perfil 3: local plano: diferenças insignificantes na altimetria e pequena suavização da declividade.

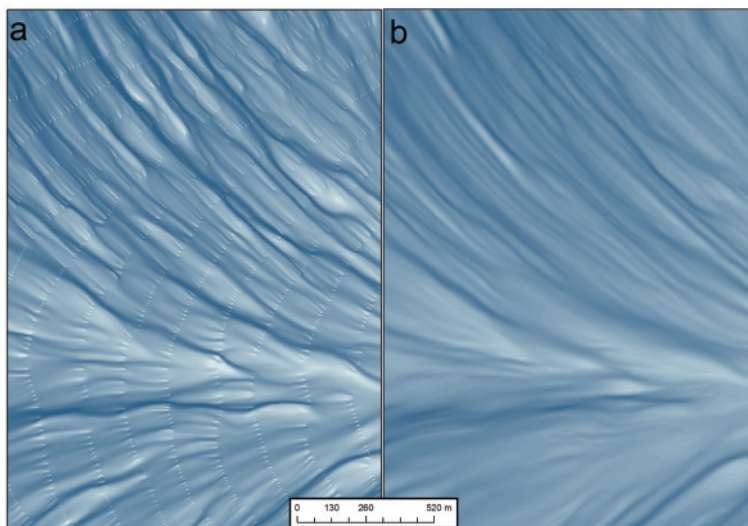


Figura 4 – Comparação dos mapas de fluxo acumulado obtidos de MDE sem ajustes (a) e com ajuste (b) na interpolação. No (a) as curvas de nível ficam marcadas na superfície simulando falsas elevações. Já no (b) há uma suavização da concentração do fluxo acumulado.

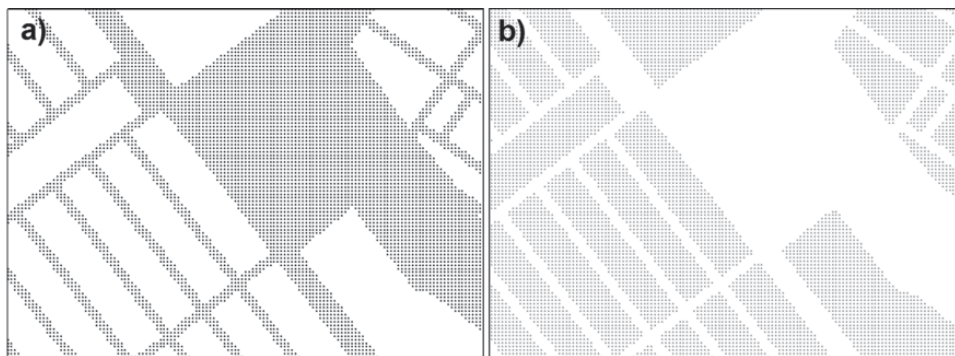


Figura 5 – (a) Pontos com informações extraídas do MDE pré-urbanização; e (b) pontos selecionados pelos polígonos das quadras com valores do MDE pré-urbanização com mais quatro metros adicionados.

Mapa de identificação da alteração do fluxo acumulado.

Com os dois mapas de fluxo acumulado foi aplicado o método proposto por Carvalho Junior et al., (2010), onde o mapa de fluxo acumulado correspondente a área pré-urbanização foi subtraído da área pós-urbanização. O mapa

resultante mostra os locais onde ocorreu a modificação da dinâmica do escoamento superficial pela urbanização, evidenciando áreas com concentração do fluxo em um local que não existia anteriormente, ou se existia apresentava valores menores.

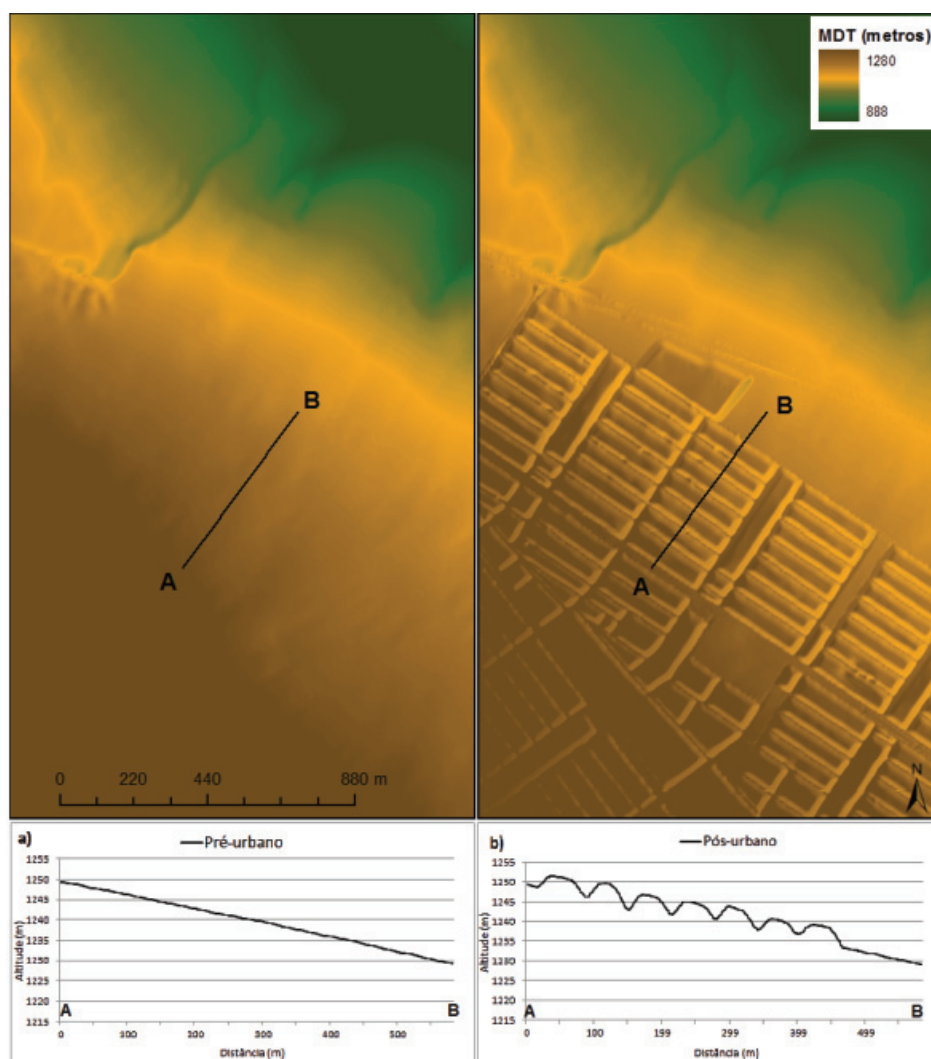


Figura 6 – Perfis topográficos dos terrenos pré-urbanização (a), e pós-urbanização (b).

Identificação das Voçorocas e Ravinas

As voçorocas e ravinas estudadas no Jardim Botânico foram identificadas utilizando imagens disponíveis no Google Earth, dos sensores GeoEye e QuickBird e trabalho de campo. Devido à cobertura temporal desta área, que tem algumas imagens entre 2003 e 2011, foi possível verificar o desenvolvimento de algumas ravinas/voçorocas em decorrência das alterações feitas com a consolidação da área urbana e em alguns casos foi possível observar a sua recuperação (Figura 7). Sete ravinas/voçorocas foram identificadas com aparente ligação com a estrutura urbana.

Resultados e discussão

Os condomínios do Jardim Botânico se encontram em cima da Chapada, onde as classes de relevo variam de plano a suave ondulado, chegando a ondulado em alguns locais. Essas áreas modificam lateralmente para leste onde ocorre a Região Dissecada de Vale. As classes de declividades passam a ser forte ondulado a montanhoso (Figura 8), onde o relevo se caracteriza por um forte processo de dissecção, apresentando declividades acentuadas e vales bem definidos (Figura 9).

RELACIONAMENTO ENTRE A MUDANÇA DA REDE DE DRENAGEM DEVIDO À CONSTRUÇÃO DE ESTRUTURAS URBANAS E O SURGIMENTO DE VOÇOROCAS E RAVINAS NO BAIRRO DO JARDIM BOTÂNICO NO DISTRITO FEDERAL

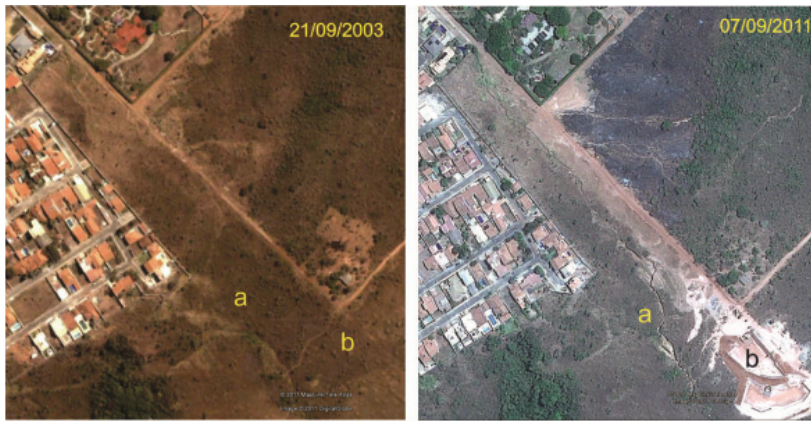


Figura 7 – a) Desenvolvimento de uma ravina; e b) construção de equipamentos de coleta de águas pluviais para desviar o fluxo que estava ocasionando a erosão (a)

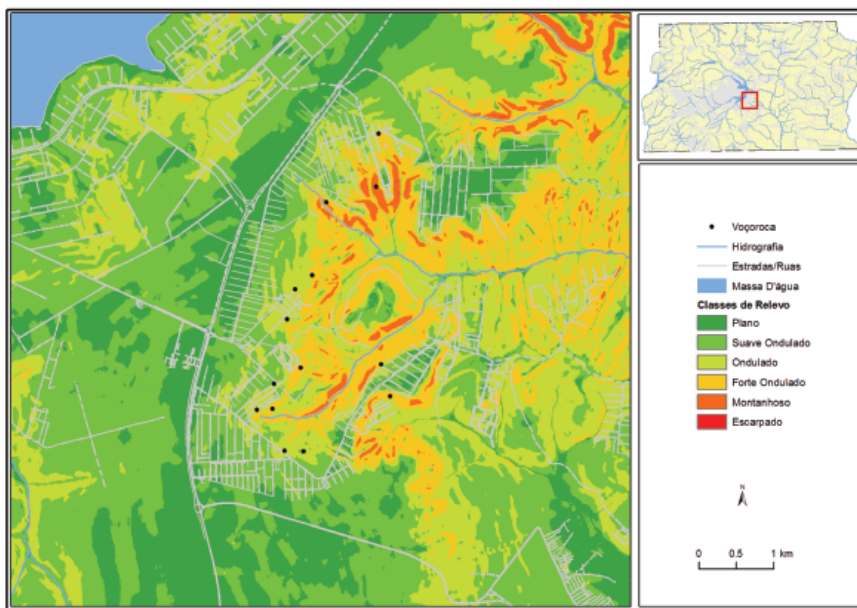


Figura 8 – Mapa de classes de relevo e localização das voçorocas estudadas no Jardim Botânico.

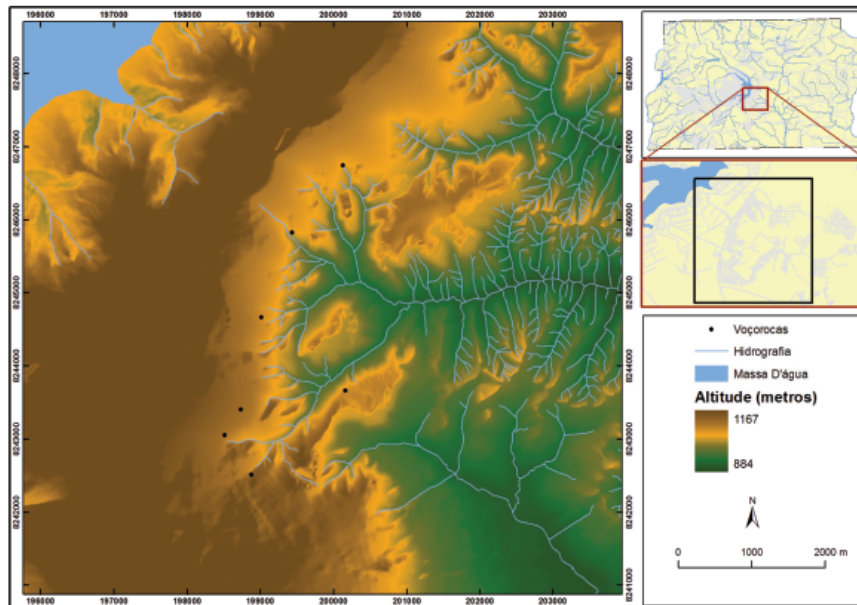


Figura 9 - Perfis topográficos da área do Jardim Botânico. Apenas o perfil AB mostra a ruptura de declive entre a chapada e o vale dissecado, o perfil CD acompanha a chapada.

No terreno pré-urbanizado (Figura 10) observa-se uma Chapada que se estende no sentido SW – NNE, tendo ao leste uma depressão causada por um processo de dissecação. O fluxo acumulado apresenta forma bem distinta entre a Chapada e a Dissecação, onde na primeira há um escoamento difuso e à medida que se aproxima da região de dissecação, com declividades mais acentuadas, passa para um padrão de escoamento bem definido (Figura 11).

A partir do momento que a superfície passou por alterações em sua forma (terraplanagem, escavações, aterros, construções de edificações, arruamentos, etc.) o escoamento superficial passa a percorrer caminhos diferentes dos naturais. O MDE pós-urbanização simula essa nova configuração espacial (Figura 12). O mapa de fluxo acumulado também é alterado, apresentando padrões bem diferentes do anterior (Figura 13). Ao comparar os

mapas de fluxo acumulado da área pós e pré-urbanização são identificadas as áreas onde ocorreu o aumento do fluxo acumulado (representadas em vermelho) e que apresentam potencial de ocorrência de ravinas/voçorocas decorrente da modificação superficial do terreno (Figura 14). A influência da acumulação do fluxo no desencadeamento das voçorocas torna-se evidente pelo gráfico de dispersão entre os valores de fluxo acumulado pré e pós-urbanização (Figura 15). Neste os pontos que desenvolveram ravinas/voçorocas (círculos) apresentam comportamento distinto das áreas sem a presença das feições de erosão (quadrados). Os pontos com feições de erosão apresentam um aumento do fluxo acumulado, estando todos acima da linha que representa áreas sem alteração. Em contraposição, as áreas sem erosão mostram valores inferiores de fluxo acumulado pós-urbanização em relação à pré-urbanização.

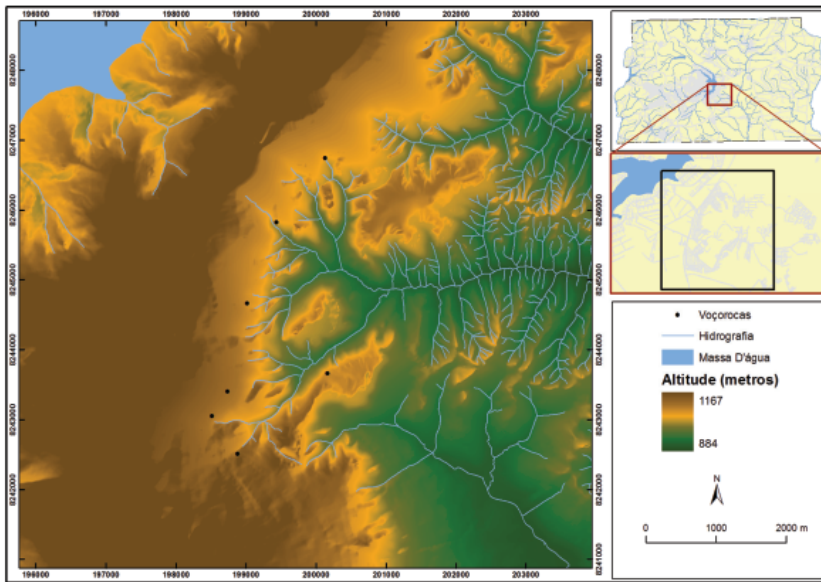


Figura 10 – Modelo digital de terreno do Jardim Botânico (pré-urbanização).

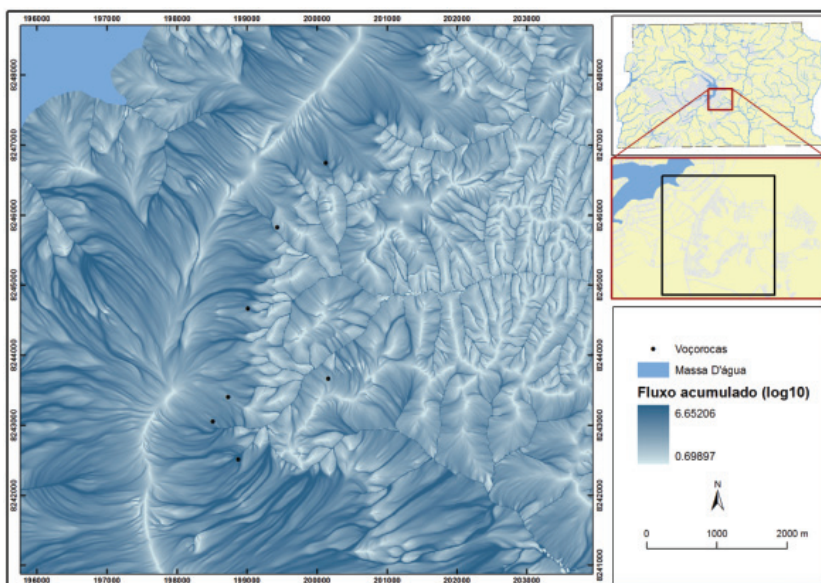


Figura 11 – Mapa de fluxo acumulado do Jardim Botânico (pré-urbanização).

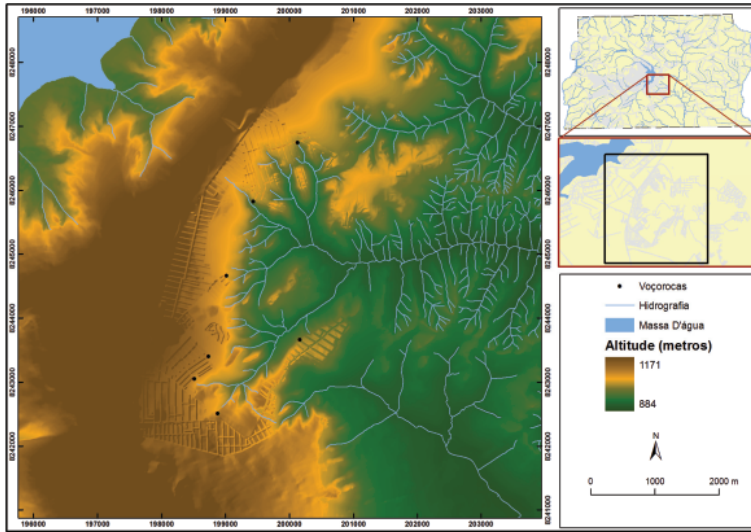


Figura 12 – Modelo digital de terreno do Jardim Botânico (pós-urbanização).

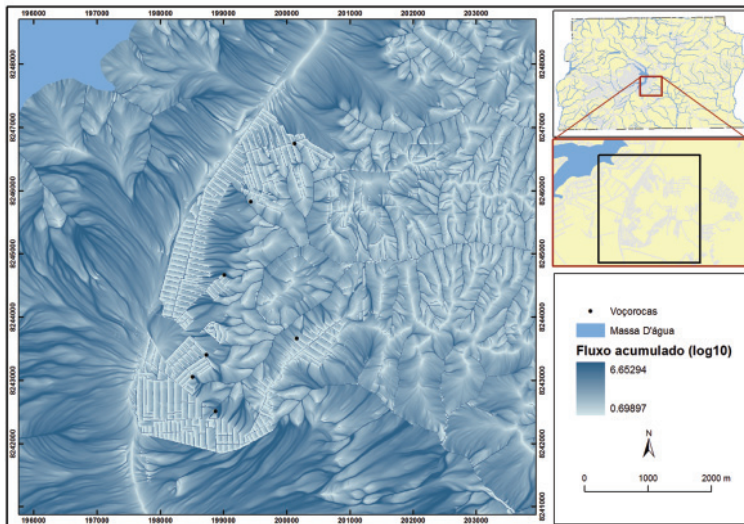


Figura 13 – Mapa de fluxo acumulado do Jardim Botânico (pós-urbanização).

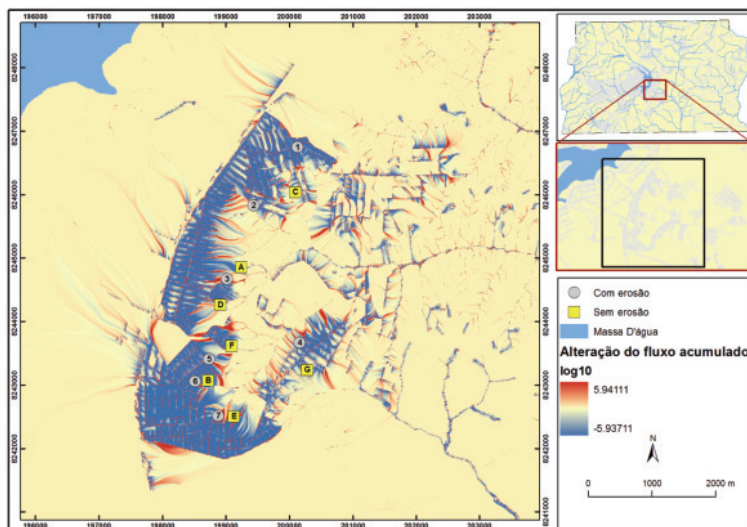


Figura 14 – Mapa da alteração do fluxo acumulado no Jardim Botânico (diferença de fluxo acumulado entre o mapa pré e pós-urbanizado). Os círculos representam os pontos que tiveram aumento de fluxo e produziram ravinas/voçorocas e os quadrados representam os pontos que não apresentaram aumento de fluxo e não produziram ravinas/voçorocas.

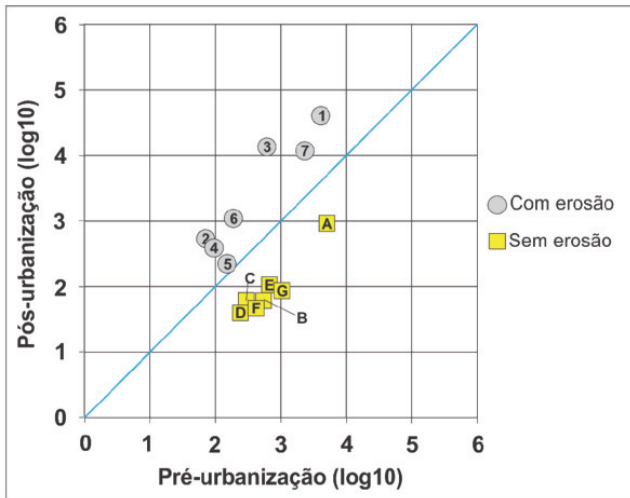


Figura 15 – O gráfico representa o comportamento da quantidade de fluxo relativo a pré e pós urbanização. Os círculos (ravinas/voçorocas) e os quadrados (não ravinas/voçorocas) estão também representados na figura 14.

Conclusões

O crescimento sem planejamento das cidades, em locais inapropriados e sem infraestrutura adequada, acarreta vários problemas (alagamentos, movimentos de massa e erosões), que alteram as condições ambientais e geram problemas sociais. O desenvolvimento de elementos urbanos como os arruamentos e as edificações é determinante no desencadeamento de processos erosivos. A alteração urbana da paisagem estabelece zonas de concentração do fluxo que se tornam mais susceptíveis à ocorrência de voçorocas e ravinas. As identificações das alterações na dinâmica do escoamento superficial e dos processos erosivos podem ser obtidas pelo emprego do MDE antes e após a urbanização.

A elaboração dos MDEs pré e pós-urbanização deve adotar metodologias distintas com o propósito de obter um resultado mais próximo da realidade. Os dados devem ser adequados conforme cada especificidade, eliminando ou inserindo as estruturas urbanas. O método de interpolação do ArcGis considerando os parâmetros ajustados para cada situação mostrou-se apropriado, possibilitando minimizar o efeito escada do MDE e tornando as declividades e fluxo acumulado mais constantes ao longo da encosta.

A metodologia aplicada permite fornecer ao planejador a identificação na paisagem de áreas com aumento de fluxo superficial, importante fator desencadeador dos processos erosivos. Isto possibilita que intervenções possam ser feitas no sentido de redistribuir o fluxo para que novos processos erosivos sejam evitados e os já existentes sejam mitigados.

Referências bibliográficas

- AKAN, A. O.; HOUGHTALEN, R. J. Urban Hydrology, Hydraulics and Stormwater Quality. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. 2003.
- ARCAYA, S. G. C. Avaliação dos Fatores Condicionantes dos Processos Erosivos no Distrito Federal. 2007. 189 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2007.
- ARCHIBOLD, O. W.; LE´VESQUE, L. M. J.; DE BOER, D. H.; AITKEN, A.E.; DELANOY, L. Gully retreat in a semi-urban catchment in Saskatoon, Saskatchewan. Applied Geography, v. 23, p. 261–279, 2003.
- ARNOLD, C.L.; GIBBONS, C.J. Impervious land coverage: the emergence of a key environmental indicator. Journal of the American Planning Association. v. 62 n. 2, p. 243–259, 1996.
- BACELLAR, L.A.P., COELHO NETTO, A.L., LACERDA, W.A. Controlling factors of gully erosion in the Maracujá Catchment, southeastern Brazil. Earth Surface Processes and Landforms, v. 30, p. 1369–1385, 2005.
- BARBOSA, O. Guia das Excursões do IX Congresso Brasileiro de Geologia. Notic. Soc. Bras. Geol. São Paulo v.3, p. 3–5. 1955.
- BETTS, H.D., DE ROSE, R.C. Digital elevation models as a tool for monitoring and measuring gully erosion. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 1, n. 2, p. 91–101. 1999.
- BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; SANTOS, G.F. Controle de erosão urbana e periurbana. In: BIGARELLA, J.J.; BECKER, R.D.; SANTOS, G.F. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. 2ª ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2007. v.3, p. 961-963.
- BOCCO, G. Gully erosion: processes and models. Progress in Physical Geography v. 15, n. 4, p. 392–406. 1991.
- BOUCHNAK, H., SFAR PELFOUL, M., BOUSSEMA, M. R., & SNARE, M. H. Slope and rainfall effect on the volume of sediment yield by gully erosion in the Souar lithologic formation (Tunisia). Catena, v. 78, p. 170-171, 2009.
- BUSNELLI, J.; NEDER, L.V.; SAYAGO, J.M. Temporal dynamics of soil erosion and rainfall erosivity as geoindicators of land degradation in Northwestern Argentina. Quaternary International, v. 158 p. 147–161. 2006.
- CAMPOS J.E.G. Hidrogeologia do Distrito Federal: bases para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Revista Brasileira de Geociências, v. 34, n.1, p. 41-48, 2004.
- CARDOSO, F. B. F.; CARVALHO, A. P. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; BLANCO, S. B.; VELOSO, W. M. 1994. Utilização de Imagens de Satélites no Cadastramento de Erosões em Solos Tropicais. In: Ricaldi, V.; Flores, C.; Anaya, L.; Pradel, F. (Org.). Investigaciones sobre los Riesgos Geológicos en Ciudades de America Latina. Cochabamba (Bolívia): Centro

- Regional de Acción Ambiental y de Organización Social (CREAMOS), 1994, v. 21, p. 197-210.
- CARRIJO, B.R.; BACCARO, C.A.D. Análise sobre a erosão hídrica na área urbana de Uberlândia (MG). *Caminhos de Geografia*, v. 1, n. 2, p. 70-83, 2000.
- CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; FREITAS, L. F.; GOMES-LOEBMANN, D.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; MONTGOMERY, D. R. Urbanization Impacts Upon Catchment hydrology and Gully Development Using Multi-temporal Digital Elevation Data Analysis. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 35, n. 5, p. 611-617, 2010.
- CLIFTON, A. W.; KRAHN, J.; FREDLUND, D. G. Riverbank instability and development control in Saskatoon. *Canadian Geotechnical Journal*, v. 18, p. 95–105, 1981.
- COIMBRA A.R.S.R. Balanço hídrico preliminar do Distrito Federal. In: IEMA/SEMATEC/UnB 1998, Inventário hidrogeológico do Distrito Federal. (GDF/CAESB) Brasília DF. p. 50-78. 1987.
- COSTA, F.M.; BACELLAR, L.A.P. Analysis of the influence of gully erosion in the flow pattern of catchment streams, Southeastern Brazil. *Catena*, v. 69, p. 230–238, 2007.
- CUNHA, S. B. & GUERRA, A. T. Degradação Ambiental. In: GUERRA, A. T. & CUNHA, S. B. (Org.) *Geomorfologia e Meio Ambiente*. 8a ed. Rio de Janeiro: Bertrand, 2010. p. 337-371.
- DESMET, P. J. J.; GOVERS G. GIS-based simulation of erosion and deposition patterns in an agricultural landscape: A comparison of model results with soil map information. *Catena*, v. 25, p. 389–401, 1995.
- DOMINGUES, E.N.; ROSSI, M.; MATTOS, I.F.A.; ABE, K.; KITADA M. Tipologia e distribuição dos processos erosivos na microbacia do ribeirão Água da Cachoeira, em Paraguaçu Paulista, SP. *Revista Brasileira de Ciência dos Solos*, v. 22, p. 141 -149, 1998.
- ERSKINE, R.H.; GREEN, T.R.; RAMIREZ, J.A. & MACDONALD, L. H. Comparison of grid-based algorithms for computing upslope contributing area. *Water Resources Research* v. 42, p. 1–9, 2006.
- FARIA A. Estratigrafia e sistemas deposicionais do Grupo Paranoá nas áreas de Cristalina, Distrito Federal e São João D'Aliança-Alto Paraíso de Goiás. Brasília. 1995. 199 f. Tese (Doutorado em Geologia) Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília. 1995.
- FLORINSKY, I. V.; EILERS, R. G.; MANNING G. R.; FULLER L. G. Prediction of soil properties by digital terrain modeling. *Environmental Modelling & Software*, v. 17, p. 295– 311, 2002.
- GIORDANO, A., MARCHISIO, C. Analysis and correlation of the existing soil erosion maps in the Mediterranean basin. *Quaderni di Scienza del Suolo* v. 3, p. 97–132, 1991.
- GRAF, W.L. Locational probability for a dammed, urbanizing stream: Salt River, Arizona, USA. *Environmental Management*, v. 25 n. 3, p. 321–335, 2000.
- GREEN, T. R.; ERSKINE R. H. Measurement, scaling, and topographic analyses of spatial crop yield and soil water content. *Hydrological Processes*, v. 18, p. 1447– 1465, 2004.
- GRUBER, S.; PECKHAM, S. Land-surface parameters and objects in hydrology. In: Hengl, T., and Reuter, H.I. (Eds.): *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Elsevier, Amsterdam, p. 171-194, 2009.
- GÜNTNER, A.; SEIBERT, J.; UHLENBROOK, S. Modeling spatial patterns of saturated areas: An evaluation of different terrain indices. *Water Resources Research*, v. 40, W05114, doi:10.1029/2003WR002864, 2004.
- GURNELL, A.; LEE, M.; SOUCH, C. Urban Rivers: Hydrology, Geomorphology, Ecology and Opportunities for Change *Geography Compass* v. 1/5, p. 1118–1137, 2007.
- HOLLIS, G. E. The effect of urbanization on floods of different recurrence intervals. *Water Resources Research*, v. 11, p. 431–435, 1975.
- HUTCHINSON, M.F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, v. 106, p. 211-232, 1989.
- IKEMATSU, P. DA SILVA, A.M.; DE PAULA, F.P.; NOGUEIRA, D.P.; SILVEIRA, F.M.; ALVES, S.H.; BOMBACK, M. Dimensionamento e estudo dos fatores condicionantes de duas voçorocas localizadas no município de Sorocaba (SP). *Caminhos de Geografia*, v. 8, n. 24, p. 76-85, 2007.
- JENSON, S. K. Applications of hydrologic information automatically extracted from digital elevation models. *Hydrological Processes*, v. 5, p. 31–44, 1991.
- JENSON, S. K.; DOMINGUE J. O. Extracting topographic structure from digital elevation models. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 54, p. 1593– 1600, 1988.
- LAZARO, T. R. *Urban Hydrology*. Ann Arbor, MI: Arbor Science. 1979.
- LEOPOLD, L.B., River channel change with time: an example. *Geological Society of America Bulletin*, v. 84, n. 6, p. 1845–1860, 1973.
- LORZ, C.; ABBT-BRAUN, G.; BAKKER, F.; BORGES, P.; BORNICK, H.; FORTES, L.; FRIMMEL, F.H.; GAFFRON, A.; HEBBEN, N.; HOFER, R.; MAKESCHIN, F.; NEDER, K.; ROIG, L.H.; STEINIGER, B.; STRAUCH, M.; WALDE, D.; WEIB, H.; WORCH, E.; WUMMEL, J. Challenges of an integrated water resource management for the Distrito Federal, Western Central Brazil: climate, land-use and water resources. *Environmental Earth Sciences*, v. 65, p. 1575–1586, 2012.

- MARK, O.; WEESAKUL, S.; APIRUMANEKUL, C.; AROONNET, S. B.; DJORDJEVIĆ, S. Potential and Limitations of 1D Modeling of Urban Flooding. *Journal of Hydrology*, v. 299, n. 3-4, p. 284-299, 2004.
- MARTINEZ-CASANOVAS, J.A.; RAMOS, M.C.; POESEN, J. Assessment in sidewall erosion in large gullies using multi-temporal DEMs and logistic regression analysis. *Geomorphology*, v. 58, p. 305–321, 2004.
- MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A., POCH, R.M. Estado de conservación de los suelos de la cuenca del embalse Joaquín Costa. *Limnetica*, v. 14, p. 83–91, 1998.
- MARTINS, E. O. Cadastro Georreferenciado de Erosões no Distrito Federal – DF. 2005. 114 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2005.
- MARTINS, E. S.; REATTO A.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R.F. Evolução Geomorfológica do Distrito Federal. Documentos EMBRAPA Cerrados, 57 p. 2004.
- MARTZ, L. W.; GARBRECHT J. Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from digital elevation models. *Computers & Geosciences*, v. 18, p. 747– 761. 1992.
- MARZOLFF, I.; POESEN, J. The potential of 3D gully monitoring with GIS using high-resolution aerial photography and a digital photogrammetry system. *Geomorphology*, 111, 48–60, 2009.
- MCBRIDE, M.; BOOTH, D. B. Urban impacts on physical stream condition: effects of spatial scale, connectivity, and longitudinal trends. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 41, p. 565–580, 2005.
- MONTGOMERY, D. R.; DIETRICH W. E. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water Resources Research*, v. 30, p. 1153– 1171, 1994.
- MOORE, I. D.; BURCH, G. J.; MACKENZIE D. H. Topographic effects on the distribution of surface soil-water and the location of ephemeral gullies. *Transactions of the ASAE*, v. 31, p. 1098–1107, 1988.
- MORTARI, D. Caracterização Geotécnica e Análise do Processo Evolutivo das Erosões no Distrito Federal. 1994. 200 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 1994.
- NACHTERGAELE, J., POESEN, J., Assessment of soil losses by ephemeral gully erosion using high-altitude (stereo) aerial photographs. *Earth Surface Processes and Landforms* 24, 693–706. 1999.
- NAZARI, S. A.; WASSON, R. J.; & MALEKIAN, A. Application of multiple sediment fingerprinting techniques to determine the sediment source contribution of gully erosion: review and case study from Bushehr province, southwestern Iran. *Progress in Physical Geography*, v. 35, n. 3, p. 375-391, 2011.
- NELLER, R. J. A comparison of channel erosion in small urban and rural catchments, Armidale, New South Wales. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 13, p. 1–7, 1988.
- NOVAES PINTO, M. Caracterização geomorfológica do Distrito Federal. In: Novaes Pinto, M. (Org.) *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. Brasília. Editora UnB. 2a ed. p. 285-320. 1994.
- O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, v. 28, p. 323– 344. 1984
- O'LOUGHLIN, E. M. Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. *Water Resources Research*, v. 22, p. 794– 804, 1986.
- OLIVEIRA, S. N.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; SILVA, T.M.; GOMES, R.A.T. MARTINS, E.S.; GUIMARÃES, R.F.; SILVA, N.C. Delimitação automática de bacias de drenagens e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrologicamente corrigido. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 8, p. 3-21, 2007.
- OLIVEIRA M. M. Utilização do geoprocessamento no cadastro de erosões das porções central e sudoeste do Distrito Federal. Brasília. 2002. 179 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília. 2002.
- OLIVEIRA, A. M. S.; PONÇANO, W. L.; SALOMÃO, F. X. T.; DONZELI, P.L.; ROCHA, G. A.; e VALÉRIO FILHO, M. Questões Metodológicas em Diagnósticos Regionais de Erosão: A Experiência Pioneira da Bacia do Peixe Paranapanema – SP. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 4., 1987, Marília, . Anais... São Paulo: ABGE/DAEE, p. 51-71. 1987.
- OLIVEIRA, B.E.N. 2011. Mapeamento, Identificação e Análise dos Fatores Relacionados aos Processos Erosivos no Distrito Federal (DF) – Ênfase nas Voçorocas. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Publicação PPGEFL.DM-169/2011 Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- PAVIANI, A. Geografia urbana do Distrito Federal: evolução e tendências. *Espaço & Geografia*, v. 10, n. 1, p. 1-22, 2007.
- PILOTTI, M.; GANDOLFI, C.; BISCHETTI G. B. Identification and analysis of natural channel networks from digital elevation models. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 21, p. 1007–1020. 1996.
- PIZZUTO, J. E.; HESSION, W. C.; MCBRIDE, M. Comparing gravel-bed rivers in paired urban and rural catchments of southeastern Pennsylvania. *Geology*, v. 28, p. 79–82, 2000.
- POFF, N.L.; BLEDSOE, B.P.; CUHACIYAN, C.O. Hydrologic variation with land use across the contiguous United States: geomorphic and ecological consequences for stream ecosystems. *Geomorphology*, v. 79, p. 264–285, 2006.

- PORTO, R.; ZAHED F., K.; TUCCI, C. E. M.; BIDONE, F. Drenagem Urbana. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) Hidrologia: Ciência e Aplicação. 3ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS; ABRH, 2004. p. 805-847.
- RAMOS, V. M. ; GUIMARÃES, R. F.; REDIVO, A. L.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; FERREIRA, N. F.; GOMES, R. A. T. Avaliação de Metodologias de Determinação do Cálculo de Áreas de Contribuição. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 4, p. 41-49, 2003.
- RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; REDIVO A. L.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F. & CARVALHO JÚNIOR, O. A. Aplicação do Modelo SHALSTAB, em Ambiente ArcView, para o Mapeamento de Áreas Susceptíveis a Escorregamento Raso na Região do Quadrilátero Ferrífero (MG). Espaço & Geografia, v.5, n. 1, p.49-67, 2002.
- SALGADO, C.M.; DA SILVA, T.P. PEIXOTO, M.N.O.; DE MOURA, J.R.S. Análise espaço-temporal da erosão linear no médio-baixo vale do ribeirão do secretário (Paty do Alferes/RJ). Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 9, n. 1, p. 75-85, 2008.
- SALOMÃO, F. X. T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, A. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Ed.) Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 228-267.
- SANDERS, R.A. Urban vegetation impacts on the hydrology of Dayton, Ohio. Urban Ecology, v. 9, p. 361–376, 1986.
- TARBOTON, D. G. A New Method for the Determination of Flow Directions and Upslope Areas in Grid Digital Elevation Models. Water Resources Research, v. 33, n. 2, p. 309-319. 1997.
- THOMA, D.P., GUPTA, S.C., BAUER, M.E., KIRCHOFF, C.E. Airborne laser scanning for riverbank erosion assessment. Remote Sensing of Environment v. 95, p. 493–501, 2005.
- TRIMBLE, S. W. Contribution of stream channel erosion to sediment yield from an urbanizing watershed. Science v. 278, p. 1442–1444, 1997.
- WHEATON, J.M., BRASINGTON, J., DARBY, S.E., SEAR, D. Accounting for uncertainty in DEMs from repeat topographic surveys: improved sediment budgets. Earth Surface Processes and Landforms v. 35, n. 2, p. 136–156, 2009.
- WHITFORD, V.; HANDLEY, J.; ENNOS, R. City form and natural process—indicators for the ecological performance of urban areas. Landscape and Urban Planning v. 57, p. 91–103, 2001.
- WOLMAN, M. G. A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. Geografiska Annaler Series A, Physical Geography, v. 49, p. 385–395, 1967.