

PROPOSTA DE USO DAS ÁREAS VARIÁVEIS DE AFLUÊNCIA COMO ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

Use proposition of the Variable Source Areas as Permanent Protection Area

Jaciane Xavier Bressiani, Marcio Augusto Reolon Schmidt

Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil Faculdade de Engenharia Civil
Universidade Federal de Uberlândia

Resumo

Apesar de inúmeras leis ambientais brasileiras, a ocupação humana em áreas protegidas é crescente. Entre as razões destaca-se o instrumento de gestão das Áreas de Preservação Permanente (APP) que define áreas simétricas em relação ao centro do corpo hídrico sem, contudo, considerar os aspectos físicos e a dinâmica de escoamento da bacia hidrográfica. Esta dinâmica é representada pelas Áreas Variáveis de Afluência (AVA) que definem as pequenas áreas na microbacia hidrográfica e que se relacionam com a qualidade dos recursos hídricos, uma vez que são fontes de escoamento superficial oriundo da saturação e podem carrear sedimentos e poluentes para os cursos d'água. Como as AVA sofrem expansão e contração devido a frequência e intensidade de eventos de precipitação, nas quais ocorre saturação hídrica, sua adequada delimitação não é tarefa trivial. Por isto, este artigo apresenta uma discussão da definição e modelagem das AVA, através de Sistemas de Informação Geográfica, com destaque no seu potencial de aplicação na delimitação de áreas protegidas em ambientes urbanos.

Palavras-chave: AVA. Modelagem Ambiental. SIG. Gerenciamento de recursos hídricos.

Abstract

Despite numerous Brazilian environmental laws, human settlement in protected areas is growing. Among reasons highlight is the management tool of the areas of permanent protection (APP) that define areas symmetrical relative to the center of the water body without, however, consider the physical aspects and dynamics of flow of the river basin. This dynamic is represented by variable source areas (AVA) that define small areas in the watershed and that relate to the quality of water resources, since they are sources of runoff from the saturation and may carry sediments and pollutants for watercourses. As AVA undergo expansion and contraction due to frequency and intensity of precipitation events, in which water saturation occurs, their proper delimitation is not trivial task. Therefore, this article presents a discussion of the definition and modeling of AVA through Geographic Information Systems, with emphasis on its application potential in the delimitation of protected areas in urban environments.

Keywords: AVA. Environment Modelling. GIS. Water Resources Management.

1 Introdução

Apesar de inúmeras leis ambientais brasileiras, a ocupação humana em áreas protegidas é crescente (JÚNIOR, 2003). Entre as leis brasileiras, destacam-se as leis federais 12.727 e 12.651, do ano de 2012, que atualizam o Código Florestal, e ainda a Resolução 302/02 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Nestas, as áreas declivosas e com cobertura vegetal ripária são consideradas especialmente vulneráveis e podem enquadrar-se como Áreas de Preservação Permanente (APP). Áreas vulneráveis compreendidas nos perímetros urbanos, nas regiões metropolitanas e nas aglomerações urbanas, seguem os planos diretores de cada município, cuja exigência não deve ser menor do que a lei federal.

São consideradas áreas de APP, as faixas de vegetação ripária contadas desde a borda da calha do leito regular, para cada lado ao longo de cursos de água com menos de dez metros de largura, exceto para casos excepcionais definidos em lei. Segundo Silva (2012), a vantagem dessas simplificações reside no fato das APPs serem facilmente implantadas e fiscalizadas, pois se resumem a faixas simétricas, com distâncias fixas, ao redor de cursos d'água e nascentes que não podem ter uso agropecuário e/ou antrópico, características estas necessárias a instrumentos legislativos que regulam as alterações no uso do solo. Entretanto, as APP não compreendem toda a área necessária para cumprir seu papel ecológico de proteção dos recursos hídricos e solo como é realizado na zona ripária.

O ecossistema ripário, incluindo a dinâmica da zona ripária, sua vegetação e suas interações, desempenha funções relacionadas à geração do escoamento direto em microbacias, ao aumento da capacidade de armazenamento da água, à manutenção da qualidade da água nas microbacias e à retenção, de nutrientes liberados dos ecossistemas terrestres causando o efeito tampão pelo sistema radicular da vegetação ripária, além de proporcionar estabilidade das margens, equilíbrio térmico da água e formação de corredores ecológicos (LIMA e ZAKIA, 2000). A zona ripária bem conservada proporciona a conectividade, além de manter as funções de estabilização dos fluxos das águas superficiais e sub-superficiais (recarga de aquíferos), habitats de vida silvestre e corredores de trânsito de fauna e flora, amortecimento de nutrientes e sedimentos, recreação humana e manutenção de paisagens culturais. A largura da vegetação ripária é variável e depende da ordem do canal fluvial na bacia, da interferência humana nos fluxos de água e dos regimes de perturbação (FORMAN, 1995).

Entretanto, não há consenso no conceito de zona ripária e, portanto, a sua delimitação assume contornos particulares dependendo da abordagem escolhida. Para Gregory et al. (1991), zona ripária é a interface entre os ecossistemas terrestre e aquático, que se estende horizontalmente até o limite que a inundação alcança, e verticalmente até o topo da copa da vegetação. A The Japan Society of Erosion Control Engineering (2000) define a zona ripária como sendo a zona próxima a rios, lagos, pântanos, que influencia fortemente a transferência de energia, nutrientes, sedimentos, entre os ecossistemas terrestre e aquático. Lima e Zakia (2006) definem estas como áreas de saturação da microbacia, temporárias ou perenes, situadas tanto ao longo dos cursos d'água e junto de nascentes, quanto em áreas mais elevadas da vertente. Segundo Hicon (2011), reunindo critérios técnicos e legais, a zona ripária poderia ser considerada como sendo a soma da largura do rio com as larguras das APP de ambas as margens. Ao atender exigências da legislação, a delimitação das áreas de preservação permanente segue regras bastante simples, que não requerem domínio de técnicas avançadas de modelagem hidrológica.

Uma alternativa que considera aspectos físicos e a dinâmica dessas áreas são as áreas variáveis de afluência (AVA). As AVA definem pequenas áreas na microbacia hidrográfica que sofrem expansão e contração com eventos de precipitação, nas quais ocorre saturação hídrica e que nem sempre estão localizadas nas faixas estabelecidas pela legislação brasileira vigente (ATTANASIO JÚNIOR, ATTANASIO e TONIATO, 2011). São áreas relacionadas à qualidade dos recursos hídricos, uma vez que são fontes de escoamento superficial oriundo da saturação e, portanto, podem carrear sedimentos e poluentes para os cursos d'água. Dadas as suas características físicas e dinâmicas, as AVA são mais indicadas para a proteção de recursos hídricos que as APPs.

Entretanto, por terem a característica de variação de área devido à saturação em eventos de chuvas, estas áreas são de difícil modelagem e requerem a modelagem hidrológica associada à sua distribuição espacial. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é fazer uma reflexão do uso das AVA como áreas de

APP e apresentar as tentativas de definição a partir de dados espaciais e de hidrologia. Para tanto, propõe-se ferramentas de geoprocessamento como Sistemas de Informação Geográfica (SIG) associados com modelos hidrológicos, e uso de dados espaciais como declividade, rede de drenagem, pontos cotados no terreno.

2 Áreas de afluência e mecanismos de geração de escoamento

O escoamento superficial hortoniano, divide a precipitação em infiltração, quando a água infiltra no terreno e alimenta o lençol freático pelo escoamento subterrâneo, chegando até os rios; e em escoamento direto, produzido pela água da chuva que escoia diretamente sobre a superfície do terreno proveniente de todas as partes da bacia, ocorrendo toda vez que a intensidade da chuva excede a capacidade de infiltração do solo (MORAES et. al., 2003; WALTER et. al., 2003; ARAÚJO NETO, 2013).

Para descrever o escoamento nas vertentes, é necessário compreender que a água da chuva segue caminhos distintos e pode chegar ao curso d'água pela precipitação direta sobre o rio, escoamento superficial, escoamento sub-superficial próximo à superfície, e escoamento subterrâneo profundo, conforme Figura 1. No solo insaturado, a água da chuva pode chegar ao rio por escoamento superficial e sub-superficial e, no solo saturado, nas camadas mais profundas, através do escoamento subterrâneo.

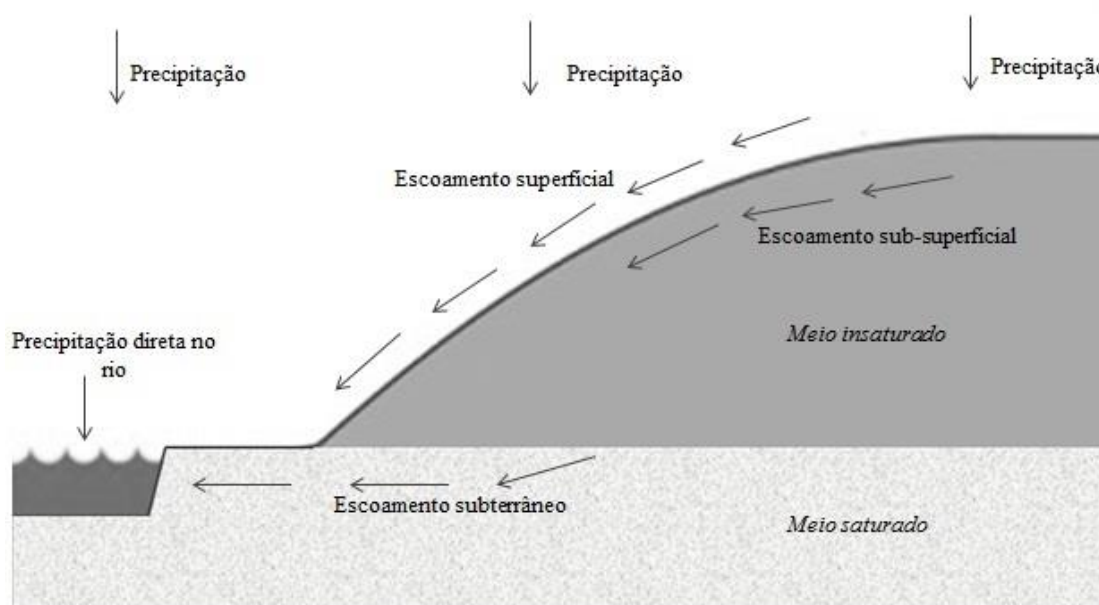


Figura 1 – Visão macroscópica e concentrada dos caminhos preferenciais na geração de escoamento numa vertente
Fonte: A autora.

Apesar de o escoamento superficial hortoniano ser considerado dominante em sistemas onde o uso do solo é mais intensivo, estudos posteriores chegaram a um novo mecanismo de geração de escoamento, as Áreas Variáveis de Afluência (AVA). Nas AVA, a água da chuva infiltra, aumenta o teor de umidade local e retorna à superfície via saturação do perfil do solo, contribuindo para o escoamento superficial, influenciadas pelo fluxo sub-superficial, a precipitação e a umidade inicial do solo, propiciando expansão e contração da porção saturada e da rede de drenagem da bacia (CAPPUS, 1960; TSUKAMOTO, 1963; HEWLETT e HIBBERT, 1967; citados em SANTOS, 2009).

As definições de Lima (2003) e Zakia et al. (2006) afirmam que a área variável de afluência (AVA) corresponde à zona com saturação hídrica da microbacia que tem característica dinâmica devido à expansão e contração, dependendo da quantidade e intensidade das precipitações a qual está sujeita. Nas AVA prevalecem os processos de escoamento superficial de áreas saturadas durante a resposta hidrológica da microbacia a um evento de chuva. Em geral, encontram-se situadas ao longo dos cursos d'água e em suas cabeceiras, nas concavidades de terrenos para as quais convergem as linhas de fluxo e mesmo em porções de áreas saturadas encontradas em pontos elevados de encostas.

A teoria da AVA considera que existem áreas mais propensas à geração de escoamento superficial por saturação, sendo variáveis no espaço-tempo e que tendem a expandir-se e contrair-se de forma sazonal configurando uma parcela de área da bacia com variação entre 1% e 50% da área total (DICKINSON e WHITELEY, 1970) dependendo da quantidade e da intensidade de precipitação. Por esta razão usa-se o termo área variável. Para Dunne (1979, citado em Guimarães, 2000), a extensão desta área estaria condicionada, ao total de precipitação de um evento, às condições antecedentes de umidade e à intensidade da chuva, além das características hidrológicas dos solos e da topografia, sendo que o seu tamanho pode variar entre 5 e 20% da área total da bacia.

Estas áreas da bacia hidrográfica localizam-se primordialmente em duas porções: (a) zonas saturadas que margeiam os rios e cabeceiras de drenagem, as quais se expandem durante os eventos e (b) concavidades do terreno, para as quais convergem as linhas de fluxo. Sendo a extensão e a distribuição das áreas saturadas relacionadas ao padrão espacial dos canais na bacia hidrográfica (ZAKIA, 1998).

Existe um retardo entre a variação das áreas saturadas em uma bacia hidrográfica e os diferentes tempos do hidrograma, conforme a figura 2. Em t_0 , com o início do evento na rede de drenagem perene da bacia; regiões próximas às cabeceiras de drenagem começam a atingir o estado de saturação do solo, em t_1 . Em t_2 , observa-se a formação de canais intermitentes em áreas contíguas aos canais perenes, notadamente nas áreas de planície. E, no momento de pico do hidrograma em t_3 , a bacia hipotética atinge o estado máximo de saturação que poderia ser a zona ripária, configurando uma nova rede de drenagem a partir do escoamento superficial oriundo das áreas saturadas, se o hidrograma correspondesse ao evento de chuva intensa que ocorre uma vez a cada 1 a 3 anos.

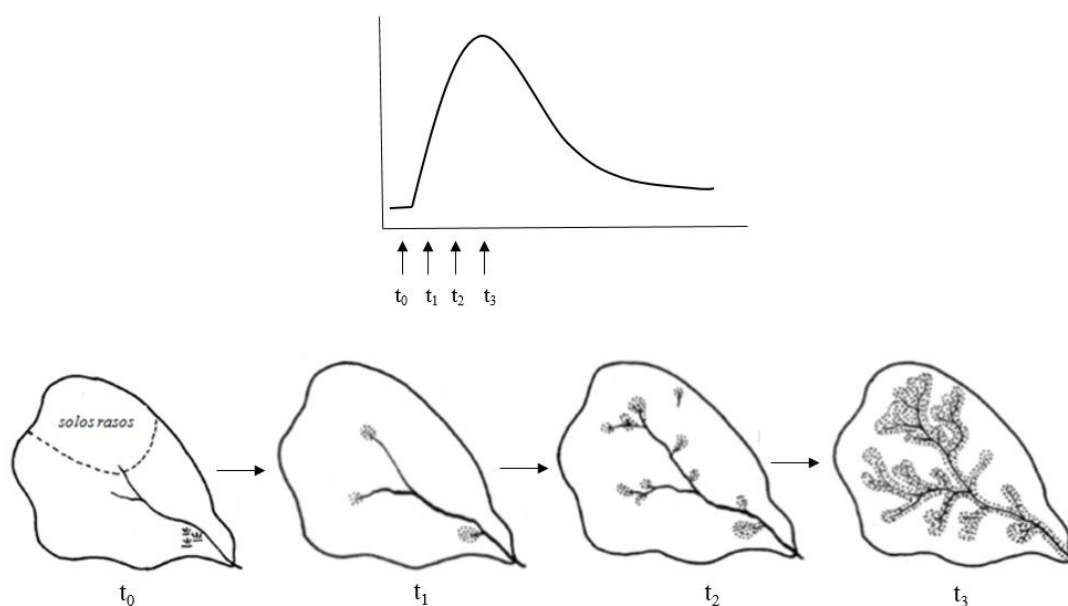


Figura 2 – Dinâmica das áreas variáveis de afluência em relação ao hidrograma

Fonte: Chorley (1978). Organizada pelos autores.

Apesar da importância dos conceitos de AVA e dos processos de escoamento superficial e sub-superficial, apenas algumas propostas de utilização das áreas saturadas como indicadores para a delimitação de buffers de preservação em bacias hidrográficas estão sendo estudadas (QIU, 2003; AGNEW et al., 2006; GORSEVSKI et al., 2008; QIU, 2009; WALTER et al., 2009 citados em SIEFERT E SANTOS, 2012). Nesta mesma linha, no Brasil destacam-se as abordagens relacionando as áreas variáveis de afluência com a zona ripária e áreas de preservação permanente a partir de modelagem hidrológica (ZAKIA, 1998; ATTANASIO et al., 2006; SIEFERT e SANTOS, 2010; SIEFERT e SANTOS, 2012; SILVA, 2012; SANTOS, 2013).

A zona ripária não é apenas constituída da largura de faixa, considerada APP, mas é todo um ecossistema chamado de ecossistema ripário. Porém, a legislação brasileira determina que os locais de vegetação ripária estejam na largura que compreende a distância horizontal perpendicular ao rio, medida a partir da calha delimitada pela maior cheia sazonal (KOBAYAMA, MOTA e CORSEUIL, 2008).

Desta forma, são desconsideradas as características hidrológicas (infiltração, escoamento superficial e sub-superficial, evapotranspiração, transporte e deposição de sedimentos), características topográficas e pedológicas, o uso e ocupação do solo, dentre outros fatores e processos que ocorrem na bacia hidrográfica.

A vegetação ripária deve estar localizada nas áreas mais sensíveis da bacia, como nas margens da rede hidrográfica, ao redor de nascentes e áreas saturadas, tanto diminuindo a ocorrência de escoamento superficial, que pode causar erosão, arraste de nutrientes e de sedimentos para os cursos d'água e enchentes, quanto desempenhando um efeito de filtragem superficial e sub-superficial da água que flui para os canais (KUNKLE, 1974). A presença desta vegetação garante a preservação dos meandros nos rios, diminuindo a velocidade do escoamento e conseqüentemente, diminuindo a erosão, aumentando a infiltração da água no solo durante as inundações. Também, por infiltração, diminuem a quantidade de água que chega ao rio. Desta forma, a quantidade de água transbordada é menor, o que influencia na diminuição do pico de cheia, e em conseqüência, os danos causados (FRY, STEINER e GREEN, 1994 citado em GUIMARÃES, 2012).

Dentre os danos causados pela inexistência da vegetação ripária, têm-se aqueles oriundos da urbanização, com suas edificações, pavimentação de ruas, calçadas e a conseqüente remoção da cobertura vegetal original do ambiente, gerando uma mudança na permeabilidade natural da bacia hidrográfica. Devido a esta impermeabilização, há uma redução na infiltração da água precipitada, acarretando em um aumento acentuado no escoamento superficial de águas pluviais. Isso acarreta em maior volume de água para drenagem, acelerando os escoamentos, favorecendo o acúmulo de água em pontos de saturação, provocando inundações nestes locais.

Checchia (2003) afirma que a retirada da vegetação de zonas ripárias aumenta os danos do impacto de eventos de chuva na bacia hidrográfica. Após a precipitação, a água alcança o curso do rio com grande velocidade, pois não existem as regiões de armazenamento proporcionadas pela vegetação ripária. A água precipitada, que geralmente alcançava o curso do rio por escoamento subsuperficial, escoamento subterrâneo e escoamento superficial, passa a se deslocar predominantemente por escoamento superficial. Com o transbordo da calha do rio em áreas desflorestadas e, portanto, desprotegidas, ocorre a erosão laminar e perda de solo fértil, que será depositado no leito do curso d'água, reduzindo sua profundidade e aumentando a probabilidade de enchentes.

Nas AVA deveria ser priorizado o manejo do uso e ocupação do solo para atender a estas áreas. Deve-se incluir nos planos de manejo, além da largura de faixa, as AVA, garantindo a plena funcionalidade do ecossistema ripário, pois são áreas que não necessariamente coincidem com a zona ripária, mas devido à propensão de atingirem o estado de saturação hídrica do solo, o escoamento superficial é dominante. Por esta razão, é imprescindível que estas áreas estejam adequadamente protegidas com cobertura vegetal.

Neste sentido, a delimitação da vegetação ripária em áreas variáveis de afluência, considerando as características hidrológicas, topográficas, uso e ocupação do solo é uma proposta que serve como subsídio ao gerenciamento de microbacias urbanas no tocante à problemática das enchentes e preservação dos recursos hídricos. O conhecimento dos mecanismos de geração de escoamento é complexo, pois varia no espaço-tempo e possui relação com três fatores que determinam o comportamento da água na paisagem: (a) clima, (b) solo e geologia, (c) vegetação, acrescentando-se ainda a topografia com um papel determinante na movimentação da água na paisagem e também na localização das áreas variáveis de afluência a partir do deslocamento da umidade na vertente no sentido de jusante. Desta forma, a combinação destes fatores irá determinar a dinâmica da umidade do solo, evapotranspiração e a geração de escoamento (BECKER, 2005; WAGENER et. al., 2010 citados em SIEFERT, 2012).

3. Modelagem hidrológica espacial de sistemas ambientais

A utilização de modelagem hidrológica para determinação das AVA permite estimar o escoamento superficial dentre outros aspectos hidrológicos, auxiliando o monitoramento dos serviços ecossistêmicos prestados.

Alguns trabalhos utilizam os conceitos de áreas variáveis de afluência (ZAKIA, 1998; ZAKIA et al., 2006) e áreas hidrologicamente sensíveis (SIEFERT e SANTOS, 2010; SIEFERT e SANTOS, 2012; SIEFERT, 2012), entretanto não foram encontradas pesquisas que utilizem conceitos de modelagem hidrológica distribuída na determinação de AVA. Siefert (2012) cita diversos modelos amplamente utilizados no sentido de modelagem matemática da umidade no perfil do solo e da dinâmica do processo de área variável de afluência, como por exemplo: CLASS (Catchment Scale Multiple-landuse Atmosphere Soil Water and Solute Transport Model), SMR (Soil Moisture Routine), SWATWB (Soil and Water Assessment Tool – Water Balance), TOPOG (Topography Model), TOPMODEL (Topography Based Hydrological Model) e versões modificadas do TOPMODEL como AVTOP, STOPMODEL e TOPSIMPL. A maioria dos trabalhos utiliza modelos hidrológicos empíricos e semidistribuídos, avaliando cenários de alteração de uso no solo (BALDISSERA, 2005; MELLO; LIMA e SILVA, 2007; LINO et al., 2009; VIANA e DORTZBACH, 2009, citados em SILVA, 2012), porém sem a espacialização dos processos hidrológicos.

A modelagem hidrológica associada a espacialização dos dados permite que o fenômeno seja avaliado de forma mais completa ao representar suas variações na forma de mapas e isto permite um ganho no entendimento e completude da análise. A ferramenta tecnológica para esta análise é o Sistema de Informações Geográficas (SIG). Os SIG foram criados para armazenamento e manipulação de dados e informações espacialmente distribuídas. Mais do que um sistema de apresentação e processamento de dados, possui módulos para a realização de operações analíticas, cruzamento de informações espaciais e atributos, e a realização de consultas de forma possibilitar a análise e modelagem de informações espacialmente distribuídas (FERRAZ, 1996).

Nos últimos anos vem crescendo a utilização dos SIG na modelagem hidrológica, devido principalmente as suas capacidades de manipular e espacializar grandes quantidades de dados hidrológicos e espaciais e melhorar a precisão dos modelos utilizados. A aplicação de modelos hidrológicos ao nível de bacias hidrográficas com o auxílio dos SIG pode constituir um avanço quantitativo na caracterização dos parâmetros hidrológicos e no apoio à decisão no contexto da gestão eficiente da ocupação do solo e do uso dos recursos hídricos. O que caracteriza um SIG é a integração, numa única base de dados, de informações espaciais provenientes de dados cartográficos, censitários, cadastrais, fotografias aéreas, imagens de satélite, redes de diferentes naturezas e, em especial, os modelos digitais de terreno (MDT).

O Modelo Digital de Terreno (MDT) é uma representação matemática da distribuição espacial das cotas altimétricas do terreno estudado. A sua geração é feita a partir da interpolação de pontos topográficos ou curvas de nível do terreno, utilizando-se para isso rotinas computacionais apropriadas do SIG (FROSINI et al. 1999). A superfície representada no MDT possibilita, além da visualização tridimensional, também extrair uma série de atributos do terreno importantes na análise das bacias hidrográficas, tais como: rede de drenagem, desníveis, inclinações, comprimento de canais, orientação de vertentes, direções de fluxo e os limites das bacias e sub-bacias hidrográficas (DOORNKAMP e KING, 1971; MEIJERINK, 1988).

Para estudos hidrológicos, foi proposto por Hutchinson (1989) o Modelo Digital do Terreno Hidrologicamente Corrigido (MDTHC), um algoritmo que, através de interpolação por diferenças finitas, além das curvas de nível e pontos cotados, utiliza as características da drenagem, as direções dos fluxos, elimina dados falsos de depressões ou elevações do terreno para gerar o MDT. No SIG, os dados altimétricos são interpolados e os valores obtidos salvos em células, de modo que o modelo é representado como uma imagem cujos valores nas células são as altitudes corrigidas e georreferenciadas segundo um sistema de referência e projeção cartográfica (figura 3). Na imagem, as regiões com baixas altitudes aparecem em preto e as regiões mais altas em branco.

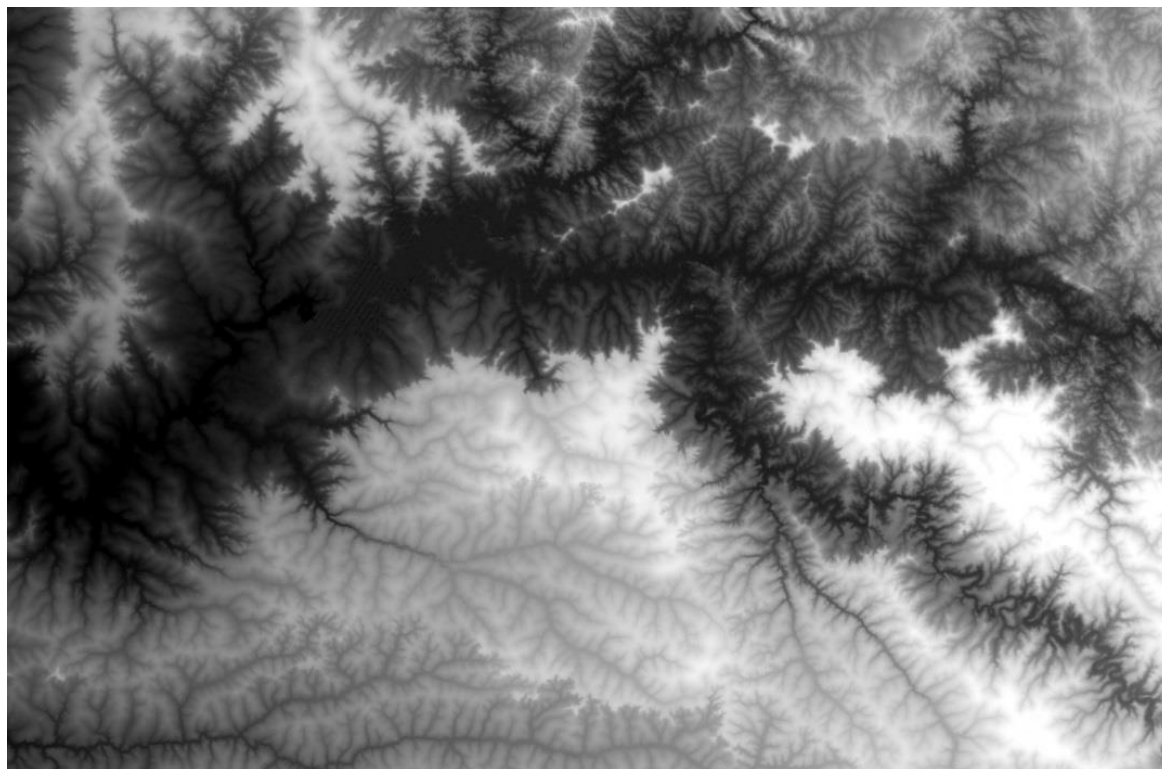


Figura 3 – Extrato do Modelo Digital de Terreno em representação matricial
Fonte: Topodata (INPE, 2015)

Para derivar informações de interesse hidrológico a partir do MDTHC é necessário, primeiramente, a definição de direções de escoamento, das quais pode-se partir para os cálculos de outros parâmetros ou variáveis de interesse hidrológico, como a área de drenagem a montante de cada célula, delimitação de sub-bacias, definição da rede de drenagem, determinação de comprimentos e declividades de trechos de rio, entre outros (BUARQUE et al., 2009).

O delineamento de bacias hidrográficas e sua rede de drenagem é feita a partir de um MDT com a utilização do modelo D8. Assim, dado o MDT de uma área, é possível determinar-se para cada célula a direção de fluxo que a água assumirá, gerando-se uma imagem de direções de fluxo. Os canais são identificados como linhas de células, cuja acumulação de fluxo excede um número específico de células. Computando-se o número de células acima de uma célula qualquer na rede de drenagem, determina-se o fluxo acumulado naquela célula (FROSINI et al. 1999).

A delimitação automática de curso d'água é conhecida como método D8 (Método das Oito Possíveis Direções de Fluxo) apresentado por O'Callaghan e Mark (1984), e determina a área de contribuição de uma célula a qual corresponde ao total de área drenada de todas as células a montante, acrescida da sua contribuição (TEIXEIRA, 2012). No modelo D8 (Figura 4), a obtenção da direção de fluxo em cada pixel pode ser realizada por procedimentos automatizados, o qual atribui o sentido do escoamento de um pixel para um de seus oito vizinhos com base na diferença de cota ponderada pela distância entre eles. Como resultado, a cada pixel é atribuído um número indicativo de uma das oito direções de fluxo possíveis. Esta metodologia mantém a conectividade do fluxo ao longo do canal estabelecendo uma relação unimodal da direção do fluxo ao longo da rede de drenagem. Essa característica é desejável para a rede de drenagem, cujo fluxo migra, necessariamente, para uma das oito direções, não se dissipando (MENKE et al., 2014).

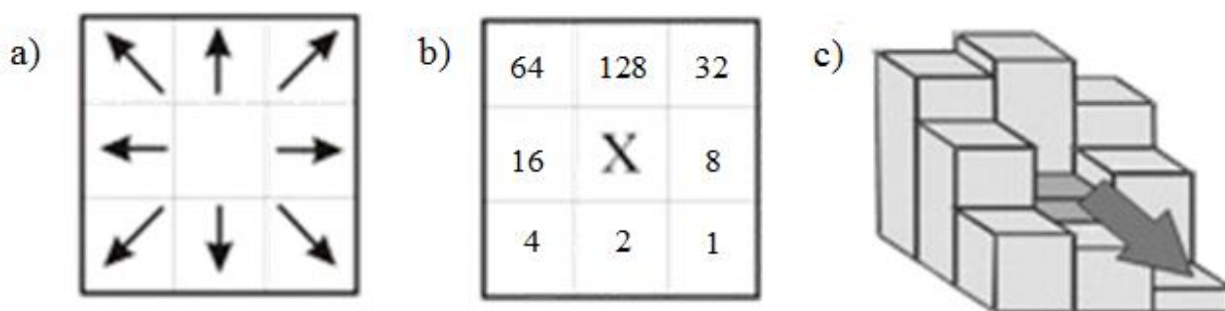


Figura 4 - Modelo D8: (a) Direções possíveis de um pixel; (b) Código de direção atribuído para cada pixel ao redor da célula central; (c) Direção do escoamento para a célula com menor cota

Fonte: Bosquilia et al.(2013), adaptado pelos autores

O método D8 está inserido em SIG, sendo que no programa ArcGIS é representado pelo algoritmo Flow Direction, fazendo parte do conjunto de ferramentas do Hydrology, do Spatial Analyst Tools. No SIG, a partir da direção de fluxo, é possível obter o fluxo acumulado, a definição da rede de drenagem, a segmentação da drenagem e a delimitação das bacias. Primeiramente, é preciso encontrar os sumidouros, que são as depressões ou células com valores muito baixos da tendência do terreno, por meio da ferramenta Sink e, após utilizar a ferramenta Fill para preencher estas células. A ferramenta Fill também trata as discrepâncias de células com valores muito altos do MDT, os denominados picos. Ambos, sumidouros e picos, geralmente são erros do MDT e por isso necessitam ser corrigidos. Essa correção é realizada através do ajustamento de uma curva Spline e a subsequente avaliação dos pontos fora dessa curva. A partir destas correções, pode-se obter o fluxo acumulado com a ferramenta Flow Accumulation, a rede de drenagem, com a ferramenta Raster Calculator e a delimitação da bacia, com a ferramenta Basin.

Com estes modelos e algoritmos específicos é possível identificar no terreno as AVA, conforme afirmam Quinn et al. (1991), que propõem o modelo hidrológico como fator para refletir a tendência da acumulação da água em pontos da bacia hidrográfica, sendo expressos pela área de contribuição específica e mostrando as forças gravitacionais que movem a água morro abaixo. A partir destes modelos, é possível verificar se estas áreas estão situadas nas APP ou localizam-se em outros pontos da bacia hidrográfica não considerados APP, segundo a atual legislação.

Os modelos hidrológicos em SIG, devem ser capazes de:

- Desenvolver o Modelo Digital de Elevação (MDT) hidrológicamente;
- Calcular as direções de fluxo e encostas;
- Calcular a área de contribuição usando métodos simples e múltiplo de direção de fluxo;
- Aplicar diversos métodos para a delimitação das redes de transmissão, incluindo métodos baseados nas formas topográficas sensíveis à densidade de drenagem espacialmente variável;
- Aplicar diversos métodos objetivos para determinação da delimitação da rede de canais com base no fluxo de queda;
- Delimitar as bacias hidrográficas e sub-bacias de drenagem para cada segmento do rio e a associação entre bacias hidrográficas e atributos de segmento para a criação de modelos hidrológicos.

3 Conclusões

As APP, conforme definidas pela legislação brasileira, se resumem a faixas simétricas de vegetação, com tamanho definido pela largura do curso d'água. Apesar de fácil aplicação e fiscalização, estas áreas não cumprem por completo a sua função ambiental, pois constituem apenas uma porção da zona ripária, a qual não pode ser apenas definida pela ordem do canal fluvial na bacia hidrográfica.

Visando a manutenção do ecossistema ripário e que a vegetação pertinente a este local deve estar distribuída nas áreas mais sensíveis da bacia, como nas margens da rede hidrográfica, ao redor de nascentes e áreas saturadas, tanto diminuindo a ocorrência de escoamento superficial, que pode causar

erosão, arraste de nutrientes e de sedimentos para os cursos d'água e enchentes, quanto desempenhando um efeito de filtragem superficial e sub-superficial da água que flui para os canais, tem-se as Áreas Variáveis de Afluência (AVA), alternativa que considera os aspectos físicos e a dinâmica deste local, portanto mais indicada para a proteção de recursos hídricos que as APP.

A aplicação de modelos hidrológicos ao nível de bacias hidrográficas com o auxílio dos SIG pode constituir um avanço quantitativo na caracterização dos parâmetros hidrológicos e no apoio à decisão no contexto da gestão eficiente da ocupação do solo e do uso dos recursos hídricos, oferecendo nova proposta na distribuição e tamanho das APP.

Agradecimentos

À Capes pela bolsa de mestrado entre 2014 e 2015.

Referências

- Araújo Neto, M. (2013). Métodos de medição da água no solo: uma breve discussão. *Revista Geonomos*. Disponível em: <<http://www.igc.ufmg.br/portaldeperiodicos/index.php/geonomos/article/view/226>>. Acesso em: 10 jan. 2015.
- Attanasio, C. M. et al. (2006). Método para a identificação da zona ripária: microbacia hidrográfica do Ribeirão São João (Mineiros do Tietê, SP). *Scientia Forestalis*, n. 71, p. 131-140.
- Attanasio Júnior, M. R.; Attanasio, C. M.; Toniato, M. T. (2011). Aspectos ecológicos da conservação e restauração florestal: bases para o direito ambiental. *Fatecnológica (FATEC-JAHU)*, v. 4, p. 91-106.
- Brasil, **Código Florestal** – Lei no. 12.651/2012, art. 2º. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 1 maio 2014.
- Bosquilia, R. W. D. et al. (2013). Comparação entre modelos de mapeamento automático de drenagens utilizando SIG. *Anais... In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, INPE*.
- Buarque, D. C. et al. (2009). Comparação de métodos para definir direções de escoamento a partir de modelos digitais de elevação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 14, n. 2, p. 91-103.
- Cecchia, T. (2003). Influência da zona ripária sobre os recursos hídricos: aspectos quantitativos e qualitativos. *Anais... In: I Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias – Alfredo Wagner/SC*.
- Chorley, R. J. (1978). The hillslope hydrological cycle. In: Kirkby, M. J. (Ed.). *Hillslope Hydrology*. J. Wiley, p. 1-42.
- Dickinson, W.T.; Whiteley, H. (1970). Watershed areas contributing to runoff. In: *IAHS Publ.*, v. 96, p. 12-26. Disponível em: <http://www.researchgate.net/profile/Hugh_Whiteley/publication/238797114_WATERSHWA_AREAS_CONTRIBUTING_TO_RUNOFF/links/00b7d52ccd2f338f9d000000.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2014.
- Doornkamp, J.C.; King, C.A.M. (1971). **Numerical analysis in geomorphology: An introduction**. London: Edward Arnold Ltd., 372p.
- Ferraz, F.F.B. (1996). **Aplicação de sistema de informações geográficas em estudo de área urbana de Piracicaba sujeita à inundação**. Dissertação (Mestrado). CENA/USP.
- Forman, R. T.T. (1995). **Land Mosaics**. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Frosini, F. et al. (1999). Modelos Hidrológicos Acoplados a Sistemas de Informações Geográficas: um Estudo de Caso. *Revista de Ciência & Tecnologia*, v. 14, p. 45-56.
- Gregory, S. V. et al. (1991). An ecosystem perspective of riparian zones. Focus on links between land and water. *BioScience*, Washington, v. 41, p. 540-551.

- Guimarães, J. L. B. (2000). **Relação entre a ocupação do solo e o comportamento hidrológico da Bacia Hidrográfica do Rio Pequeno, São José dos Pinhais-PR**. 205f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Guimarães, R. Z. (2012). **Avaliação da qualidade de água no processo de recuperação de áreas de plantio de *Pinus taeda* em APP na bacia do Rio Campinas-Joinville-SC**. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Hicon. (2011). Atualização da metodologia para demarcação das faixas marginais de proteção no estado do Rio de Janeiro. Desenvolvimento de Metodologia para Demarcação das Faixas Marginais de Proteção no Estado do Rio de Janeiro. **Nota Técnica INEA 009/2011**.
- Hutchinson, M.F. (1989). A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology** 106, p. 211-232. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/222463571_A_new_procedure_for_gridding_elevation_and_stream_line_data_with_automatic_removal_of_spurious_pits>. Acesso: 06 fev. 2015.
- INPE, **Topodata – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso em: 30 abril 2015.
- Junior, O. B. (2003). Interferência entre a ocupação urbana e a dinâmica no litoral sul do Paraná. **Análise Conjuntural**, v.25, n.11-12, p.13.
- Kobiyama, M.; Mota, A.A.; Corseuil, C.W. (2008). **Recursos hídricos e saneamento**. Curitiba: Organic Trading. 160p. Disponível em: <<http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/attachments/article/7/Rela%C3%A7%C3%A3o%20entre%20desastres%20naturais%20e%20floresta.pdf>>. Acesso 18 jan. 2015.
- Kunkle, S.H. (1974). Agua - Su calidad suele depender del forestal. **Unasylva**. 26(105):10-16.
- Lima, W.P. (2003). Relações hidrológicas em matas ciliares. In: HENRY, R. (Ed.). **Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos**. São Carlos: Rima Editora, p.301-312.
- Lima, W.P.; Zakia, M.J.B. (2000). Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H.F.(Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP/ Fapesp, p.33-44.
- Lima, W.P.; Zakia, M.J.B. (2006). O papel do ecossistema ripário. In: LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. (Org.). **As florestas plantadas e a água: Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos: RiMa, p. 77-87.
- Meijerink, A.M.J. (1988). Data acquisition and data capture through terrain mapping units. **ITC Journal**, 1: 23-44.
- Menke, et al. (2014). Classificação pelo método K-médias das bacias de drenagem do rio Ipanema (AL/PE) considerando os atributos morfométricos. **Geo UERJ**, v. 2, n. 24. Disponível em: < <http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/viewFile/2810/9088>>. Acesso em: 18 fev. 2015.
- Moraes, J. M. et. al. (2003). Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.8, n.1, p.61-70.
- O'Callaghan, J. F.; Mark, D. M. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision and Image Processing**, v. 28, n.3, p.323-344.
- Quinn, P. F. et. al. (1991). The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models, **Hydrological Processes**, Chichester, v. 5, p. 59–79.
- Santos, I. (2009). Monitoramento e modelagem de processos hidrogeomorfológicos: Mecanismos de geração de escoamento e conectividade hidrológica. Florianópolis: UFSC/CFH/GCN. 167f. **Tese** (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina.

- Santos, J. B. (2013). **Geotecnologias na delimitação de áreas prioritárias à recomposição florestal na sub-bacia do Ribeirão Lava-Pés, Botucatu-SP**. 70 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu.
- Siefert, C. A. C. (2012). **Delimitação de áreas hidrologicamente sensíveis por meio de modelagem de processos e da relação solo-vegetação em ambientes hidromórficos** 111 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Siefert, C. A. C.; Dos Santos, I. (2010). Áreas hidrologicamente sensíveis: teoria e aplicação para a bacia do rio Barigui, PR, **Brasil Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, vol. 5, núm. 2, p. 61-76, Universidade de Taubaté, Brasil.
- Siefert, C. A. C.; Dos Santos, I. (2012). Mecanismos de geração de escoamento e áreas hidrologicamente sensíveis: uma abordagem hidrogeomorfológica para delimitação de áreas de preservação permanente. **Ra'e Ga-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 24.
- Silva, M. M. D. (2012). **Dinâmica espaço-temporal das áreas variáveis de afluência da bacia do córrego do Cavalheiro**. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba.
- Teixeira, M. A. C. (2012). **Avaliação da suscetibilidade à ocorrência de deslizamentos translacionais superficiais. Utilização de modelos matemáticos de base física na bacia de Tibo, Arcos de Valdevez**. 108 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território), Universidade do Porto, Portugal.
- The Japan society of Erosion Control Engineering. (2000). “Management of Riparian Zone”. Tokyo, Kokon-Shoin. 329p.
- Walter, M. T. et al. (2003). Simple estimation of prevalence of Hortonian flow in New York City watersheds. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.8, n.4 (1), p.214-218.
- Zakia, M. J. B. (1998). **Identificação e caracterização da zona ripária em uma microbacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas**. 98 p. Tese (Doutorado). São Carlos: USP.
- Zakia, M.J.B.; Righetto, A.M.; Lima, W.P. (2006). Delimitação da zona ripária em uma microbacia. In: Lima, W.P.; Zakia, M.J.B. (Org.) **As florestas plantadas e a água: implementando o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos: RIMA, p. 89-106.