

Análise espacial da suscetibilidade à inundação na Sub-Bacia Muriaé 2, Campos dos Goytacazes (RJ)

A remoção da vegetação e a impermeabilização de grandes áreas, devido ao processo de urbanização, afeta diretamente o ciclo hidrológico natural, e pode contribuir para eventos como enchentes e inundações. Para tal, o Sistema de Informações Geográficas (SIGs) permite a determinação de áreas com risco de inundação. Com base nas questões abordadas, esse estudo teve como objetivos mapear as áreas mais suscetíveis à ocorrência de inundação na Sub-Bacia Muriaé 2, e propor medidas de intervenção. A metodologia empregada consistiu na determinação do coeficiente de compactidade, índice de circularidade e fator forma da sub-bacia. Além disso, foi realizada a delimitação da sub-bacia, determinação do Índice Topográfico de umidade (TWI) e determinação do Uso e ocupação do solo utilizando algoritmos do QGIS. Os resultados apontaram grande susceptibilidade à inundação nas áreas das localidades, que pode ser explicada devido a predominância de áreas de relevo plano utilizadas como planície de inundação do rio Muriaé. O mapa de Uso e ocupação do solo mostrou que a sub-bacia sofreu muitas interferências antrópicas e mostrou a predominância das áreas de cultivo. Medidas como sistemas de alerta e previsão de cheias, programas de controle da erosão ao longo da bacia de drenagem, educação Ambiental voltada para a importância da vegetação na sub-bacia e do controle de erosão e construção de pequenas paredes em torno do rio, poderiam ser tomadas para minimizar os efeitos das inundações nessas localidades. Pode-se concluir que o uso do SIG é de grande utilidade para a realização de pesquisas hidrológicas.

Palavras-chave: Inundações; Índice Topográfico de Umidade; Uso e ocupação do solo.

Spatial analysis of flood susceptibility in the Muriaé 2 Sub-Basin, Campos dos Goytacazes (RJ)

Vegetation removal and waterproofing of large areas due to the urbanization process directly affects the natural hydrological cycle and can contribute to events such as floods and floods. To this end, the Geographic Information System (GIS) allows the determination of areas at risk of flooding. Based on the issues addressed, this study aimed to map the areas most susceptible to flooding in the Muriaé Sub-Basin 2, and to propose intervention measures. The methodology employed consisted of determining the compactness coefficient, circularity index and sub-basin shape factor. In addition, the sub-basin was delimited, the Topographic Moisture Index (TWI) was determined and the Land Use and Occupation were determined using QGIS algorithms. The results indicated a high susceptibility to flooding in the locality areas, which can be explained by the predominance of flat relief areas used as the Muriaé River floodplain. The Map of Land Use and Occupation showed that the sub-basin suffered many anthropic interferences and showed the predominance of cultivated areas. Measures such as flood warning and forecasting systems, erosion control programs along the drainage basin, environmental education focused on the importance of vegetation in the sub-basin and erosion control and the construction of small walls around the river could be taken to minimize the effects of flooding in these locations. It can be concluded that the use of GIS is very useful for conducting hydrological research.

Keywords: Floods; Topographic Humidity Index; Land use and occupation.


Topic: **Engenharia Ambiental**

Received: **06/10/2018**

Approved: **06/11/2018**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Layra de Oliveira Silva 
Instituto Federal Fluminense, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9842216126903243>
<http://orcid.org/0000-0002-2244-7618>
layraolivers.la@gmail.com

Kargean Vianna Barbosa 
Instituto Federal Fluminense, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/5279932752748851>
<http://orcid.org/0000-0002-8184-607X>
kargean@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2018.008.0011

Referencing this:

SILVA, L. O.; BARBOSA, K. V.. Análise espacial da suscetibilidade à inundação na Sub-Bacia Muriaé 2, Campos dos Goytacazes (RJ). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.9, n.8, p.127-138, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.008.0011>

INTRODUÇÃO

A rápida urbanização e crescimento populacional intensificaram os problemas ambientais, sociais e econômicos, pois na maioria das vezes, não há planejamento urbano, permitindo ocupação de locais inapropriados, uso excessivo dos recursos naturais e remoção da vegetação. A ocupação urbana faz com que o sistema natural de drenagem fluvial e pluvial de uma localidade seja alterado, trazendo a necessidade de ações que deveriam ser projetadas levando em consideração a integração geral do sistema de infraestrutura urbana. Um problema que pode ser citado é a impermeabilização do solo, que impede a infiltração da água aumentando os picos de cheia e a erosão pois o escoamento superficial aumenta e acaba contribuindo de forma direta para eventos como enchentes e inundações dos corpos hídricos, que geram grandes prejuízos às populações ribeirinhas (BISPO et al., 2011).

A cidade de Campos dos Goytacazes já sofreu por diversas vezes com os efeitos de enchentes do Rio Paraíba do Sul e alguns de seus bairros sofrem constantemente com problemas relacionados à cheia do rio. A cidade foi construída sobre uma planície de inundação do rio, caracterizada por suaves relevos e baixas planícies e além disso, se localiza na região litoral, banhado pelo oceano atlântico e dotado por lagos, brejos e canais que compõem a sua bacia hidrográfica. Segundo Andreoli (2003), a ocupação desordenada do solo expõe diversos efeitos negativos que podem ser analisados distintamente e podem estar com relacionados com a falta de planejamento ou omissão do poder público ou até mesmo com o mal planejamento.

Segundo Eckhardt (2008), as enchentes podem ser definidas como a elevação do nível de água de um rio, que ultrapassa a sua capacidade normal definidas de escoamento em períodos de precipitações intensas, podendo causar ou não uma inundação. Já inundação, é um termo utilizado quando o excesso do volume de água não consegue ser drenado pelo canal, extravasando para as áreas ribeirinhas (planície de inundação), que incluem as áreas residenciais, industriais, recreativas, comerciais e as vias de circulação. Esses desastres são mais frequentes em áreas urbanas, onde a maioria da população vive de maneira irregular aliado às atividades antrópicas que impactam o meio ambiente. As causas de enchentes e inundações podem ser decorrentes de efeitos naturais, de ações do homem ou a causa pode ser considerada como mista, onde ocorre a soma dos efeitos naturais com as ações do homem (PEITER, 2012).

As áreas de risco podem ser definidas como locais que não são apropriados para construção de casas, pois estão sujeitas a desastres naturais como desabamento e inundações (BARBOSA et al., 2011). O mapeamento das áreas suscetíveis a inundações tem extrema importância no planejamento territorial, pois é uma ferramenta que subsidia a prevenção e controle de desastres naturais decorrentes da expansão urbana, que está diretamente associada ao grau de risco e prejuízos causados por estes eventos (CAMPOS et al., 2015). Para Barbosa (2006), a principal vantagem desse mapeamento está na facilidade na interpretação dos resultados pela população, auxiliando os programas de educação ambiental e dando suporte à política de prevenção e controle de inundações.

As técnicas de geotecnologias são as ferramentas que nos permite modelar os elementos da superfície terrestre e são de grande importância para a tomada de decisões pois mostram os ambientes e as

transformações que ele sofre, destacando os impactos gerados por fenômenos naturais como as inundações e a erosão do solo e fatores antrópicos, como os desmatamentos, as queimadas, a expansão urbana, ou outras alterações do uso e da ocupação da terra (FLORENZANO, 2002).

Outro modelo que pode ser utilizado para análises de eventos como inundação é a determinação do Índice Topográfico de Umidade (Topographic Wetness Index ou TWI), inicialmente apresentado por Beven et al. (1979) descreve a tendência para saturação de uma determinada região, conhecendo a sua área de contribuição e as características da declividade local.

Com base nas questões abordadas, esse estudo terá como objetivos mapear áreas mais suscetíveis à ocorrência de inundação na Sub-Bacia Muriaé 2, situada em Campos dos Goytacazes, através do uso de técnicas do Geoprocessamento e propor medidas de intervenção a fim de contribuir com uma melhor qualidade de vida para as comunidades que lá vivem.

METODOLOGIA

A área de estudo, denominada como Rio Muriaé 2 (figura 1), está situada na região noroeste do município de Campos dos Goytacazes, localizado no litoral Norte Fluminense. A região um clima tropical e maior índice de chuva no verão que no inverno. Os solos predominantes na sub bacia estudada são os areno-argilosos e argilo-arenosos sobre substrato aluvial e marinho, e solos argilosos e argilo-arenosos sobre substrato fluvial (COSTA et al., 2008).

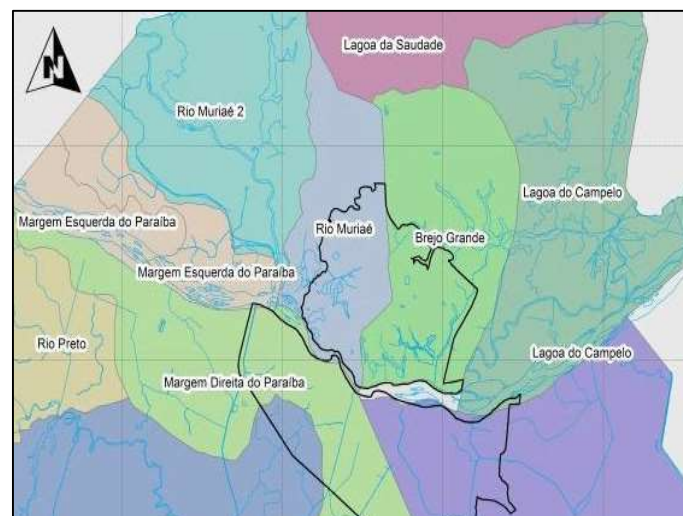


Figura 1: Mapa de Sub-bacias do Município de Campos dos Goytacazes (RJ).

Foi determinado o Coeficiente de compacidade (Kc), o índice de circularidade (Ic) e o fator de forma (Kf) da sub-bacia, que, Segundo Souza (2005), são uns dos parâmetros morfométricos mais utilizados para a determinação de suscetibilidade a enchentes e inundações em bacias hidrográficas (BARROS et al., 2014). A determinação desses parâmetros será feita utilizando as equações propostas. O Coeficiente de compacidade (Kc) que é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia, pode ser calculado a partir da equação: $Kc = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$, onde Kc : Coeficiente de compacidade; P : Perímetro em km; e A : Área da bacia em km^2 . Esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia

independente do seu tamanho. Assim, quanto mais próximo da unidade ($Kc=1$), mais circular será a bacia e será mais sujeita a enchentes (FERREIRA et al., 2010).

O índice de circularidade, assim como o coeficiente de compacidade, relaciona a forma da bacia com a de um círculo. Este também se aproxima da unidade quando a bacia tende para a forma circular (SILVA et al., 2016). Este índice pode ser calculado seguindo a equação $IC = \frac{A}{Ae}$, onde Ic: Índice de circularidade; A: Área da bacia (km²); e Ae: Área de um círculo de mesmo perímetro da bacia. O Fator de forma (Kf) é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Uma bacia com fator de forma baixo indica que a mesma é menos sujeita a enchentes que outra, de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior (FERREIRA et al., 2010). Propõe-se: $Kf = \frac{A}{Lx^2}$, na qual Kf: Fator de forma; A: Área da bacia em km²; e Lx - Comprimento axial da bacia em km.

Para a delimitação da área de estudo, obteve-se, inicialmente, dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de altimetria disponíveis no site Earth Explorer, e em seguida esses dados foram importados para QGIS (QGIS) para posterior tratamento. Os dados disponibilizados possuem uma resolução espacial de 30 metros. O tratamento inicial da imagem foi dado a partir da remoção dos valores negativos e nulidade dos pixels que apresentam erros de aferição, e para isso foi utilizada a equação através da calculadora raster, onde os valores desses pixels foram substituídos por 1: -ifelse ('MDE'<1, 1, 'MDE').

O próximo tratamento foi realizado através da remoção dos 'buracos' ou 'sinks' que são células de elevações baixas rodeadas por células com valores de cotas superiores. Esses 'buracos' são considerados como impedimento para o escoamento; por isso, foram removidos utilizando a função 'fill sinks' do SAGA GIS, que aumentou as suas elevações em relação aos pixels ou células vizinhas (figura 1), de modo que o caminho do fluxo permanecesse contínuo e permitiu uma melhor qualidade do MDE (GUTIÉRREZ, 2012).

A delimitação da bacia referente a área de estudo foi realizada considerando as áreas de divisores de água também chamadas de topo de morro, onde há um escoamento dos pontos mais altos para as partes mais inferiores. Essa delimitação foi realizada utilizando a função r. Watershed implementado no QGIS pelo algoritmo do módulo de análise de terreno do GRASS.

O valor da área de cada bacia hidrográfica corresponde a quantidade de células que são processadas. Para esse trabalho, foi determinado o valor de 1% do total de pixels do MDE como restrição para a geração de um mapa com uma área de captação significativa, e por isso foi definido o valor de 200.000 pixels com uma resolução de 30 metros para a geração da área de estudo. A rede hidrográfica, relativa ao ano de 2017, foi obtida através do banco de dados disponíveis no site da Agência Nacional de Águas (ANA) e para uma melhor visualização dessa rede de drenagem, foi obtida uma ortofoto da área de estudo disponibilizada pelo IBGE.

O próximo passo foi a determinação do Índice Topográfico de Umidade, definido através do logaritmo natural da razão entre a área de captação específica (Specific Catchment Area - SCA) e a tangente do ângulo da declividade, como mostra a equação (LOTTE et al., 2015): $TWI = \ln \frac{\alpha}{tg\beta}$, onde α corresponde à área de captação específica (SCA); e β é a declividade da região em radianos.

Com o MDE corrigido, o próximo passo para a determinação do TWI foi definir a direção de fluxo de água (Flow Direction), que segundo Rennó et al. (2008), define as relações hidrológicas entre pontos diferentes dentro de uma bacia hidrográfica. Este procedimento foi realizado utilizando o GRASS, após a inserção do MDE, que processa os dados utilizando o modelo 'D8 flow direction' que assume que, para a direção de fluxo, cada célula se dirige para uma vizinha adjacente ou diagonal de maneira descendente, e a partir da execução desta função foi gerado um subproduto que é o mapa de direção de fluxo possibilitando a observação da direção do escoamento da água além do relevo. O método D8 foi introduzido em 1994, e tem sido muito utilizado.

A partir do mapa de direção de fluxo, foi obtido o fluxo acumulado, também denominado como área de captação específica, é um parâmetro que indica o grau de confluência do escoamento, e segundo Mendes et al. (2001), representa a rede hidrográfica, sendo possível gerar uma nova grade que contém os valores de acúmulo de água em cada pixel. Esses valores atribuídos aos pixels são correspondentes ao número de pixels que contribuem para que a água chegue até ele. Assim, a partir da direção de fluxo, o fluxo acumulado é obtido através da soma das áreas das células na direção do fluxo ou escoamento. A partir da grade digital gerada, conforme descrito na etapa anterior, o fluxo acumulado foi obtido como um subproduto através do GRASS GIS, após a inserção do MDE (ALVES SOBRINHO et al., 2010).

A partir do DEM corrigido, no qual a declividade é expressa em graus, obteve-se um novo mapa de declividade ou 'Slope' onde valores de declividade foram transformados em valores radianos, através da calculadora raster, em valores medidos em radianos: $\text{slope} = (\text{slope}(\text{dem}) * 1.570796) / 90$. O último passo foi a aplicação da fórmula do TWI através da calculadora raster, utilizando a equação 7, com a restrição para a tangente do slope definida através das equações $\text{TWI} = \ln(\text{sca} / \tan_slp)$; e $\tan_slp = \text{con}(\text{slope} > 0, \tan(\text{slope}), 0.001)$.

O último passo foi determinar o Uso e Ocupação do Solo. Foram obtidas imagens de satélites 'Sentinel-2' que realiza coleta de dados sobre a vegetação, solos e umidade, rios e áreas costeiras, e dados para correção atmosférica (absorção e distorção) em alta resolução (10m), e com alta capacidade de revisita (5 dias).

As imagens obtidas são referentes ao dia 27 de junho de 2018 que é um período seco de atmosfera limpa e livre de nuvens, e possuem o nível 1c, ou seja, são imagens que já sofreram pré-tratamento geométrico e radiométrico, e por isso o único tratamento que foi realizado foi a conversão dos valores digitais para valores de espectrais de reflectância utilizando a calculadora raster, onde os valores digitais da imagem (DC) são divididos por 10000, que é o QUANTIFICATION_VALUE indicado para a imagem utilizada, e esse valor foi obtido de um arquivo no formato .txt denominado mtd_msil 1c. Para esse procedimento, utilizou-se a equação $\text{Reflectance}(\text{float}) = \text{DC} / (\text{QUANTIFICATION_VALUE})$.

Em Sensoriamento Remoto, as bandas espectrais representam faixas do espectro eletromagnético e têm a capacidade de discriminar e/ou realçar diferentes objetos nas imagens. Cada banda encontra-se em tonalidades de cinza e é possível criar uma composição falsa-cor para melhorar a visualização dos objetos. Essa combinação de bandas consiste em uma seleção cuidadosa, observando se a seleção contém as

informações espectrais realmente desejadas. É importante salientar a necessidade de se selecionar a alocação de cores que tenham uma melhor percepção ao olho humano, embora as informações contidas numa imagem sejam sempre as mesmas, não importando a combinação de bandas e alocação de cores (SILVA et al., 2007).

Cada cena de satélite possui características próprias e cada tipo de informação desejada também. Por isso, deve-se procurar selecionar cuidadosamente as bandas a serem combinadas, com base nas características espectrais dos alvos desejados, e tentar diversas combinações de cores, até achar uma que mais satisfaça aos olhos (CRÓSTA, 1992). Foram realizadas 4 composições coloridas como testes para a identificação dos objetos presentes na imagem utilizada: 4-3-2, 8-4-2, 12-8-2 e 12-11-8.

Após a identificação dos objetos através das composições coloridas, foi feita a classificação supervisionada que é uma metodologia bastante utilizada na elaboração de mapas de uso e ocupação do solo na classificação digital de imagens de sensoriamento remoto. Dessa forma, os valores numéricos (DNs) associados a cada pixel, definidos pela reflectância dos materiais que compõem esse pixel, foram identificados em termos de um tipo de cobertura da superfície terrestre imageada e cadastrados em 10 classes distintas: água, cultura, cultura seca, lama, mato, mato úmido, queimada, queimada antiga, solo e área urbana.

Para a determinação do uso e ocupação do solo, foi utilizado o Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) que é um complemento desenvolvido para o QGIS (QGIS) possibilitando a classificação pixel a pixel semiautomática ou supervisionada de imagens, capturadas por diversos sensores/satélites. A partir desse processo, obteve-se um mapa do uso e ocupação do solo da sub-bacia.

RESULTADOS

A presente bacia possui uma área de 122.306km² e um perímetro de 87.795Km como mostra a tabela 1. A variável área é considerada como a mais importante, pois quanto maior a área de recepção de água maior será o efeito de enchentes no interior e a jusante da bacia (SANTOS et al., 2016). O coeficiente de compacidade (kc) calculado para a Sub-Bacia Muriaé 2 foi de 2,22. Segundo Ferreira et al. (2010), um coeficiente de compacidade próximo a unidade corresponde a uma bacia circular e como a tendência à enchente de uma bacia será tanto maior quanto mais próximo da unidade for este coeficiente, constata-se, em relação ao Kc, que a Sub-Bacia Muriaé 2, demonstra ser susceptível a inundações.

Tabela 1: Variáveis para cálculo dos índices morfométricos.

Área da bacia em Km ²	122,306 km ²
Perímetro da bacia Km	87,795 km
Comprimento axial da bacia em km	12,834 km
Área de um círculo com o mesmo perímetro da bacia em km ²	613,691 km ²

O índice de circularidade da sub-bacia também ficou mais próximo da unidade, com o valor de 1,99, correspondendo à uma bacia circular. Devido a sua forma circular de pequena área, pode ocorrer cheias em grande parte dessa área. Bacias alongadas possuem menor concentração do deflúvio ao contrário de bacias circulares (VILLELA et al., 1975). A Sub-Bacia Muriaé 2 apresentou o fator forma com o valor de 0,74, ou seja,

próximo de 1, que é um valor associado a bacias circulares. Através deste valor, pode-se dizer que a bacia tem grandes chances de sofrer inundações e cheias instantâneas (tabela 2). Numa bacia circular, com fator de forma alto, há grande possibilidade de uma chuva intensa cobrir simultaneamente toda a sua extensão e além disso, toda água tende a alcançar a saída da bacia ao mesmo tempo, favorecendo a ocorrência de enchentes e inundações.

Tabela 2: Intervalos de valores para o fator forma.

Kf	Característica da bacia
1,00-0,75	Bacia com alta propensão a grandes enchentes
0,75-0,50	Bacia com tendência mediana a grandes enchentes
<0,50	Bacia não sujeita a grandes enchentes

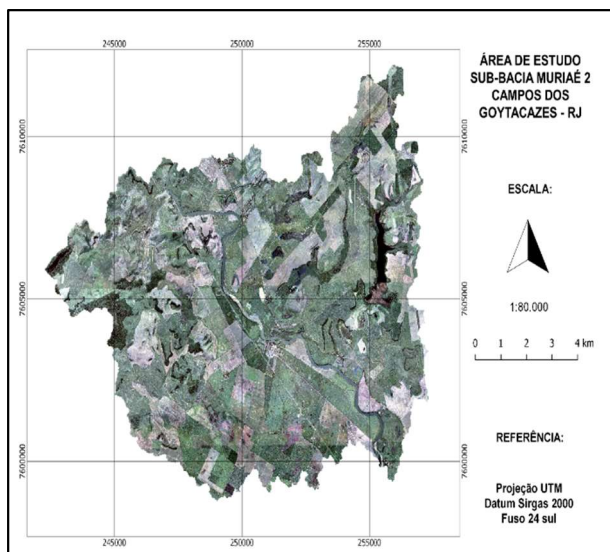


Figura 2: Área de estudo: Sub-Bacia Muriaé 2.



Figura 3: Ortofoto dos canais da sub-bacia. Escala 1:3.000.

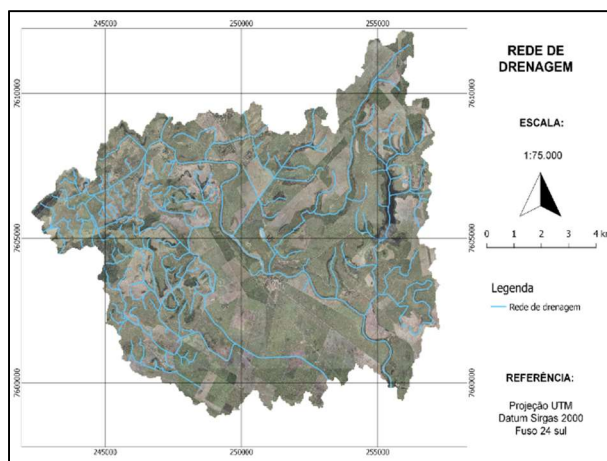


Figura 4: Rede de drenagem: Sub-Bacia Muriaé 2.

Os subprodutos gerados pelo GRASS GIS foram os mapas de direção de fluxo e fluxo acumulado. O mapa de direção de fluxo (figura 5) demonstra o caminho percorrido pela água nas vertentes além da representação do relevo. Já o mapa de fluxo acumulado (figura 6) demonstra os valores máximos de acúmulo de água representado na cor branca. O relevo plano do terreno também prejudicou a correta formação contínua da rede no seu formato final de exportação. Esse fato pode ser relacionado à característica natural do método determinístico do algoritmo utilizado que sofre variações quando é aplicado a um relevo plano,

como por exemplo a infiltração no solo que o fluxo dos rios sofre, fazendo com que a rede de drenagem fique pouco destacada (BRANDÃO et al., 2009).

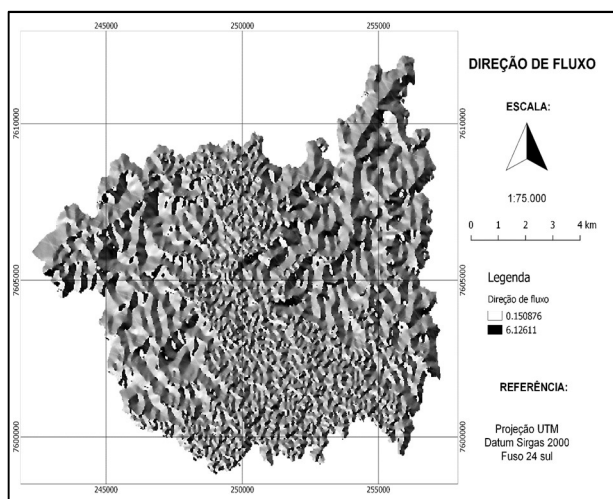


Figura 5: Mapa de direção de fluxo.

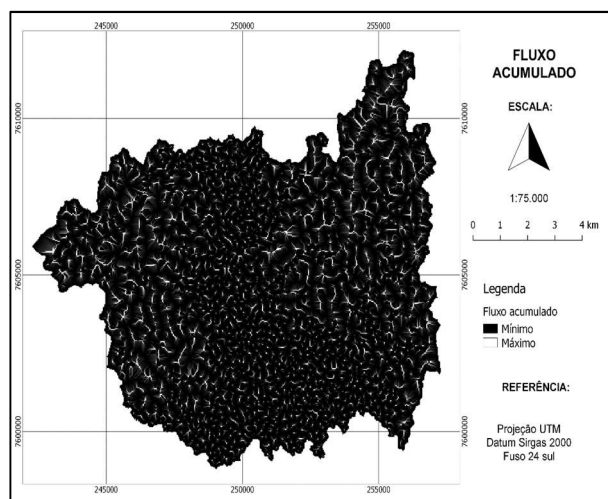


Figura 6: Mapa de Fluxo Acumulado.

A declividade é um parâmetro de grande importância pois está relacionada com a velocidade do escoamento superficial e o tempo de concentração da precipitação na bacia. Com relação à declividade da Sub-Bacia Muriaé 2, pode-se observar, através da figura 7, que grande parte da área corresponde a um relevo plano segundo a EMBRAPA, e com isso, aumenta-se a vulnerabilidade de cheias, pois as áreas planas apresentam maiores probabilidades de ocorrerem inundação do que áreas escarpadas, onde a água tende a escoar. É importante destacar que declividades entre 0 e 5% são as que possuem maior influência em áreas inundáveis, pelo fato de representar as várzeas e os terraços fluviais (OLIVEIRA et al., 2011).

As comunidades que margeiam o Rio Muriaé se encontram nas áreas de relevo plano, que podem ser consideradas áreas com alto risco de sofrer inundações. O domínio de áreas de relevo plano também pode ser visto na figura 8, onde os valores expressos em raios demonstram que a maior parte de área da bacia é dominada por baixos valores de declividade. A altimetria do terreno é um fator natural às áreas inundáveis, ou seja, planícies localizadas na várzea são áreas com maior probabilidade de ocorrência de inundações.

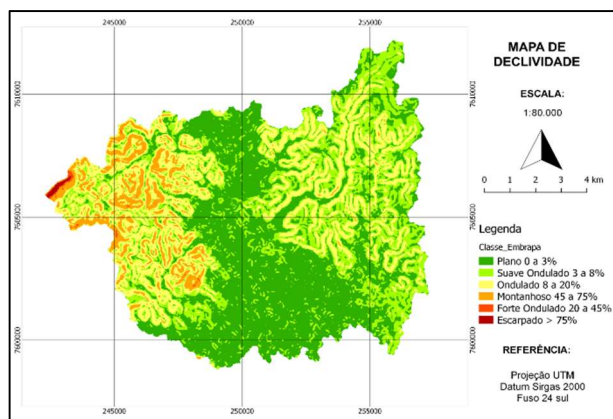


Figura 7: Mapa de declividade segundo as classes da EMBRAPA.

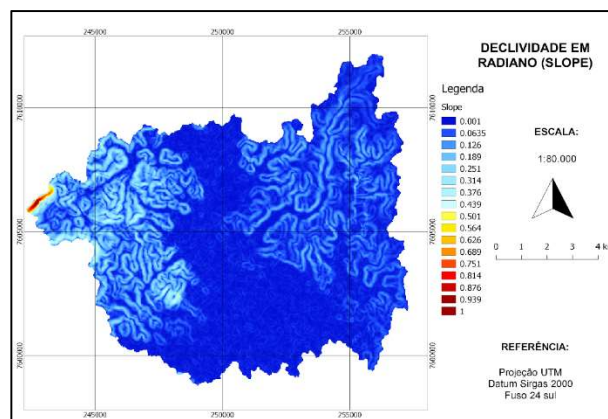


Figura 8: Mapa de declividade em radiano.

O último produto gerado foi o mapa de índice topográfico de umidade (Figura 9) que possibilita a visualização das áreas com alto teor de acúmulo de água. Na literatura não existem valores fixos com relação à esse índice, porém há uma especulação de que os valores mais elevados de umidade estão acima do valor 8. O mapa demonstra que os valores desse índice na sub-bacia Muriaé 2 varia de 8,68 a 15.1 e isso se deve ao fato da sub-bacia possuir predominância de relevos planos e por ser uma área onde o lençol freático é pouco profundo deixando o solo saturado.

A planície de inundação, como era de se esperar, possui os maiores valores do índice mostrando que é uma área susceptível a inundações ou acúmulos de água. Essas áreas são áreas naturalmente alagáveis e são ocupadas pelo rio em período de cheias, portanto, são consideradas como áreas de risco e não devem ser ocupadas por zonas urbanas. As comunidades que vivem na sub-bacia se encontram localizadas na planície de inundação do rio Muriaé, e por consequência, na área com maior potencial de acúmulo de água.

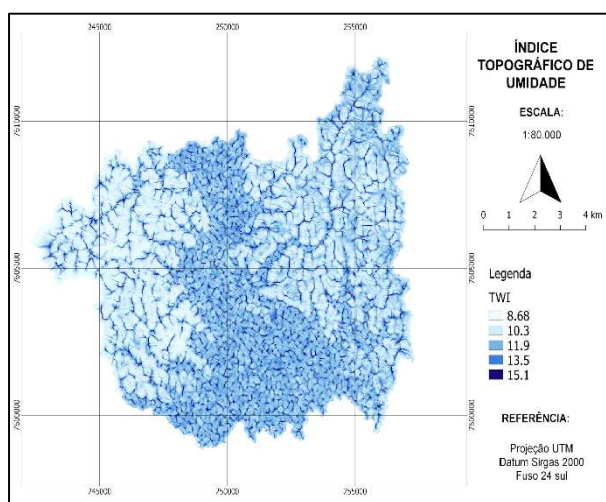


Figura 9: Índice Topográfico de Umidade.

O mapa de uso e ocupação da Sub-Bacia Muriaé 2 (figura 10) mostra as diferentes formas como o solo é utilizado. Pode-se observar que 40% da área é ocupada por cultura, 18% por cultura seca, 8% da área é ocupada por mato ou vegetação remanescente, 12,6% por vestígios de queimada, 17% por solo exposto, 2,7% por água, 1% por lama e apenas 0,7% por área urbanizada. Pode-se observar o quanto houve interferência na vegetação original da sub-bacia. A vegetação possui importante papel no ciclo hidrológico, pois intercepta a água da chuva, facilita o processo de infiltração diminuindo o escoamento superficial que gera assoreamento dos corpos hídricos e contribuem para eventos como enchentes e inundações.

A cobertura florestal, através da interceptação, influencia a redistribuição da água da chuva, em que as copas das árvores formam um sistema de amortecimento, direcionamento e retenção das gotas que chegam ao solo, afetando a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração. Desse modo, o abastecimento das águas é favorecido e a variação de vazão ao longo do ano, reduzida, além do retardamento dos picos de cheia. (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2005). As árvores interceptam mais que outros tipos de vegetação de menor porte, como gramíneas e grande parte das culturas agrícolas, por possuírem maior rugosidade aerodinâmica e índice de área foliar superior (BACELLAR, 2005).

Uma pequena porcentagem indica a presença de queimadas, e segundo Barcelar (2005), as queimadas são capazes de prejudicar a capacidade de infiltração do solo ao destruir sua matéria orgânica. Em alguns casos, as queimadas produzem um horizonte superficial no solo repelente à água (comportamento hidrofóbico), favorecendo o fluxo superficial e a erosão. A presença de lama é resultante da drenagem dos antigos brejos que existiam na região. As áreas urbanizadas ocupam somente uma pequena parte da área total da sub-bacia e estão localizadas nas regiões próximas ao rio, com alto risco de serem atingidas pelas cheias do rio.

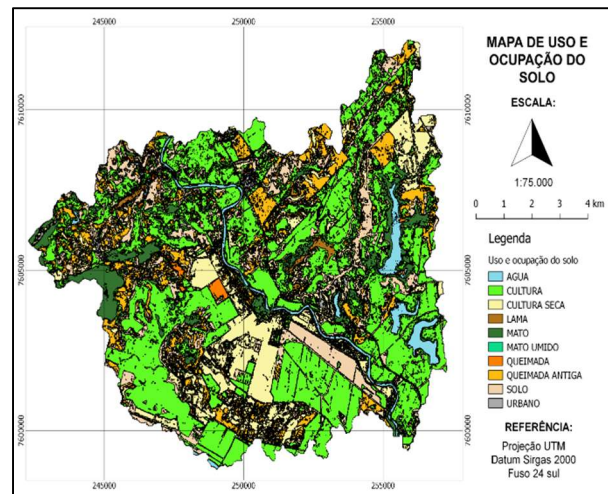


Figura 10: Mapa de Uso e ocupação do Solo: Sub-Bacia Muriaé 2.

Quanto aos corpos hídricos, pode-se destacar a ausência da faixa de matas ciliares na margem do Rio Muriaé. De acordo com Castro et al. (2012), matas ciliares são faixas de vegetação que se localizam as margens de rios e córregos as quais podem ocupar dezenas de metros perto das margens e possuem grande importância para manter o equilíbrio do ambiental e protege o solo do desgaste e possíveis erosões. Essas faixas de vegetação são formadas ao longo do leito dos rios com o intuito de preservar a qualidade das águas dos córregos rios e nascentes como também, ajuda a diminuir os processos erosivos às margens dos rios.

CONCLUSÃO

Os fatores que apresentaram maiores influências na suscetibilidade à inundação da Sub-Bacia Muriaé 2 foram a baixa declividade, morfometria e ausência de vegetação. Além disso, os canais construídos com o intuito de drenar a água diminuindo os efeitos das enchentes estão em grande parte assoreados ou tomados pela vegetação. Assim, mesmo com o baixo índice de urbanização na sub-bacia, pode-se concluir que ela sofreu grandes interferências antrópicas capazes de alterar toda a dinâmica da água.

Recomenda-se a implantação de medidas estruturais como a recuperação da vegetação, com o objetivo de retardar os picos de cheia e, para diminuir o efeito da erosão e assoreamento dos cursos d'água na sub-bacia. As comunidades estão localizadas em áreas com alto risco de sofrerem inundações, porém, intervir nessas comunidades consolidadas é algo bastante complexo. A criação de um projeto urbano nessas localidades envolve questões técnicas, econômicas e sociais, e por outro lado o problema não seria resolvido com o planejamento de um novo bairro a ser implantado na mesma área de risco.

Na maioria das vezes, a população não tem conhecimento sobre os riscos que determinadas áreas ocupadas podem oferecer e preferem não ser removidas desses locais e mesmo se tivessem o conhecimento sobre o risco oferecido, remover uma população de um local para outro também é um processo difícil e envolve diversos fatores, incluindo o fator cultural. Medidas como sistemas de alerta e previsão de cheias, programas de controle da erosão ao longo da bacia de drenagem, Educação Ambiental voltada para a importância da vegetação na sub-bacia e do controle de erosão e construção de pequenas paredes em torno do rio poderiam ser tomadas para minimizar os efeitos das inundações nessas localidades.

Pode-se concluir que o uso do SIG é de grande utilidade para a realização de pesquisas hidrológicas e a aplicação do TWI foi satisfatória pois permitiu evidenciar as áreas mais suscetíveis a ocorrência de inundações. As representações gráficas foram indispensáveis para as discussões e visualização das áreas mais suscetíveis a esses eventos. É possível oferecer uma melhor qualidade de vida para as comunidades da Sub-Bacia Muriaé 2, mas para isso é necessário que haja interesse por parte das autoridades responsáveis e da população para que as propostas sejam colocadas em prática.

REFERÊNCIAS

- ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.. **Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM**. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Pioneiros, 2010.
- ANDREOLI, C. V.. **A crise da água e os mananciais de abastecimento**. In: ANDREOLI, C. V.. Mananciais de abastecimento: planejamento e gestão: Estudo de caso do Altíssimo Iguaçu. Curitiba: FINEP, 2003.
- BACELLAR, L. A. P.. **O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas**. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.
- BARBOSA, F. A. R.. **Medidas de Proteção e Controle de inundações urbanas na Bacia do Rio Mamanguape/PB**. João Pessoa: UFPB, 2006.
- BARBOSA, Z.; OLIVEIRA, W.; ALVES, P.. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de riscos Estudo de caso: Angra dos Reis-RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. **Anais**. Curitiba: INPE, 2011.
- BARROS, D. V.; GARRITO, A. C.; COSTA, C. M.; ARAÚJO, R. P. S.; SILVA, Q. D.. Análise morfométrica aplicada na identificação de enchentes e inundações na bacia hidrográfica do Prata, Ilha do Maranhão. **Geonorte**, Maranhão, v.10, n.4, p.99-104, 2014.
- BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J.. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin**, v.24, p.43-69, 1979.
- BISPO, T.; LEVINO, N.. Impactos ambientais decorrentes do uso e ocupação desordenada do solo: um estudo da região da periferia de Maceió/AL. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais**. Belo Horizonte: ENERGEP, 2011.
- BRANDÃO, T. F.; SANTOS, R. L.. O uso de Imagens SRTM na modelagem de fenômenos hidrológicos (escoamento superficial). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. **Anais**. Natal: INPE, 2009.
- CAMPOS, S. J. A. M.. Cartas de susceptibilidade a inundação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL. **Anais**. Cuiabá: 2015.
- COSTA, A. N.; POLIVANOV, H.; ALVES, M. G.. Mapeamento Geológico-Geotécnico Preliminar, Utilizando Geoprocessamento, no Município de Campos dos Goytacazes, Estado do Rio de Janeiro. In: ANUÁRIO DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS. **Anais**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2008.
- CRÓSTA, A. P.. **A cor no processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Tese (Doutorado em Geoprocessamento) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.
- ECKHARDT, R. R.. **Geração de modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeitas às inundações urbanas na cidade de Lajeado/RS**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10. **Anais**. Rio de Janeiro: 1979.
- FERREIRA, C. W.. In: SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6. **Anais**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010.
- FLORENZANO, T. G.. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

GUTIÉRREZ, N. L.. **Metodología para el cálculo de la humedad del suelo usando parámetros topográficos (MDE), climáticos y edáficos en un sector del piedemonte depositacional del municipio de Villavicencio**. Tese (Doutorado em Geomática) - Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2012.

LOTTE, R. G.; ALMEIDA, C. M.; VALERIANO, M. M.. Aquisição do Índice de Saturação do Solo (TWI) para a avaliação de suscetibilidade a movimentos de massa na região de massa na região de São Sebastião-SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. **Anais**. João Pessoa: INPE, 2015.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A.. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos**: princípios, integração e Aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2001.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; DIAS, H. C. T.. Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, 2005.

OLIVEIRA, G. G.; GUASSELLI, L. A.. Relação entre a Suscetibilidade a Inundações e a Falta de Capacidade nos Condutos da Sub-bacia do Arroio da Areia, em Porto Alegre/RS. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.16, n.1, 2011.

PEITER, C. M.. **Desastres naturais**: enchentes e inundações e o papel do estado e da sociedade na gestão de segurança pública. Dissertação (Mestrado em Ciência Jurídica) - Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2012.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, HODNETT, M. G.; TOMASELA, J.; WATERLOO, M. J. H.. A new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.112, n.9, p.3469-3481, 2008.

SANTOS, M. A.; CARVALHO, S. M.; ANTONELI, V.. Suscetibilidade a enchentes a partir da análise de variáveis morfométricas, na bacia hidrográfica Rio Bonito em Irati-PR-Brasil. **Revista Equador**, Piauí, v.5, n.5, p.152-167, 2016.

SILVA, L. G.; MARTINS, A. K. E.. Identificação da composição colorida de imagem CBERS-2 na dinâmica de ocupação territorial em sub-bacia hidrográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. **Anais**. Florianópolis: INPE, 2007.

SILVA, R. M.; COSTA, A. L. R.; SILVA, G. M. S.; SOUZA, C.; TEIXEIRA, N. C.; SILVA, A. R. C.. Análise das características morfométricas da bacia hidrográfica rio das Pitas. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 6. **Anais**. Cuiabá: EMBRAPA, 2016.

SOUZA, C. R. G.. Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.6, n.1, p.45-61, 2005.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A.. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.