

ANÁLISE DE VULNERABILIDADE VISANDO O PLANEJAMENTO AMBIENTAL EM BACIA DE CAPTAÇÃO PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

DENISE ESTER CECONI¹
DANIEL GUSTAVO ALLASIA PICCILLI²
FELIPE BERNARDI³
PAULA FENSTERSEIFER⁴

1 Introdução

A utilização de indicadores no planejamento ambiental permite a inclusão de novas alternativas no gerenciamento e/ou avaliação de uso e ocupação do solo, destacando-se entre elas a gestão por bacias hidrográficas (SCHUSSEL; NASCIMENTO NETO, 2015). Adotar a bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento implica reconhecer que é sobre esta área que as ações antrópicas e a degradação decorrente refletem seus efeitos (BEVILACQUA, 2012).

A erosão é um dos principais processos envolvidos na degradação dos solos (GUERRA, 2015), sendo que os conflitos de uso da terra intensificam este processo (CECONI, 2010). O solo, além de ser um elemento de base para o desenvolvimento econômico, é estrutura natural elementar aos ciclos naturais e ecológicos, sendo que os processos ambientais estão interligados e a qualidade do solo está diretamente ligada a qualidade dos recursos hídricos, biodiversidade e de saúde humana (RIBEIRO, 2004; CHAVES; SANTOS, 2009).

Os desafios do progresso da sociedade moderna sempre pautaram as condições ambientais, pois são fatores intrínsecos da qualidade de vida, sendo que as atividades antrópicas, de cunho econômico e social, transformam o meio e influenciam o equilíbrio ambiental, gerando degradação dos recursos naturais (CHAVES; SANTOS, 2009). No geral, o uso do solo reflete na situação dos recursos hídricos que influencia nesse paradigma.

As atividades agropastoris, empregadas em larga escala no cenário econômico nacional, e a urbanização em lugares impróprios, devido à falta de planejamento urbano e crescimento populacional acelerado, atuam na deterioração de rios e reservatórios por

1. Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Pós-doutoranda em Engenharia Ambiental (PPGEAmb)/UFSM, e-mail: deniceconi@gmail.com

2. Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), professor associado de Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSM, e-mail: dallasia@gmail.com

3. Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSM, e-mail: felipekbernardi@gmail.com

4. Engenheira Sanitarista e Ambiental pela UFSM, e-mail: paula.fen@hotmail.com

Agradecimentos: ao CNPq, CAPES e FAPERGS pelo auxílio financeiro para as pesquisas.

meio da produção de sedimentos, através do fenômeno da erosão hídrica (CURVELLO; BATISTA; TARGA, 2008). Esse impacto ambiental, além de acarretar perdas de matéria orgânica do solo, causa problemas de saúde, empecilhos ao setor de abastecimento público e prejuízos a comunidades de espécies que exercem funções ambientais (FERREIRA et al., 2009).

Nesse sentido, este trabalho tem como área de estudo a bacia hidrográfica de captação de água do reservatório conhecido como DNOS (Departamento Nacional de Obras de Saneamento, atual DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), pertencente à CORSAN (Companhia Riograndense de Saneamento), localizado em Santa Maria, Rio Grande do Sul. Essa área é de suma importância para o desenvolvimento ambiental e, principalmente, para a assistência pública, sendo que o reservatório é responsável por cerca de 40% do abastecimento da cidade (RODRIGUES; RODRIGUES; FOLETO, 2007). (RODRIGUES; RODRIGUES; FOLETO, 2007). A área de estudo se apresenta sob condições de uso e manejo inadequado de solo, principalmente devido ao crescimento urbano em áreas impróprias e ao desenvolvimento de atividades agropecuárias em desacordo com a aptidão do solo (DILL, 2002; CECONI et al., 2015). Sendo que estes usos intensificam os processos da erosão hídrica.

A importância da área e sua problemática direcionam a atenção para a implantação de ações que visam à conservação de um bem público tão importante como a água. Nesse sentido, o planejamento ambiental é ferramenta efetiva, pois mescla dados de diversas características, com a finalidade de compreender o território com uma visão holística, permitindo entender espacialmente os problemas e organizar ações para minimizá-los (SANTOS, 2004; KONRAD, 2005; SCHUSSEL; NASCIMENTO NETO, 2015).

Como instrumento para o planejamento, os indicadores ambientais são números que representam, empiricamente, um parâmetro para determinado fenômeno (CREPANI et al., 2001). Devido à fácil aplicação e à dinâmica de inserção de fatores, índices são notáveis ferramentas para auxílio à gestão e à informação, podendo ser usados, inclusive, em detrimento a alguns modelos ambientais, que geralmente requerem grande, complexo e oneroso banco de dados (GOMES; MALHEIROS, 2012). Nesse contexto, o índice de vulnerabilidade à erosão, proposto por Crepani et al. (2001), é uma prática metodologia para a gestão territorial, pois é uma ferramenta que possibilita, através de uma base de dados acessível, delinear espacialmente o grau de vulnerabilidade à erosão do solo.

Como diagnóstico ambiental baseado em índices, o método de Crepani et al. (2001), utilizado inicialmente com objetivo de subsidiar o Zoneamento Ecológico e Econômico da Amazônia, é uma ferramenta já aplicada em diversos estudos (RIBEIRO; CAMPOS, 2007; MENEZES et al., 2007; MOTA; VALLADARES, 2011; ARNESEN; MAIA, 2011; DEMARCHI; PISANI; ZIMBACK, 2013). Crepani et al. (2001) desenvolveram uma metodologia para elaborar mapas de vulnerabilidade natural à perda de solo, tendo em vista a interação do solo com a ambiência ecológica. A metodologia foi desenvolvida a partir do conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), que, através de uma análise dos sistemas ecológicos, permite estudar as relações entre os diversos componentes do meio ambiente a fim de analisá-los multilateralmente. Sua aplicação consiste em um rearranjo dos dados sendo vinculados os fatores de cada temática a uma escala de valores empíricos, ou seja, índices.

A metodologia descreve, como componentes temáticos, mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de cobertura vegetal (uso da terra) e curvas de intensidade pluviométrica.

Portanto, este trabalho busca, através da elaboração de um mapa de vulnerabilidade à erosão para a bacia hidrográfica de captação do reservatório DNOS, Santa Maria - RS, apontar os locais mais suscetíveis a ocorrência de erosão hídrica, visando delinear as áreas ambientalmente mais frágeis para esse fenômeno e ações de planejamento ambiental, principalmente no que concerne aos conflitos de uso e ocupação e ao controle da produção de sedimentos na referida bacia.

1.1 Descrição da área de estudo

A bacia hidrográfica de captação de água do reservatório DNOS abrange áreas dos municípios de Santa Maria e Itaara, RS. Possui aproximadamente 30 km² de área, fazendo parte da bacia Vacacaí-Mirim e Vacacaí, componente da região hidrográfica do Guaíba (CECONI et al., 2015).

A área da bacia pode ser dividida em dois compartimentos geomorfológicos (Planalto e Depressão Periférica) acrescido de uma área de transição (Rebordo do Planalto) (KONRAD, 2005). Segundo o mesmo autor, a região do Planalto caracteriza-se pela sua altitude de 300 a 480 m com relevos ondulados e suavemente ondulados resultantes da dissecação fluvial, com a presença de basaltos e arenitos; a Depressão Periférica caracteriza-se em uma região mais ou menos plana e suavemente ondulada, com morros de forma arredondada, sua formação constitui-se por rochas sedimentares; já o rebordo do Planalto é uma área de transição entre o planalto e a depressão periférica e caracteriza-se por escarpas abruptas e rede de drenagem com padrão dendrítico com vales em forma de V. Esta flui em direção à depressão periférica e com sua forte ação provoca erosão regressiva e o consequente festonamento da escarpa. Quanto às unidades geológicas, a bacia divide-se em quatro classes: Serra Geral Superior, Serra Geral Inferior, Formação Botucatu e Formação Caturrita, sendo que a distribuição espacial, visando a aplicação metodológica, foi obtida da carta geológica elaborada por Ferreira et al. (2009).

A bacia hidrográfica caracteriza-se por diferentes usos e tipos de solo. Mais de 50% da área têm ocupação do solo com floresta nativa, seguida de áreas de campo, que englobam campo limpo, campo sujo e capoeira, lavouras anuais e, em menor expressão, silvicultura (eucalipto), além de área urbanizada (SAMUEL-ROSA et al., 2011).

As classes de solos da área de estudo compreendem: Argissolos, Neossolos, Planossolos, Cambissolos e Luvisolos (MIGUEL, 2010; CASAGRANDE, 2004). Em mais de 50% da área, são encontrados solos pouco desenvolvidos, Neossolos e Cambissolos, geralmente em locais de maior declividade, sendo estes bastante suscetíveis a erosão hídrica. Nas áreas localizadas mais ao norte da bacia de captação e nas áreas mais planas, são encontrados solos mais profundos, como Argissolos e Luvisolos, e em locais com características de hifromorfismo, os Planossolos, pouco expressivos na área da bacia (MIGUEL et al., 2011).

Segundo Ceconi et al. (2015), em estudo realizado na mesma bacia, o uso e cobertura do solo é com campo para pecuária (15,85%), lavouras com culturas anuais

(21,49%), urbanização (7,49%), inclusive irregular, junto aos cursos d'água e no entorno do reservatório. Já a classe de uso e ocupação vegetação representa 53,49%, sendo que se enquadram nesta, além das florestas, áreas em estágios de regeneração natural. As áreas da bacia ocupadas por água e solo exposto representam menos de 2%.

Em função da importância ambiental da bacia hidrográfica de captação do reservatório DNOS, esta foi objeto de vários estudos sobre análise de efeitos erosivos, bem como o que diz respeito à quantidade e qualidade de água.

O uso e ocupação da bacia hidrográfica têm influenciado na formação de erosão e assoreamento do reservatório. Conforme demonstrou Dill (2002), o reservatório DNOS apresentou uma redução na capacidade de armazenamento de 29,45%, tendo em vista o que previa o projeto inicial de 1972, representando uma redução da vida útil em 29 anos e o índice é que as áreas que apresentaram conflitos existentes entre a ocupação atual e a ocupação potencial são responsáveis pelo transporte de sedimentos até o fundo do reservatório.

Miguel (2010), utilizando a Equação Universal de Perdas de Solo, calculou o potencial de perdas de solo em parte da bacia de captação do reservatório DNOS a fim de criar uma ferramenta potencial para subsidiar a tomada de decisões em relação ao uso do solo nessa área, constatando que 74% da área tem estimativas de perdas de solos que variam de 1 a 2 t ha⁻¹ ano⁻¹, sendo que 3% da área apresenta perdas altas (acima de 20 t ha⁻¹ ano⁻¹). A produção de sólidos também foi observada por Souza (2012), que na ocasião constatou uma produção de sólidos totais de 376 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

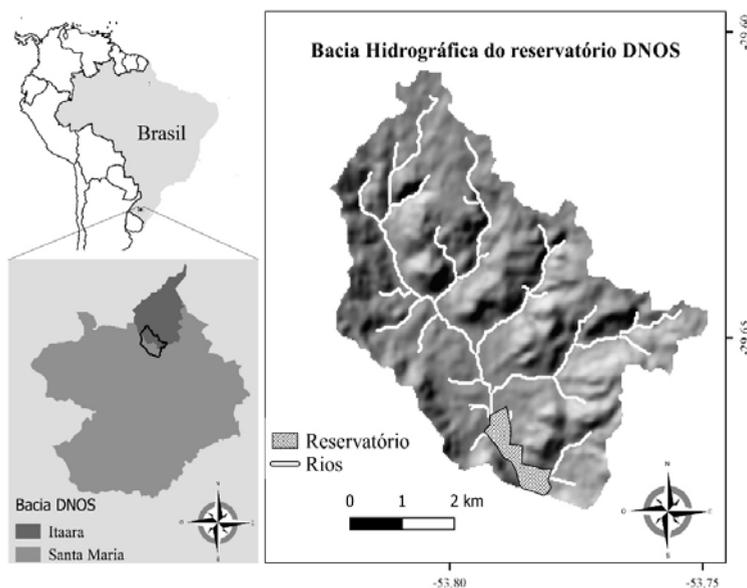
Bellinaso e Paiva (2007) verificaram a produção de sedimentos numa parcela urbana de 0,53 km² de área, localizada na bacia de captação do reservatório DNOS e constataram que, em 10 meses observados no ano de 2001, a subárea, de uso predominantemente urbano, produziu 1,4 t ha⁻¹ de sedimentos.

2 Material e métodos

2.1 Localização da área de estudo

A bacia hidrográfica de captação de água do reservatório DNOS (Figura 1) está localizada no centro do estado do Rio Grande do Sul, abrangendo áreas dos municípios de Santa Maria e Itaara, entre as coordenadas 29,61° e 29,71° de latitude sul e 53,71° e 53,83° de longitude oeste de Greenwich.

FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA DE CAPTAÇÃO DO RESERVATÓRIO DNOS, ABRANGENDO ÁREAS DOS MUNICÍPIOS DE ITAARA E SANTA MARIA, RS.



Fonte: elaborado pelos autores.

2.2 Elaboração do mapa de vulnerabilidade à erosão hídrica

O mapeamento através de índices, de acordo com a metodologia proposta por Crepani et al. (2001), tem base na distribuição de valores empíricos para 21 classes de vulnerabilidade à perda de solo, distribuídas de acordo com a escala de suscetibilidade à erosão. A análise baseia-se em processamento, classificação e integração das características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, vegetativas e climáticas. Cada característica representa um fator de vulnerabilidade. Por meio de álgebra de mapas, equacionado pela média aritmética de todos os fatores, tem-se o valor de índice para a suscetibilidade à erosão.

A base de dados para o desenvolvimento do estudo compreendeu:

- Modelo numérico de elevação (MNE) do projeto topodata, INPE (2011);
- Mapa Geológico da bacia de captação DNOS (FERREIRA et al., 2009);
- Mapas de solos (MIGUEL, 2010; CASAGRANDE, 2004);
- Imagem de satélite Landsat8, datada em 15 de junho de 2015, do sítio USGS (Serviço Geológico dos Estados Unidos);
- Dados pluviométricos da estação 2953017 da ANA, localizada em Santa Maria - RS;

O procedimento metodológico de obtenção dos índices para a suscetibilidade à erosão de cada fator foi elaborado no Sistema de Informação Geográfico (SIG) Arcgis/Arcmap 10.1.

2.2.1 Fator Geomorfológico

Para a avaliação do índice de vulnerabilidade à erosão para o fator Geomorfologia, foi necessária a análise individual dos três parâmetros constituintes: amplitude altimétrica, grau de dissecação do relevo pela drenagem e declividade. De acordo com Crepani et al. (2001), a dissecação do relevo pela drenagem pode ser determinada através da largura dos interflúvios ou pela densidade de drenagem. Assim, para a execução em SIG do fator Geomorfologia foi usado processamento do MNE.

A declividade foi obtida por processamento, em porcentagem, utilizando o MNE em algoritmo do SIG. A relação de índices foi atribuída tendo em vista o limite superior de 45° de inclinação, pois nessa situação há morfogênese, ocorrendo exposição de material rochoso, sendo atribuído o valor 3,0. Os índices foram definidos, então, através da reclassificação de pixels do arquivo da declividade, agrupando-os de acordo com os índices tabelados propostos por Crepani et al. (2001). O agrupamento forma as unidades de paisagem que foram transformadas para o formato vetor e os valores de índices implementados em sua tabela de atributos.

Para a distribuição dos valores de amplitude altimétrica e densidade de drenagem, foi necessário setorizar a bacia em sub-bacias. Esse processo delimita parcelas (sub-bacias) em função da representação vetorial dos recursos hídricos através de uma rotina computacional que utiliza uma representação matemática de direção e acumulação de fluxo, que, juntamente com as informações do relevo, permitiu delimitar as parcelas. Essa etapa de setorização não é uma determinação metodológica e sim, um procedimento que visa uma melhor distribuição das características da bacia hidrográfica.

O comprimento dos canais de drenagem foi determinado pela área de contribuição específica, estipulada através da relação das vazões Q_{90}/Q_{50} . Esse valor possui uma significativa correlação com a representação da real dimensão do canal de drenagem (FAN et al., 2013). Para estimar a área de contribuição específica, foi usada como base a estação fluviométrica da ANA, código 85438000, localizada na bacia hidrográfica do Vacacaí-Mirim no município de Restinga Seca - RS, pertencente ao mesmo corpo hídrico, à jusante da área de estudo. Essa relação informa, como critério inicial, a área de drenagem mínima, gerando o número mínimo de pixels que formam o canal de drenagem. Os dados permitiram o cálculo de Q_{90} e Q_{50} através da construção da curva de permanência, pela metodologia empírica para 25 intervalos de classes de vazões, obtendo valores de 4,5 m³ s⁻¹ e 22 m³ s⁻¹, respectivamente, sendo a razão Q_{90}/Q_{50} igual a 0,20. Sendo assim, conforme Fan et al. (2013), a área de drenagem mínima é estimada em 0,3 km².

Para representar a amplitude altimétrica, em cada sub-bacia foram verificados os pixels de maior e menor valor, sendo a diferença entre ambos a referida amplitude. Os valores são classificados quantitativamente tendo em vista a energia potencial disponível em cada região, pois as águas das precipitações pluviais que caem sobre os pontos mais

altos do terreno adquirirão maior energia cinética no seu percurso em direção às partes mais baixas e, conseqüentemente, apresentarão maior capacidade de erodir.

Para obter a densidade de drenagem, foi necessária uma intersecção da camada vetorial de sub-bacias com a linha que representa os recursos hídricos. Isso permite estipular a relação entre a área de drenagem e o comprimento do canal de drenagem através do cálculo em SIG na tabela de atributos. Assim, os valores calculados são selecionados de acordo com sua grandeza e relacionados com o valor de índice adaptado com base na classificação qualitativa de Florenzano (2008), que considera a densidade de drenagem como muito baixa (menor que 0,5 km), baixa (entre 0,5 e 3,0 km), média (entre 3,0 e 6,0 km) alta (entre 6,0 a 10 km) e muito alta (maior que 10 km). Os índices para o subfator densidade de drenagem, por não serem especificados pela metodologia, seguem uma relação qualitativa conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Índices de suscetibilidade à erosão para o fator densidade de drenagem.

Densidade de drenagem (km)	Índice	Densidade de drenagem (km)	Índice	Densidade de drenagem (km)	Índice
<0,125	1,0	2,375- 3,0	1,7	7,0 – 8,0	2,4
0,125- 0,25	1,1	3,0 - 3,6	1,8	8,0 – 9,0	2,5
0,25- 0,375	1,2	3,6- 4,2	1,9	9,0 – 10,0	2,6
0,375- 0,5	1,3	4,2- 4,8	2,0	10,0 – 12,5	2,7
0,5- 1,125	1,4	4,8- 5,4	2,1	12,5 - 15,0	2,8
1,125- 1,75	1,5	5,4- 6,00	2,2	15,0 – 17,5	2,9
1,75 - 2,375	1,6	6,0 – 7,0	2,3	> 17,5	3,0

Fonte: adaptado de Florenzano (2008).

Por fim, o índice de suscetibilidade à erosão para o fator geomorfológico é aferido em SIG por meio de álgebra de mapas seguindo a Equação 1:

$$R = (Gd + A + D)/3 \quad (1)$$

Onde: R é o valor do índice geomorfológico, Gd é o índice de suscetibilidade para o grau de dissecação pela drenagem, A para amplitude altimétrica e D para declividade.

Para inferir sobre o grau de estabilidade ou vulnerabilidade, quanto a este fator, Crepani et al. (2001) agruparam os índices seguindo uma classificação: estável (intervalo de índice de 1,0 a 1,3); moderadamente estável (de 1,4 a 1,7); medianamente vulnerável (de 1,8 a 2,2); moderadamente vulnerável (de 2,3 a 2,6) e; vulnerável (de 2,7 a 3,0)

2.2.2 Fator Geológico

Para o fator geologia, as características analisadas pela metodologia para a atribuição dos valores empíricos são a resistência das rochas à denudação e o grau de coesão das partículas constituintes das mesmas. O nível de ligação molecular (coesão) de cada tipo de rocha define as características do processo erosivo e, seguindo Crepani et al. (2001), em rochas pouco coesas prevalecem os processos erosivos (morfogênese), sendo atribuído valores próximo a 3,0, enquanto que em rochas bastante coesas prevalecem os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese), sendo atribuído valores próximo a 1,0). O fator geologia foi definido, então, por meio da carta geológica de Ferreira et al. (2009), que foi georreferenciada e digitalizada (em formato vetorial). Os índices para esse fator foram atribuídos de acordo com os valores propostos por Crepani et al. (2001) ao mapa vetorizado das unidades geológicas seguindo suas características litológicas.

Segundo Veiga (1973) apud Gomes et al. (2012), a formação Botucatu apresenta como litologia dominante arenitos médios a finos (valor de índice 2,4). Faccini, Giardin e Machado (2003), descrevem que a formação Caturrita é formada basicamente por arenitos finos (índice 2,4). A Formação Serra Geral Superior é composta por vitrófilos e riolitos-riodacitos granofíricos (índice 1,1) e a Formação Serra Geral Inferior por basaltos-andesitos toleíticos (índice 1,5) (MACIEL FILHO, 1990).

2.2.3 Fator Solo

O mapa de solos foi elaborado a partir da digitalização do mapa pedológico de Miguel (2010), em escala de 1:30000, que representa os solos da parte superior da área da bacia de captação do reservatório DNOS (aproximadamente 60% da área), complementado com as informações pedológicas do mapeamento de Casagrande (2004), em escala 1:100000, elaborado para a bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim, cuja DNOS é sub-bacia.

A metodologia propõe classes de vulnerabilidade à erosão para o fator pedologia em função da maturidade do solo, sendo considerado o grau de desenvolvimento deste. É atribuído o valor 1,0 para solos desenvolvidos e profundos, ou seja, menos suscetíveis à erosão, o valor 2,0 para solos de vulnerabilidade intermediária e índices próximos a 3,0 para solos mais vulneráveis, ou seja, solos jovens e pouco desenvolvidos. As classes de solos da área de estudo, compreendem Argissolos (valor de índice 2,0), Neossolos (3,0), Planossolos (2,0), Cambissolos (2,5) e Luvisolos (2,0).

2.2.4 Fator Vegetação

A densidade de cobertura vegetal da unidade de paisagem natural é um fator de proteção contra os processos morfogenéticos que se traduzem na forma de erosão. A densidade de cobertura vegetal define o fator Vegetação, sendo usada a interpretação de imagens de satélite para definir a ocupação da terra a fim de atribuir o grau de vulnerabilidade, sendo que, para altas, intermediárias e baixas densidades atribui-se valores próximos a 1,0, 2,0 e 3,0, respectivamente.

Visando atribuir os valores de índice para o fator vegetação, foi utilizada imagem do satélite Landsat8, datada de 15 de junho de 2015, posicionada sob órbita 223 e ponto 80, do sítio da USGS. A classificação foi elaborada tendo em vista as classes: solo exposto (valor de índice 3,0), urbanização (2,0), floresta (1,0), água (1,0), agricultura (2,5) e pastagem (2,0) e utilizando algoritmo classificador por máxima verossimilhança. Os valores de índices atribuídos para a classe de vegetação seguem a qualificação da proposta quanto à densidade de cobertura vegetal. Sendo que, para a urbanização, é considerado um nível moderado devido também a impermeabilização do terreno.

2.2.5 Fator Clima

Para o fator clima as unidades de paisagem natural que apresentam menores índices pluviométricos mensais e maior duração para o período chuvoso recebem valores próximos a 1,0, os intermediários ao redor de 2,0, e os de maior pluviosidade anual com menor duração de período chuvoso, valores próximos a 3,0.

Com base nos dados de estações pluviométricas da Agência Nacional das Águas (ANA), localizadas nos arredores da bacia de estudo, com mais de 15 anos de dados contínuos, e uma distribuição dos valores pelo inverso da distância ao quadrado (BARBOSA, 2006) obteve-se o mapeamento da distribuição de chuva na região.

Para Santa Maria, a maior média mensal é de 184,06 mm para o mês de julho, sendo o valor do respectivo índice de 1,6 na escala de suscetibilidade. Esse valor é utilizado para toda a bacia considerando o grau de homogeneidade pluviométrica local.

3 Resultados e discussão

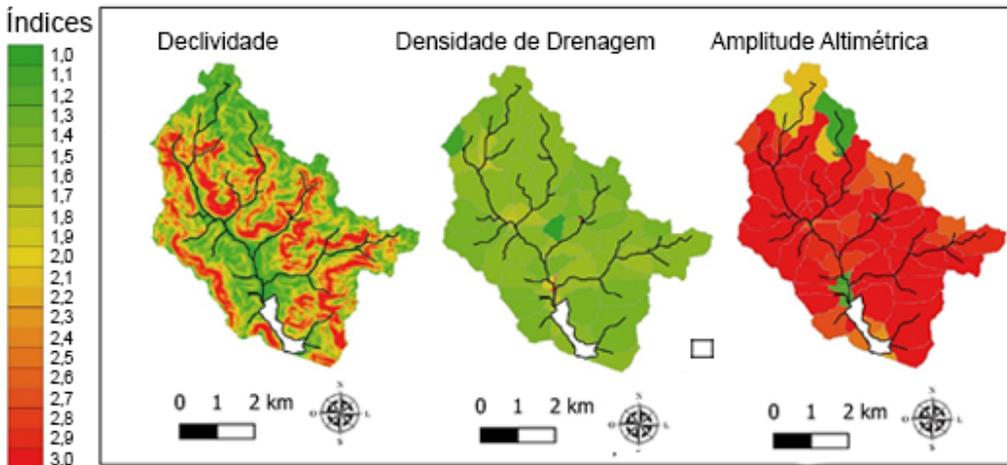
A área de estudo possui precipitação média anual em torno de 1750 mm. As médias mensais, tendo como referência o posto pluviométrico de Santa Maria, código 2953017, com 15 anos não contínuos de dados a partir de 1975, variam de 123,14 mm para o mês de março e 184,06 mm para o mês de julho.

Como a razão Q_{90}/Q_{50} foi igual a 0,20, adotou-se área de drenagem mínima de 0,3 km², conforme estimado por Fan et al. (2013). Com esse critério, as áreas de contribuições delineadas totalizaram 56 divisões para a extensão da bacia hidrográfica de Captação DNOS, variando de 1 a 151 ha. A baixa quantidade de dados utilizados influencia a qualidade do valor de permanência e, conseqüentemente, a relação Q_{90}/Q_{50} . Porém, devido à baixa sensibilidade desse fator para o delineamento das áreas de contribuição e extensão da rede de drenagem, o valor é considerado adequado.

Os índices atribuídos ao subfator declividade, densidade de drenagem e amplitude altimétrica estão dispostos na Figura 2. Percebe-se que há, na bacia em estudo, áreas com declividade bastante acentuada, o que as tornam mais suscetíveis à erosão hídrica. De acordo com Bertoni e Lombardi Neto (2012), a erosão é provocada por forças ativas como as características da chuva, a declividade e comprimento do declive do terreno e a capacidade do solo de absorver água; e por forças passivas, como a resistência do solo à ação erosiva da água e a densidade da cobertura vegetal.

Fatores estes levados em consideração na metodologia de estimativa dos índices de suscetibilidade à erosão.

FIGURA 2 - ÍNDICES PARA OS FATORES DECLIVIDADE; DENSIDADE DE DRENAGEM E AMPLITUDE ALTIMÉTRICA PARA A BACIA DE CAPTAÇÃO DO RESERVATÓRIO DNOS.



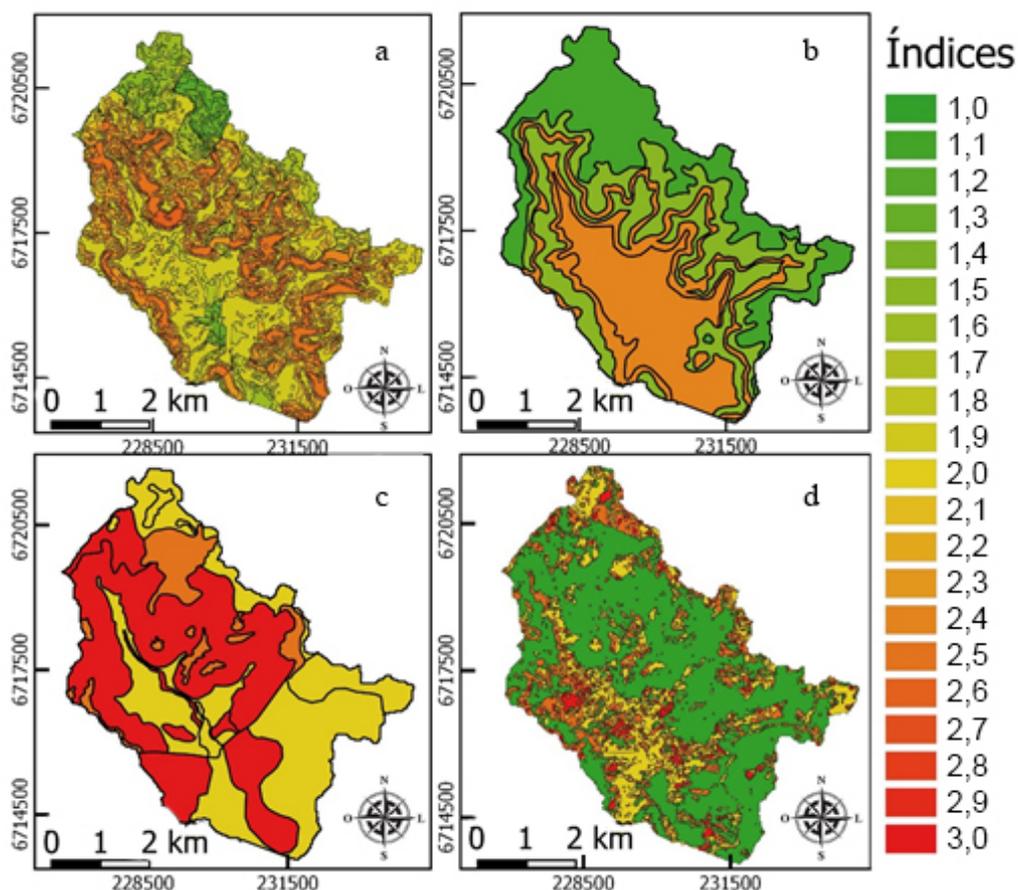
Fonte: elaborado pelos autores.

Observa-se nos mapas áreas de vulnerabilidade à erosão igual a 1,0 nas áreas planas situadas junto aos cursos de águas, no topo da bacia e próximo ao reservatório DNOS, assim como áreas de relevo forte ondulado a escarpado nas médias e baixas vertentes, onde a velocidade do escoamento superficial é maior e o índice de vulnerabilidade à erosão para o fator é próximo a 3,0. Pela descrição das áreas e considerando o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012), percebe-se que se tratam de áreas de preservação permanente (APPs). Esta lei inclui as faixas marginais dos corpos d'água cobertas ou não por vegetação nativa como APPs, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico da fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações (BRASIL, 2012).

As APPs têm papel importante em bacias hidrográficas. No caso da bacia de captação do reservatório DNOS, observa-se inúmeros conflitos nestas áreas, estando as APPs preservadas apenas em condições de relevo mais acidentado, o que dificulta a ocupação. Há inúmeras propriedades existentes, como sítios e que usam o solo com agricultura e pecuária (SAMUEL-ROSA et al., 2011) e construções próximas apenas a alguns metros da margem do rio (MIGUEL, 2014). Segundo Miguel et al. (2011), os conflitos de uso do solo se concentram mais próximos ao reservatório, onde o uso antrópico é mais denso, com problemas de ocupação.

O resultado da álgebra de mapas com a média entre os subfatores que representam o índice de suscetibilidade à erosão para o fator geomorfologia está apresentado na Figura 3, que também apresenta os resultados para os demais fatores considerados.

FIGURA 3 - ÍNDICE DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO PARA OS FATORES GEOMORFOLOGIA (a), GEOLOGIA (b), PEDOLOGIA (c) E VEGETAÇÃO (d) NA BACIA DE CAPTAÇÃO DO RESERVATÓRIO DNOS.



Fonte: elaborado pelos autores.

Observando a Figura 3a, percebe-se que a maior parte da área da bacia de captação DNOS, apresenta índices em torno de 2,0 para vulnerabilidade natural do solo à erosão do fator geomorfologia. Do total da área, 3,28% são classificados como estável, 13,01% moderadamente estável, 62,11% medianamente vulnerável, 21,46% moderadamente vulnerável e 0,14% vulnerável.

Mais de 80% da área da bacia possui índices superiores a 1,8 quanto à suscetibilidade à erosão, o que de certa forma é indesejável, pois, considerando as informações morfo-métricas utilizadas e que estão relacionadas à forma de relevo da unidade de paisagem, pode-se inferir que a energia potencial disponível para o escoamento superficial é alta na bacia de captação DNOS, ou seja, prevalecem os processos morfogenéticos (CREPANI et al., 2001).

Os índices geomorfológicos de uma unidade geográfica devem ser levados em consideração pelos gestores públicos, tanto no que concerne a possíveis áreas de risco para ocupação urbana, como para o uso de práticas conservacionistas no manejo do fator uso e ocupação da terra, visando reduzir os impactos ambientais negativos decorrentes da erosão hídrica, com perda de solo em áreas de agricultura e pecuária, assoreamento de cursos d'água e reservatórios, entre outros.

Isto de alguma forma viria a mitigar os efeitos negativos da erosão hídrica na bacia de captação DNOS, como os observados por Dill (2002), que verificou uma redução de quase 30% na capacidade de armazenamento do reservatório DNOS em função do assoreamento do mesmo. A produção de sedimentos na área de estudo também foi verificada por Bellinaso e Paiva (2007) em sub-bacia de uso predominantemente urbano, e por Souza (2012), tendo estes observado $1,4 \text{ t ha}^{-1}$ (em 10 meses) e $376 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente

A Figura 3b, resultado da atribuição dos valores de índices à carta geológica da bacia, representa os índices de suscetibilidade à erosão para a geologia na área de estudo. Considerando a relação entre os valores atribuídos e a resistência das rochas à denudação e o grau de coesão das partículas constituintes das mesmas, pode-se inferir que a Formação Serra Geral Superior é menos vulnerável à erosão hídrica (índice 1,1), seguido pela Formação Serra Geral Inferior (índice 1,5), ficando as Formações Botucatu e Caturrita com valor de índice igual a 2,4, ou seja, mais suscetíveis à erosão hídrica.

A Figura 3c apresenta os índices de suscetibilidade atribuídos ao fator pedologia. Observa-se que há descontinuidade nas informações disponíveis sobre os solos da bacia, relacionadas às diferentes escalas dos mapas usados. Apesar da variação no nível de detalhamento das informações disponíveis, ambas as escalas permitiram mapear a vulnerabilidade da bacia para o fator solo. Percebe-se que os maiores índices ocorreram nas áreas de relevo mais acentuado, justamente onde ocorrem os solos mais suscetíveis a erosão hídrica, como os Neossolos, confirmando o observado nos estudos de Miguel et al. (2011; 2014).

Em função das classes de solo que ocorrem na área da bacia, todos os índices foram superiores a 2,0, ressaltando a necessidade de um planejamento de uso do solo que respeite sua capacidade de uso, pois as maiores contribuições na produção de sedimentos são provenientes da erosão superficial do solo (MIGUEL et al., 2014). Neste sentido, os autores concluíram que sistemas de manejo adequados, manutenção da cobertura do solo e sistemas onde há o menor revolvimento possível do solo têm resultado significativo na diminuição das taxas de produção de sedimentos na área. Segundo os mesmos autores, as estradas apresentam-se como fontes potenciais de erosão, portanto, a correta alocação e manutenção adequada refletem importante impacto na redução da produção de sedimentos.

A Figura 3d representa a distribuição dos valores de índices para o fator vegetação na área de estudo. Percebe-se que os maiores índices são atribuídos às classes de uso mais intensas, como urbanização, cultivos e solo exposto. Já os menores índices são atribuídos às classes de uso floresta e água.

Ceconi et al. (2015), avaliando o histórico de uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do presente estudo, visando diagnosticar as possíveis causas de degradação

e propor medidas de restauração ambiental, verificaram conflitos de uso, principalmente ao longo dos cursos d'água e no entorno do reservatório DNOS, inclusive com ocupações urbanas irregulares, áreas estas que deveriam estar cobertas somente pela classe "floresta", pois são áreas de preservação permanente. Além disso, os usos com as classes "cultivos" e "campo", que representam a agricultura e pecuária na bacia, são mal manejados e na maior parte das áreas não fazem uso de práticas conservacionistas de solo, o que aumenta a erosão e, conseqüentemente, a sedimentação e eutrofização dos cursos d'água. Sendo que esta situação não é recente, mas vem de décadas.

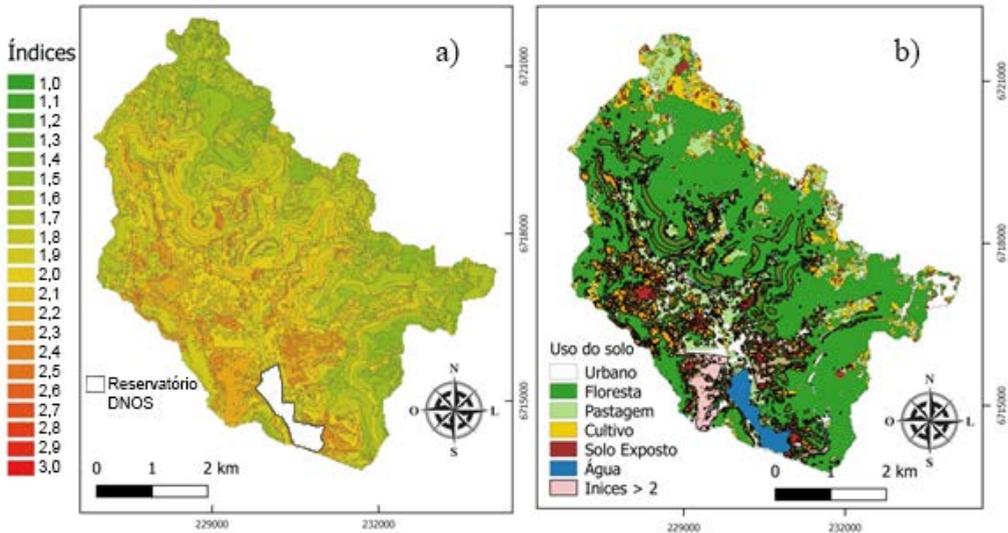
O uso de água para agricultura na bacia hidrográfica do Vacacaí-Mirim, principalmente para o cultivo de arroz, tem afetado a quantidade de água a ponto de influenciar sua vazão ecológica (PAIVA; PAIVA; PAIVA, 2006). Os autores demonstraram, através de modelo simplificado, distribuído em sub-bacias, que as demandas para a irrigação das lavouras de arroz estão muito superiores às vazões disponíveis em períodos de estiagem. Entre as sub-bacias estudadas estão as que abastecem o reservatório DNOS, que ficam na parte montante da bacia do Vacacaí-Mirim, onde, em função de condições de relevo mais acidentado, o uso com agricultura não é tão intenso, prevalecendo pequenos sítios (CECONI et al., 2015), o que de certa forma reduz o impacto sobre o reservatório e permite a captação de água para abastecimento público. Em períodos de estiagem prolongados o abastecimento a partir do reservatório DNOS diminui e é complementado por outro reservatório maior, que regularmente já abastece em torno de 60% da cidade de Santa Maria.

A ocupação irregular das bacias de captação, segundo Curvello et al. (2008), bem como a implantação de atividades agrícolas, com técnicas e métodos impróprios, afetam a qualidade dos mananciais pelo uso competitivo da água e nutrientes, além de fomentar o desmatamento em áreas de encostas, nascentes e margens. Esses usos e ocupação também aumentam o risco de escorregamento, pois a supressão da mata nativa faz com que a velocidade do escoamento das águas das chuvas seja aumentada, o que causa voçorocas e assoreamento dos leitos dos rios e córregos, além de pôr em risco a vida da população local.

Portanto, garantir a continuidade da mata ciliar, das margens dos rios e córregos ajuda a produzir mais água, e com menor custo de tratamento para as companhias de saneamento e abastecimento. Essa visão desmantela a noção de que fazer um investimento em conservação da natureza não gera lucro e mostra, na verdade, o prejuízo que temos com a degradação das áreas de uma bacia hidrográfica (CECONI et al., 2015). Neste sentido, recomenda-se a recuperação da bacia do reservatório DNOS, principalmente no entorno do reservatório, envolvendo para tal a população ali instalada e tomando-se medidas para evitar a continuação das ocupações irregulares.

O resultado da álgebra de mapas dos valores de índice atribuído aos fatores está disposto na Figura 4a, que representa o índice de suscetibilidade à erosão para a bacia de captação DNOS, ou seja, o principal resultado do presente estudo. Já a Figura 4b destaca as áreas mais vulneráveis sobre o mapa de uso.

FIGURA 4 - ÍNDICE DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO (A) E MAPA DE USO DO SOLO (B) COM DESTAQUE PARA AS ÁREAS MAIS VULNERÁVEIS (ÍNDICES >2) NA BACIA DE CAPTAÇÃO DO RESERVATÓRIO DNOS.



Fonte: elaborado pelos autores.

O resultado do mapeamento apontou que 27,51% da área está em situação moderadamente estável quanto a suscetibilidade à erosão, 68,11% medianamente vulnerável e 4,38% se concentra na faixa moderadamente vulnerável. Percebe-se que os valores para suscetibilidade à erosão concentraram-se na classe medianamente vulnerável e observa-se notável influência do fator geologia, resultado este que vem de encontro ao obtido em outros estudos que aplicaram a mesma metodologia (ARRUDA; DIAS; PEREIRA, 2007; ARNESEN; GENOFRE; CURTARELLI, 2009; DEMARCHI; PISANI; ZIMBACK, 2013). No mapa de índices, onde há baixo nível de detalhamento no mapa de solos, ou seja, na escala 1:100000, houve influência nos valores de índice nas adjacências do reservatório, justamente a área de maior interesse para as ações visando o ordenamento territorial, visto sua importância para o abastecimento público de Santa Maria, RS.

A partir do mapeamento obtido pode-se inferir que o mesmo aponta as áreas mais suscetíveis à erosão, como confirmado por estudos realizados anteriormente na área de captação do reservatório DNOS, apresentados durante a discussão dos resultados do mapeamento dos fatores ambientais considerados. Além disso, permitiu verificar que uma base de dados digitais estruturada em SIG permite uma maior agilidade, eficácia e a possibilidade da atualização das informações, bem como favorece a obtenção de subsídios de maneira organizada para o poder executivo municipal, na elaboração de planos, programas e projetos de desenvolvimento agropecuário e urbano.

Ainda, conforme apontado por Arruda, Dias e Pereira (2007), uma base de dados dá as condições de continuidade dos estudos de planejamento de uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas, com o ordenamento ou reordenamento de atividades do meio

rural e urbano, sendo que os mapas dos fatores ambientais devem ser elaborados em mapeamentos de vulnerabilidade com a compatibilização de unidades visando reduzir o número de polígonos espúrios quando das combinações de mapas (sobreposição), e assim permitirem uma melhor compreensão das inter-relações dos componentes das paisagens.

A Figura 4b representa as áreas mais suscetíveis à erosão, com índices de suscetibilidade maior que 2,0, indicativo da ocorrência de morfogênese, sobrepostas no mapa de uso e ocupação. Através disso é possível apontar que os usos da terra incidentes nas áreas mais frágeis à erosão são as áreas de cultivo e urbanização, sendo que estas compreendem, principalmente, as margens e entorno dos cursos d'água e do reservatório DNOS, seja pela necessidade de uso da água, mas principalmente pela condição de relevo menos acidentado.

Essas áreas, caracterizadas como conflito de uso, são fontes potenciais de erosão e contribuição para o assoreamento do reservatório. Devido a isso, tais áreas carecem de práticas de conservação e restrições de uso visando à melhoria da qualidade da água. Neste sentido é de vital importância que essas áreas sejam submetidas à recomposição da vegetação nativa, principalmente junto aos corpos d'água e no entorno do reservatório. Tal prática, além de contribuir para melhorias ambientais contribuirá para a produção de água em quantidade e qualidade.

Para garantias de produtividade, as áreas de cultivo devem ter também como diretrizes práticas de conservação do solo, principalmente as de caráter mecânico (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). Já a urbanização irregular no entorno do reservatório, principal conflito de uso da terra, requer estratégias e ações mais drásticas, de cunho social/econômico, com iniciativas da gestão pública, como, por exemplo, a realocação da população irregular, visando à melhoria das condições ambientais na bacia em estudo.

Além das ocupações irregulares, a falta de saneamento básico, sem tratamento de esgoto e um adequado gerenciamento de resíduos sólidos, acaba por agravar ainda mais a qualidade da água. Neste sentido, Bandeira, Nunes e Lima (2016) afirmam que o conhecimento dos problemas urbanos é fundamental para o planejamento das estratégias de gerenciamento e que, saber onde encontrar as áreas de risco e sua dimensão é o primeiro passo para a tomada de decisão, sendo assim, o mapeamento de suscetibilidade torna-se uma ferramenta importante.

4 Conclusões

O mapa de suscetibilidade à erosão representa uma importante ferramenta de diagnóstico ambiental, pois facilita a obtenção de informações para a gestão visando o desempenho de tempo e recursos. Além disso, o mapa de índices é um instrumento efetivo para o ordenamento territorial, pois tem a capacidade de apontar os conflitos de uso e direcionar técnicas para a contenção das perdas de solo e, conseqüentemente, reduzir a produção de sedimentos.

O mapa de índice de suscetibilidade à erosão compõe uma potencial ferramenta para auxílio à gestão ambiental e conservação dos recursos hídricos, sendo obtido por meio de técnica robusta e de fácil execução, porém, ficando limitado à qualidade dos mapas temáticos usados e pelo grau de detalhamento resultante.

Apesar da cobertura vegetal representar mais de 50% do uso e ocupação da bacia de captação do reservatório DNOS, essa deveria ser ainda maior. Isto porque, pela relevância ambiental da bacia hidrográfica em questão, por sua importância na captação de água para abastecimento humano e considerando ainda sua localização, não só de relevo, mas no que tange a vegetação nativa, por ser característica de formação vegetal de mata atlântica, faz-se necessário a sua preservação.

Sugere-se uma análise dos pesos dos fatores para uma representação mais satisfatória da fragilidade do meio à erosão pelo método, visando também uma melhor discretização dos valores de índices. Análises hierárquicas de importância de fatores, comum no emprego de índices, surgem na literatura como uma opção.

5 Referências bibliográficas

ANA. Agência Nacional das Águas. Hidroweb: **Sistemas de informações hidrológicas**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 11 de nov. de 2015.

ARNESEN, A. S.; MAIA, J. S. A. Análise da vulnerabilidade natural à erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Tijucas através de técnicas de geoprocessamento: um subsídio à governança territorial. In: **Anais...** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, p. 1113-1120. 2011.

ARNESEN, A. S.; GENOFRE, F. T.; CURTARELLI, M. P. Análise da vulnerabilidade à erosão através de SIG: um subsídio ao zoneamento ecológico-econômico de Santo Amaro da Imperatriz/SC. In: **Anais...** XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009. Disponível em: <http://www.gthidro.ufsc.br/arquivos/An%C3%A1lise_Vul_Eros%C3%A3o1.pdf>. Acesso em: 12 out. 2015.

ARRUDA, W. C.; DIAS, R.; PEREIRA, E. Análise da Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo do Município de Fátima–TO. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2007. v. 13, p. 5083–5089.

BANDEIRA, A. P. N.; NUNES, P. H. de S.; LIMA, M. G. de S. Gerenciamento de riscos ambientais em municípios da região metropolitana do Cariri (Ceará). **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. XIX, n. 4, p. 65-84, 2016.

BARBOSA, J. P. M. Utilização de método de interpolação para análise e espacialização de dados climáticos: o SIG como ferramenta. **Caminhos da Geografia (UFU)**, v. 9, n. 17, p. 85–96, 2006.

BELLINASSO, T. B.; PAIVA, J. DE. Avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica semi-urbana de encosta. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 4, p. 169–181, 2007.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2012. 355 p.

BEVILACQUA, A. F. A bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento e desenvolvimento sustentável. In: **Anais...** VI Encontro Nacional da ANPPAS, Belém,

2012. Disponível em: <<http://www.anppas.org.br/encontro6/anais/ARQUIVOS/GT9-117-41.pdf>>. Acesso em: dezembro de 2017.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõem sobre a Proteção da Vegetação Nativa. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: dezembro de 2017.

CASAGRANDE, L. **Avaliação do Parâmetro de Propagação de Sedimentos do Modelo de Williams (1975) na Bacia do Rio Vacacaí-Mirim com o Auxílio de Técnicas de Geoprocessamento.** 242 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

CECONI, D. E. **Diagnóstico e recuperação da mata ciliar da Sanga Lagoão do Ouro na Microbacia Hidrográfica do Vacacaí-Mirim, Santa Maria – RS.** 132 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

CECONI, D. E. et al. Avaliação histórica do uso e cobertura da bacia de captação DNOS, Santa Maria – RS, suas consequências e perspectivas. In: KRAMER, G. (Org.). **Iniciação científica e de extensão: o seu conhecimento amadurece aqui.** Guaíba: UNIPAR, 2015. p. 19 – 27.

CHAVES, H. M. L.; SANTOS, L. B. Ocupação do solo, fragmentação da paisagem e qualidade da água em uma pequena bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, (Suplemento), p. 922–930, 2009.

CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** INPE: São José dos Campos, 2001. 124 p.

CURVELLO, R. T.; BATISTA, G. T.; TARGA, M. dos S. Estudo dos impactos da ocupação humana na microbacia do rio Batedor na Serra da Mantiqueira no município de Cruzeiro, SP, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 3, n. 1, p. 91-107, 2008.

DEMARCHI, J. C.; PISANI, R. J.; ZIMBACK, C. R. L. Análise da vulnerabilidade à erosão da sub-bacia do Ribeirão das Perobas por meio de sensoriamento remoto e geoprocessamento. **Geografia e Pesquisa**, v. 7, n. 1, p. 6-37, 2013.

DILL, P. R. J. **Assoreamento do reservatório do Vacacaí-Mirim e sua relação com a deterioração da bacia hidrográfica contribuinte.** 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2002.

FACCINI, U. F.; GIARDIN, A.; MACHADO, J. L. F. Heterogeneidades litofaciológicas e hidroestratigrafia do Sistema Aquífero Guarani na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares– estudos de casos.** Edição PPGeo-UNISINOS – Editora Unisinos. p. 147–173, 2003.

FAN, F. M. et al. Sobre o início da rede de drenagem definida a partir dos modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 18, n. 3. p. 241-257, 2013.

FERREIRA, A. B. et al. Análise do meio físico da sub-bacia do Rio Vacacaí-Mirim-RS/ Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 3, n. 2. p. 28-34, 2009.

- FLORENZANO, T. G. Cartografia. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos. p. 105–128, 2008.
- GOMES, P. R.; MALHEIROS, T. F. Proposta de análise de indicadores ambientais para apoio na discussão da sustentabilidade. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 151-169, 2012.
- GOMES, T. C. et al. Caracterização e Espacialização dos Depósitos Tecnogênicos no Bairro Camobi Subsídio ao Planejamento Urbano do Município de Santa Maria – RS. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 276 – 288, 2012.
- GUERRA, A. J. T. **Degradação dos solos – conceitos e temas**. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O. (Org.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rui de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 15 – 51, 2014.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto Topodata**. 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata>>. Acesso em: dezembro de 2015.
- KONRAD, C. G. **Zoneamento Ambiental da Microbacia Hidrográfica do Reservatório do DNOS de Santa Maria–RS**. 98 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, 2005.
- MACIEL FILHO, C. L. **Carta Geotécnica de Santa Maria**. Imprensa Universitária-UFSM, 1990.
- MENEZES, J. B. et al. Índice de Vulnerabilidade à Erosão para uma Bacia na Mesorregião do São Francisco Pernambucano, a Partir das Relações entre Morfogênese e Pedogênese. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, v. 8, p. 45-56, 2007.
- MIGUEL, P. **Caracterização Pedológica, Uso da Terra e Modelagem da Perda de Solo em Áreas de Encosta do Rebordo do Planalto do RS**. 112 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. 2010.
- MIGUEL, P. et al. A. Solo e dinâmica de ocupação das terras em áreas do rebordo do planalto do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Agroci.**, v. 17, p. 447-455, 2011.
- MIGUEL, P. et al. Identificação de fontes de produção de sedimentos em uma bacia hidrográfica de encosta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 585-598, 2014.
- MOTA, L. H. S. O.; VALLADARES, G. S.: Vulnerabilidade à degradação dos solos da Bacia do Acarajú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, 39-50, 2011.
- PAIVA, R. C.; PAIVA, E. M.; PAIVA, J. B. D. Estimativa das Vazões Naturais nas Sub-Bacias do Vacacaí-Mirim através de Modelo Simplificado. In: **Anais... I Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste**, 2006.
- RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 11, n. 6, p. 628-636, 2007.
- RIBEIRO, H. Saúde Pública e Meio Ambiente: evolução do conhecimento e da prática, alguns aspectos éticos. **Saúde e Sociedade**. v.13, n.1, p. 70-80, 2004.

RODRIGUES, B. R. C.; RODRIGUES, C. M. C.; FOLETO, E. M. Levantamento de Uso e Conflitos da Terra na Área de Proteção Ambiental (APA) no Rio Vacacaí-Mirim/RS. **Anais... XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Foz do Iguaçu, Brasil, 2007. Disponível em: <<http://www.abepro.org.br/biblioteca>>. Acesso em: 13 out. 2015.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SAMUEL-ROSA, A. et al. Uso da terra no Rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. **Ci. Natura**, v. 33, p. 161-173, 2011.

SCHUSSEL, Z.; NASCIMENTO NETO, P. Gestão por bacias hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. XVIII, n. 3. p. 137-152, 2015.

SOUZA, M. M. de. **Carga de poluição difusa em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos**. Santa Maria, Dissertação (Mestrado). UFSM. 2012.

TRICART, J. Ecodinâmica. **Série recursos naturais e meio ambiente**. SUPREN/IBGE, 1977, v. 1.

Submetido em: 11/04/2017

Aceito em: 07/06/2018

<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0078r2vu18L1AO>

2018;21:e00782

Temas em Destaque

ANÁLISE DE VULNERABILIDADE VISANDO O PLANEJAMENTO AMBIENTAL EM BACIA DE CAPTAÇÃO PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

Resumo: Bacias hidrográficas de captação para abastecimento público merecem especial atenção por parte dos gestores dos recursos hídricos, pois delas dependem a quantidade e a qualidade da água, elemento indispensável à sustentabilidade da vida e recurso fundamental para diversas atividades humanas. A situação destas bacias se agrava em função dos conflitos de uso da terra que acabam intensificando o processo de erosão e assoreamento dos reservatórios. Além disso, os diagnósticos que utilizam indicadores ambientais são importante ferramenta para o planejamento ambiental. Neste sentido, o presente estudo fez uso destes para avaliar a suscetibilidade natural do solo à erosão na área de abrangência da bacia de captação do reservatório DNOS, Santa Maria - RS. Para tal, usando mapas multitemáticos e geoprocessamento, obteve-se o mapeamento de vulnerabilidade, representado por índices. O mapa é uma importante e hábil ferramenta para o ordenamento territorial, o auxílio à gestão ambiental e a conservação dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Erosão. Recursos hídricos. Sedimentação. Reservatório.

Abstract: Watersheds used for water supply get special attention from managers, as the quantity and quality of supplied water depends on them. Water is an indispensable element of life and a fundamental resource for many human activities. The situation of these watersheds is aggravated by conflicts of land use that end up intensifying the process of erosion and sedimentation of the water reservoirs. In addition, diagnostics that use environmental indicators are important tools for environmental planning. The present study made use of these indicators to evaluate the natural soil susceptibility to erosion in the catchment area of the DNOS water reservoir, in Santa Maria, south of Brazil. Using multi-thematic maps and geoprocessing tools (GIS), we obtained a vulnerability mapping, represented by indexes. This map is an important and skillful tool for territorial planning, for aiding environmental management and conservation of water resources.

Keywords: Erosion. Water resources. Sedimentation. Water reservoir.

Resumen: Las cuencas hidrográficas utilizadas para el suministro de agua merecen una atención especial de los administradores de los recursos hídricos, ya que la cantidad y calidad del agua suministrada dependen de ellas. La situación de estas cuencas se agrava en función de los conflictos de uso de la tierra que acaban intensificando el proceso de

erosión y sedimentación de los reservorios. Además, los diagnósticos que utilizan indicadores ambientales son una importante herramienta para la planificación ambiental. En este sentido, el presente estudio hizo uso de éstos para evaluar la susceptibilidad natural del suelo a la erosión en el área de cobertura de la cuenca de captación del reservorio DNOS, Santa Maria, RS (Brasil). Para ello, usando mapas multitemáticos y geoprociamiento, se obtuvo el mapeo de vulnerabilidad, representado por índices. El mapa es una importante y hábil herramienta para el ordenamiento territorial, la gestión ambiental y la conservación de los recursos hídricos.

Palabras clave: Erosión. Recursos hídricos. Sedimentación. Reservorio.
