

IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS SUSCEPTÍVEIS A TRANSFERÊNCIA DE POLUENTES PARA OS SISTEMAS AQUÁTICOS UTILIZANDO ÁLGEBRA DE MAPAS

Viviane Capoane

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais (CRS/INPE), Santa Maria, RS, Brasil
capoane@gmail.com

Luís Fernando Flenik Costa

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, Santa Maria, RS, Brasil
flenikcosta@gmail.com

Tatiana Mora Kuplich

Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais, Santa Maria, RS, Brasil
tkuplich@gmail.com

Recebido em: 03/11/16; Aceito em: 04/04/17

RESUMO

Este trabalho objetivou gerar um mapa de susceptibilidade a transferência de poluentes para os sistemas aquáticos em um município com suinocultura intensiva utilizando informações cartográficas, sensoriamento remoto e legislação ambiental. A proposta visa subsidiar suinocultores e gestores municipais na definição das áreas prioritárias para a gestão ambiental. Os dados cartográficos utilizados para a determinação do Índice Topográfico de Umidade (ITU) e Índice Topográfico de Capacidade de Transporte de Sedimentos (ITCTS) foram extraídos da carta topográfica. O uso da terra foi classificado a partir de imagens RapidEye. As Áreas de Preservação Permanente (APPs) foram definidas conforme a Lei 12.651/12. O ITU e o ITCTS, gerados a partir do modelo digital de elevação, foram reclassificados em cinco intervalos e procedeu-se a tabulação cruzada. As combinações resultantes foram agrupadas em quatro classes de susceptibilidade (Baixa, Média, Alta e Muito Alta). Posteriormente, foram integradas ao mapa a classe de uso mata; o buffer com as APPs e; o buffer de 150 metros das granjas de suínos. O mapa resultante permitiu a identificação dos locais prioritários para a gestão ambiental sendo elas áreas agrícolas e pastagens onde o dejetos de suínos é aplicado como fertilizante próximas a cursos d'água e, o entorno das granjas.

Palavras-chave: Sistema de Informação Geográfica; Efluentes Suínos; Impactos Ambientais.

IDENTIFICATION OF THE AREAS SUSCEPTIBLE TO THE TRANSFER OF POLLUTANTS INTO AQUATIC SYSTEMS USING MAP ALGEBRA

ABSTRACT

This study aimed to generate a susceptibility map of the transfer of pollutants into aquatic systems in a county with intensive pig farming, using cartographic information, remote sensing and environmental legislation. The proposal aims to support pig farmers and municipal managers in defining priority areas for environmental management. The cartographic data used for determining the Topographic Wetness Index (TWI) and the Topographic Sediment Transport Capacity Index (TSTCI) were extracted from the topographic chart. Land use was classified from RapidEye images. The Permanent Preservation Areas (PPAs) were defined according per Law 12.651/12. The TWI and the TSTCI, generated from the digital elevation model, were reclassified into five intervals and proceeded the cross tabulation. The resulting combinations were grouped into four susceptibility classes (Low, Medium, High and Very High). Later were integrated into the map, the class forest use; the buffer with the APPs and; the pig farms buffer of 150 meters. The resulting map allowed the identification of priority sites for environmental management being them, agricultural areas and pastures where the pig slurry is applied as a fertilizer close to the watercourses and; the areas surrounding the farms.

Keywords: Geographical Information System; Swine Effluents; Environmental Impacts.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um ator importante no mercado global de carne de suínos, fornecedor de grandes compradores internacionais como Rússia, Singapura, China, Hong Kong, Leste Europeu e alguns países da América Latina como Chile, Argentina e Uruguai, com boas expectativas quanto a abertura do mercado da Coréia do Sul, Austrália, Nova Zelândia e União Européia (ABPA, 2015). Em 2015 as exportações brasileiras de carne suína totalizaram 555.100 toneladas (ABPA, 2016). Atualmente o Sul do Brasil detém a maior parte da produção nacional e, segundo a Pesquisa Pecuária Municipal de 2012 (IBGE, 2016), o rebanho de suínos dessa região era da ordem de 17,9 milhões, o que correspondia a 49% do total nacional.

Os resíduos gerados pela suinocultura intensiva têm sido utilizados como fertilizante orgânico em áreas agrícolas e de pastagens. Esta prática é uma solução fácil e barata para a eliminação dos resíduos nas propriedades, porém, apesar de o estrume apresentar inúmeros benefícios agrônômicos, é uma atividade de elevado risco ambiental (SEGANFREDO, 2007). Em muitas regiões produtoras, a quantidade de dejetos líquidos aplicados em áreas agrícolas excede a capacidade de absorção dos solos e, as aplicações anuais de grandes quantidades podem causar efeitos adversos para as plantas, solo e águas superficiais (ASSIS, 2004; ROONEY et al., 2006; HADLICH e SCHEIBE, 2007; KATO et al., 2009; GIACOMINI et al., 2009; LOURENZI et al., 2014; 2015; De CONTI et al., 2016). Isso se dá, pois, a estrutura atual dos sistemas produtivos de suínos se baseia na concentração de animais em pequenas áreas, gerando grandes excedentes de dejetos, que demandam áreas relativamente grandes para o seu aproveitamento agrônômico (OLIVEIRA, 2004).

No município de Palmitinho, região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (RS), a suinocultura intensiva é responsável por 70,3% da arrecadação do imposto sobre mercadorias e serviços, envolvendo mais de 100 famílias na atividade (EMATER/RS, 2014). Em 2015, conforme informações obtidas junto a Secretaria de Agricultura do Município, o plantel de suínos correspondia a 88.222 suínos entre as unidades de produção de leitões e terminação, representando um aumento de 35% em relação ao Censo Agropecuário de 2012 (IBGE, 2016). Embora esta atividade tenha grande importância econômica e social para o município, a intensificação da produção tem resultado em forte pressão sobre os recursos naturais. Em trabalho desenvolvido por Capoane et al. (2014; 2015; 2016) em uma bacia hidrográfica inserida no município de Palmitinho, os autores constataram que a suinocultura intensiva tem afetado a qualidade das águas superficiais e do sedimento de leito de rios.

Para Belli et al. (2001) e Miranda et al. (2011), a problemática ambiental da suinocultura reside na dificuldade de se fazer o manejo ambientalmente adequado dos dejetos que são gerados nos sistemas confinados de produção. Atualmente, a forma predominante de manejo dos dejetos no município e demais regiões produtoras de suínos do país, é o seu emprego como fertilizante orgânico em áreas agrícolas. Todavia, na região do noroeste do Rio Grande do Sul predominam pequenas propriedades rurais. Assim, em função da área agrícola reduzida e relevo acidentado, a maioria das propriedades que desenvolvem a suinocultura na forma intensiva, não tem condições de realizar a reciclagem dos dejetos sob a forma de fertilizante orgânico, potencializando o risco de degradação dos solos e dos mananciais (CAPOANE et al., 2014).

Neste contexto, o uso de geotecnologias e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) aparecem como ferramentas computacionais fundamentais para gestores e tomadores de decisão, que dependem fortemente dos dados geoespaciais. O SIG consiste em um sistema integrado entre *hardware*, *software*, dados geográficos e pessoas, concebido para eficientemente capturar, armazenar, manipular, analisar e exibir todas as formas de informações geograficamente referenciadas (BURROUGHT e MCDONNELL, 1998), transformando dados em conhecimento e apresentando esse conhecimento em vários formatos com a finalidade de apoiar decisões.

De maneira sucinta, pode-se dizer que os SIGs são ferramentas de manipulação de objetos (ou feições geográficas) e de seus atributos (ou registros que compõem um banco de dados), por meio de seu relacionamento espacial (topologia) (VEIGA e SILVA, 2004). Dessa forma, o SIG torna-se uma ferramenta básica fundamental a ser usada no controle e monitoramento ambiental, visto que pode proporcionar, além do armazenamento de imagens e informações, o cruzamento destas através de álgebra de mapas, permitindo assim uma visão mais ampla e precisa do local em estudo.

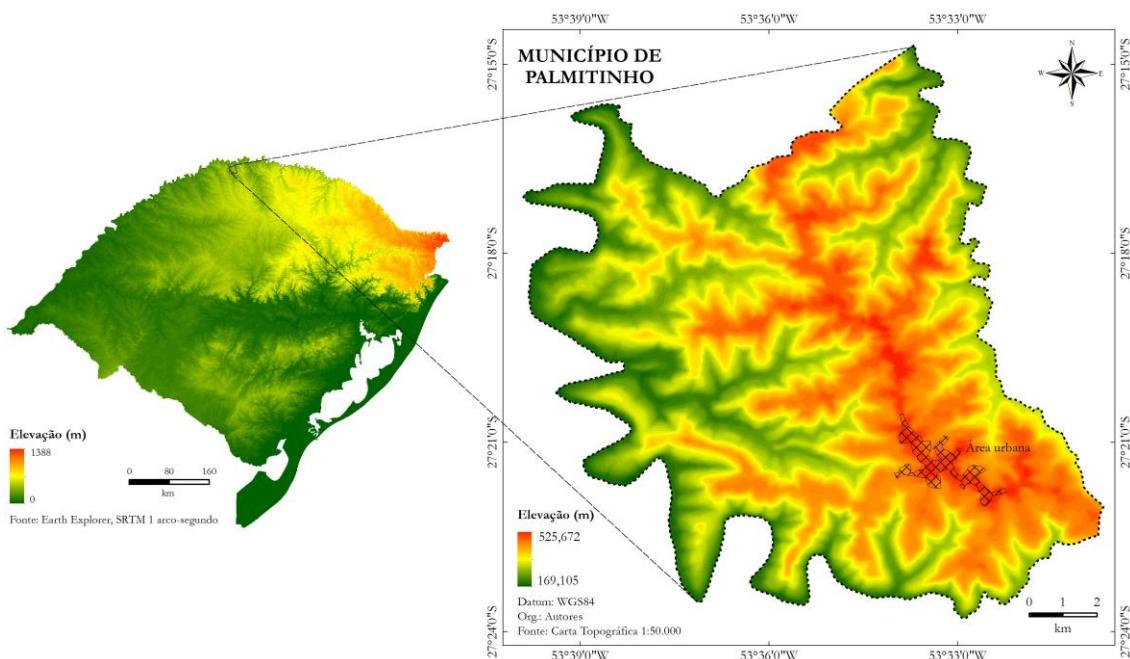
As funções de álgebra de mapas nos SIGs possibilitam a manipulação matemática dos valores nas células, em uma linguagem que permite operações em 2D. A técnica de integração das variáveis por superposição de mapas ou álgebra de mapas foi conceituada por Tomlin (1990), como o conjunto de procedimentos de análise espacial que produz novos dados a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas, ou seja, a análise espacial considerando-se operações matemáticas sobre mapas. Os elementos da álgebra de mapas associam a cada local de uma dada área de estudo um valor quantitativo (escalar, ordinal, cardinal ou intervalar) ou qualitativo (nominal). Esta técnica pode ser utilizada a fim de caracterizar as mais diversas situações que podem ocorrer em locais de uma área de estudo, com base em grades, imagens e mapas temáticos disponíveis em uma certa base de dados (BARBOSA, 1997; BARBOSA et al., 1998; FERREIRA et al., 2013).

Diante do exposto, a proposta do presente trabalho foi gerar um mapa de áreas suscetíveis a transferência de poluentes para os sistemas aquáticos no município de Palmitinho utilizando informações cartográficas, sensoriamento remoto e legislação federal vigente em ambiente do SIG, a fim de subsidiar suinocultores e gestores municipais na definição das áreas prioritárias para a gestão ambiental.

METODOLOGIA

A área de estudo do presente trabalho localiza-se na região noroeste do Rio Grande do Sul, mais precisamente no município de Palmitinho (144,045 km²) (Figura 1).

Figura 1. Localização do município de Palmitinho, Rio Grande do Sul.



Fonte: Autores.

Os dados cartográficos utilizados para a geração do Modelo Digital de Elevação (MDE) foram extraídos da carta topográfica de Palmitinhos na escala 1:50.000, folha SG-22-Y-C-I-4/ MI-2884/4, fuso 22 S. As informações utilizadas na interpolação foram as isolinhas das curvas de nível e os pontos cotados. Para a definição do tamanho de pixel optou-se por utilizar a

equidistância vertical entre as curvas de nível de 20 metros. A interpolação dos dados foi feita no *software* ArcGIS®10.2 utilizando o método *Topogrid* (HUTCHINSON, 1989). Posteriormente o MDE foi convertido para o formato txt e no *software* SAGA GIS 2.2.5 foi determinado o Índice Topográfico de Umidade (ITU) e o Índice Topográfico de Capacidade de Transporte de Sedimentos (ITCTS). A extensão utilizada no SAGA GIS foi a *Terrain Analysis* → *Compound Analysis* → *Basic Terrain Analysis*.

O ITU é definido pelo logaritmo natural da razão entre a área de contribuição específica e a tangente do ângulo da declividade:

$$ITU = \ln (A_s / \tan \beta) \quad (1)$$

No qual A_s corresponde a área de contribuição específica e β é a declividade.

A equação mostra que o ITU é função apenas de β , assim é adicionada a seguinte restrição: $0^\circ < \beta < 90^\circ$, pois se $\beta = 0$, $\tan \beta = 0$ e $1/\tan \beta$ é infinito e, se $\beta = 90^\circ$, $1/\tan 90 = 0$, $\ln 0$ é infinito. Este índice foi desenvolvido por Beven e Kirkby (1979) para o modelo hidrológico TOPMODEL, a fim de possibilitar a simulação das áreas de variável afluência (zonas saturadas). Conforme Anderson e Burt (1978), O'Loughlin (1981; 1986), em bacias hidrográficas áreas saturadas ou quase saturadas estão associadas às regiões de linha de fluxo convergente e baixas declividades. O ITCTS é calculado com base no fator topográfico LS (*Length Slope*) da Equação Universal de Perda de Solo, porém com a inserção da influência da forma das encostas, como mostra a Equação 2. O uso do ITCTS permite a identificação na paisagem dos locais mais propensos ao desenvolvimento de processos erosivos (MINELLA et al., 2010).

$$ITCTS = (A_s / 22,13)^m (\tan \beta / 0,0896)^n \quad (2)$$

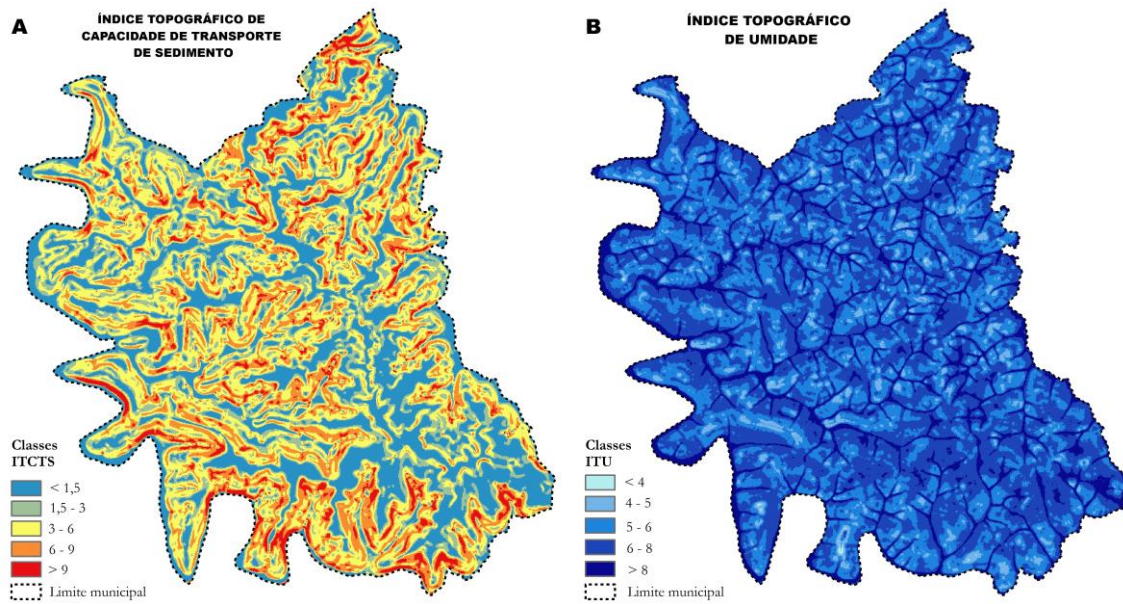
No *software* ArcGIS®10.2, o ITCTS foi reclassificado em cinco intervalos (Figura 2A) considerando a distribuição de frequência do histograma e observação das curvas de nível na carta topográfica; o ITU também foi reclassificado em cinco intervalos (Figura 2B) considerando a distribuição de frequência do histograma e observação no *software* Google Earth a localização das áreas úmidas no município. A partir da reclassificação do ITU e do ITCTS procedeu-se a tabulação cruzada por álgebra de mapas utilizando a ferramenta de análise espacial - *Spatial Analyst Tools* → *Map Algebra* → *Raster Calculator*. As 25 combinações resultantes foram agrupadas em quatro classes considerando a susceptibilidade à transferência de poluentes para os sistemas aquáticos. A matriz resultante pode ser visualizada na Tabela 1.

Tabela 1. Combinações resultantes da álgebra de mapas entre o Índice Topográfico de Umidade (ITU) e o Índice Topográfico de Capacidade de Transporte de Sedimentos (ITCTS).

ITCTS/ITU	< 1,5 ₍₁₀₎	1,5 - 3 ₍₂₀₎	3 - 6 ₍₃₀₎	6 - 9 ₍₄₀₎	9 - 21,8 ₍₅₀₎
< 4 ₍₁₎	11	21	31	41	51
4-5 ₍₂₎	12	22	32	42	52
5-6 ₍₃₎	13	23	33	43	53
6-8 ₍₄₎	14	24	34	44	54
8-24,1 ₍₅₎	15	25	35	45	55
	Baixa	Média	Alta		Muito Alta

Fonte: Autores.

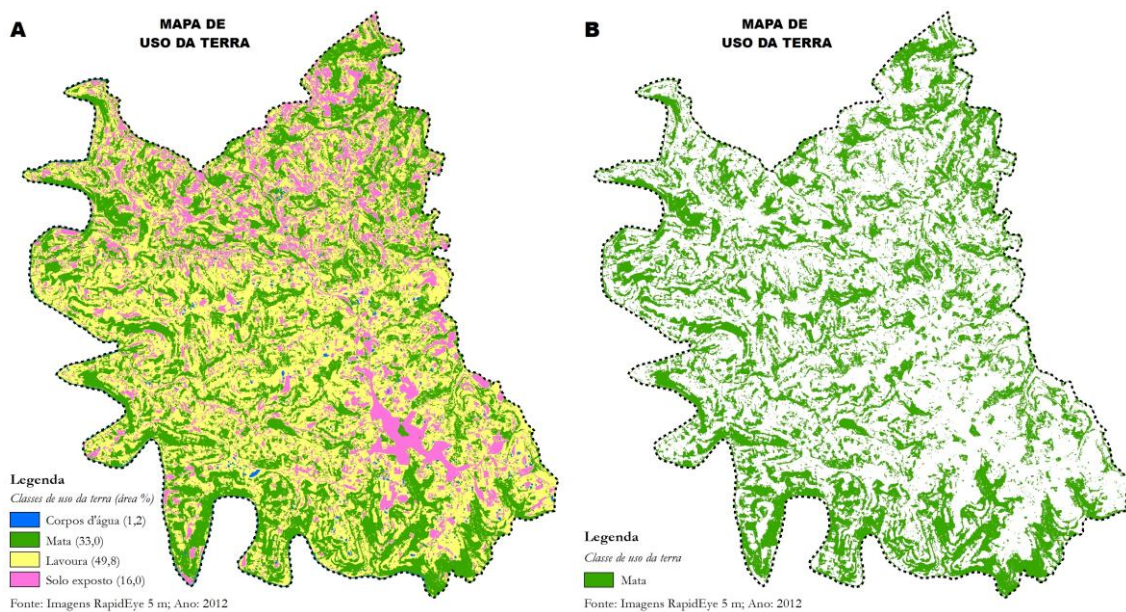
Figura 2. A) Índice Topográfico de Capacidade de Transporte de Sedimento reclassificado; B) Índice Topográfico de Umidade reclassificado - Palmitinho, Rio Grande do Sul.



Fonte: Autores.

Posteriormente, foi integrado ao mapa de susceptibilidade à transferência de poluentes gerado por álgebra de mapas, a classe de uso da terra mata (Figura 3B); o *buffer* com as Áreas de Preservação Permanente (APPs) ao longo dos cursos d'água (Figura 4A) e; o *buffer* das granjas de suínos (Figura 4B).

Figura 3. A) Mapa de uso da terra do município de Palmitinho, Rio Grande do Sul; B) Classe de uso mata.



Fonte: Autores.

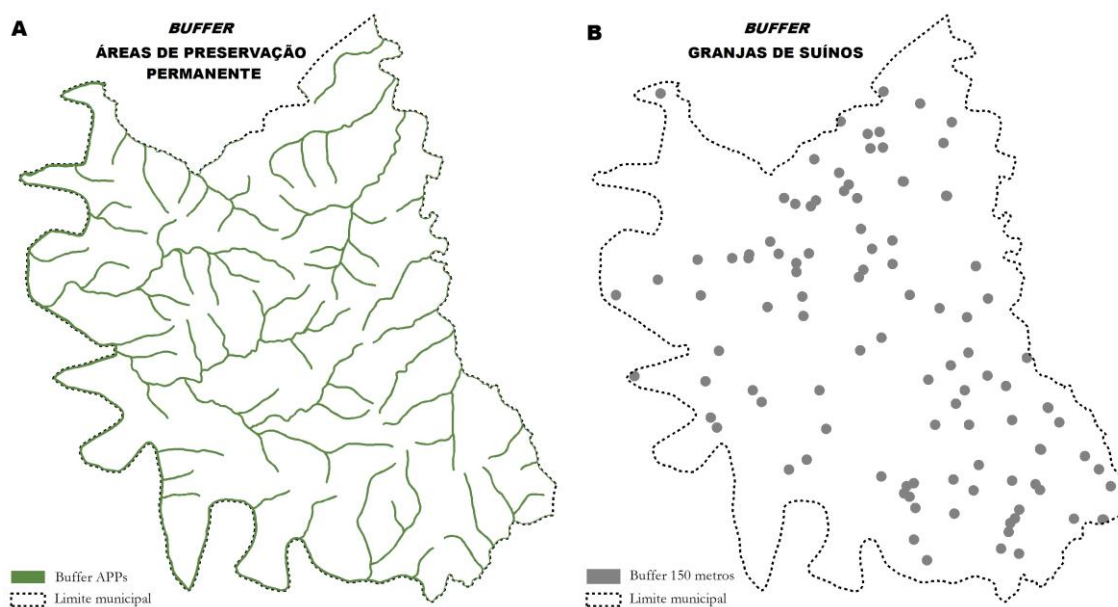
A classificação do uso da terra foi realizada no software ArcGis®10.2 através do método de classificação não supervisionada (*Iso Cluster Unsupervised Classification*) utilizando duas imagens pancromáticas do satélite RapidEye (bandas 1(B), 2(G), 3(R)), de cinco metros de resolução de pixel, ambas do ano de 2012 (16/11/2012). Foram estabelecidas 10 classes que, posteriormente foram agrupadas em quatro classes de uso da terra com base na visualização

das imagens originais e no *software* Google Earth Pro, sendo elas: solo exposto, lavoura, mata e corpos d'água. Para este trabalho utilizou-se somente a classe mata e a mesma foi inserida na classe de susceptibilidade Baixa, após a conversão dos pixels para 20 metros. A inclusão da classe de uso mata na classe de susceptibilidade Baixa deu-se, porque as áreas de mata constituem-se em barreiras físicas que impedem ou minimizam a transferência de poluentes dos ambientes terrestres para os aquáticos.

O *buffer* com as áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água foi gerado conforme a Lei 12.651/12 (BRASIL, 2012), sendo 30 metros para os cursos d'água de menos de 10 metros de largura e 50 metros para os cursos d'água de 10 a 50 metros de largura. Não foi gerado o *buffer* das APPs no entorno de nascentes, pois na escala 1:50.000 não é possível identificá-las. O *buffer* com as APPs foi integrado no mapa de susceptibilidade a transferência de poluentes na classe Alta, pois os rios são integradores dos processos que ocorrem nas bacias de captação.

Por se constituir em uma fonte pontual de poluição cujo efluente é líquido, logo de fácil escoamento superficial e lixiviação, o *buffer* de 150 metros das granjas de suínos foi integrado na classe de susceptibilidade Muito Alta.

Figura 4. A) *Buffer* com as áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água; B) *Buffer* de 150 metros das granjas de suínos - Palmitinho, Rio Grande do Sul.



Fonte: Autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O índice topográfico de capacidade de transporte de sedimentos (ITCTS) do município de Palmitinho variou de 0 a 21,8 com média de 3,8 e desvio padrão de 2,8 (Figura 2A). A cor azul representa valores inferiores a 1,5, áreas caracterizadas por relevo plano e suave ondulado com declividades inferiores a 8%, localizadas predominantemente nos fundos de vale e topos de morros com interflúvios mais extensos. Na classe 1,5-3, cor verde, predominam declividades entre 8-20%. Na classe 3-6, cor amarela, predominam declividades entre 20-35%. As classes 6-9 e >9 encontram-se nas áreas mais declivosas do município. A transição de cores frias para quentes mostra que quanto maior os valores do ITCTS, maior será a energia dos fluxos superficiais, logo maior será a susceptibilidade a perda de sedimento e poluentes.

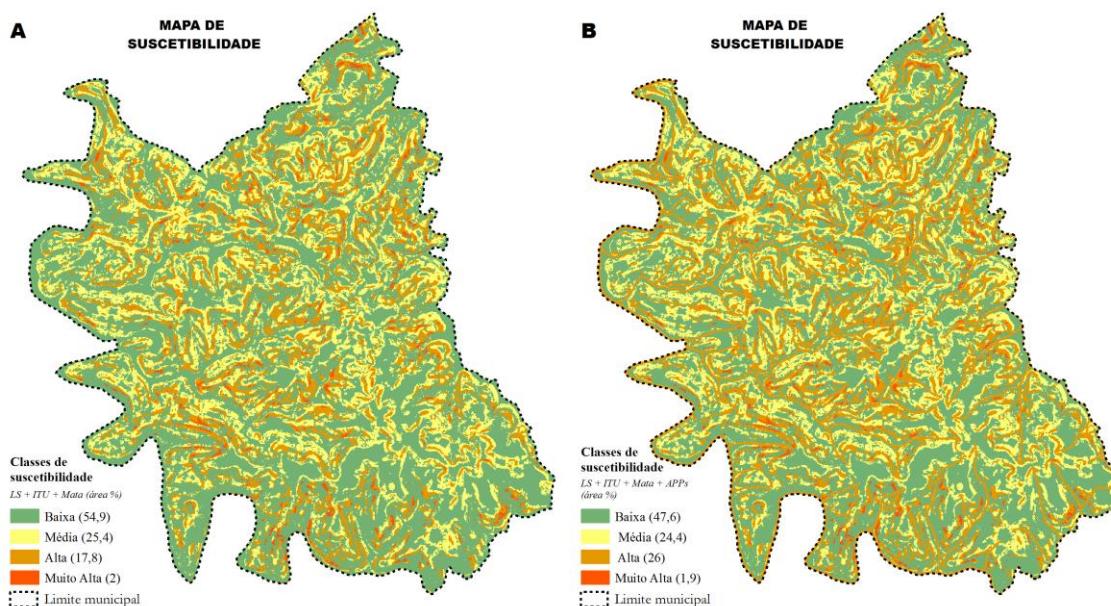
O índice topográfico de umidade (ITU) variou de 3,4 a 24,1 com média de 6,7 e desvio padrão de 2,3 (Figura 2B). No mapa, a cor azul escura representa as áreas com maior potencial de saturação hídrica, ou seja, áreas com maior potencial de acúmulo de água e geração de escoamento superficial. No município de Palmitinho essas áreas estão localizadas ao longo dos cursos d'água e nascentes. As cores intermediárias representam pendentes de curvatura

convergente, locais onde os fluxos tendem a se concentrar, aumentando a umidade do solo. Estas áreas estão presentes, principalmente, no terço inferior das encostas e interflúvios mais extensos, próximos às nascentes. A cor azul clara indica locais com baixa umidade do solo e estão presentes em vertentes divergentes, em locais com declive acentuado com solos rasos e, nos interflúvios de pequena extensão.

A tabulação cruzada entre o ITCTS e o ITU resultou em 25 combinações (Tabela 1), que foram agrupadas em quatro classes de susceptibilidade a transferência de poluentes para os sistemas aquáticos, e as mesmas correspondem a: 22,7% (Baixa); 38,8% (Média); 33% (Alta) e 5,5% (Muito Alta) da área do município, respectivamente.

O mapa de uso da terra mostra que predominam no município áreas agrícolas com 49,8% na classe lavoura (Figura 3A). Considerando que a classe solo exposto engloba além de estradas, área urbanizada e construções, a classe de uso lavoura, a proporção de área agrícola no município deve ser próxima a 60%. Neste município, conforme Capoane et al. (2014), a conversão dos sistemas naturais para cultivados deu-se principalmente em função das dificuldades impostas pelo relevo, sendo os cultivos comerciais de maior retorno econômico milho, soja e fumo no verão. No período de inverno, nas propriedades com maior área localizadas em relevo suave que possibilita a utilização de maquinário agrícola, é cultivado trigo. Nas pequenas propriedades onde predomina o relevo forte ondulado, pequenas áreas são cultivadas com forrageiras, a maior parte permanece em pousio hibernar. A classe mata, composta pela formação Floresta Estacional Decidual Submontana, corresponde a 33% da área do município (Figura 3B) estando preservada nas áreas íngremes. A integração da classe mata ao mapa de susceptibilidade (ITCTS + ITU) (Figura 5A) na classe Baixa resultou, conseqüentemente, num aumento expressivo de área na classe Baixa, logo, diminuição de área nas demais classes. A classe Baixa que correspondia a 22,7% passou para 54,9%; a classe Média de 38,8% para 25,4%; a classe Alta de 33% para 17,8% e; a classe Muito Alta de 5,5% para 2%, respectivamente.

Figura 5. Classes de susceptibilidade a transferência de poluentes para os sistemas aquáticos - Palmitinho, Rio Grande do Sul. A) inserção da classe mata; B) inserção da classe APPs.



Fonte: Autores.

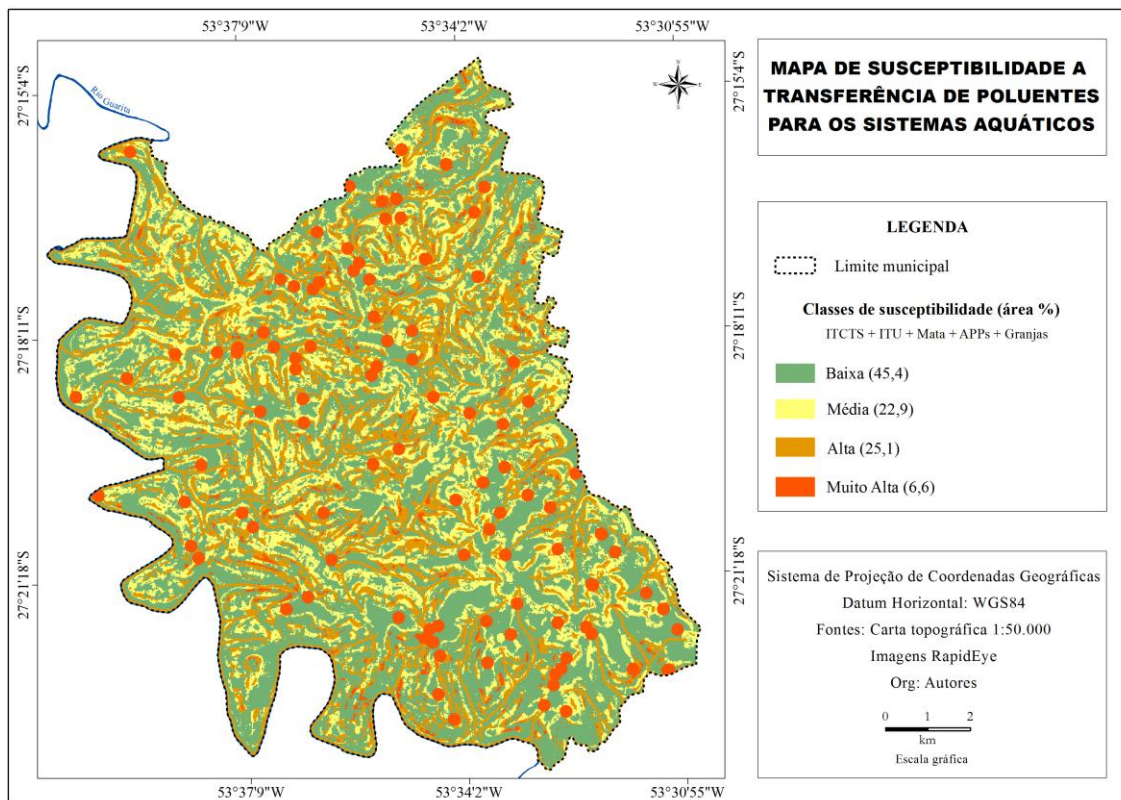
O *buffer* com as áreas de preservação permanente foi o penúltimo a ser incluído na tabulação cruzada. A opção por incluí-lo na classe Alta foi porque os rios refletem os processos que ocorrem a montante, conectando paisagens. A integração da classe APPs ao mapa de susceptibilidade (ITCTS + ITU + mata) (Figura 5B) resultou num aumento de área na classe Alta, conseqüentemente, diminuição de área nas demais classes. A classe Baixa que

correspondia a 54,9% passou para 47,6%; a classe Média de 25,4% para 24,4%; a classe Alta de 17,8% para 26% e; a classe Muito Alta de 2% para 1,9%, respectivamente (Figura 5B).

A última etapa do trabalho consistiu na integração ao mapa de susceptibilidade (ITCTS + ITU + mata + APPs), o *buffer* de 150 metros das granjas de suínos (Figura 6). As áreas das classes passaram de: 47,6% para 45,4% (Baixa); 24,4 para 22,9% (Média); 26% para 25,1% (Alta) e; 1,9% para 6,6% (Muito Alta), respectivamente.

As áreas classificadas com susceptibilidade Alta e Muito Alta (Figura 6) são os locais que devem ser prioritários para a gestão ambiental, principalmente nos locais onde há conexão com a rede de drenagem, pois os dejetos de suínos contém quantidades consideráveis de nutrientes, tais como nitrogênio, fósforo e outras substâncias excretadas como hormônios, antibióticos, agentes patogênicos e metais pesados, que são introduzidas através da ração. A lixiviação e o escoamento superficial destas substâncias tem o potencial de resultar na contaminação de rios, lagos, reservatórios, além das águas subterrâneas (SHARPLEY et al., 2001; KATO et al., 2009).

Figura 6. Mapa de susceptibilidade a transferência de poluentes para os sistemas aquáticos no município de Palmitinho, Rio Grande do Sul.



Fonte: Autores.

Além da proximidade de muitas granjas de suínos dos cursos d'água, Capoane et al. (2014) em trabalho desenvolvido em uma bacia hidrográfica inserida no município de palmitinho, constataram que há o agravante de a maioria dos sistemas de armazenamento de efluentes serem esterqueiras, muitas subdimensionadas e sem cobertura. Dessa forma, em dias chuvosos há o extravasamento das mesmas. Além disso, conforme Kunz et al. (2004), a água da chuva causa uma excessiva diluição dos dejetos, incrementando sensivelmente os custos de armazenagem e transporte e, a diminuição do potencial fertilizante.

Perdas substanciais de nitrogênio, fósforo dentre outros contaminantes também podem ocorrer via escoamento superficial em dias chuvosos e por lixiviação, quando o estrume é aplicado em áreas agrícolas e pastagens (OLIVEIRA, 2004). Uma vez que atingem os cursos d'água, podem ocasionar um elevado crescimento de algas e resultar na eutrofização, com sérios

danos aos ecossistemas aquáticos. Diante disso, lavouras e pastagens próximas à cursos d'água onde o dejetos líquido de suínos é aplicado como fertilizante orgânico, também devem ser prioritárias para planejamento e gestão ambiental. Uma alternativa seria a inserção de técnicas de manejo conservacionistas.

Conforme Silva e Bassi (2012), o problema da gestão dos dejetos de suínos é complexo e não existe a priori uma única solução, ou mesmo uma solução em curto prazo. Conforme estes autores, as pesquisas desenvolvidas até o momento buscam novas alternativas que integrem a produtividade de suínos com a preservação ambiental. Porém, o ritmo de crescimento da atividade e seus impactos têm sido muito maiores do que o das tecnologias geradas. Os impactos ambientais das operações de pecuária suína intensiva tendem a se intensificar nos próximos anos, afetando cada vez mais a saúde pública pela poluição da água devido à entrada excessiva de nutrientes e uso abusivo de fármacos; do solo pela utilização indiscriminada dos efluentes líquidos como fertilizante e; do ar pela emissão de odores.

Diante deste cenário a definição de locais prioritários para o manejo considerando a susceptibilidade a transferência de poluentes para os sistemas aquáticos em regiões produtoras de suínos, poderia constituir num primeiro passo na tentativa de minimizar os impactos dessa atividade sobre os recursos naturais, principalmente solo e água.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geração do mapa de susceptibilidade a transferência de poluentes dos sistemas terrestres para os aquáticos para o município de Palmitinho permitiu a identificação dos locais prioritários para a gestão ambiental, sendo elas as granjas de suínos próximas aos cursos d'água (fontes pontuais de poluição) e, áreas agrícolas e de pastagens (fontes difusas de poluição) onde o dejetos líquido de suínos é aplicado como fertilizante, localizadas ao longo dos cursos d'água em área de preservação permanente e, em áreas agrícolas com declive acentuado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, M. G.; BURT, T. P. Toward more detailed field monitoring of variable source areas. **Water Resources Research**, v. 14, n. 6, p.1123-1131, 1978. <https://doi.org/10.1029/WR014i006p01123>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA. **Avicultura e suinocultura do Brasil: Produção e Exportação**. 2015. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/noticia/avicultura-e-suinocultura-do-brasil-producao-e-exportacao-previsoes-para-2015-e-2016-1478>>. Acesso em: 05 de jun. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL - ABPA. **Embarques de carne suína crescem 9,7% em 2015**. 2016. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/noticia/informes/press-releases/embarques-de-carne-suina-crescem-97-em-2015-1524>>. Acesso em: 05 de jun. 2016.

ASSIS, F. O. Bacia hidrográfica do rio Quilombo: dejetos de suínos e impactos ambientais. **RA'EGA**, n. 8, p. 107-122, 2004.

BARBOSA, C. C. F.; CÂMARA, G.; CORDEIRO, J. P. C.; NOVO, E. M. L. M. Operadores Zonais em Álgebra de Mapas e Sua Aplicação a Zoneamento Ecológico-Econômico. In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos. **Anais**, p. 487-500, 1998.

BARBOSA, C. C. F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - São Jose dos Campos, 1997.

BELLI, P.; CASTILHOS, A. B.; DA COSTA, R. H. R.; SOARES, S. R.; PERDOMO, C. C. Tecnologias para o tratamento de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 1, p. 166-170, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000100032>

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 28 de set. 2016.

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrological Sciences Bulletin**, v. 24, n. 1, p. 43-69, 1979. <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>

BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems.** New York: Oxford University Press, 1998.

CAPOANE, V.; TIECHER, T.; SCHAEFER, G. L.; ALVAREZ, J. W. R.; BURROW, R. A.; SANTOS, D. R. Avaliação da qualidade dos sedimentos de leito em uma bacia hidrográfica do noroeste do Rio Grande do Sul. **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 42, n. 2, p. 1-20, 2016.

CAPOANE, V.; TIECHER, T.; SCHAEFER, G. L.; CIOTTI, L. H.; SANTOS, D. R. Transferência de nitrogênio e fósforo para águas superficiais em uma bacia hidrográfica com agricultura e produção pecuária intensiva no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 45, n. 4, p. 647-650, 2015. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140738>

CAPOANE, V.; TIECHER, T.; SCHAEFER, G. L.; SANTOS, D. R. Impactos da suinocultura na qualidade da água da bacia hidrográfica do Arroio Caldeirão, Palmitinho, Rio Grande do Sul. **Brazilian Geographical Journal: geosciences and humanities research medium**, v. 5, n. 2, p. 494-509, 2014.

DE CONTI, L.; CERETTA, C. A.; FERREIRA, P. A. A.; LOURENZI, C. R.; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; MARCHEZAN, C.; ANCHIETA, M. G.; BRUNETTO, G. Soil solution concentrations and chemical species of copper and zinc in a soil with a history of pig slurry application and plant cultivation. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 216, p. 374-386, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.09.040>

EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL - EMATER. **Cadeia da suinocultura é debatida em Seminário Regional em Palmitinho.** 2014. Disponível em: <<http://www.emater.tche.br/site/noticias/detalhe-noticia.php?id=20468#.VenmuvIViko>>. Acesso em: 10 de fev. 2016.

FERREIRA, K. R.; CAMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. An Algebra for Spatiotemporal Data: From Observations to Events. **Transactions in GIS**, v. 18, n. 2, 253-269, 2013. <https://doi.org/10.1111/tgis.12030>

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S. Aproveitamento pelo milho do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em plantio direto e preparo reduzido do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 7, p. 761-768, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000700017>

HADLICH, G. M.; SCHEIBE, L. F. Dinâmica físico-química de águas superficiais em região de intensa criação de suínos: exemplo da bacia hidrográfica do rio Coruja-Bonito, município de Braço do Norte, SC. **Geochimica Brasiliensis**, v. 21, n. 3, p. 245-260, 2007.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, v. 106, n. 3-4, p. 211-232, 1989. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(89\)90073-5](https://doi.org/10.1016/0022-1694(89)90073-5)

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo agropecuário 2012.** 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2012/>>. Acesso em: 20 de jan. 2016.

KATO, T.; KURODA, K.; NAKASONE, H. Runoff characteristics of nutrients from an agricultural watershed with intensive livestock production. **Journal of Hydrology**, v. 368, n. 1-4, p. 79-87, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.01.028>

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A.; HIGARASHI, M. M.; SANGOI, V. Recomendações para uso de esterqueiras para armazenagem de dejetos de suínos. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves. **Comunicado Técnico**, n. 361, 2004.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; TIECHER, T. L.; LORENSINI, F.; CANCIAN, A.; STEFANELLO, L.; GIROTTO, E.; VIEIRA, R. C. B.; FERREIRA, P. A. A.; BRUNETTO, G. Forms of phosphorus transfer in runoff under no-tillage in a soil treated with successive swine effluents applications. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 187, n. 209, p. 1-16, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4437-2>

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; TIECHER, T. L.; VIEIRA, R. C. B.; CANCIAN, A.; FERREIRA, P. A. A. Pig slurry and nutrient accumulation and dry matter and grain yield in various crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n.3, p. 949-958, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000300027>

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H; RUHOFF, A. L. Utilização de métodos de representação espacial para cálculo do fator topográfico na equação universal de perda de solo revisada em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n.4, p. 1455-1462, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400041>

MIRANDA, C. R.; VARGAS, L. P.; SUZIN, A. G.; SPANEVELLO, R. M. Considerações sobre o termo de ajustamento de conduta da suinocultura na região do Alto Uruguai Catarinense. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 1, n. 1, p. 162-166, 2011.

OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. (PNMA II). Disponível em: http://www.cnpasa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_n3r85f3h.pdf. Acesso em: 10 de jul. 2016.

O'LOUGHLIN, E. M. Saturation regions in catchments and their relations to soil and topographic properties. **Journal of Hydrology**, v. 53, n. 3-4, p. 229-246, 1981. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(81\)90003-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(81)90003-2)

O'LOUGHLIN, E. M. Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. **Water Resources Research**, v. 22, n. 5, p. 794-804, 1986. <https://doi.org/10.1029/WR022i005p00794>

ROONEY, C. P.; ZHAO, F. J.; MCGRATH, S. P. Soil factors controlling the expression of copper toxicity to plants in a wide range of European soils. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 25, n. 3, p. 726-732, 2006. <https://doi.org/10.1897/04-602R.1>

SEGANFREDO, M. A. Uso de dejetos suínos como fertilizante e seus riscos ambientais. In: In: SEGANFREDO, M. A. (Coord.). **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 150-175.

SHARPLEY, A. N.; MCDOWELL, R. W.; WELD, J. L.; KLEINMAN, P. J. A. Assessing site vulnerability to phosphorus loss in an agricultural watershed. **Journal of Environmental Quality**, v. 30, p. 2026-2036, 2001. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.2026>

SILVA, C. L.; BASSI, N. S. S. Análise dos impactos ambientais no Oeste Catarinense e das tecnologias desenvolvidas pela Embrapa Suínos e Aves. **Informe Gepec**, v. 16, p. 128-143, 2012.

TOMLIN, D. **Geographic Information Systems and Cartographic Modeling**. New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1990.

VEIGA, T. C.; SILVA, J. X. Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais para atividades turísticas: o caso do Município de Macaé – RJ. In: SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. (Coord.). **Geoprocessamento & Análise ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, p.179-215.