

Indicadores geoespaciais para avaliação do impacto ambiental da suinocultura no licenciamento em âmbito municipal

Tiago Broetto⁽¹⁾, Carlos Gustavo Tornquist⁽¹⁾, Eliseu José Weber⁽²⁾, Ben-Hur Costa de Campos⁽³⁾, Camilo Grala Merten⁽¹⁾ e Júlio César Schneider⁽¹⁾

⁽¹⁾Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Faculdade de Agronomia, Departamento de Solos, Avenida Bento Gonçalves, nº 7.712, Agronomia, CEP 91540-000 Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: tiago.broetto@ufrgs.br, carlos.tornquist@ufrgs.br, camilograla@gmail.com, juliocezarschneider@hotmail.com ⁽²⁾UFRGS, Instituto de Biociências, Avenida Bento Gonçalves, nº 9.500, Agronomia, CEP 91501-970 Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: eliseu.weber@ufrgs.br ⁽³⁾Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Ibirubá, Rua Nelsi Ribas Fritsch, nº 1.111, Bairro Esperança, CEP 98200-000 Ibirubá, RS, Brasil. E-mail: ben-hur.campos@ibiruba.ifrs.edu.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi propor e avaliar indicadores geoespaciais para analisar o impacto ambiental da atividade suinícola no licenciamento em âmbito municipal. O estudo foi conduzido no Município de Quinze de Novembro, RS. Foram avaliados indicadores ambientais em glebas agrícolas e bacias hidrográficas. Uma base de dados geoespacial foi criada, com uso de Sistemas de Informações Geográficas e de levantamento sistemático dos suinocultores e das glebas que recebem dejetos líquidos de suínos, o que incluiu propriedades suinícolas, uso atual das terras, tipos de solos, rede de drenagem e modelo digital do terreno. Os indicadores geoespaciais obtidos com as ferramentas de geoprocessamento foram: áreas da bacia com aplicação de dejetos suínos; áreas de preservação permanente existentes e a serem recuperadas; taxa de aplicação de dejetos; declividade; resistência à degradação; distância entre glebas com aplicação de dejetos e curso d'água; largura da faixa com potencial de amortecimento para dejetos entre glebas e curso d'água; distância entre instalação suinícola e curso d'água; conflito de instalações com área de preservação; e áreas que requerem recuperação ambiental. A interpretação desses indicadores possibilita avaliar os impactos ambientais potenciais da atividade suinícola nas propriedades rurais e nas bacias em que estão localizadas, o que permite identificar os locais de maior risco e subsidiar o licenciamento ambiental da atividade.

Termos para indexação: bacia hidrográfica, dejetos de suínos, poluição das águas, poluição do solo.

Geospatial indicators to evaluate the environmental impact of swine production on licensing at municipal level

Abstract – The objective of this work was to propose and evaluate geospatial indicators to analyze the environmental impact of swine production on licensing at municipal level. The study was conducted in the municipality of Quinze de Novembro, in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. Environmental indicators in farmlands and watersheds were evaluated. A geospatial database was created using Geographic Information Systems and a systematic survey of swine farmers and farmlands receiving pig slurry, which included swine farms, current land use, soil types, drainage net, and digital elevation model. The geospatial indicators obtained with the geoprocessing tools were: watershed areas with application of swine slurry; areas of permanent preservation and for recovery; application rate of swine slurry; slope; resistance to degradation; distance between farmlands with swine slurry application and watercourse; width of potential buffer zone between farmlands and watercourse; distance between swine barns and watercourse; conflict between facilities and preservation areas; and areas that need environmental recovery. The interpretation of these indicators enables evaluating the potential environmental impacts of swine production in farmlands and watersheds where they are located, which allows to identify the locations with greater risks and to aid the environmental licensing of this activity.

Index terms: watershed, swine slurry, water pollution, soil pollution.

Introdução

A suinocultura é uma atividade de grande importância econômica para o Brasil, que, atualmente, é o quarto maior exportador de carne suína no

mundo, com 3,0 milhões de toneladas consumidas internamente e 505 mil toneladas exportadas em 2014. Os Estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul são responsáveis por 67% da produção total (Associação Brasileira de Proteína Animal, 2015).

No entanto, essa atividade tem sido historicamente ligada a impactos ambientais relevantes associados à produção de dejetos e odores. Estima-se a produção de, em média, 7,0 a 8,0 L de dejetos líquidos por suíno por dia (Diesel et al., 2002; Bordin et al., 2005); estes resíduos apresentam alto potencial poluidor, em razão do alto teor de microrganismos, matéria orgânica lábil e N e P (Diesel et al., 2002).

A aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) em solos agrícolas é a destinação final recomendada para o licenciamento ambiental da atividade suinícola. Entretanto, a utilização continuada de altos volumes de DLS em solos pode causar acúmulo de macro e micronutrientes nas camadas mais superficiais, com risco de provocar desequilíbrios nutricionais em cultivos mais suscetíveis, além de elevar o risco de contaminação das águas superficiais pelo escoamento superficial (Allen & Mallarino, 2008; Giroto et al., 2010a).

Em geral, estudos ambientais da suinocultura são conduzidos no Sul do Brasil, em escala de bacia hidrográfica, com abrangência municipal ou regional, e visam relacionar aspectos produtivos, socioeconômicos e biogeofísicos com impactos ambientais da aplicação de DLS em solos agrícolas (Seganfredo, 2007; Miranda, 2007; Rech et al., 2008). Contudo, a inexistência de informação detalhada, especialmente explícita, com a localização das propriedades e a identificação das glebas agrícolas, confere a esses estudos caráter sinótico, o que limita sua aplicabilidade para fins de licenciamento ambiental da atividade. De acordo com Seganfredo (2007), a concentração de propriedades suinícolas em certas localidades dentro dos municípios pode criar zonas de alto risco ambiental; portanto, os impactos ambientais locais podem ser subestimados ou até ignorados em análise que não considere a localização de propriedades e glebas com aplicação de DLS.

Normas ambientais estaduais específicas para a atividade suinícola (Fundação Estadual de Proteção Ambiental, 2014; Fundação do Meio Ambiente, 2014) impõem restrições e condicionantes que devem ser consideradas no licenciamento da atividade. Além disso, a revisão recente de uma das principais leis ambientais, a Lei nº 12.272/2012 (Brasil, 2012), mais conhecida como Novo Código Florestal (NCF), estabelece critérios adicionais.

O objetivo deste trabalho foi propor e avaliar indicadores geoespaciais para analisar o impacto ambiental da atividade suinícola no licenciamento em âmbito municipal.

Material e Métodos

O estudo foi realizado no município de Quinze de Novembro (28°44'31"S, 53°5'36"W), localizado na região do Planalto do Rio Grande do Sul (Figura 1). O clima, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, subtropical úmido com verão quente, com temperatura média anual de 18°C e precipitação total anual de 1.750 mm (Moreno, 1961). A geologia compreende principalmente basaltos da Formação Serra Geral e conglomerados da Formação Tupanciretã, e o relevo predominante é ondulado a suave-ondulado (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1986). Os solos principais são o Latossolo Vermelho e a associação Neossolo Regolítico/Chernossolo Argilúvico (Santos et al., 1970; Tornquist, 2007). A vegetação original, predominantemente Floresta Ombrófila Mista, foi removida, em grande parte, para produção agrícola intensiva a partir de 1902. Atualmente, mais de 70% da área não inundada do município apresenta uso agrícola, com cultivo principalmente de soja e milho no verão e de aveia e trigo no inverno, em sistema plantio direto (Tornquist, 2007). Além das culturas anuais, a produção leiteira baseada em pastagens perenes de *Cynodon* sp. 'Tifton 85' apresenta importância econômica para a região (Broetto et al., 2014).

A consulta às licenças ambientais concedidas pelos órgãos licenciadores municipais e estaduais revelou que a suinocultura em Quinze de Novembro vem sendo empreendida em 16 estabelecimentos, o que totaliza rebanho de 4.120 suínos em criação e de 7.475 em terminação; esses são os dados médios de 2012, que correspondem à capacidade máxima de alojamento de suínos até o presente. A aplicação de DLS foi realizada em glebas próprias dos suinocultores ou de vizinhos.

A etapa inicial consistiu no processamento e na análise dos seguintes dados geoespaciais disponíveis, executados no programa ArcGIS, versão 10.2 (Esri, Redlands, CA, EUA): nascentes e rede de drenagem extraídas de cartas topográficas na escala 1:50.000 (Hasenack & Weber, 2010); limites municipais (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010); modelo digital do terreno (MDT) do "Shuttle Radar

Topography Mission” (SRTM), com resolução espacial de 30 m (Rabus et al., 2003); mapa do levantamento semidetalhado de solos, publicado na escala 1:30.000 (Santos et al., 1970) e vetorizado por Tornquist (2007); e mosaico georreferenciado e ortoretificado de imagens orbitais de alta resolução obtidas por fusões das bandas multiespectrais e pancromáticas de imagens dos satélites QuickBird e GeoEye, adquiridas entre 2013 e 2015 e disponibilizadas gratuitamente na coleção de dados básicos do ArcGIS.

Nessa etapa de geoprocessamento, foram estruturadas informações geoespaciais básicas (Tabela 1). As glebas agrícolas e os fragmentos de vegetação original (matas) foram delimitados manualmente mediante interpretação visual das imagens de satélite na escala 1:5.000, para elaboração de um mapa de uso atual do

solo com legenda simplificada (áreas agrícolas, matas e área urbana). As bacias hidrográficas do município foram delimitadas de forma automatizada no ArcGIS, tendo-se utilizado a função Watershed do módulo Spatial Analyst, a partir do MDT; em seguida, os limites, no arquivo vetorial obtido, foram suavizados e corrigidos manualmente com base na rede de drenagem previamente atualizada. Aspectos atuais da legislação ambiental, como áreas de preservação permanente (APP), áreas consolidadas e áreas degradadas a serem recuperadas, conforme o NCF, também foram delimitadas com uso da função Buffer no ArcGIS. Os critérios para recuperação de APP ripárias, de acordo com o NCF, tomaram como referência a área da propriedade e a extensão transversal do curso d’água, que foi, no mínimo, de 5,0 m a partir das margens, para

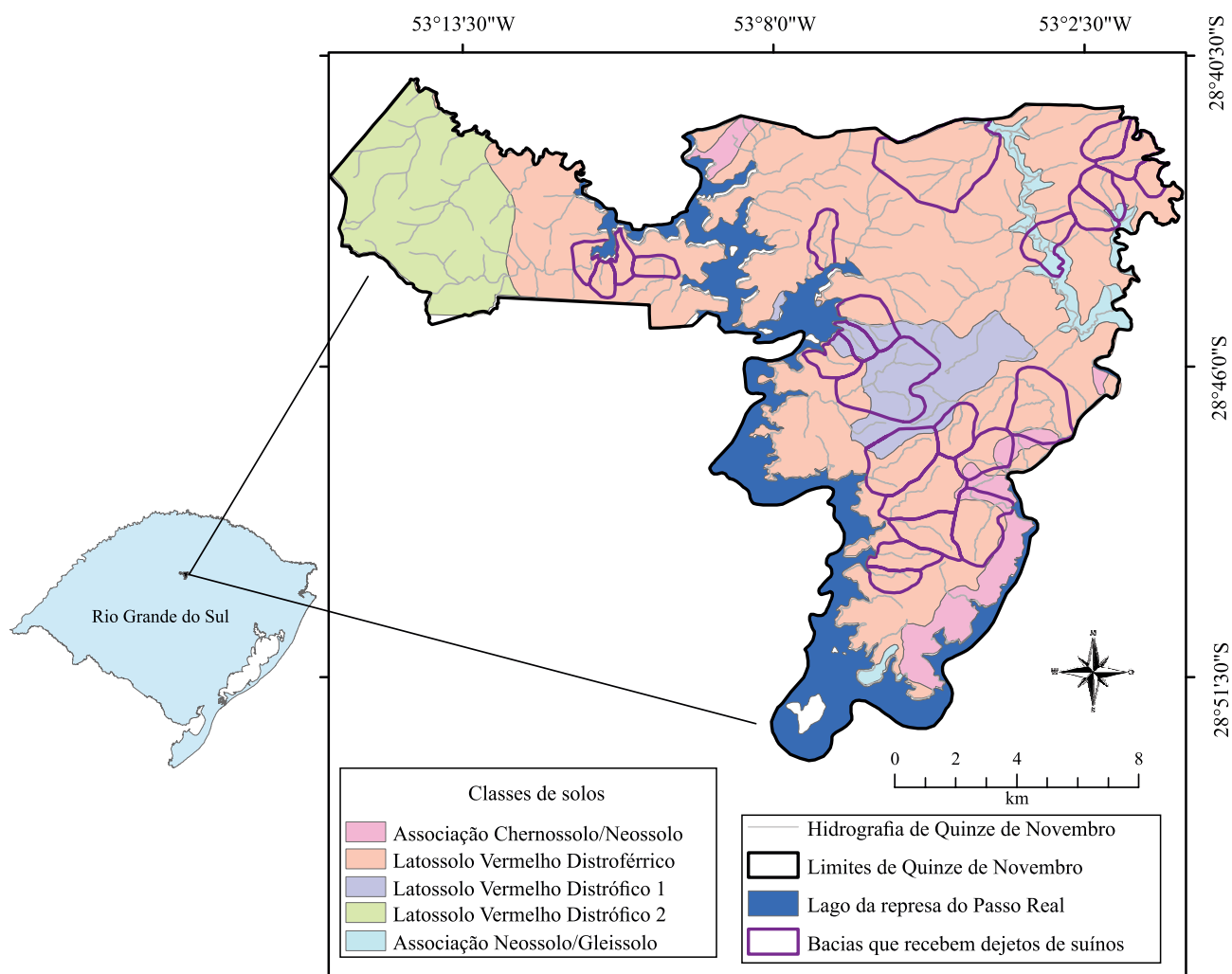


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, no Município de Quinze de Novembro, RS, com os limites das classes de solos (Santos et al., 1970) e os limites das bacias que recebem dejetos líquidos de suínos (DLS).

pequenas propriedades que predominam na região de estudo.

Na segunda etapa, realizou-se um levantamento in situ de todos os suinocultores licenciados no município, que incluiu a atualização da população de suínos cadastrada em 2012. Também foram localizadas, com GPS de navegação, as lagoas de tratamento dos DLS (“esterqueiras”) e das glebas com aplicação de dejetos. O volume anual de DLS produzido nas propriedades foi estimado a partir do valor de referência proposto por Bordin et al. (2005), de 7,5 L de dejetos líquidos por suíno por ano, o qual pondera a produção de dejetos por categoria animal (criação e terminação) em 300 dias de alojamento.

Resultados e Discussão

A disponibilidade de dados geospaciais na Região Sul do Brasil permitiu desenvolver indicadores espacialmente explícitos, de fácil obtenção, para apoiar a avaliação do potencial impacto ambiental causado pela aplicação de DLS, no licenciamento da atividade suinícola.

Os resultados obtidos na análise das bacias com produção de suínos são indicativos da predominância de área com uso agrícola (IM1) (Tabela 2), o que implica em outros impactos ambientais potenciais pré-existentes, normalmente associados à agricultura intensiva, como degradação dos solos e perda de solo, nutrientes e biodiversidade. Nesse contexto, a aplicação de DLS atinge área pouco expressiva em relação à área total (IM2) ou até mesmo à área agrícola efetivamente cultivada nas bacias (IM3), o que minimiza o potencial de contaminação das águas superficiais por poluição difusa, inclusive por DLS. Também fica evidente a necessidade de adequação ao NCF, uma vez que as APP originais foram, em parte, degradadas ao longo de décadas de exploração agrícola e requerem recuperação ambiental (IM4 e IM5). No entanto, somente uma pequena parte dessas áreas a serem recuperadas atualmente recebe DLS (IM6), o que sugere que as ações de recuperação previstas no NCF não dificultarão o manejo dos DLS produzidos.

O indicador IG1 avalia a quantidade média anual de aplicação de DLS em cada estabelecimento suinícola

Tabela 1. Dados geográficos e ambientais do Município de Quinze de Novembro, RS, e das bacias afetadas pela produção suinícola.

Dados	Área (ha)
Município	
Área	22.350
Área com uso agrícola	14.060
Área com fragmentos florestais, vegetação em estágio avançado de sucessão natural e reflorestamento	3.276
Área de preservação permanente (APP) existente ⁽¹⁾ :	
30 m	2.547
5,0 m	302
Área agrícola consolidada	1.551
APP total a ser recuperada	155
Bacias com produção comercial de suínos:	
Área	4.848
Área com uso agrícola	3.464
Área com fragmentos florestais, vegetação em estágio avançado de sucessão natural e reflorestamento	831
Área com aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS)	501
APP existente:	
30 m	477
5,0 m	67
Área agrícola consolidada	289
APP total a ser recuperada	33
Área com aplicação de DLS a ser recuperada	1.5

⁽¹⁾Todos os cursos d'água foram considerados como tendo secção transversal menor ou igual a 10 m, e, portanto, com APP ripária de, no mínimo, 30 m, de acordo com o Novo Código Florestal (Brasil, 2012). Parte significativa das APP mapeadas não alcançaram os 30 m requeridos, por estarem com atividades agrícolas, e foram consideradas áreas agrícolas consolidadas. Neste caso, foram calculados os remanescentes da vegetação original até 5,0 m.

(Tabela 3). A taxa de aplicação de DLS por área é um parâmetro que pode ser utilizado no licenciamento da suinocultura, e há evidências de que taxas de aplicação de DLS superiores a $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ por ano podem ser impactantes (Ceretta et al., 2005; Giroto et al., 2010b; Mattias et al., 2010). A média calculada para as glebas em Quinze de Novembro ($62,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ por ano) é considerada adequada, mas foram detectadas glebas que receberam carga anual de $140 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ por ano, com elevado risco ambiental.

Para avaliar, de forma mais abrangente, o aspecto edáfico, no presente trabalho, incorporou-se um indicador categórico que classifica a gleba quanto à resistência à degradação pela aplicação de DLS (IG2), como em Kämpf et al. (2008). Essa classificação interpretativa pode ser desenvolvida para qualquer região a partir de levantamentos de solo, de acordo

com os critérios explicitados em Kämpf et al. (2008). No caso da região de estudo, após a reclassificação do levantamento de solos original de Santos et al. (1970), a maioria dos solos (latossolos vermelhos) nas glebas utilizadas para disposição de DLS foram classificados como de alta resistência a impactos ambientais. Latossolos vermelhos distróficos com horizonte superficial franco-arenoso e outras classes de solos, como chernossolos e neossolos, ocupam aproximadamente 1.500 ha (7% da área municipal e 18% das glebas com aplicação de DLS) e são enquadrados como de média resistência a impactos ambientais. Esses solos apresentam, portanto, maior risco de degradação e demandariam monitoramento constante; assim, a aplicação de DLS não é recomendada.

Outro indicador proposto foi a declividade média da gleba (IG3), um dos fatores determinantes do potencial

Tabela 2. Indicadores ambientais em escala de bacias com suinocultura, em estudo de caso para avaliação do impacto ambiental potencial da atividade suinícola, no município de Quinze de Novembro, RS.

Indicador	Descrição	Porcentagem (%)
IM1	Área com uso agrícola nas bacias	71
IM2	Área nas bacias com aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS)	10
IM3	Área agrícola nas bacias com aplicação de DLS	14
IM4	Áreas de preservação permanente (APP) originais de 30 m nas bacias e que requerem recuperação ambiental	26
IM5	APP originais de 5,0 m nas bacias e que requerem recuperação ambiental	66
IM6	APP a ser recuperadas e que atualmente recebem DLS	8

Tabela 3. Indicadores de impactos ambientais em gleba agrícola (lavoura) com aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS), no Município de Quinze de Novembro, RS.

Indicador	Descrição	Estatística			
		Média	DP	Max.	Mín.
IG1	Taxa de aplicação de DLS ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ por ano)	62	36	144	12
IG2	Classificação da gleba quanto à resistência à degradação pela aplicação de DLS	A	NA	A	B
IG3	Declividade (%)	5,9	2,4	8,5	3,5
IG4	Distância entre o centroide da gleba e o curso d'água mais próximo (m)	187	149	754	4
IG5	Distância entre o limite da gleba com aplicação de DLS e o curso d'água mais próximo (m)	58	106	626	0
IG6	Largura da faixa com potencial de amortecimento para DLS entre a gleba e o curso d'água mais próximo (m)	49	62	286	5
IG7	Distância entre a instalação suinícola e o curso d'água mais próximo (m)	183	144	586	36
IG8	Conflito entre as instalações atuais ⁽¹⁾ e as áreas de preservação permanente (ha)	0,3	0,4	1,0	0,0
IG9	Áreas com aplicação de DLS e que requerem recuperação ambiental (ha)	0,2	0,4	1,7	0,0

⁽¹⁾Ao se considerar a situação mais usual de empreendimento de pequeno porte. DP, desvio-padrão; Max., máximo; Mín., mínimo; A, alta; e B, baixa. NA, não se aplica.

de escoamento superficial e erosão hídrica. Na região de estudo, as glebas que recebem DLS tem declividade entre 3,5 e 8,5% (Tabela 3), o que, a priori, indicaria baixa suscetibilidade à ocorrência de erosão (Ramalho Filho & Beek, 1995). Entretanto, eventos extremos de precipitação logo após a aplicação dos DLS nos solos poderão carrear nutrientes e contaminantes com coliformes para os cursos d'água; desse modo, indicadores que relacionem a distância entre as glebas com aplicação de DLS e os cursos d'água são úteis. Em geral, quanto maior essa distância, maior a probabilidade de atenuação da carga poluidora dos DLS por outros usos das terras, que podem funcionar como zonas de amortecimento no ambiente ripário (Lovell & Sullivan, 2006).

Como glebas agrícolas normalmente apresentam geometria variável, desde formas retangulares até poligonais, inclusive com lados curvilíneos, essa avaliação pode ser de difícil execução. Para avaliar esse aspecto posicional, foram utilizados o centroide da gleba que recebeu DLS (IG4) e a menor distância entre o limite da gleba e o curso d'água mais próximo (IG5). Os valores calculados indicam situações de maior risco de transporte dos DLS por escoamento superficial até a rede de drenagem. Por exemplo, o IG5 com valor 0 indica gleba com aplicação de DLS que se estende até a margem do curso d'água (Tabela 3). A intersecção da linha de menor distância (IG5) e o mapa de uso atual das terras com a localização dos fragmentos de vegetação nativa permitem estimar, de maneira simplificada, a ocorrência de faixas de amortecimento “naturais” (IG6). É importante considerar que a aplicação desses indicadores não prescinde de inspeção local, gleba a gleba, pois, eventualmente, podem ocorrer episódios de fluxo preferencial dentro das áreas de amortecimento.

O IG7 representa a distância entre a instalação suinícola e o curso d'água mais próximo, i.e., as lagoas de tratamento anaeróbio (esterqueiras), onde são armazenados DLS por intervalos de semanas até meses. Esterqueiras muito próximas aos cursos d'água apresentam risco de contaminação das águas superficiais no caso de acidentes, como transbordamento ou perdas de DLS no carregamento dos tanques distribuidores. O IG7 pode ser interpretado diretamente à luz das diretrizes ambientais nos estados da Região Sul do Brasil (Fundação do Meio Ambiente, 2014; Fundação Estadual de Proteção Ambiental, 2014). A média das propriedades da região para

esse indicador foi 183 m, o que indicaria instalações em acordo com a norma vigente, que estabelece, no mínimo, 25 m para empreendimentos pequenos e 100 m para médios (Fundação Estadual de Proteção Ambiental, 2014). Porém, essa abordagem mostrou pelo menos uma propriedade com valor extremo de 36 m entre esterqueira e curso d'água, o que corrobora a recomendação de Seganfredo (2007) da necessidade de análises mais detalhadas. O mapa de uso atual das terras também permitiu identificar instalações de produção (galpões) existentes até 2008 que ocupavam as APP, definidas como áreas “consolidadas” de acordo com o NCF. O IG8, que indica o conflito entre as instalações atuais e as APP, mostra que as propriedades com produção de suínos em Quinze de Novembro têm necessidade de intervenção mínima, já que atingem, no máximo, 1,0 ha de APP. Finalmente, o indicador IG9 identifica a área em conflito existente, estimada em 0,2 ha, em média, para as glebas, tendo atingido máximo de 1,7 ha. Com esse conflito de uso, as glebas ou suas frações não devem mais receber aplicação de DLS, ao se considerar que estas áreas deverão ser recuperadas com a implementação dos Planos de Recuperação Ambiental estaduais previstos no NCF.

Para o licenciador ambiental, esse estudo traz produtos que explicitam aspectos ambientais importantes, ao comunicar os resultados obtidos de forma mais intuitiva e rápida, com destaque tanto para os mapas que localizam as bacias e as propriedades (delimitadas pelas glebas com aplicação de DLS) sobrepostas a temas como vegetação, solos, risco de degradação e conflitos com o NCF (Figura 2); quanto para as planilhas de resultados que explicitam todos os indicadores calculados por bacia (ex.: área agrícola da bacia com aplicação de DLS) e por gleba (ex.: taxa de aplicação de DLS), que permitem identificar situação de maior risco de poluição. Essa análise sugere a necessidade de um exame detalhado das glebas com valores extremos, nas quais a aplicação de DLS poderia ser restringida ou até mesmo vetada.

Para dar continuidade ao presente trabalho, estão previstos o refinamento e a validação desses indicadores em outros municípios. Isso permitirá a consolidação de um protocolo espacialmente explícito para apoio à tomada de decisão no processo de licenciamento ambiental da suinocultura, em particular ao se considerar cenários futuros de expansão da atividade, de grande utilidade para os órgãos licenciadores municipais ou estaduais.

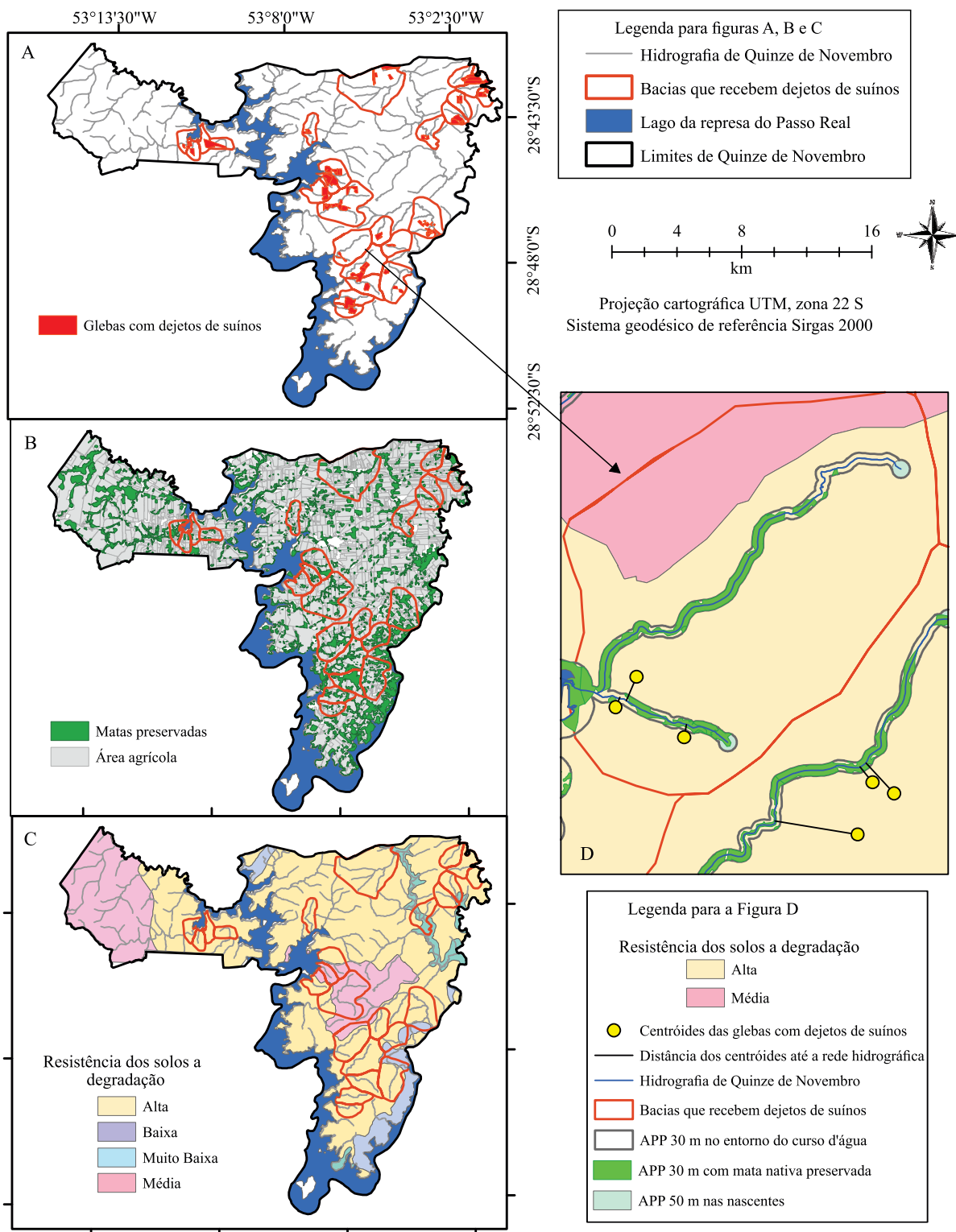


Figura 2. Mapas do Município de Quinze de Novembro, RS: A, glebas com aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS) nas bacias onde ocorre a atividade suinícola; B, uso atual do solo no município, com localização das bacias onde ocorre a atividade suinícola; C, classificação interpretativa da resistência dos solos aos impactos ambientais causados pela aplicação de DLS; e D, ampliação (“zoom”) de uma bacia com visualização dos dados geoespaciais utilizados. APP, áreas de preservação permanente.

Conclusões

1. A partir de dados geoespaciais básicos, é possível desenvolver indicadores para avaliar os impactos ambientais potenciais da suinocultura em propriedades rurais e nas bacias hidrográficas em que estão localizadas.

2. Os indicadores propostos identificam os locais de maior potencial de impacto ambiental causado pela aplicação dos dejetos líquidos suínos.

3. Os indicadores avaliados podem efetivamente subsidiar o licenciamento ambiental nos municípios onde a suinocultura é uma atividade importante.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), ao Departamento de Solos e ao Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e ao Instituto Federal Rio Grande do Sul (IFRS), pelos recursos disponibilizados e pelo apoio; e à Secretaria de Agricultura e Pecuária (Seapa) do Rio Grande do Sul, à Prefeitura de Quinze de Novembro e aos produtores rurais do município, pela colaboração.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual**. São Paulo: ABPA, 2015. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/files/RelatorioAnual_UBABEF_2015_DIGITAL.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2014.
- ALLEN, B.L.; MALLARINO, A.P. Effect of liquid swine manure rate, incorporation, and timing of rainfall on phosphorus loss with surface runoff. **Journal of Environmental Quality**, v.37, p.125-137, 2008. DOI: 10.2134/jeq2007.0125.
- BORDIN, R.A.; PEREIRA, C.A.D.; EBOLI, M.; ARTILHEIRO, R.; FREITAS, C. A produção de dejetos e o impacto ambiental da suinocultura. **Revista de Ciências Veterinárias**, v.3, p.1-4, 2005.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 maio 2012.
- BROETTO, T.; TORNQUIST, C.G.; BAYER, C.; CAMPOS, B.C.; MERTEN, C.G.; WOTTRICH, B. Soils and surface waters as affected by long-term swine slurry application in oxisols of southern Brazil. **Pedosphere**, v.24, p.585-594, 2014. DOI: 10.1016/S1002-0160(14)60044-8.
- CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; VIEIRA, F.C.B.; HERBES, M.G.; MOREIRA, I.C.L.; BERWANGER, A.L. Dejeito líquido de suínos: I – perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.35, p.1296-1304, 2005. DOI: 10.1590/S0103-84782005000600011.
- DIESEL, R.; MIRANDA, C.R.; PERDOMO, C.C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves; Porto Alegre: Emater/RS, 2002. 30p. (Boletim informativo de pesquisa, 14).
- FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. **Instrução normativa nº 11**. Suinocultura. Out. 2014. Disponível em: <<http://www.fatma.sc.gov.br/conteudo/instrucoes-normativas>>. Acesso em: 29 jul. 2014.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (RS). **Critérios técnicos para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à suinocultura**. Porto Alegre: Fepam, 2014. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/diret_suinos_novos.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2014.
- GIROTTO, E.; CERETTA, C.A.; SANTOS, D.R. dos; BRUNETTO, G.; ANDRADE, J.G. de; ZALAMENA, J. Formas de perdas de cobre e fósforo em água de escoamento superficial e percolação em solo sob aplicações sucessivas de dejeito líquido de suínos. **Ciência Rural**, v.40, p.1948-1954, 2010b. DOI: 10.1590/S0103-84782010005000141.
- GIROTTO, E.; CERETTA, C.A.; BRUNETTO, G.; SANTOS, D.R. dos; SILVA, L.S. da; LOURENZI, C.R.; LORENSINI, F.; VIEIRA, R.C.B.; SCHMATZ, R. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejeito líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.955-965, 2010a. DOI: 10.1590/S0100-06832010000300037.
- HASENACK, H.; WEBER, E. (Org.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Ecologia, 2010. 1 DVD-ROM. (Série geoprocessamento, 3). Escala 1:50.000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim**: geologia, geomorfologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1986. [CD-ROM]. (Levantamento de recursos naturais, 33).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Bases cartográficas**: malhas municipais. 2010. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/mapas-municipais>>. Acesso em: 18 fev. 2014.
- KÄMPF, N.; GIASSON, E.; INDA JUNIOR, A.V.; NASCIMENTO, P.C. do; RODRIGUES, A.L.M.; ANGHINONI, M. da C.M.; FERRARO, L.W.; BINOTTO, R.B.; SANBERG, J.R.D. Metodologia para classificação de solos quanto à resistência a impactos ambientais decorrentes da disposição final de resíduos. **Fepam em Revista**, v.2, p.11-17, 2008.
- LOVELL, S.T.; SULLIVAN, W.C. Environmental benefits of conservation buffers in the United States: evidence, promise, and open questions. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.112, p.249-260, 2006. DOI: 10.1016/j.agee.2005.08.002.
- MATTIAS, J.L.; CERETTA, C.A.; NESI, C.N.; GIROTTO, E.; TRENTIN, E.E.; LOURENZI, C.R.; VIEIRA, R.C.B.

Copper, zinc and manganese in soils of two watersheds in Santa Catarina with intensive use of pig slurry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.1445-1454, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000400040.

MIRANDA, C.R. Aspectos ambientais da suinocultura brasileira. In: SEGANFREDO, M.A. (Ed.). **Gestão ambiental na suinocultura**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p.13-36.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42p.

RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. The shuttle radar topography mission – a new class of digital elevation models acquired by space borne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.57, p.241-262, 2003. DOI: 10.1016/S0924-2716(02)00124-7.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1995. 65p.

RECH, C.; SHOENHALS, M.; FOLLADOR, F.A.C. Avaliação da capacidade de suporte para a atividade de suinocultura em uma microbacia hidrográfica do sudoeste do Paraná tendo em vista a prevenção da degradação ambiental. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v.5, p.220-233, 2008.

SANTOS, M.C.L.; KLAMT, E.; KAMPF, N.; ABRÃO, P.U.R.; AZOLIM, M.A. **Levantamento e utilização dos solos do município de Ibirubá**. Porto Alegre: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária, 1970.

SEGANFREDO, M.A. Indicadores de pressão ambiental no uso de dejetos suínos como fertilizante do solo e análise de sua aplicabilidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINÁRIOS ESPECIALISTAS EM SUÍNOS, 13., 2007, Florianópolis. **Anais**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2007.

TORNQUIST, C.G. **Simulação da dinâmica do carbono orgânico do solo em escala regional**: aplicação do Modelo Century e sistemas de informações geográficas. 2007. 156p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Recebido em 10 de fevereiro de 2014 e aprovado em 24 de agosto de 2015