

Inteligência territorial aplicada ao manejo de resíduos da pecuária



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Territorial
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

DOCUMENTOS 137

Inteligência territorial aplicada ao manejo de resíduos da pecuária

*José Dílcio Rocha
Marcelo Fernando Fonseca
Marcelo Miele
Cláudio Rocha de Miranda
Cícero Juliano Monticelli
Eduardo Lando Bernardo
Gabriel de Andrade Vieira
Rafael Souza Pedrão*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Territorial
Av. Soldado Passarinho, nº 303
Fazenda Chapadão
13070-115, Campinas, SP
Fone: (19) 3211.6200
www.embrapa.br/territorial
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Territorial

Presidente
Luciôla Alves Magalhães

Secretária-executiva
Bibiana Teixeira de Almeida

Membros
Ângelo Mansur Mendes, José Dilcio Rocha, Lauro Rodrigues Nogueira, Suzi Carneiro, Vera Viana dos Santos Brandão, André Luiz dos Santos Furtado, Gustavo Spadotti Amaral Castro e Paulo Augusto Vianna Barroso

Supervisão editorial
Suzi Carneiro e Bibiana Teixeira de Almeida

Revisão de texto
Bibiana Teixeira de Almeida

Normalização bibliográfica
Vera Viana dos Santos Brandão

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica e tratamento das ilustrações
Suzi Carneiro

Ilustração da capa
Imagens de: Nádía Morés, Julio Gomes Filho, Evandro Carlos Barros e José Dilcio Rocha

1ª edição
1ª impressão (2021): versão on-line

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Territorial

Inteligência territorial aplicada ao manejo de resíduos da pecuária / José Dilcio Rocha... [et al.]. - Campinas: Embrapa Territorial, 2021.
49 p.: il. ; (Documentos / Embrapa Territorial, ISSN 0103-7811; 137).

1. Biodigestor. 2. Biofertilizante. 3. Biogás. 4. Produção animal. I. Rocha, José Dilcio. II. Fonseca, Marcelo Fernando. III. Miele, Marcelo. IV. Miranda, Claudio Rocha de. V. Monticelli, Cícero Juliano. VI. Bernardo, Eduardo Lando. VII. Vieira, Gabriel de Andrade. VIII. Pedrão, Rafael Souza. IX. Série.

CDD 665.776

Autores

José Dilcio Rocha

Engenheiro químico, doutor em Engenharia Mecânica, pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas, SP

Marcelo Fernando Fonseca

Geógrafo, doutor em Análise Ambiental e Dinâmica Territorial, analista da Embrapa Territorial, Campinas, SP

Marcelo Miele

Economista, doutor em Agronegócios, pesquisador na Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC

Cláudio Rocha de Miranda

Engenheiro agrônomo, doutor em Engenharia Ambiental, pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC

Cícero Juliano Monticelli

Agrônomo, mestre em Zootecnia, pesquisador na Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC

Eduardo Lando Bernardo

Biólogo, Engenheiro Sanitarista e Ambiental, doutor em Engenharia Ambiental, analista ambiental da Ekodata Tecnologia e Saneamento Ambiental, Concórdia, SC

Gabriel de Andrade Vieira

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária, estagiário da Embrapa Territorial, Campinas, SP

Rafael Souza Pedrão

Graduando em Ciências Econômicas, bolsista na Embrapa Territorial, Campinas, SP

Apresentação

A Embrapa Territorial, Unidade temática da Embrapa, gera soluções de inteligência, gestão e monitoramento territorial para a agricultura brasileira. Com os resultados de seus projetos e ações, a Unidade apoia a elaboração e a aplicação de políticas públicas e privadas, desde a escala municipal até a nacional.

O desenvolvimento e a aplicação de métodos, técnicas e procedimentos de inteligência territorial permitem detectar, identificar, qualificar, cartografar, prever e monitorar a dinâmica tecnológica das atividades agrícolas, pecuárias, florestais e ambientais em nível local, regional e nacional. Grandes bancos de dados sobre a atribuição, o uso e a ocupação das terras foram estruturados e estão operacionais na Embrapa Territorial.

As equipes multidisciplinares da Embrapa Territorial no atendimento às demandas dos atores do agro, fazem amplo uso de geotecnologias para gerar, integrar e analisar informações de diversas fontes e naturezas, em bases territoriais e em diversas escalas temporais. Há mais de 30 anos, suas pesquisas ampliam o conhecimento do mundo rural brasileiro, identificam desafios tecnológicos e oportunidades para intensificação sustentável da agropecuária.

Nesse contexto se insere esta publicação ao oferecer para a sociedade soluções tecnológicas para a produção e o uso integrado de biogás e biofertilizantes orgânicos e organominerais a partir de dejetos animais nos diferentes sistemas de produção agropecuários, visando estratégias de desenvolvimento sustentável com foco em agricultura de baixo carbono.

Boa leitura!

Evaristo Eduardo de Miranda
Chefe-Geral da Embrapa Territorial

Sumário

Apresentação	7
Introdução	11
Material e Métodos	14
Resultados e Discussão	16
Planos de informação para o diagnóstico da área	17
Portal Nacional de Licenciamento Ambiental (PNLA)	27
Proposta de estudo técnico e econômico	39
Abordagem holística para estudos de manejo de dejetos.	46
Conclusões	47
Referências	48

Introdução

A escala de produção de suínos e o grau de diversificação dos estabelecimentos agropecuários com a produção vegetal alteram a relação entre rebanho suíno e área agrícola e, em conjunto com a densidade dos rebanhos em uma sub-bacia hidrográfica ou região, determinam, em grande parte, o manejo dos dejetos e a escolha das tecnologias de tratamento.

A armazenagem dos dejetos em esterqueira e sua posterior aplicação no solo como biofertilizante, com o uso de trator-tanque, caminhão-tanque ou sistemas de fertirrigação, é a estratégia predominante de manejo dos dejetos da suinocultura no Brasil e na maioria dos países produtores. Outras estratégias envolvem rotas sólidas, por meio da compostagem, e rotas líquidas, por meio da biodigestão. Em todas essas estratégias é fundamental observar as boas práticas de recomendação de adubação para aplicação no solo, seja em áreas agrícolas próprias ou de terceiros. A compostagem automatizada de dejetos é uma tecnologia que permite o uso do composto orgânico em lavouras próprias ou, quando há necessidade de exportação dos excedentes, sua venda ou doação para terceiros. Por sua vez, a biodigestão permite a geração de energia térmica e elétrica a partir da queima do biogás, mas requer áreas agrícolas para a aplicação dos efluentes.

Outras tecnologias, como os equipamentos para a separação dos dejetos (fases líquida e sólida) e lagoas e sistemas de tratamento, devem ser consideradas em situações específicas, geralmente nos casos de grandes suinocultores sem área agrícola para absorver dejetos e localizados em regiões com alta concentração de rebanhos (Kunz et al., 2014; Barros et al., 2015; Brasil, 2016; Corrêa, 2016).

Este estudo integra o projeto Tecnologias para Produção e Uso de Biogás e Fertilizantes a partir do Tratamento de Dejetos Animais no Âmbito do Plano ABC1¹, da Rede BiogásFert, que visa oferecer para a sociedade soluções tecnológicas para a produção e o uso integrado de biogás e biofertilizantes orgânicos e organominerais a partir de dejetos animais nos diferentes sistemas de produção agropecuários, visando estratégias de desenvolvimento sustentável com foco em agricultura de baixo carbono.

O município de Concórdia, SC, é reconhecidamente grande produtor de suínos. A região da Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Frágoso (SBHLF) foi estudada nesta pesquisa e pertence à mesorregião Oeste Catarinense (Figura 1). A SBHLF integra a Bacia Hidrográfica do Rio Jacutinga, entre as coordenadas geográficas 27°15'41,86" S e 27°12'31,95" S e 52°12'23,48" W e 52°1'47,79" W, e apresenta uma área de drenagem de aproximadamente 60 km², o que corresponde a 7,5% da área total do município. A Figura 2 destaca a SBHLF.

A sub-bacia, em que pese estar sofrendo um acelerado processo de transformação no uso e na ocupação das terras, provocado pelo crescimento da área urbana do município de Concórdia, caracteriza-se pelo predomínio de pequenos estabelecimentos agrícolas familiares que se dedicam principalmente à produção de suínos, bovinos leiteiros e aves de corte.

¹ Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/biogasfert>.

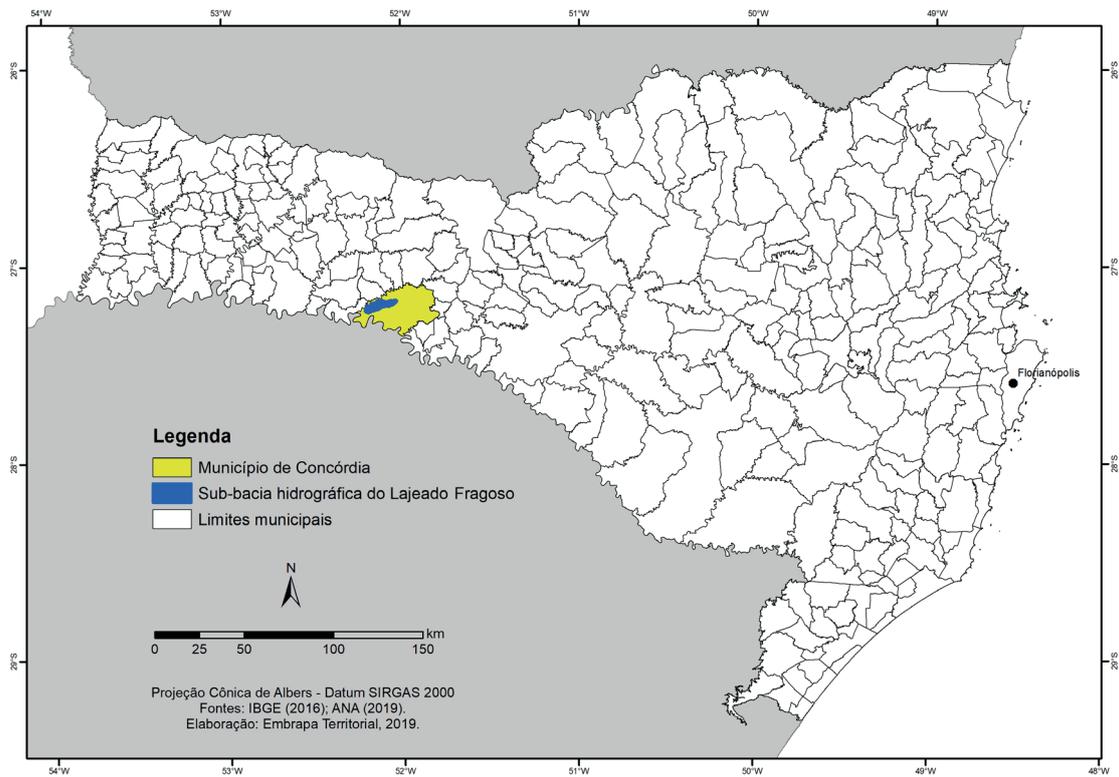


Figura 1. Localização do município de Concórdia e da Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF) destacados no mapa de Santa Catarina.

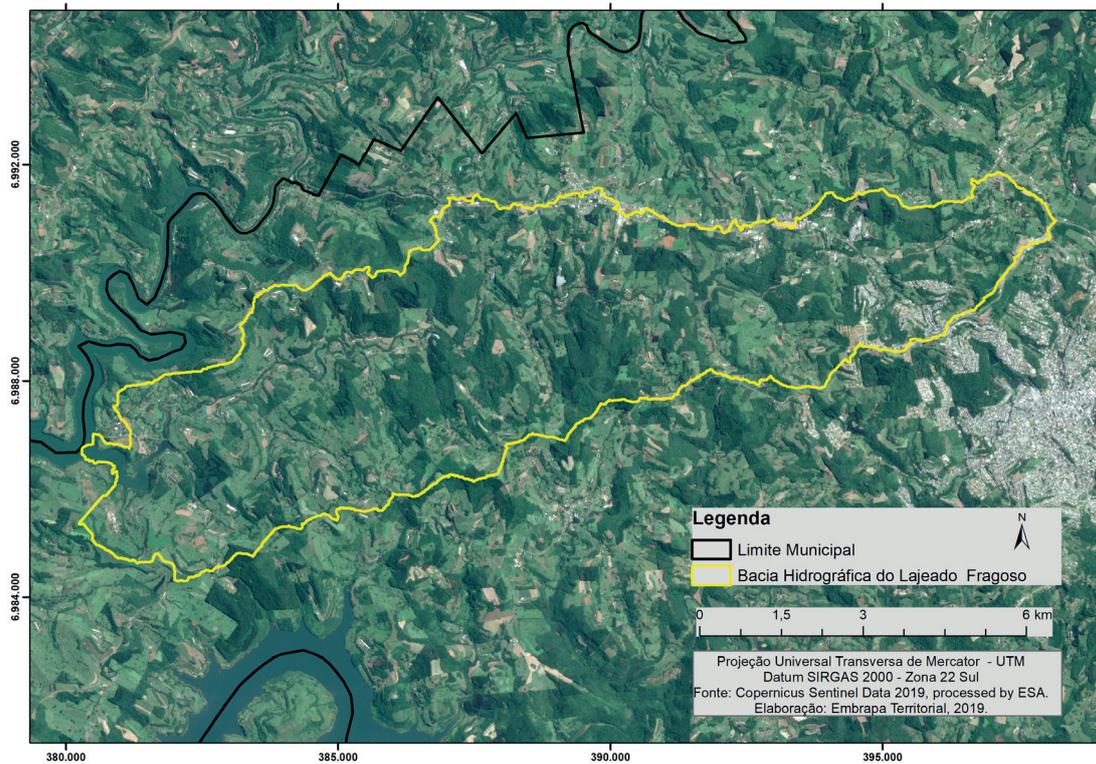


Figura 2. Destaque da Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF) em Concórdia, SC, com uso de imagem de satélite Sentinel 2A (Agência Espacial Europeia) de 02/02/2019, com 10 m de resolução espacial e composição de mosaico das bandas RGB 04/03/02.

Com base nos dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR)², disponíveis na plataforma de consulta pública do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (Sicar)³, constata-se a existência de 512 imóveis⁴, totalizando uma área de 6,1 mil ha.

Entre os estabelecimentos existentes na bacia, constata-se grande diversificação de sistemas produtivos. Na SBHLF existem 31 aviários para produção de aves comerciais, com capacidade total de alojamento de 852.600 aves, conforme pesquisa efetuada pela Embrapa Suínos e Aves em 2016. Esse mesmo levantamento constatou que o rebanho total de bovinos era de 7.853 cabeças, distribuídas em 253 estabelecimentos, com média de 31 animais por estabelecimento. A maior parte desse rebanho pertence a produtores que se dedicam à produção leiteira, atividade que cresceu de forma expressiva quando muitos estabelecimentos tiveram que abandonar a produção de suínos por problemas ambientais ou por não apresentarem uma escala mínima de animais compatível com as exigências das agroindústrias integradoras.

A atividade suinícola está presente em 56 estabelecimentos que se dedicam à produção comercial, com as seguintes divisões de sistemas de criação: terminação (T), 32; unidade de produção de leitões (UPL), 19; ciclo completo (CC), 3; e granja de reprodutores de suínos certificada (GRSC), 2. Em termos do número de animais, o plantel é composto por 38.133 cabeças, das quais 8.995 são matrizes e 29.138 são suínos para terminação. A produção total estimada de dejetos é de 140.351 m³/ano, e a forma de manejo nas unidades de produção é, em quase em sua totalidade, como fertilizante de solo em áreas agrícolas (Tabela 1 e Figura 3).

Tabela 1. População de suínos, aves de corte e bovinos na Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF), no ano de 2016.

	Bovinos	Aves de corte	Suínos					
			Subsistência	Creche	GRS	CC	Terminação	UPL
Número de Cabeças	7.853	852.600	713	7.756	1.520	1.178	44.635	17.655
Estabelecimentos	253	31	75	7	2	3	47	19
Média	31,0	27.503,2	9,5	1.108,0	760,0	392,7	949,7	980,8

Fonte: Embrapa Suínos e Aves, 2017.

Nos estabelecimentos que se dedicam à suinocultura, constata-se crescente especialização e aumento das escalas de produção. Essa é uma estratégia para fazer frente à escassez de mão de obra nas propriedades e a pequena área de terra disponível para o cultivo agrícola. Do ponto de vista econômico apresenta bons resultados. Do ponto de vista ambiental, apresenta alguns problemas, pois, como a forma predominante de uso dos dejetos é o seu emprego como fertilizante, normalmente os estabelecimentos não dispõem de área agrícola suficiente para absorverem o total dos dejetos gerados, motivando, apesar das restrições legais, aplicações excessivas. Uma solução é encontrar áreas de terceiros para aplicação dos dejetos, mesmo que, muitas vezes, distantes do local de sua geração.

² É um instrumento fundamental para auxiliar no processo de regularização ambiental de propriedades e posses rurais. Consiste no levantamento de informações georreferenciadas do imóvel, com delimitação das áreas de proteção permanente (APP), reserva legal (RL), remanescentes de vegetação nativa, área rural consolidada, áreas de interesse social e de utilidade pública, com o objetivo de traçar um mapa digital a partir do qual são calculados os valores das áreas para diagnóstico ambiental. É uma ferramenta importante para auxiliar no planejamento do imóvel rural e na recuperação de áreas degradadas

³ Disponível em: <http://www.car.gov.br/publico/municipios/downloads>.

⁴ Imóvel rural, segundo a legislação agrária, é a área formada por uma ou mais matrículas de terras contínuas, do mesmo titular (proprietário ou possessor), localizada tanto na zona rural quanto urbana do município. O que a caracteriza é a sua destinação agrícola, pecuária, extrativa vegetal, florestal ou agroindustrial. Fonte: <http://www.cadastrorural.gov.br/perguntas-frequentes/propriedade-rural/o-que-e-imovel-rural>.

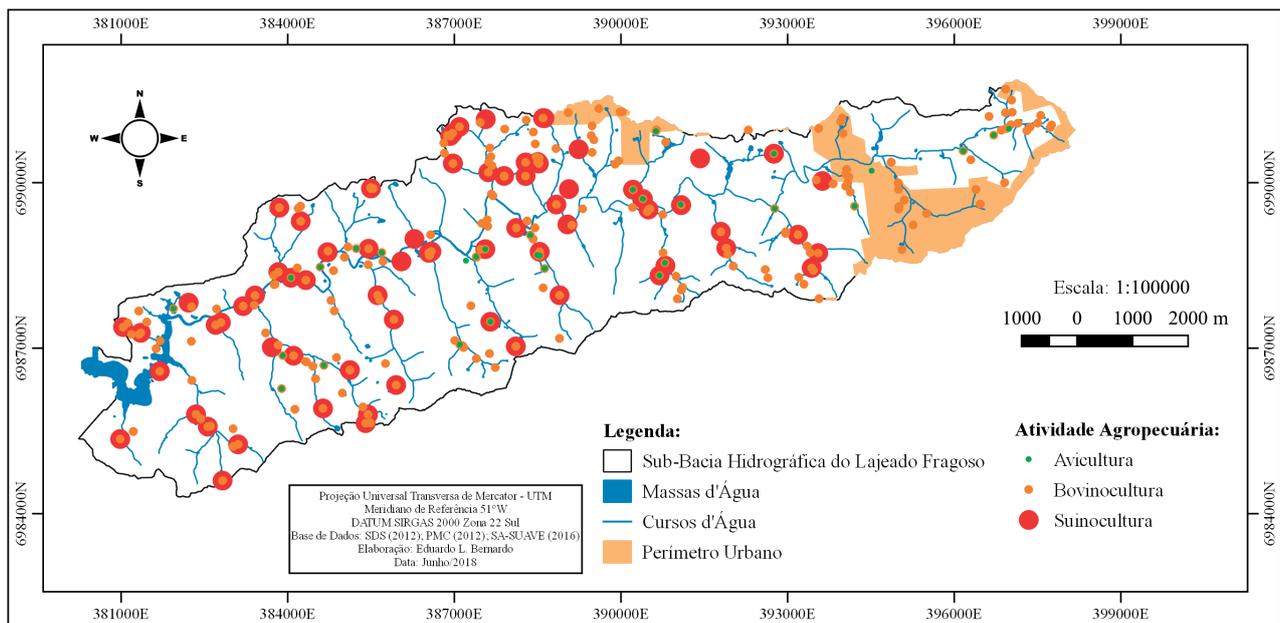


Figura 3. Mapa de distribuição da produção animal na Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF) em atividades agropecuárias de suinocultura, bovinocultura e avicultura.

Este estudo objetiva analisar o aproveitamento dos rejeitos da produção animal sob o ponto de vista territorial e servir de modelo para o desenvolvimento de um algoritmo capaz de modelar a solução naquela e em outras áreas do País. Assim, os rejeitos deixarão de ser um passivo e gerador de custos para os produtores e passarão a gerar receitas a partir da comercialização dos seus produtos.

O público-alvo deste estudo são as cooperativas de produtores rurais e profissionais de áreas ligadas à agropecuária que queiram espacializar informações e usar a ferramenta de estudo espacial. O estudo também visa subsidiar desenvolvedores de plataformas digitais capazes de processar as bases de dados citadas e usar os métodos apresentados no texto.

Material e Métodos

Este estudo foi realizado a partir de uma abordagem espacial, para construir os mapas temáticos, e uma análise técnico-econômica, para quantificar e valorar os nutrientes contidos nos rejeitos. Foram usadas várias ferramentas e fontes de dados e informações descritas a seguir.

Os dados dos limites municipais usados neste estudo foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A base cartográfica municipal disponibilizada é compatível com a escala de 1:250.000, em sistema de coordenadas geográficas e sistema geodésico de referência SIRGAS 2000 (IBGE, 2013).

O dado de tipologia *raster* do modelo digital de elevação (MDE) de 1-arcsec foi fornecido pela Earth Explorer (2019), originário da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), assim como o *raster* de bandas espectrais, com uso de três cenas do satélite Sentinel 2A (Copernicus Sentinel Data; European Space Agency, 2019), de fevereiro e março de 2019, com 10 m de resolução espacial. A imagem foi tratada usando o software de geoprocessamento ArcGIS 10.6 (ESRI, 2019), com a composição de mosaico das bandas RGB 04-03-02 e 08 (infravermelho próximo).

Os arquivos vetoriais pontuais da atividade pecuária de suínos, bovinos e aves foram levantados em campo e fornecidos pela Embrapa Suínos e Aves, a partir da visita e coleta de dados junto aos produtores rurais locais.

Já a delimitação da SBHLF foi feita com base em arquivos vetoriais obtidos na Base Hidrográfica Ottocodificada 1:250.000 (BHO250) da Agência Nacional de Águas (Agência Nacional de Águas, 2018).

Os dados de malha viária foram obtidos em três diferentes fontes de informação e também são compatíveis com a escala 1: 250.000: por solicitação direta à Secretaria Municipal de Agricultura da Prefeitura Municipal de Concórdia, SC, em comunicação privada⁵; pelo Trajeto dos Recenseadores do Censo Agro 2017 (IBGE, 2019); e na plataforma de compartilhamento de dados abertos Open Street Map (2019).

Para a caracterização ambiental das propriedades rurais, foram obtidos dados dos imóveis cadastrados no Sicar (Cadastro Ambiental Rural, 2019), selecionando entre as diversas categorias de dados disponíveis as áreas de preservação permanente (APP), reservas legais (RL) e áreas de vegetação nativa excedentes. Os dados oficiais sobre criação de animais foram obtidos no Portal Nacional do Licenciamento Ambiental (Brasil, 2019).

Para a caracterização do quadro de infraestrutura local, pertinente à temática do estudo, os dados de linhas de distribuição de energia e número de transformadores foram solicitados por contato direto com a área responsável e adquiridos diretamente da empresa Centrais Elétricas de Santa Catarina (Celesc), concessionária local.

Por fim, informações sobre produção de nutrientes e potencial nutricional foram obtidas por meio de literatura e legislação estadual, consultando o Manual de Adubação e Calagem para os Estados de Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004) e a Instrução Normativa no 11, Suinocultura, do Instituto de Meio Ambiente de Santa Catarina (Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina, 2014). Com base nessas duas referências, foram traçados os raios de alcance do uso do biofertilizante em culturas de milho, soja, trigo e outras leguminosas de inverno e de verão.

Todo esse conjunto de dados foi inicialmente organizado em um sistema de informações geográficas (SIG), no software ArcGIS 10.6 (ESRI, 2019), a partir da criação de um *shapefile* sem feições no ArcCatalog. Em seguida, feições foram digitalizadas manualmente nos limites da sub-bacia hidrográfica usando a ferramenta de edição e o arquivo *raster* de bandas espectrais do satélite Sentinel-2^a como guia, com composição de banda 4-3-2, por meio da ferramenta *Composite bands*, para a separação das classes água, áreas antrópicas agrícolas, áreas antrópicas não agrícolas e áreas de vegetação natural (IBGE, 2013). Assim, foi elaborado, por interpretação visual das imagens de satélite, um mapa preliminar de uso e ocupação da terra na escala de 1:50.000 usando imagens orbitais com 10 m de resolução espacial. Para detalhar e validar a classificação de uso e ocupação da terra, foram utilizadas também fontes complementares de consulta, como os dados disponibilizados na plataforma do projeto Mapbiomas (<http://mapbiomas.org/>).

As construções em formato de galpões de granjas usadas para alojar animais foram identificadas visualmente nas imagens de satélite, em trabalho de identificação e digitalização, e suas áreas foram quantificadas e totalizadas. Os telhados das construções podem ser usados para captação de água da chuva e para instalação de painéis solares.

⁵ BREITENBACH, N. L. B. CELESC. Sistema Georeferenciado GeneSis. Comunicação pessoal em: 07 de nov. 2019

Um mapa de altimetria foi elaborado usando o arquivo *raster* MDE de 1-arcsec da SRTM. A classificação desse mapa foi feita por gradiente usando uma rampa de cores por classes, e seu contraste foi ajustado para a opção *Standard Deviations*. Em seguida, foi calculada para cada classe de declividade a área ocupada em relação à SBHLF, por meio do cruzamento espacial com o mapa de uso e ocupação da terra.

Os dados da malha viária da região estudada, obtidos de três diferentes fontes, foram confrontados para obtenção do traçado mais atualizado possível das vias (PMC, IBGE e Open Street Map) de forma manual na ferramenta de edição do SIG, com priorização das vias rurais, para posterior análise em relação aos imóveis cadastrados no CAR. Para cada fonte, foi criada uma coluna com os dados das estradas urbanas e rurais e, em seguida, foi criado um único arquivo com as três fontes de informações.

As áreas de preservação permanente, áreas de reserva legal e áreas excedentes de vegetação nativa, dedicadas a preservação (Miranda, 2018), foram utilizadas como base no recorte das áreas de imóveis no CAR que estavam contidos de forma parcial ou completa na bacia hidrográfica avaliada.

Os dados do Portal Nacional de Licenciamento Ambiental (PNLA) foram obtidos no formato CSV de pontos de coordenadas geográficas registradas de criação de animais no estado de SC, e foram filtrados apenas pontos de licenciamento contidos no município de Concórdia. Foi necessário corrigir alguns erros de coordenadas UTM da fonte, uma vez que foram identificadas diversas coordenadas com pontos múltiplos de 10, em desacordo com a sua coordenada real em metros. Em seguida, no software de geoprocessamento, foi escolhida a opção *Create Feature Class - From XY Table*, para atribuição das coordenadas X para a longitude e das coordenadas Y para latitude, que originou um arquivo *shapefile* dos pontos de criação de animais no município de Concórdia. Por fim, foi utilizada a ferramenta *Intersect*, para extrair os pontos de interesse apenas para a SBHLF.

A informação sobre a tipologia dos solos da sub-bacia hidrográfica em estudo também foi obtida na escala de 1:250.000, e foi calculada a porcentagem de área ocupada na bacia para cada classe de uso do solo. Os mapas de potencial nutricional para cada nutriente foram confeccionados a partir dos pontos de produção de suínos, levando em consideração a informação da produção de dejetos de cada produtor. A partir da relação de NPK dos dejetos e da demanda por esses nutrientes para cada tipo de cultura, foi criado um raio de potencial nutricional para cada produtor usando a ferramenta *Buffer*. Foi criado um mapa de abrangência para a possível concentração de NPK no solo, por meio de uma interpolação ponderada pelo inverso da distância dos resultados usando a ferramenta *Inverse Distance Weighting (IDW)*. A partir das concentrações conhecidas de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) dos produtores de aves, suínos e bovinos foram criados três mapas diferentes de interpolação espacial para cada nutriente.

Resultados e Discussão

Tanto a sustentabilidade quanto a economicidade das atividades ligadas à produção animal devem passar obrigatoriamente pelo manejo e reaproveitamento dos dejetos produzidos pelos animais. A compostagem é uma prática muito comum entre os produtores rurais e acontece em ambiente aeróbico (céu aberto), com o aproveitamento principal da parte sólida dos dejetos para uso no solo e, portanto, a reciclagem de nutrientes. A biodigestão anaeróbica aproveita a fase gasosa, o biogás,

e as fases líquida e sólida como biofertilizantes. Em todas essas rotas tecnológicas, o objetivo é aumentar a rentabilidade, com pagamento dos investimentos e ganhos reais, além de permitir a retirada dos dejetos, possibilitando a manutenção do negócio.

Atualmente, a retirada do excesso de dejetos animais, geralmente acumulados em lagoas de estabilização, é terceirizada e resulta em gastos para os produtores. As empresas especializadas no esgotamento dos reservatórios de dejetos nas propriedades rurais usam veículos adaptados, bombas de sucção e locais licenciados para disposição. Toda essa estrutura de armazenagem e logística usa as vias de transporte rodoviário que poderiam ser utilizadas para outras atividades econômicas, por isso têm alto custo de manutenção. A permissão para uso in loco nas propriedades é normatizada no território catarinense pelo Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (IMA), cuja Instrução Normativa nº 11 versa sobre suinocultura e impõe os limites para uso de biofertilizante nas diversas culturas agrícolas praticadas no estado. Ela foi usada para produzir os mapas que mostram os raios de alcance de dispersão dos nutrientes contidos nos dejetos e demandados pelas principais culturas agrícolas praticadas na região. As principais análises são apresentadas aqui neste estudo. Esta é uma demonstração das inúmeras possibilidades que as bases de dados e ferramentas de análise espacial oferecem para estudos dessa natureza.

Planos de informação para o diagnóstico da área

A caracterização completa da área estudada quanto o uso e ocupação das terras foi efetuada e está representada na Figura 4, com destaque para as áreas de vegetação natural e áreas antrópicas agrícolas, que somadas representam 92%. As áreas antrópicas não agrícolas estão concentradas no espaço urbanizado do município. Junto a todas essas áreas existem construções, como moradias, granjas, galpões e outras estruturas urbano-rurais. A pecuária intensiva é fortemente representada pela criação de aves e suínos em granjas. Grande parte do solo é ocupada por agricultura em rotação e usada localmente como ração nos confinamentos e forrageira para a pecuária bovina de leite. Esse cenário requer precisão no manejo dos recursos naturais, como solo e água, e dos resíduos animais, que são produzidos em larga escala.

As classes de áreas consideradas são enumeradas na Tabela 2 com seus respectivos valores, em hectares e percentual da área total.

Tabela 2. Classificação das áreas (ha) na Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF) em Concórdia, SC.

Classes	Área (ha)	Área (%)
Áreas de vegetação natural	2.941	48,4
Áreas antrópicas agrícolas	2.650	43,6
Áreas antrópicas não agrícolas	416	6,8
Água / corpos d'água	66	1,1
Área total	6.072	100

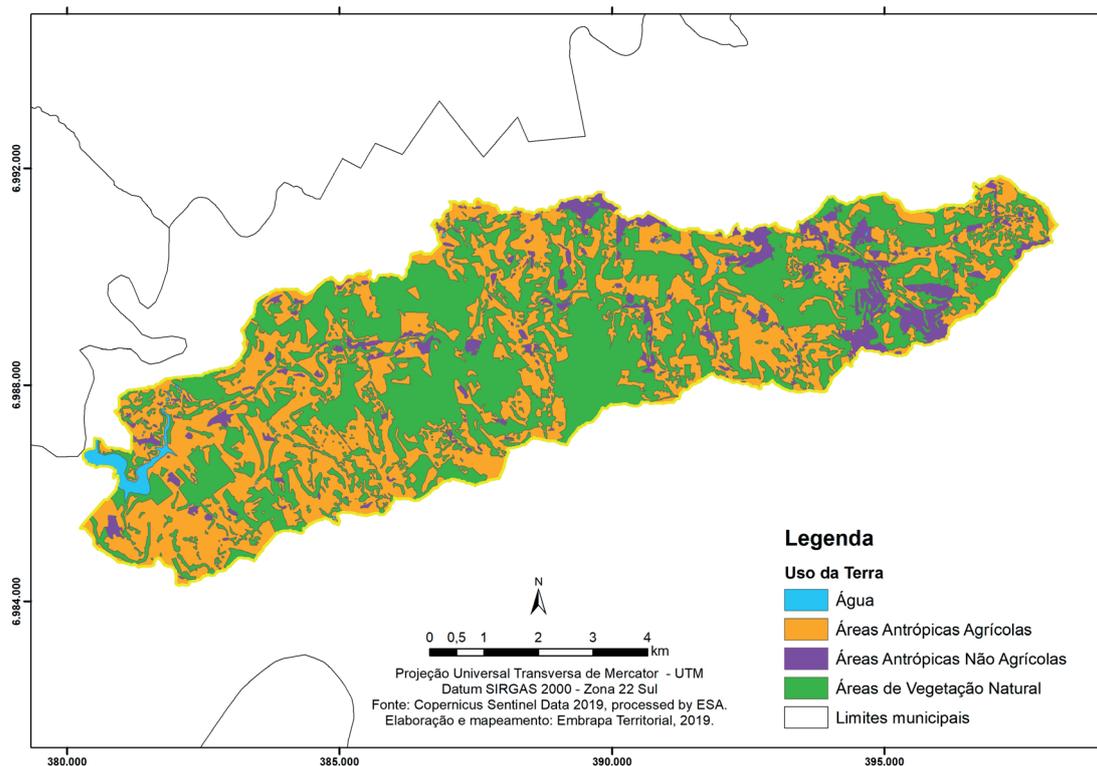


Figura 4. Mapa de uso e ocupação da terra para a Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Frágoso (SBHLF).

Um olhar mais detalhado para a temática do uso da terra apresenta uma estratificação das classes anteriores, com destaque para a pastagem que ocupa 25% da área da SBHLF, número que provavelmente é maior, já que as categorias mosaico de agricultura e pastagem representam quase 19%. A categoria mosaico contempla áreas de uso agropecuário com difícil distinção entre pastagem e cultivo, em virtude das limitações impostas pela resolução espacial das imagens de satélite utilizadas.

A maior parcela de uso e ocupação da terra está representada pela categoria formação florestal (Figura 5), quantificada na Tabela 3. Juntas, as categorias formação florestal, pastagem e agricultura totalizam 83,65% da área total da bacia.

Tabela 3. Uso antrópico das terras na Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Frágoso (SBHLF), Concórdia, SC.

Classes	Área (ha)	Área (%)
Formação florestal	2.413	39,73
Pastagem	1.530	25,19
Mosaico de agricultura e pastagem	1.137	18,73
Floresta plantada	441	7,27
Cultura anual e perene	359	5,90
Infraestrutura urbana	122	2,01
Rios e lagos	51	0,85
Outra área não vegetada	19	0,32
Área total	6.072	100

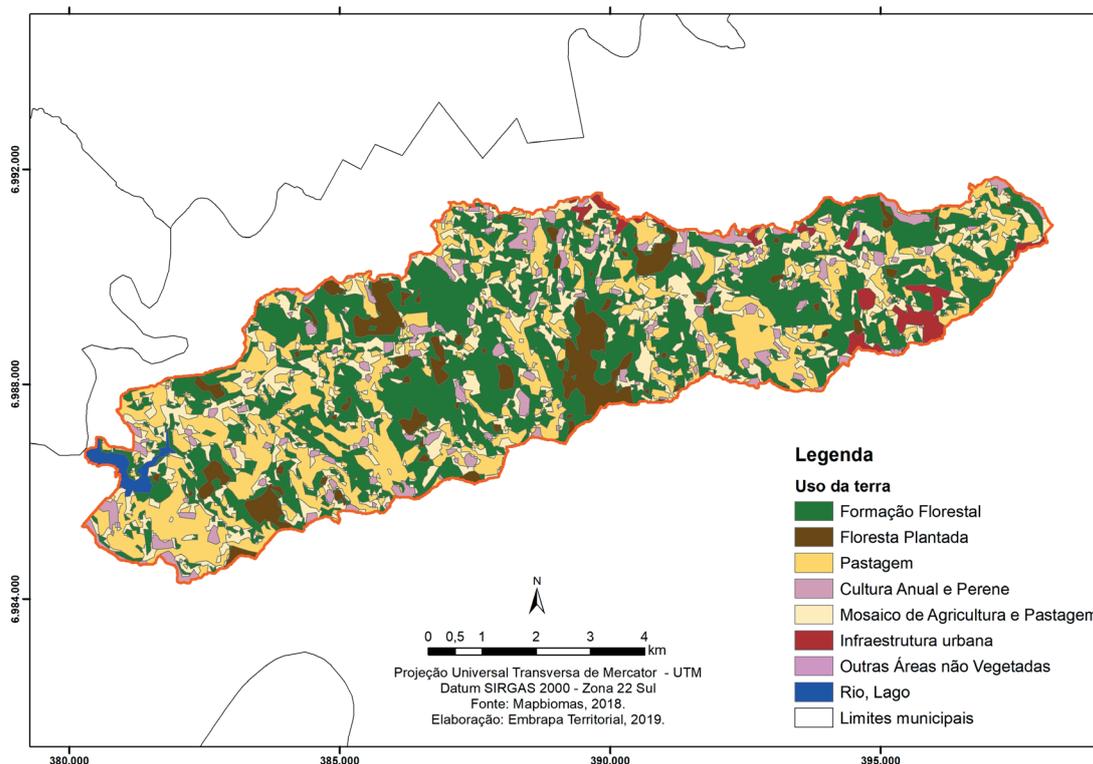


Figura 5. Mapa de cobertura e uso da terra para a Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Frágoso (SBHLF) segundo os dados do Mapbiomas (2018).

A atividade de pecuária de confinamento tem baixa ocorrência, característica marcante na região estudada. Grande parcela desse território é coberta por florestas nativas da Mata Atlântica, principalmente devido à característica acidentada do terreno. As áreas de pastagens e de agricultura também são muito representativas, o que indica que a bovinocultura praticada tem característica extensiva ou semiextensiva.

Ainda mostrando as características naturais, as Figuras 6 e 7 são, respectivamente, a altimetria e a declividade ao longo do rio principal e de seus afluentes. A maior altitude registrada na bacia é de 848 m e a menor altitude é de 331 m, o que denota significativa amplitude no terreno. A área é muito declivosa, e aproximadamente 85% da área total da sub-bacia está acima de 8% de declividade (Tabela 4).

Tabela 4. Declividade das terras na Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Frágoso (SBHLF), Concórdia, SC.

Classes de declividade (%)	Área (ha)	Área (%)
0 – 3	141	2,34
3 – 8	592	9,86
8 – 20	1.994	33,24
20 – 45	3.060	50,99
45 – 75	213	3,55
> 75	1	0,02
Total	*6.000	100
Outra área não vegetada	19	0,32
Área total	6.072	100

*A soma da área total não coincide com a área do vetor, devido à resolução do modelo digital de elevação.

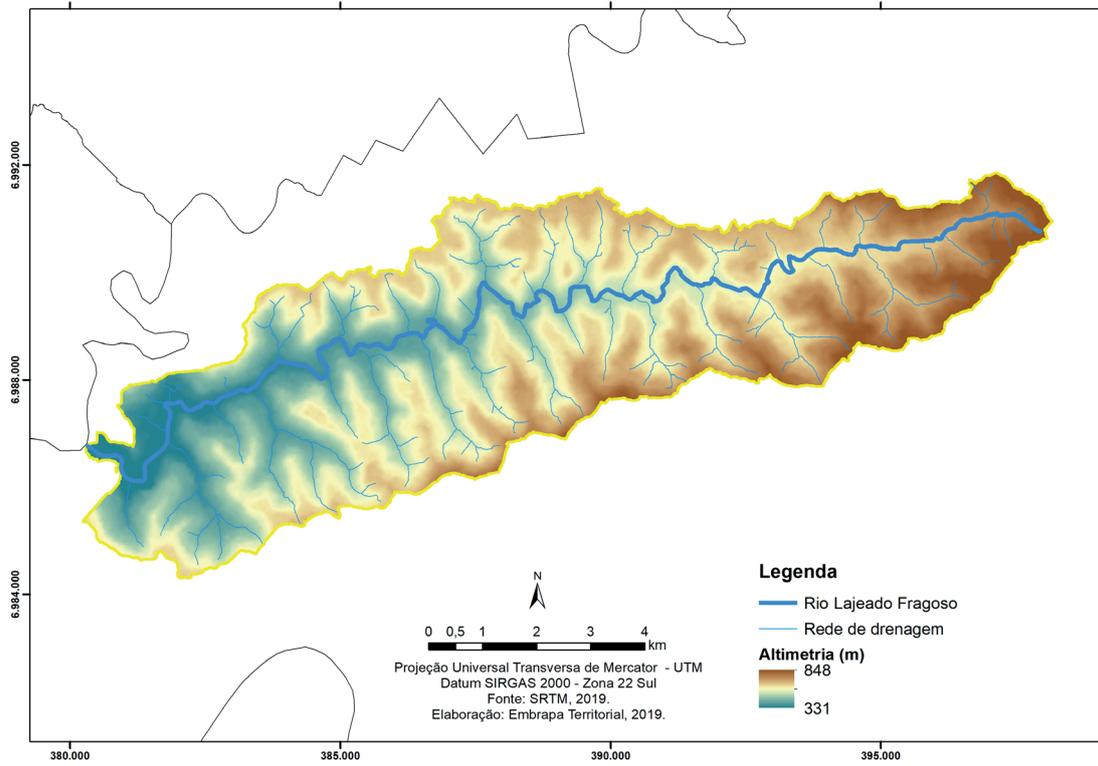


Figura 6. Mapa altimétrico para a Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF).

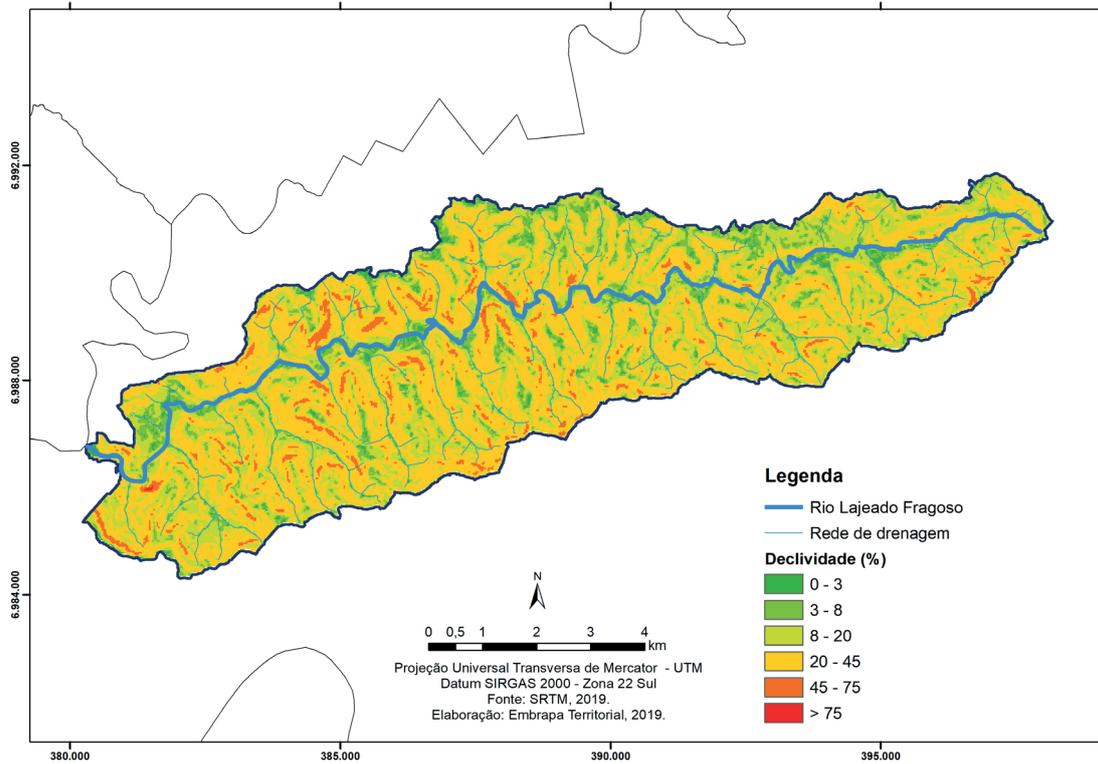


Figura 7. Mapa de declividade para a Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF).

A Figura 8 apresenta a classificação dos solos com base na escala 1:250.000, e permite observar uma grande faixa de Cambissolos, em quase 80% da área da bacia, conforme a Tabela 5 e suas classificações.

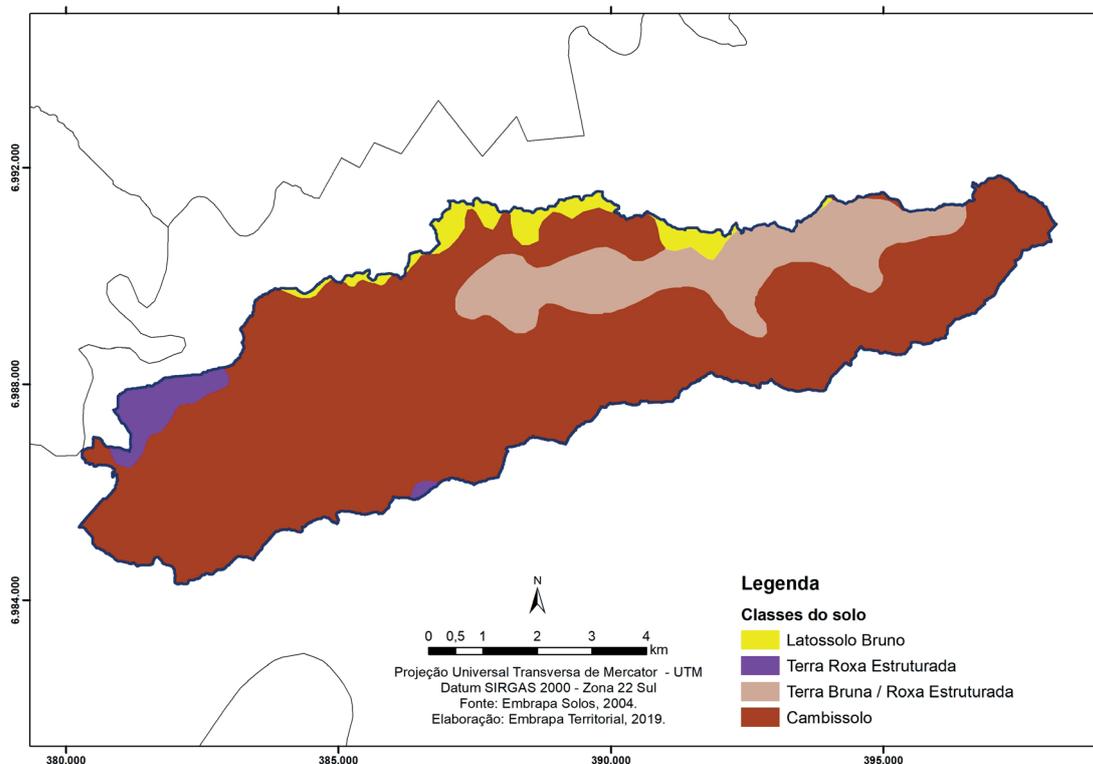


Figura 8. Mapa de classificação dos solos (1:250.000) para a Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF).

Fonte: Compilado pelos autores de Embrapa Solos (2019).

Tabela 5. Classes do solo da Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF), Concórdia, SC.

Classes do solo	Área (ha)	Área (%)
Cambissolo	4.772	78,58
Terra Bruna / Roxa Estruturada	925	15,23
Latossolo Bruno	211	3,47
Terra Roxa Estruturada	165	2,71
Total	6.073	100

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018), as principais definições dos solos encontrados na área de estudo são:

- Cambissolos: Solos pouco desenvolvidos que, em sua maioria, apresentam cor bruna ou bruno-amarelada, horizonte B (Bi) tem textura franco-arenosa ou mais argilosa, solo com distribuições uniformes de argila, pequena variação de argila entre horizonte A e o Bi.
- Terra Roxa Estruturada: Solos minerais não hidromórficos, apresentando em sua maioria cor vermelho-escuro com tendência ao roxo, alta concentração de ferro, solos argilosos, alta capacidade de troca de cátions (CTC).

- Latossolos: Solos suscetíveis a desmoronamento, apresentam a cor predominante amarela ou bruna, horizonte superficial pouco espesso, baixos teores de matéria orgânica, baixa CTC, solos argilosos, ácidos.

O Cadastro Ambiental Rural (CAR) é uma fonte de informações importante em estudos territoriais. Embora ainda apresente algumas sobreposições de limites passíveis de ajustes com o tempo, oferece subsídios para embasar as análises. Neste estudo foram consideradas as seguintes informações e cruzamentos:

- Área ocupada pelos imóveis rurais cadastrados no CAR;
- Área dos imóveis rurais cadastrados no CAR e sua classificação por módulo fiscal;
- Área de preservação ambiental (APP) dos imóveis no CAR;
- Reserva legal (RL) dos imóveis no CAR;
- Vegetação nativa excedente dos imóveis no CAR;
- Áreas destinadas à preservação da vegetação nativa nos imóveis rurais cadastrados no CAR;
- Imóveis rurais cadastrados no CAR x produtores de aves, suínos e bovinos;
- Imóveis rurais cadastrados no CAR sem relação com a produção de aves, suínos ou bovinos (pontos);
- Produtores de aves, bovinos ou suínos sem imóvel cadastrado no CAR.

O mapa da Figura 9 informa a área ocupada pelos imóveis rurais cadastrados no CAR e a respectiva malha viária.

O mapeamento estimou 269 estradas rurais e 512 imóveis cadastrados no CAR.

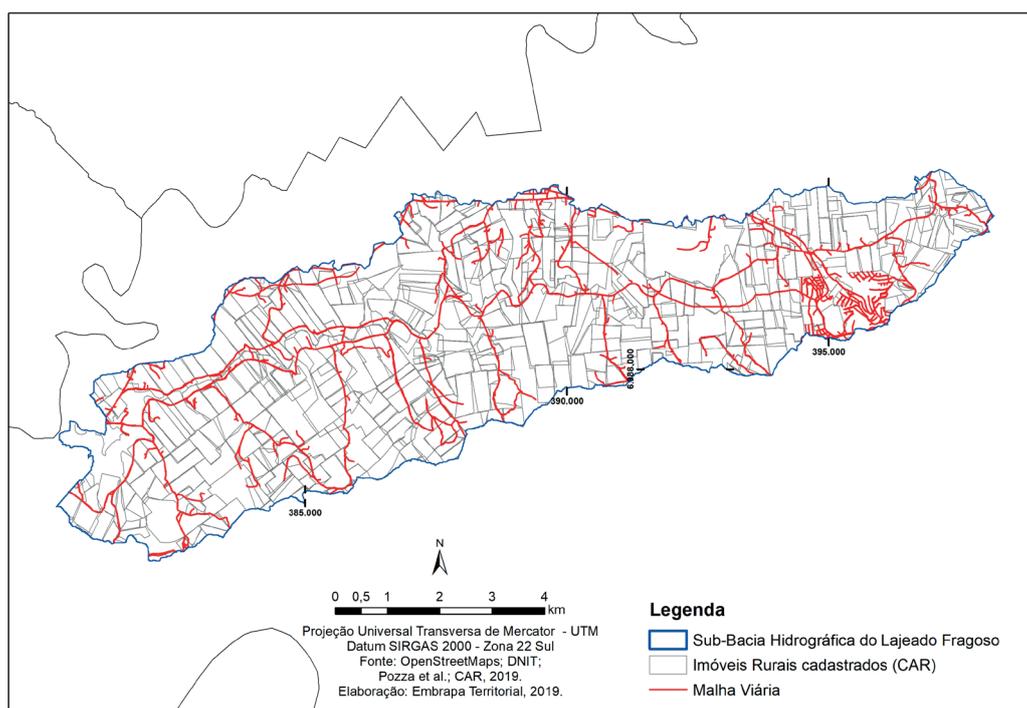


Figura 9. Mapa da área ocupada pelos imóveis rurais cadastrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR) e malha viária principal para a Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF).

O mapa da Figura 10 apresenta uma classificação por módulo fiscal do quantitativo de imóveis rurais registrados no CAR na abrangência da área de estudo. A área total da sub-bacia é de 6.073 ha e a área total de imóveis cadastrados no CAR dentro dos limites da bacia é equivalente a 5.031 ha, ou seja, corresponde a 83% de toda área.

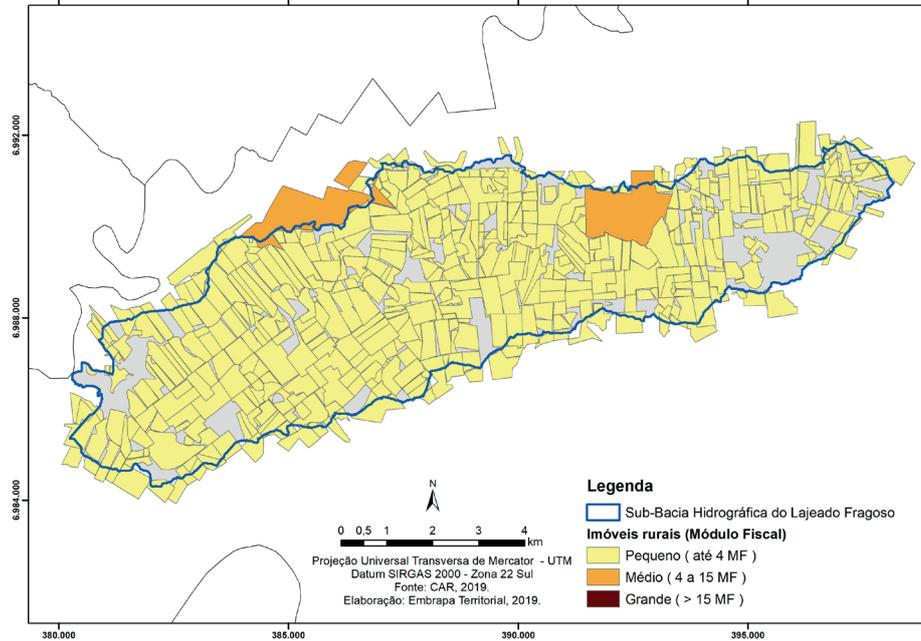


Figura 10. Mapa de áreas de imóveis rurais registrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR) para a Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF).

O CAR como uma plataforma de coleta de dados declaratória ainda terá futuras etapas de validação que serão cruciais para eliminar as sobreposições e identificar as áreas ainda não declaradas. Isso dará mais acurácia a estudos como este.

As áreas de preservação permanente cadastradas no CAR são apresentadas no mapa da Figura 11 e ocupam aproximadamente 6,42% da área total da bacia.

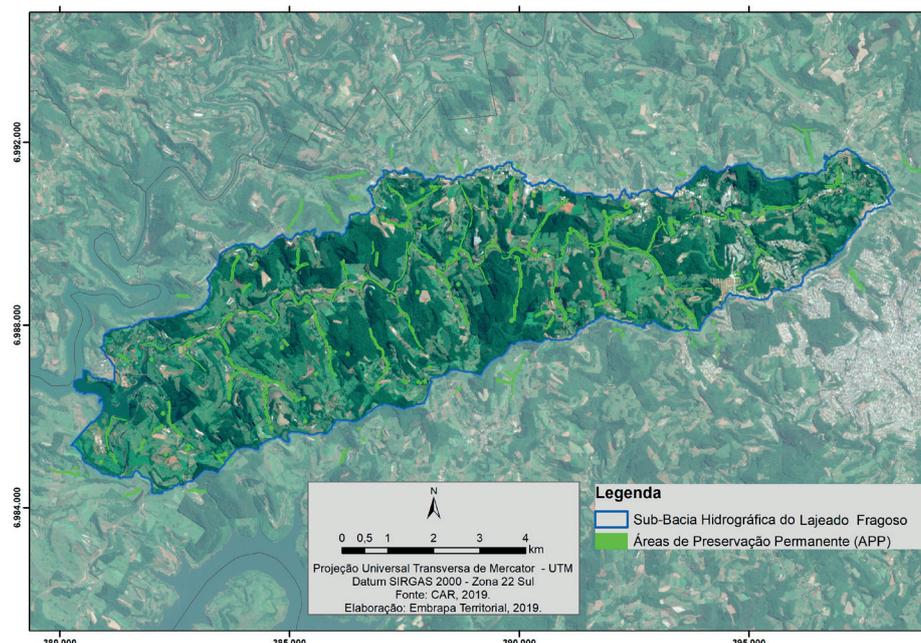


Figura 11. Mapa de áreas de preservação permanente (APP) cadastradas no Cadastro Ambiental Rural (CAR) para a Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF).

A Figura 12 mostra as áreas de reserva legal cadastradas no CAR, que ocupam aproximadamente 16,24% da área total da bacia.

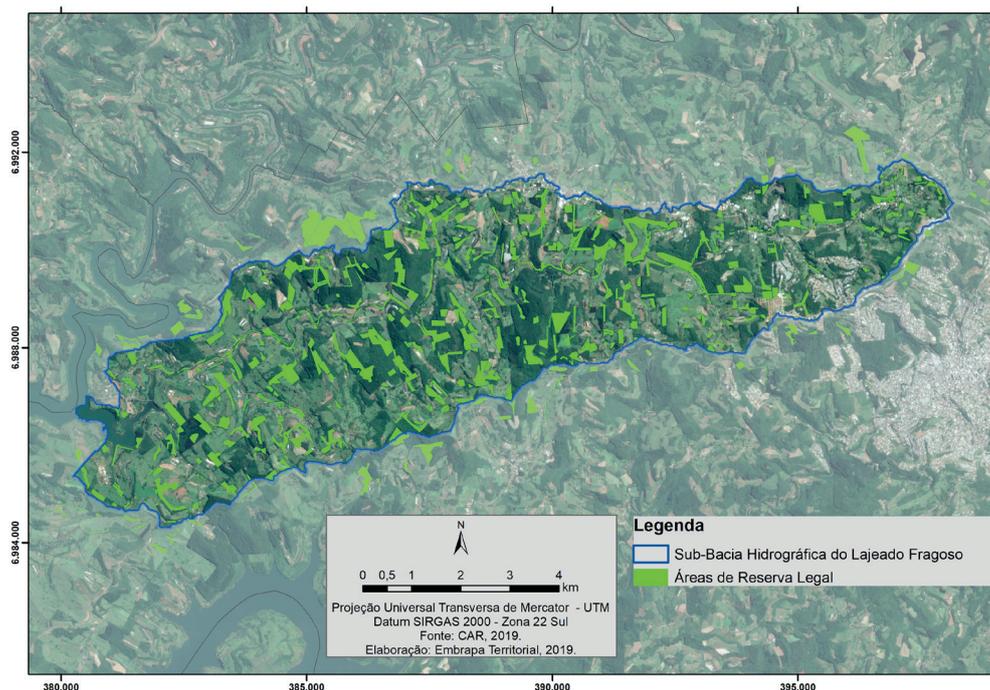


Figura 12. Mapa de áreas de reserva legal (RL) cadastradas no Cadastro Ambiental Rural (CAR) para a Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF).

As áreas de vegetação nativa excedente cadastradas no CAR são apresentadas no mapa da Figura 13, e ocupam aproximadamente 15% da área total da bacia.

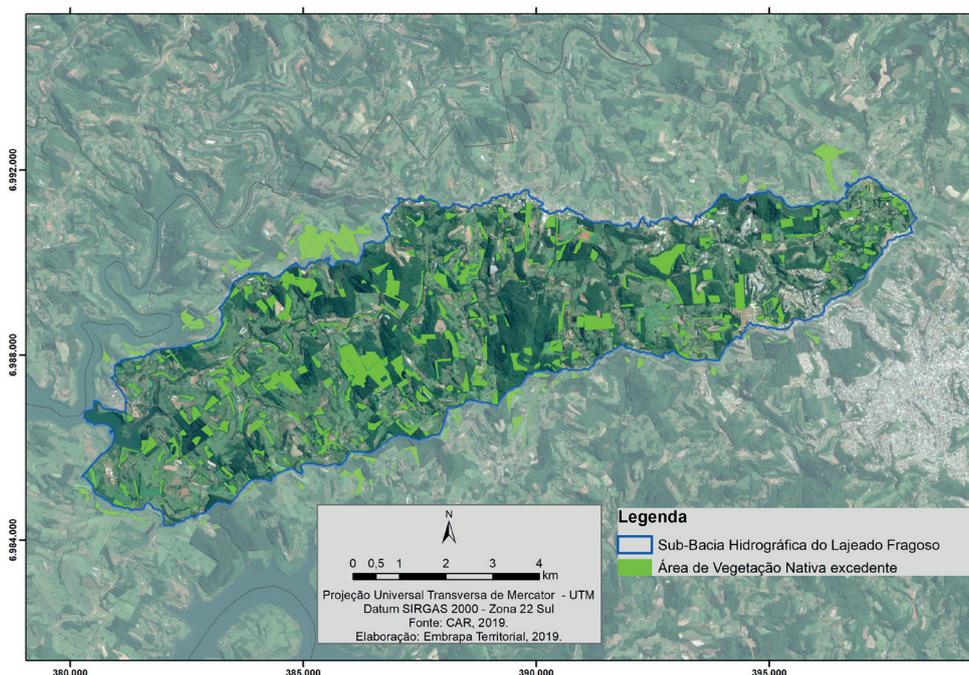


Figura 13. Mapa de áreas de vegetação nativa cadastrada no Cadastro Ambiental Rural (CAR) para a Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF).

A Figura 14 informa as áreas destinadas à preservação da vegetação nativa declaradas no CAR, resultado da somatória de áreas de preservação permanente, reserva legal e vegetação excedente, quando retiradas as sobreposições, conforme metodologia disponível em <http://www.embrapa.br/car>. Elas ocupam aproximadamente 16% da área total da bacia, o que reforça a importância da identificação desses espaços, em virtude de suas funções ecossistêmicas, e também a preocupação com o correto manejo dos resíduos da pecuária, para sua manutenção.

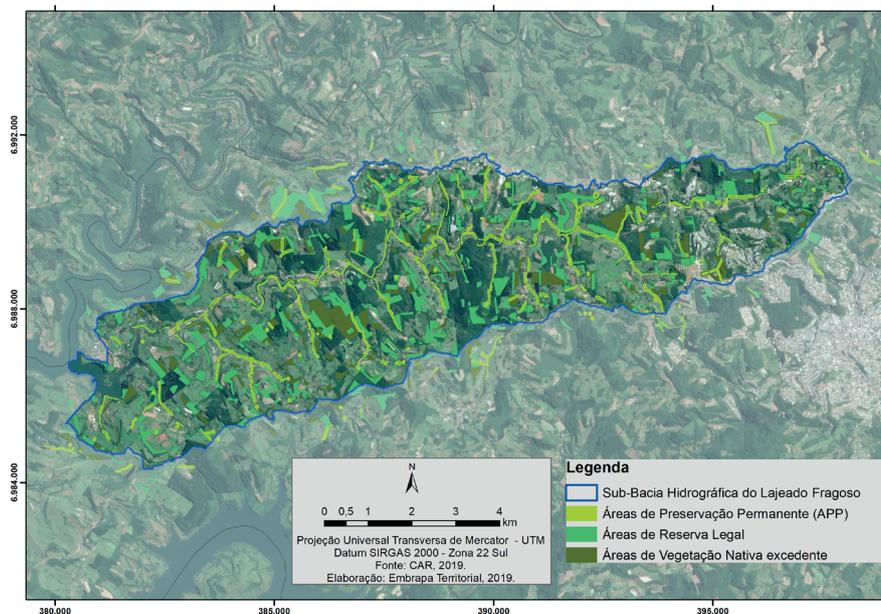


Figura 14. Mapa de áreas dedicadas à preservação da vegetação nativa nos imóveis rurais cadastrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR) para a Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF).

A Figura 15 mostra a relação entre imóveis rurais cadastrados no CAR e os produtores de aves, suínos e bovinos. Foram identificados 274 produtores inseridos nos imóveis cadastrados no CAR.

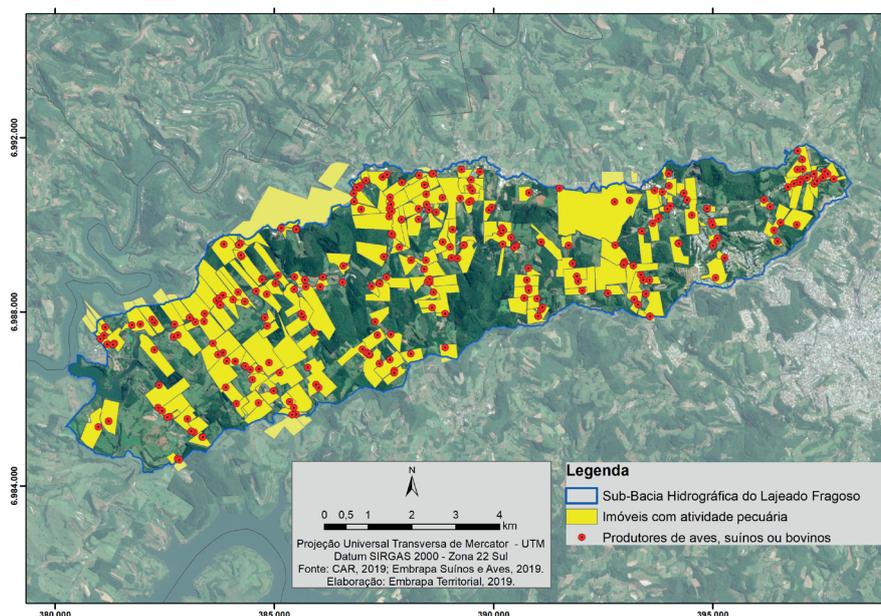


Figura 15. Mapa de imóveis rurais cadastrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR) versus produtores de aves, suínos e bovinos para a Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF).

Os imóveis rurais cadastrados no CAR que não têm relação com os imóveis de produção de aves, suínos ou bovinos são apresentados na Figura 16. São 318 imóveis que não apresentam nenhuma relação com o levantamento de produtores de aves, suínos ou bovinos realizado em campo. Tais imóveis rurais são usados para produção vegetal, apenas como residência ou não foram contemplados no levantamento de campo. No caso daqueles que cultivam, pode existir interesse no uso dos dejetos como biofertilizante.

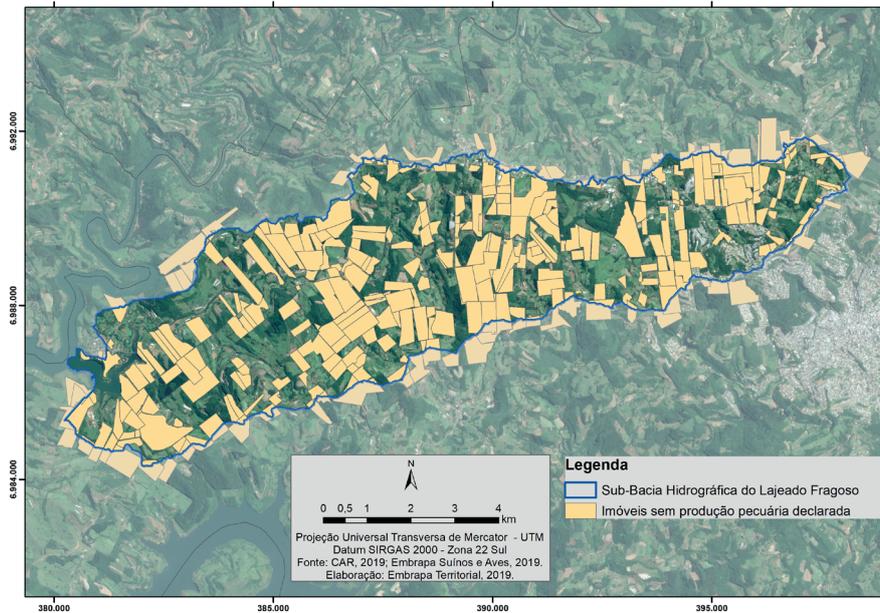


Figura 16. Mapa de imóveis rurais cadastrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR) sem relação com os imóveis de produção de aves, suínos ou bovinos para a Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF).

Os imóveis cadastrados no CAR e as estruturas de criação de animais são apresentados na Figura 17, com 512 imóveis cadastrados no CAR e 288 estruturas mapeadas, como granjas e galpões de armazenamento.

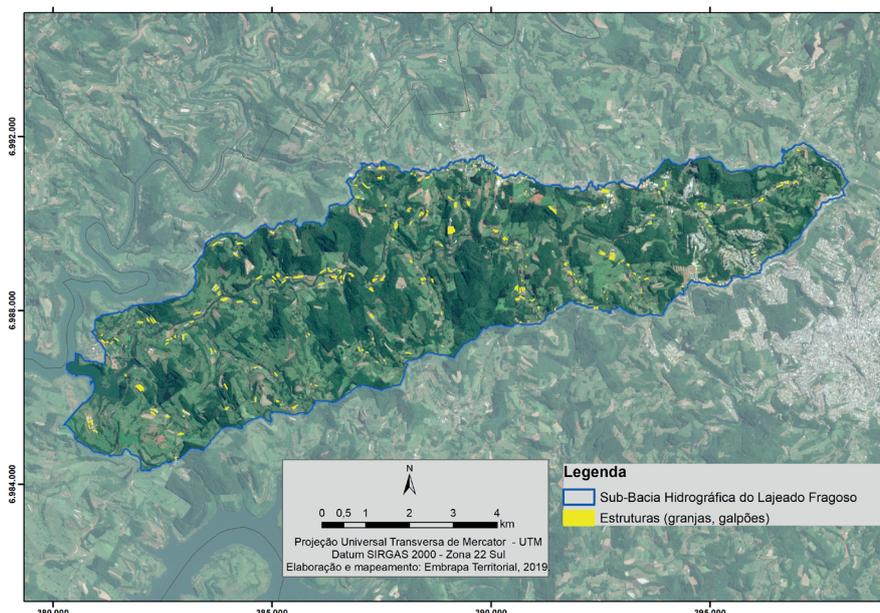


Figura 17. Mapa dos imóveis registrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR) e as estruturas de criação de animais.

A Figura 18 mostra as linhas de distribuição de energia elétrica e localização dos transformadores. Foram identificados 6.035 linhas de distribuição de energia e 367 transformadores. Essa informação é de grande importância no caso de geração de energia elétrica e exportação de excedentes utilizando a malha de distribuição da concessionária local.

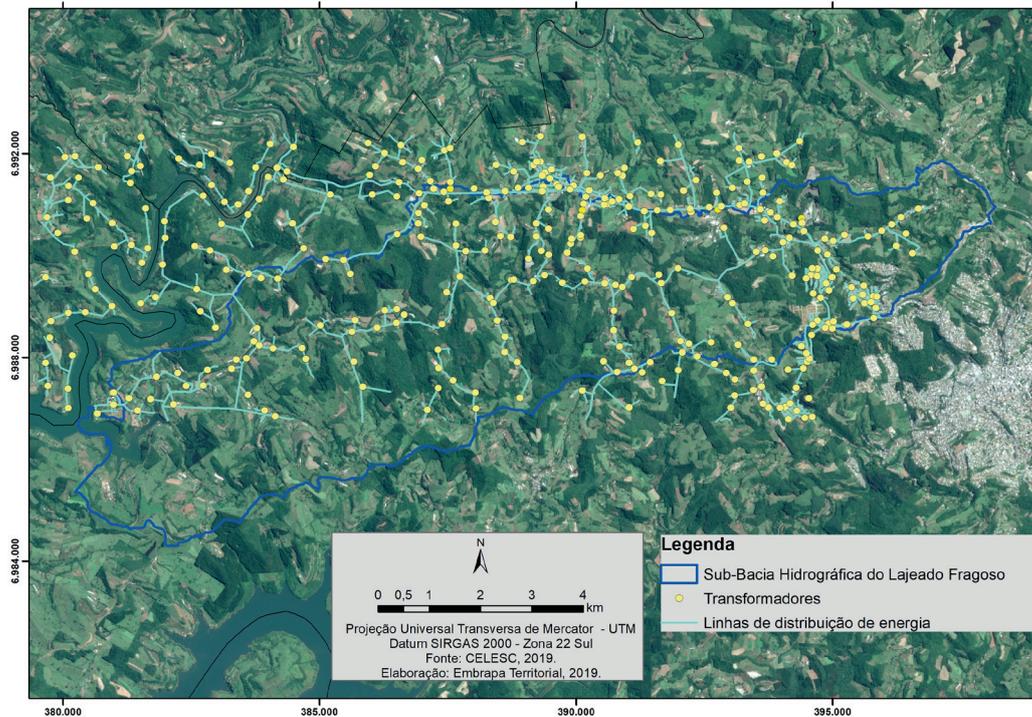


Figura 18. Mapa das linhas de distribuição de energia elétrica e a localização dos transformadores.

Portal Nacional de Licenciamento Ambiental (PNLA)

Outra base de dados exaustivamente analisada foi o PNLA, uma fonte importante de informação que mostra os produtores licenciados para a atividade da pecuária intensiva.

O Portal Nacional de Licenciamento Ambiental (PNLA) é um canal disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) para divulgar informações relacionadas aos procedimentos do licenciamento ambiental, possibilitar a transparência desses processos de gestão pública e fortalecer o controle social. O PNLA foi criado para agregar e sistematizar informações sobre o licenciamento ambiental e facilitar o acesso público gerado em todas as esferas de governo. Dá suporte à formulação de políticas e diretrizes de ação, com um sistema de informação dinâmico e uma ferramenta de busca que retrata a situação atual do licenciamento no Brasil (2019).

A Figura 19 mostra criadores de animais registrados no Portal Nacional de Licenciamento Ambiental e produtores de aves, bovinos ou suínos: 358 são produtores de aves, bovinos ou suínos e 380 são propriedades com criação de animais.

As propriedades rurais de criações de animais registradas no PNLA e as estruturas de criação de animais identificadas por imagem de satélite são mostradas no mapa da Figura 20: 288 estruturas mapeadas de granjas ou galpões e 380 propriedades com criações de animais registradas no PNLA.

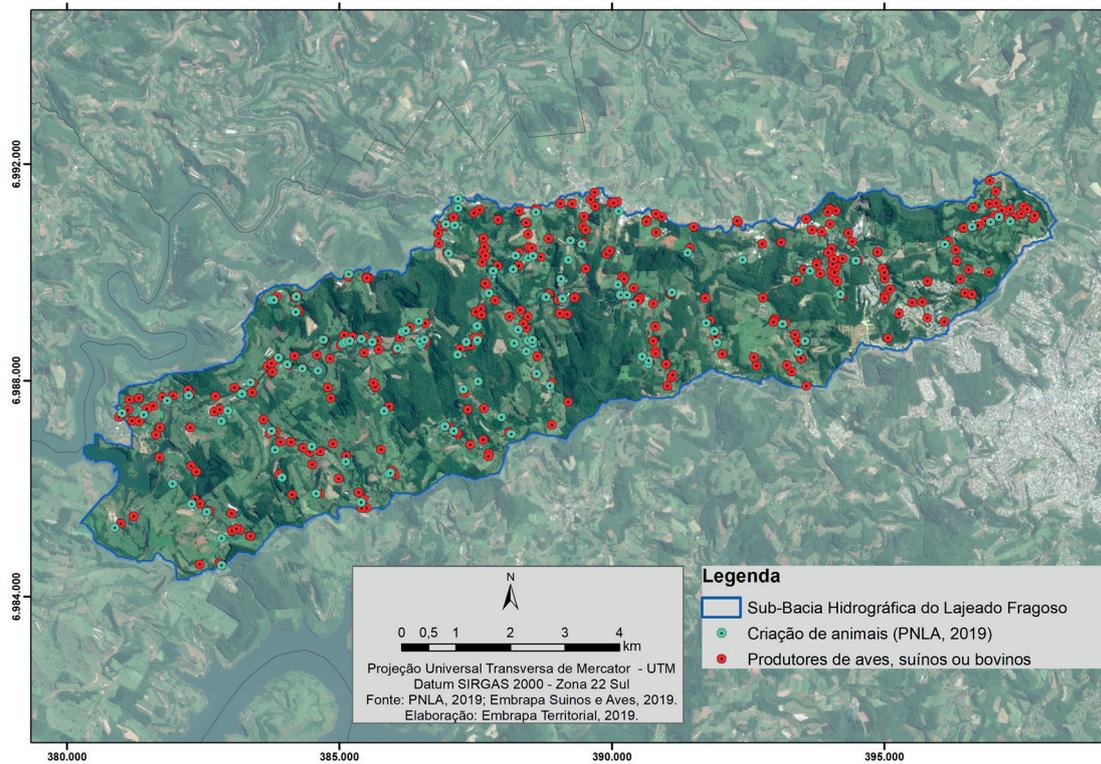


Figura 19. Mapa de criações de animais registradas no Portal Nacional de Licenciamento Ambiental (PNLA) confrontadas com os produtores de aves, bovinos ou suínos para a Sub-Bacia Hidrográfica do Lajeado Fragoso (SBHLF), segundo levantamento realizado.

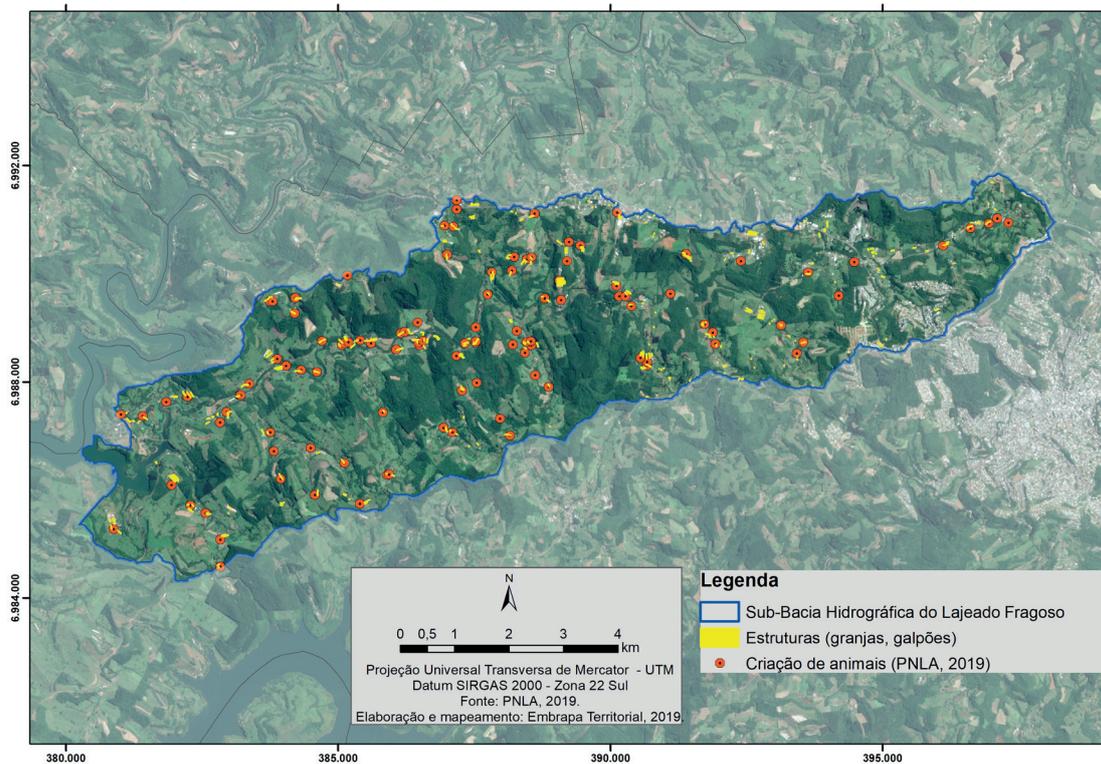


Figura 20. Mapa das propriedades rurais de criações de animais registradas no Portal Nacional de Licenciamento Ambiental (PNLA) e estruturas de criação de animais.

O excedente de propriedades sem estruturas construídas pode indicar pecuária extensiva, que geralmente é o caso de produção de bovinos de leite e de corte.

A Figura 21 informa a localização das propriedades rurais com criações de animais registradas no PNLA e a malha viária existente: 380 propriedades com criações de animais têm registro no PNLA, e o comprimento linear total de estradas rurais chega a 133,1 km.

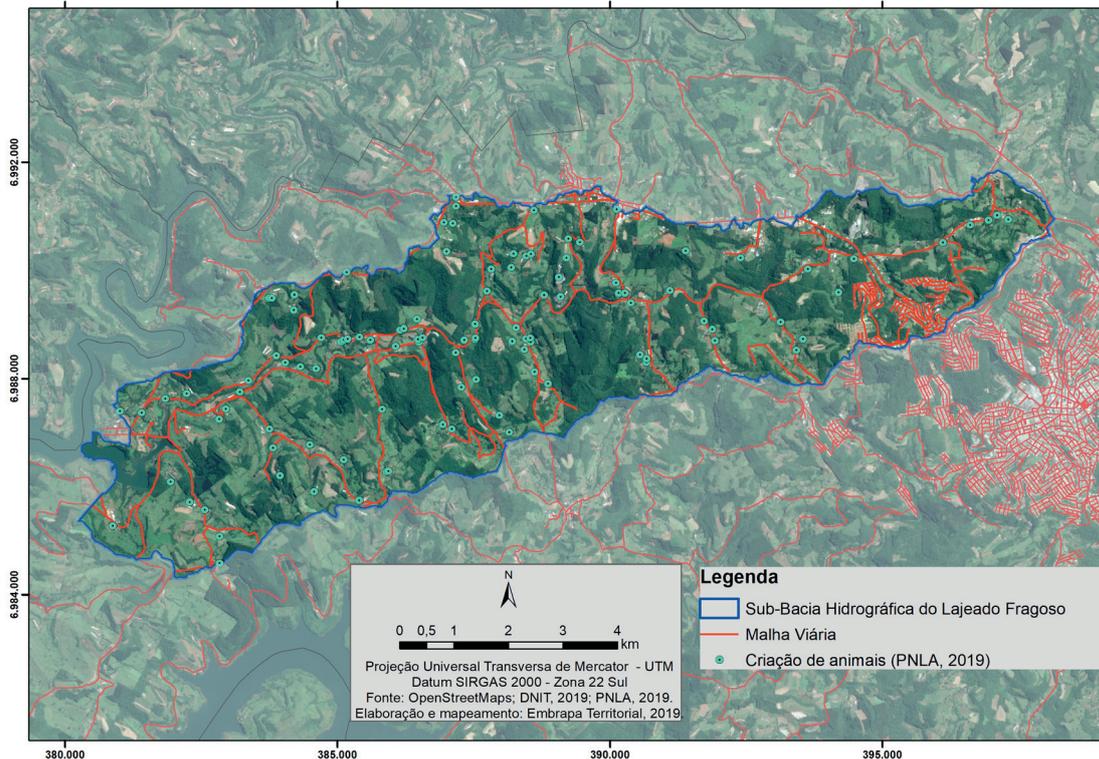


Figura 21. Mapa das propriedades rurais de criações de animais registradas no Portal Nacional de Licenciamento Ambiental (PNLA) e malha viária.

Finalmente, o mapeamento das construções existentes, sejam elas granjas ou galpões, serviu para a contabilização de áreas possíveis de serem aproveitadas para captação de água da chuva e instalação de painéis solares para geração de energia elétrica. No cenário da criação intensiva de animais (suínos e aves), o uso de insumos, como água e energia elétrica, é de fundamental importância para o sucesso do negócio. Assim, os telhados das edificações tornam-se importantes espaços de interesse e devem ser considerados para aproveitamento.

O mapa de estruturas para a criação de animais foi feito com base em imagem de satélite e vetorizado por interpretação visual (Figura 22). Foram identificadas 288 estruturas com comprimento acima de 100 m lineares, que podem ser galpões para armazenagem de insumos ou granjas (Figura 23). A somatória das áreas ocupadas pelos telhados de granjas ou galpões totalizou 211.500 m² (21,15 ha).

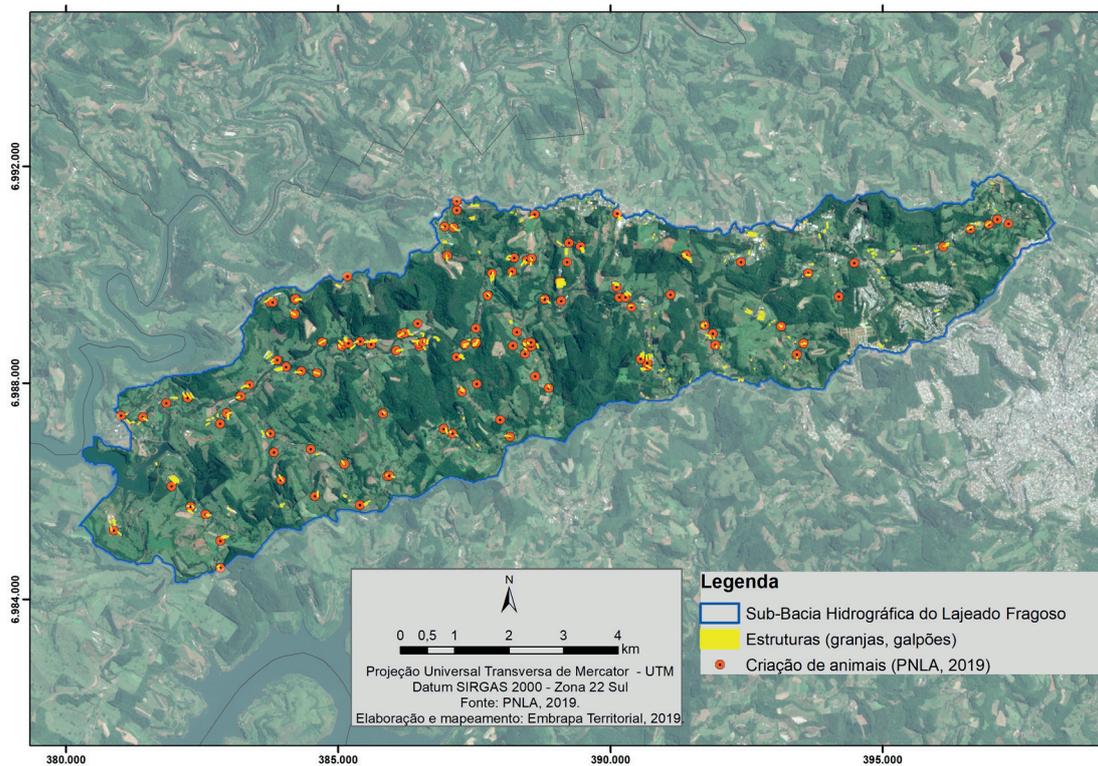


Figura 22. Mapa de estruturas e criação de animais.

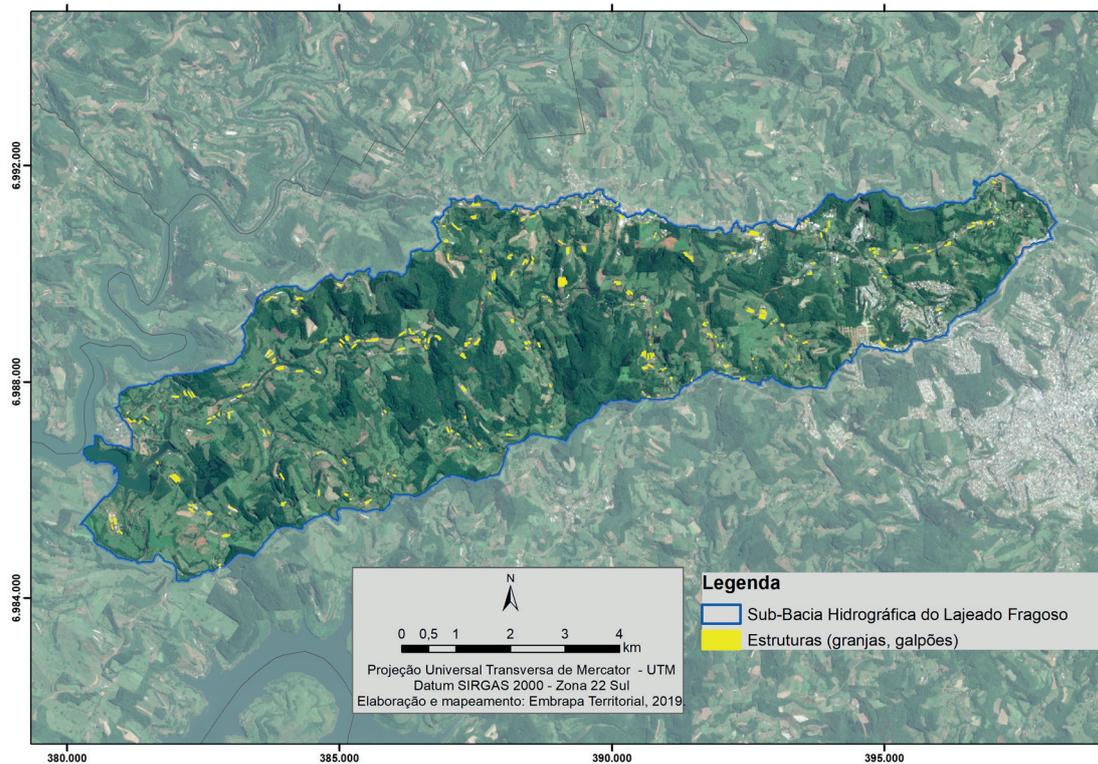


Figura 23. Mapa de estruturas para a criação de animais.

A viabilidade do uso do biofertilizante depende da distância entre o produtor e o consumidor. Assim, é necessário conhecer toda a estrutura viária e suas condições de trafegabilidade, além dos raios possíveis de distribuição.

A Figura 24 mostra a malha viária dentro dos limites da SBHLF, separada por fontes de dados. O comprimento linear total de estradas rurais e urbanas chega a 161,88 km.

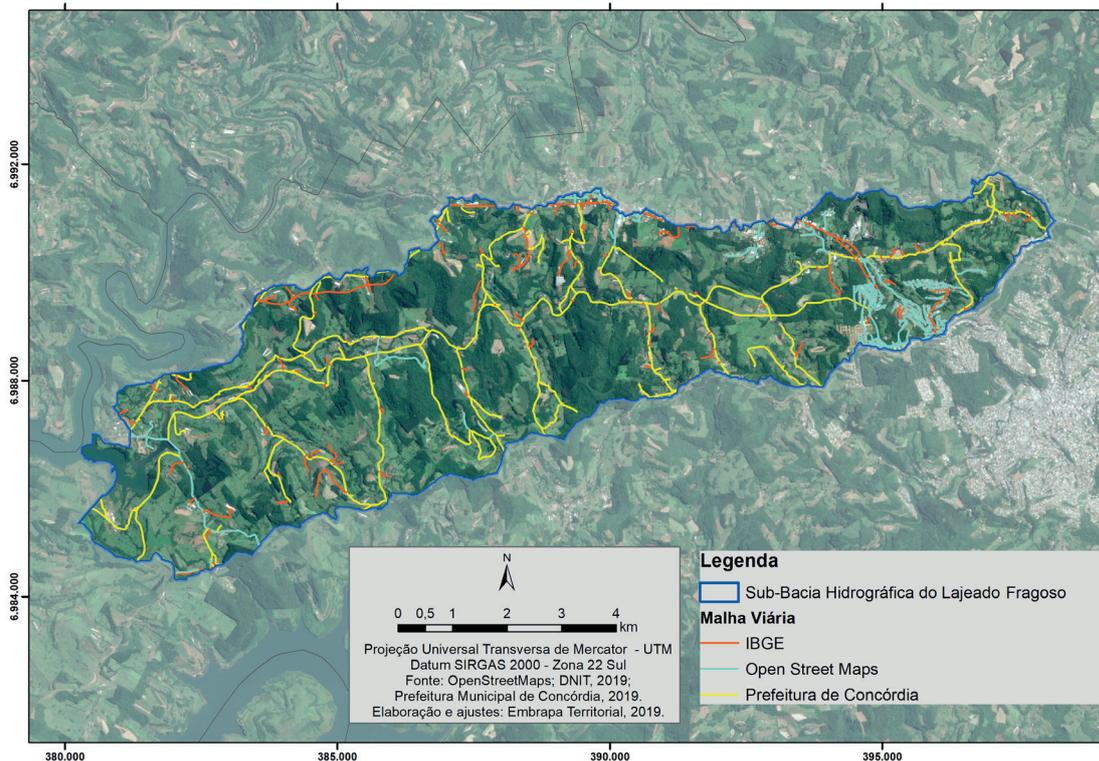


Figura 24. Mapa da malha viária separada por fontes.

Com base na Instrução Normativa 11 do Instituto de Meio Ambiente de SC, foram traçados raios possíveis para a distribuição dos dejetos e seu uso como biofertilizante (Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina, 2014).

Para fazer o cálculo do raio no qual cada produtor é capaz de fornecer os macronutrientes produzidos a partir de sua granja, como previsto na norma, foram usados os valores da produção anual de nutrientes (NPK), a quantidade de nutrientes demandada por cada cultura agrícola prevista na norma (por hectare) e as quantidades desses nutrientes em cada cultura agrícola segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004).

Foram produzidos mapas para diversos arranjos, dependendo das culturas agrícolas praticadas na região e já previstas na norma (Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina, 2014). Nos mapas que apresentam os raios de alcance dos nutrientes, a seguir, é visível o grande número de sobreposições entre os círculos, o que indica excesso de nutrientes concentrados em algumas partes da SBHLF.

As Figuras 25 a 27 ilustram a disponibilidade dos nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, para a produção de milho.

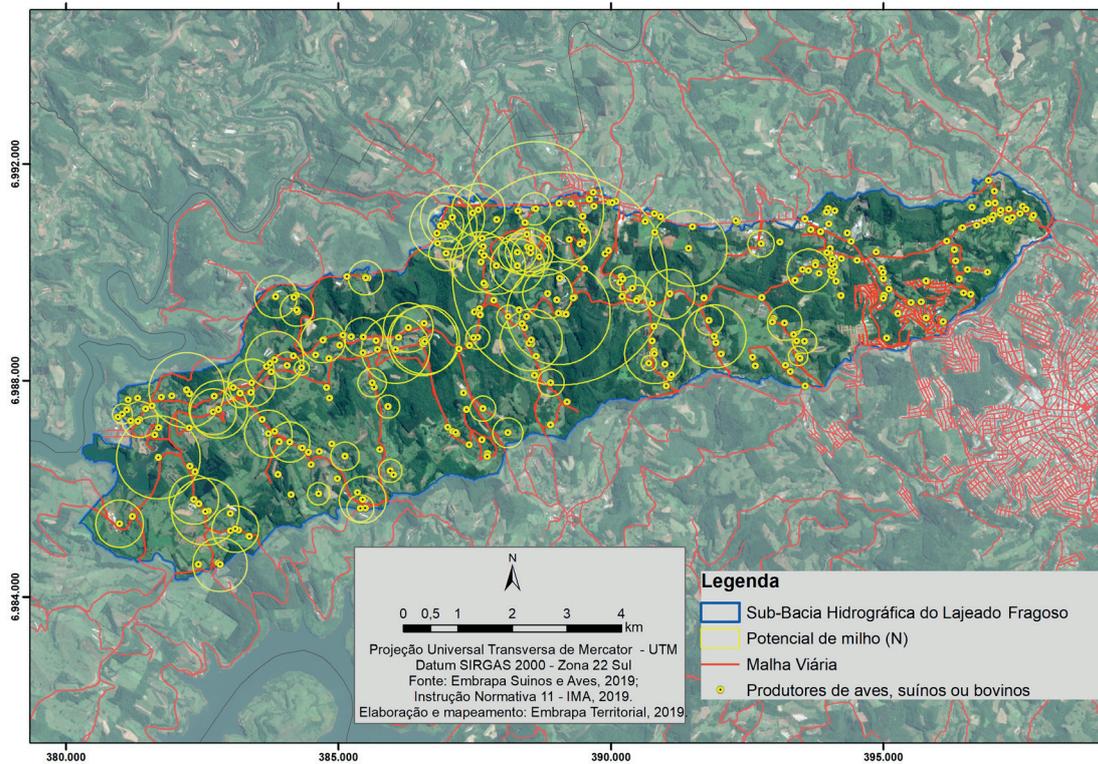


Figura 25. Mapa de relação entre disponibilidade de nitrogênio conforme a demanda da cultura de milho e a malha viária.

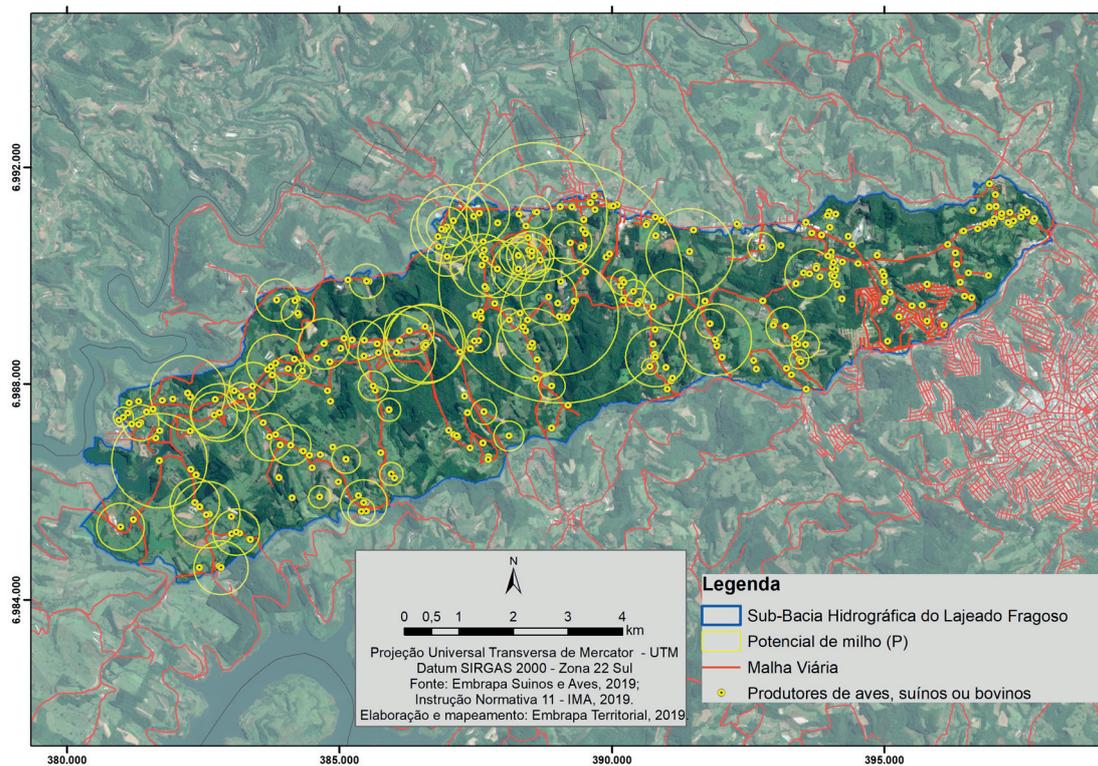


Figura 26. Mapa da disponibilidade de fósforo conforme a demanda de cultura de milho e malha viária.

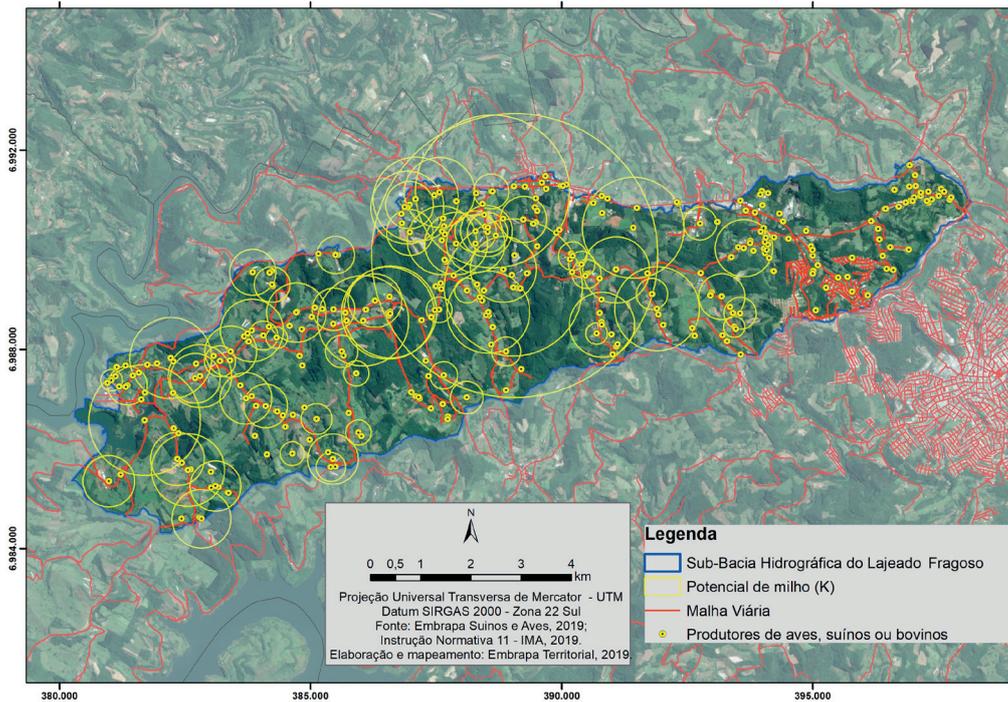


Figura 27. Mapa da disponibilidade de potássio conforme a demanda de cultura de milho e a malha viária.

Algumas propriedades rurais, devido à alta produção animal, têm raios de alcance longos, e a viabilidade da sua logística está no custo do transporte.

As Figuras 28 a 30 ilustram a disponibilidade dos nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, para a produção de soja.

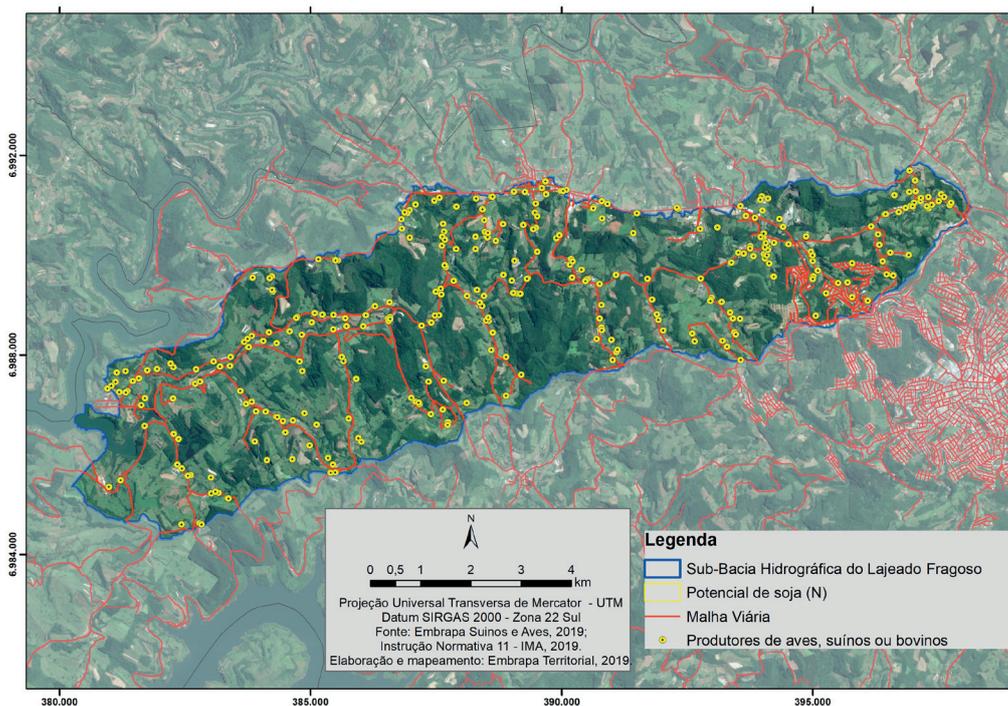


Figura 28. Mapa da disponibilidade de nitrogênio conforme a demanda de cultura de soja e a malha viária.

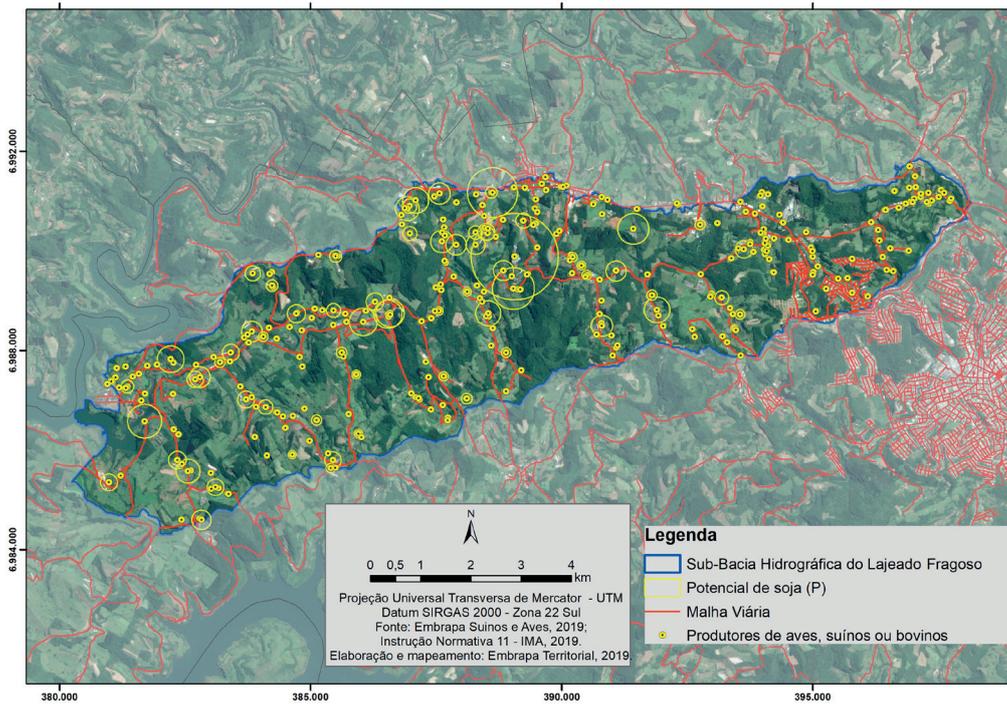


Figura 29. Mapa da disponibilidade de fósforo conforme a demanda de cultura de soja e a malha viária.

A cultura de soja não apresenta demanda de nitrogênio para a sua produção, portanto não existe raio de alcance de disponibilidade do nutriente nitrogênio para este tipo de cultivo.

Os raios de alcance para esse nutriente são menores do que para o potássio devido às altas dosagens possíveis de serem aplicadas.

A disponibilidade de potássio para a demanda exigida para a cultura de soja é mostrada na Figura 30.

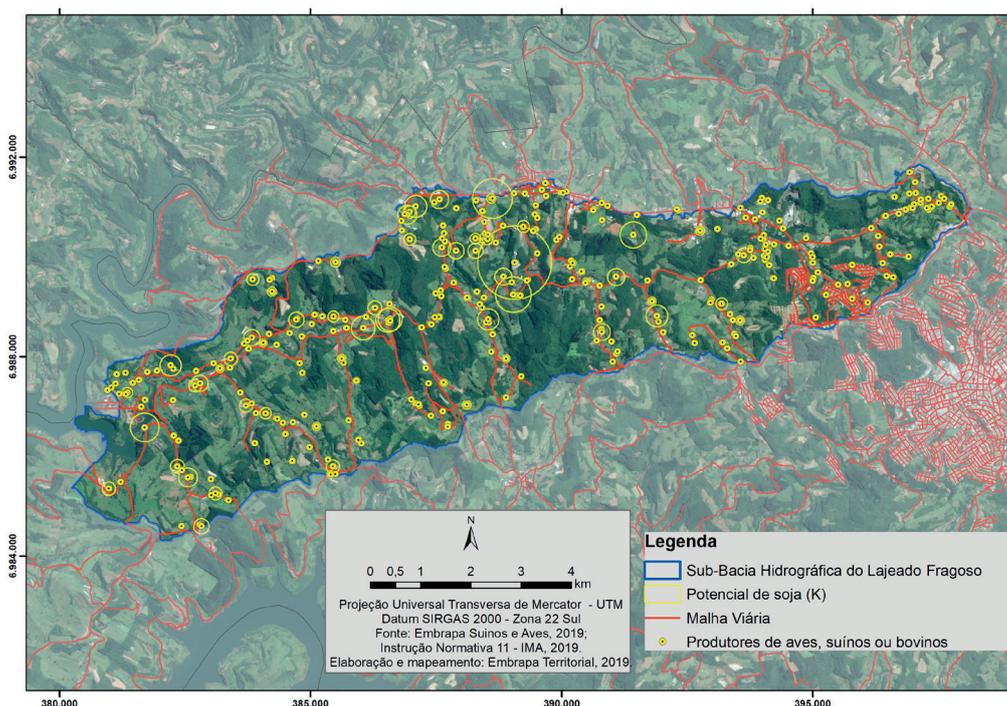


Figura 30. Mapa da disponibilidade de potássio conforme a demanda de cultura de soja e a malha viária.

As Figuras 31 a 33 ilustram a disponibilidade dos nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, e sua demanda para a produção de trigo.

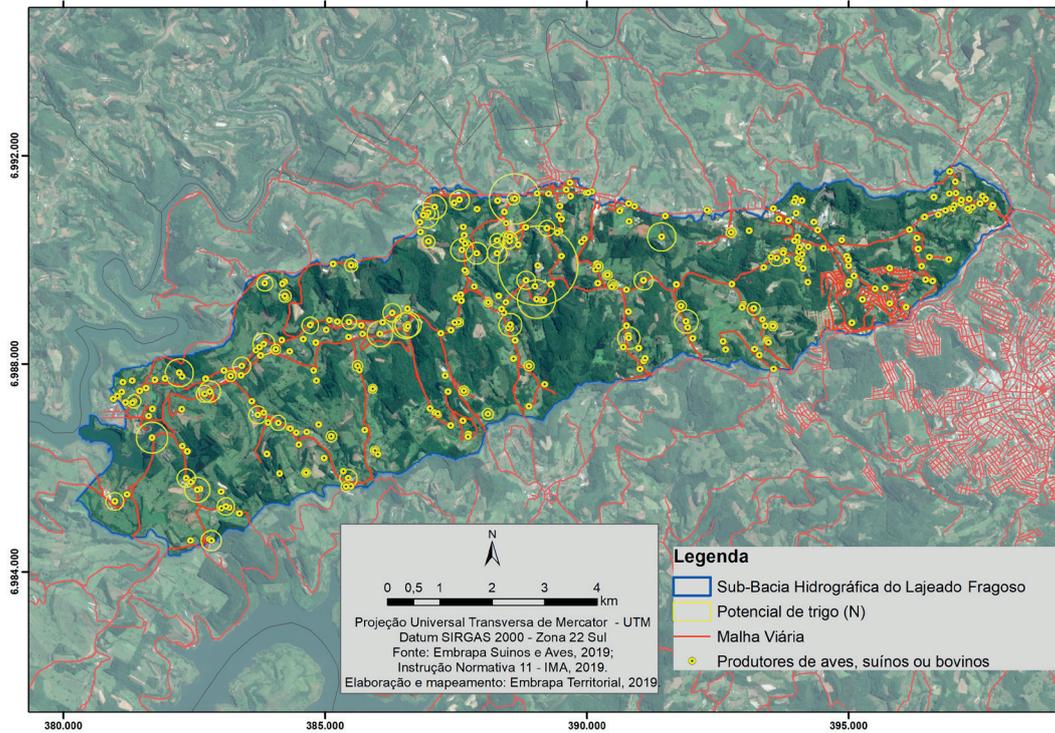


Figura 31. Mapa da disponibilidade de nitrogênio conforme a demanda de cultura de trigo e a malha viária.

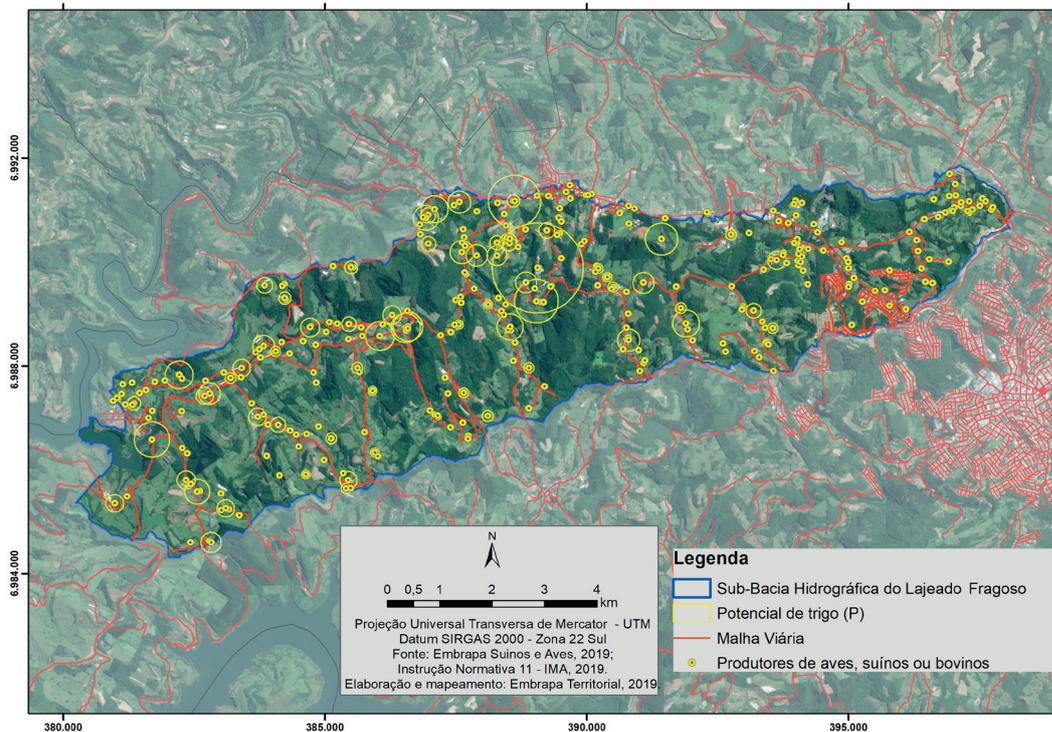


Figura 32. Mapa da disponibilidade de fósforo conforme a demanda de cultura de trigo e a malha viária.

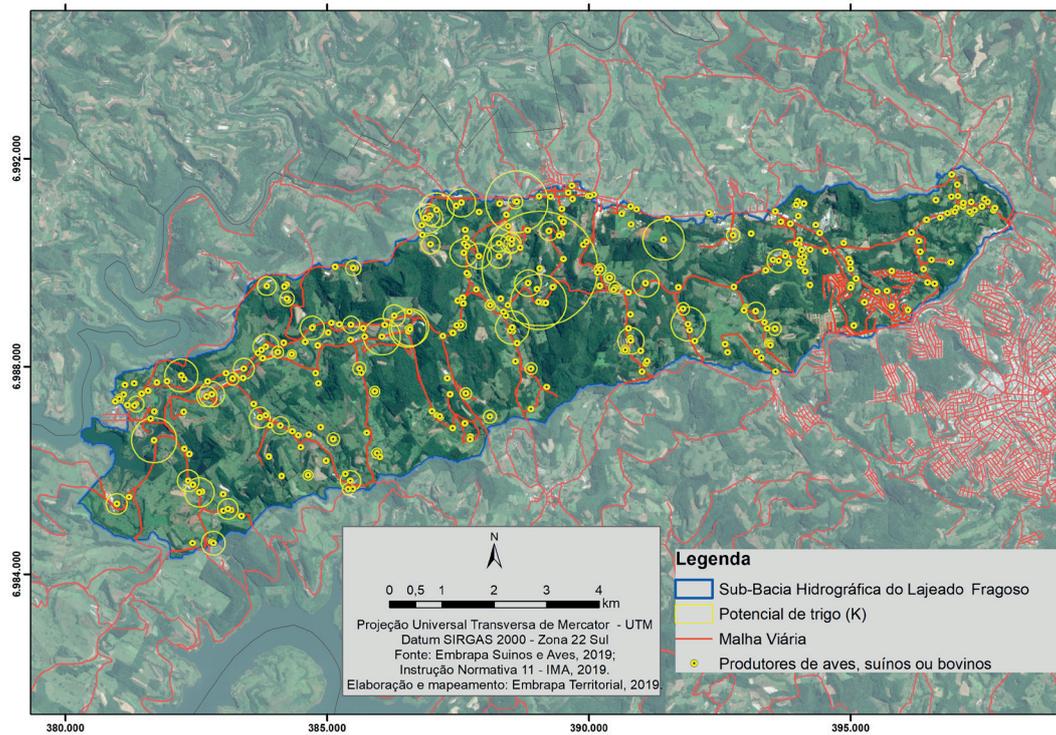


Figura 33. Mapa da disponibilidade de potássio conforme a demanda de cultura de trigo e a malha viária.

As Figuras 34 a 36 ilustram a disponibilidade dos nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, e sua demanda para a produção de leguminosas.

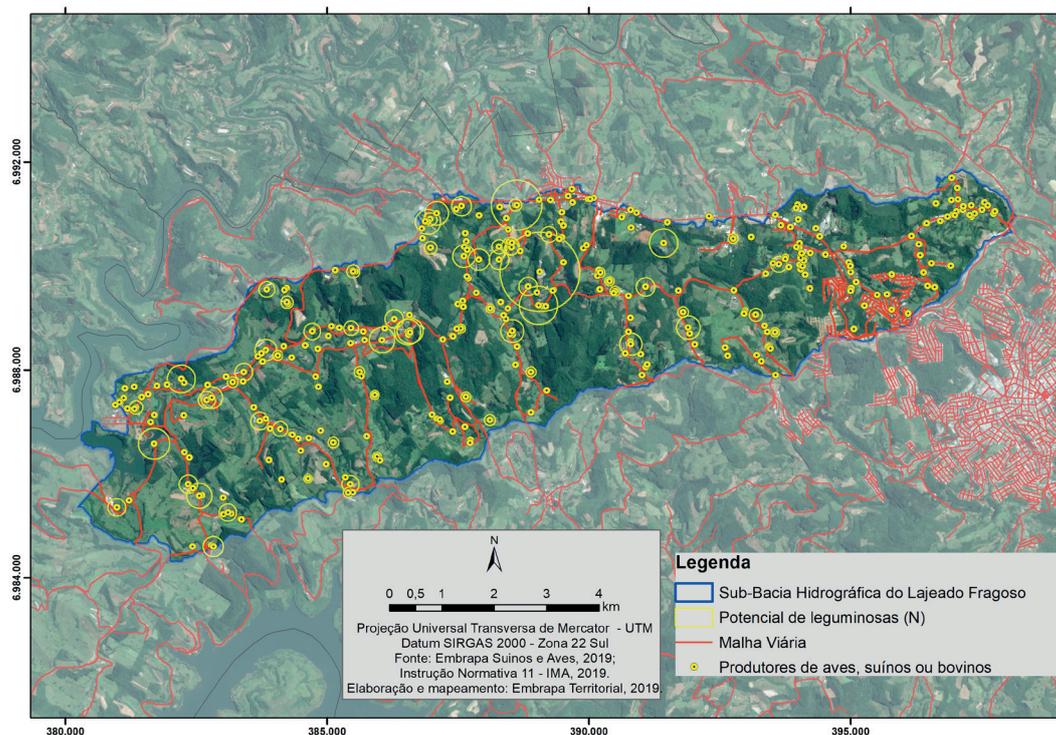


Figura 34. Mapa da disponibilidade de nitrogênio conforme a demanda de cultura de leguminosas e a malha viária.

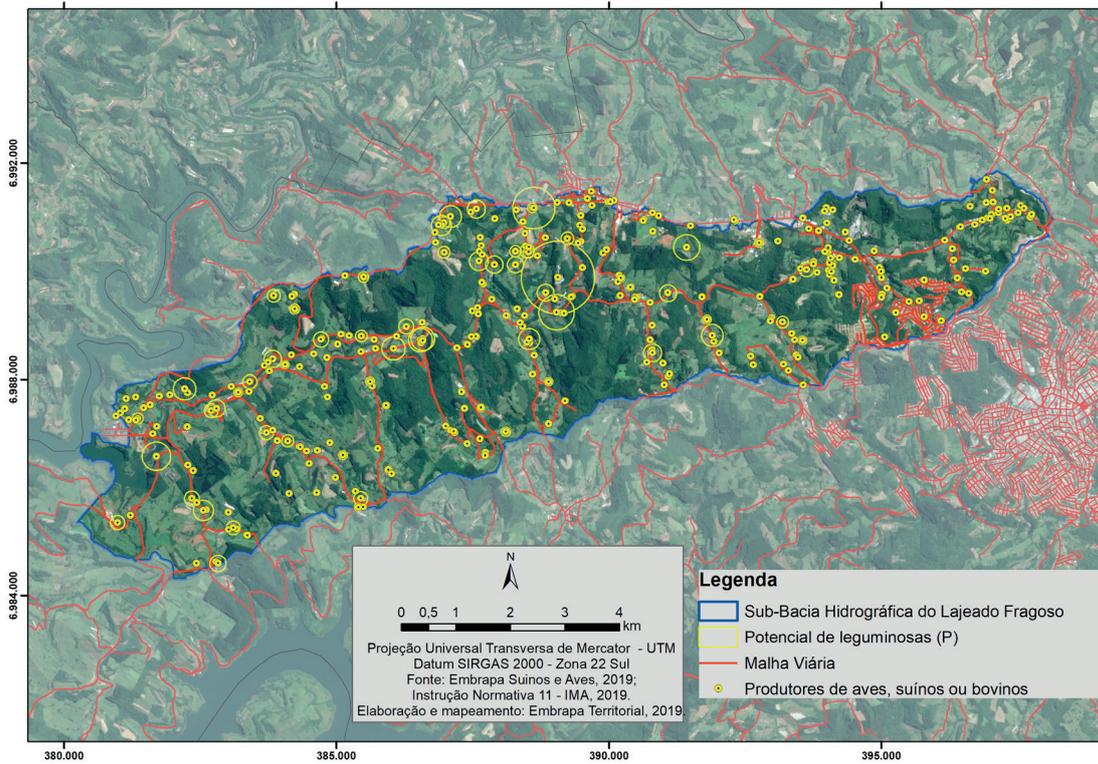


Figura 35. Mapa da disponibilidade de fósforo conforme a demanda de cultura de leguminosas de inverno e a malha viária.

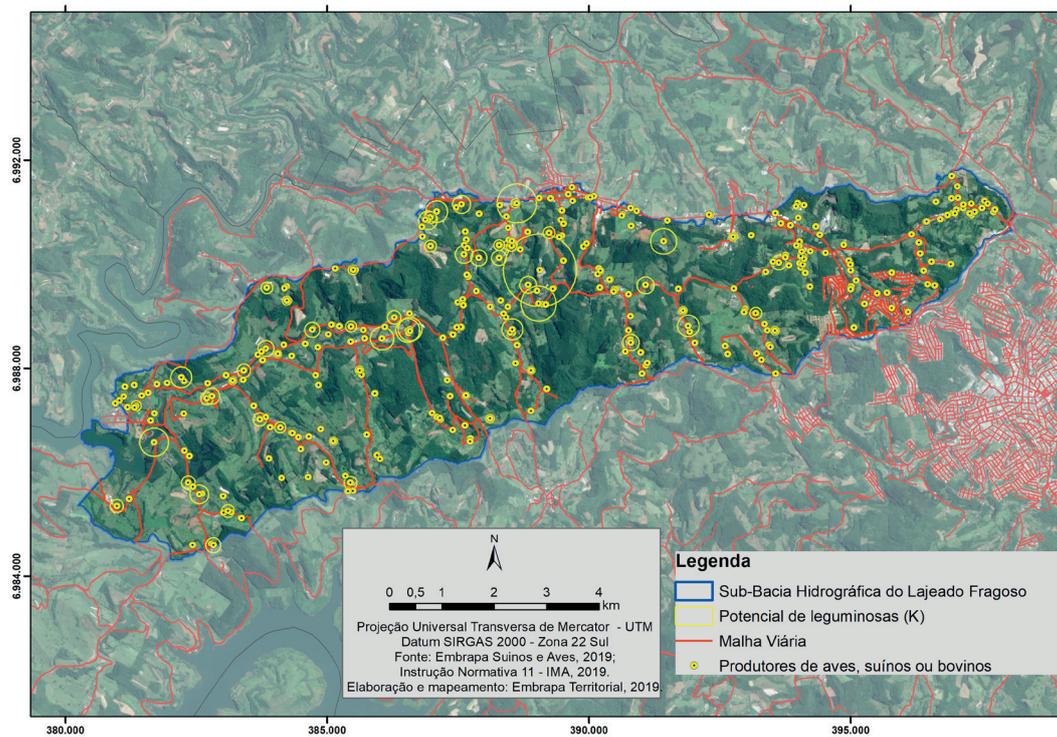


Figura 36. Mapa da disponibilidade de potássio conforme a demanda de cultura de leguminosas e a malha viária.

As Figuras 37 a 39 ilustram a interpolação da distribuição dos nutrientes potássio, fósforo e nitrogênio, respectivamente, proveniente dos dejetos de suínos, por produtor.

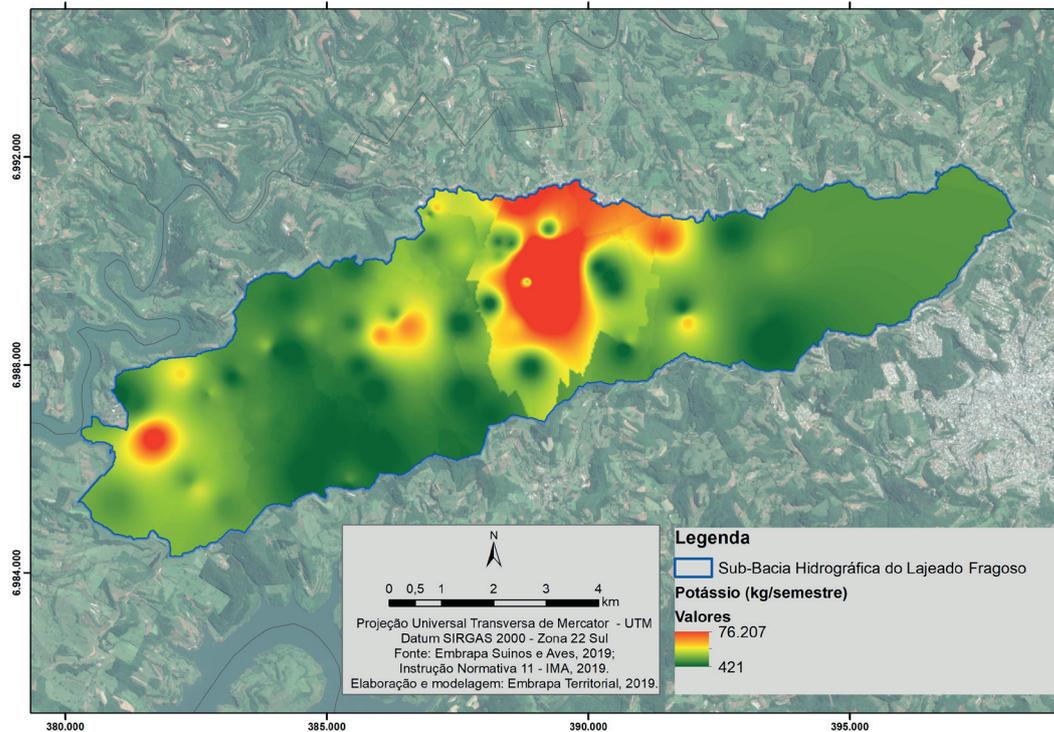


Figura 37. Mapa de interpolação da distribuição de potássio proveniente dos dejetos suínos para cada produtor.

A maior produção de potássio por dejetos suínos na região central da bacia apresenta máxima de 76.504 kg e mínima de 420 kg produzidos em um semestre.

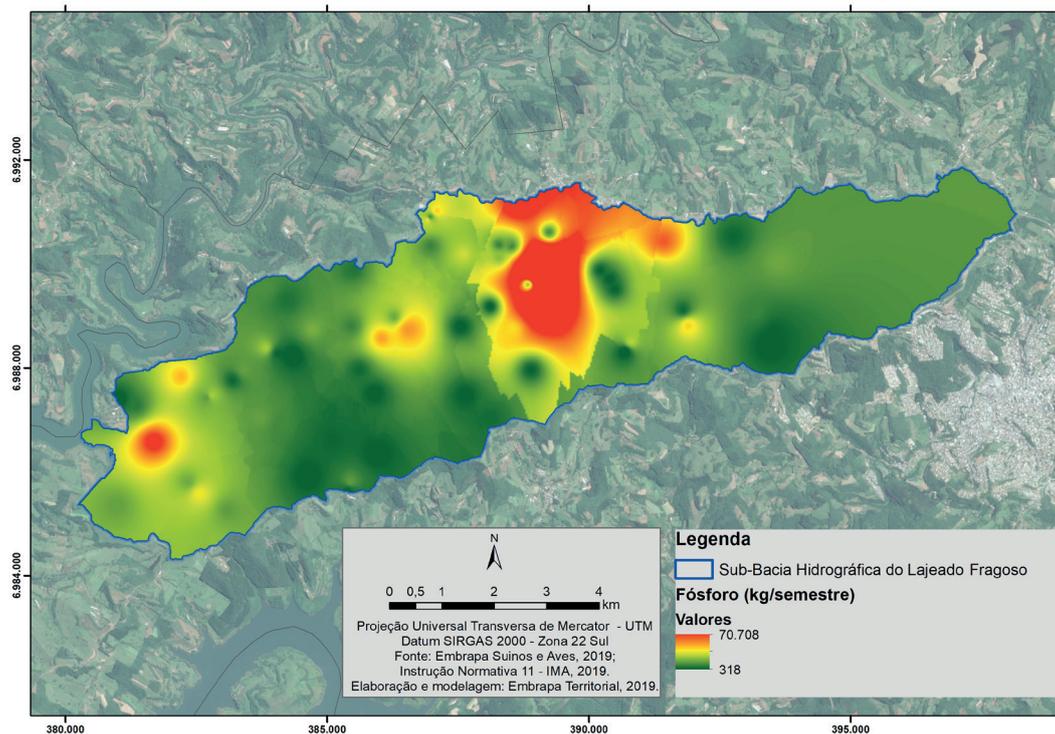


Figura 38. Mapa de interpolação da distribuição de fósforo proveniente dos dejetos suínos para cada produtor.

A maior produção de nitrogênio por dejetos suínos na região central da bacia apresenta máxima de 36.485,3 kg e mínima de 180 kg produzidos em um semestre.

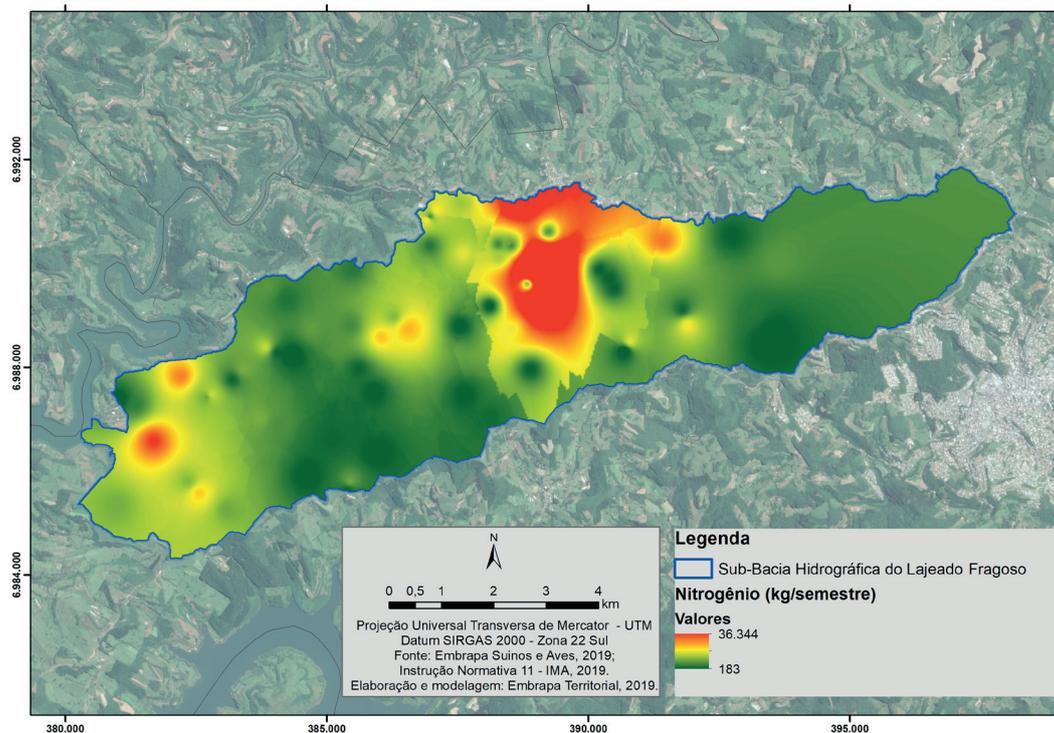


Figura 39. Mapa de interpolação da distribuição de nitrogênio proveniente dos dejetos suínos para cada produtor.

As produções de nutrientes advindas da criação de suínos estão concentradas na região central da SBHLF, pois a produção de cada nutriente é proporcional à quantidade de suínos que cada produtor possui, ou seja, a região central da sub-bacia é um local com grande concentração de produtores de suínos. A malha viária é mostrada em todos os mapas, pois a distribuição por via rodoviária é o modal que viabiliza o uso do biofertilizante.

Proposta de estudo técnico e econômico

Para simplificação e melhor entendimento pelo leitor, esta seção descreve o método de análise econômica usado, assim como os resultados obtidos neste estudo.

Os dejetos da produção animal podem ter várias aplicações, como a produção de biogás, biofertilizante líquido e sólido. Quando usada, a biodigestão anaeróbica implica investimentos em biodigestores e outros equipamentos de separação e geração de energia. Outra tecnologia praticada é a compostagem, ou biodigestão aeróbica, em ambiente aberto, que tem como produto o composto orgânico usado como adubo. Cada uma delas implica em investimentos e deve ter a sua própria logística de escoamento e distribuição.

O biogás pode ser usado localmente para gerar energia térmica para aquecimento da granja e energia elétrica (cogeração), com exportação do excedente de energia para a rede de distribuição. O biogás também pode ser purificado para abastecer a frota local ou mesmo ser injetado na rede de gasodutos, quando houver. Na área de estudo, a concessionária local é a Celesc, cuja rede de

distribuição pode ser eventualmente usada para a distribuição da energia elétrica gerada a partir do biogás.

Para o escoamento de biofertilizantes, foi traçada a malha viária. Neste caso, pode-se pensar em veículos abastecidos com biometano, que é o biogás purificado para uso veicular, ou mesmo na injeção do gás na rede de gasodutos.

Para produzir este estudo técnico-econômico, foram utilizados dados primários referentes a 71 propriedades produtoras de suínos, localizadas na SBHLF, Concórdia/SC, obtidos pelos pesquisadores da Embrapa Suínos e Aves em trabalho de levantamento de campo. O levantamento foi feito por meio de questionário e registrou informações sobre a identificação dos proprietários e a capacidade produtiva de cada um deles, dividida por sistemas de produção: crechário (CR), granja de reprodutores suínos certificada (GRSC), ciclo completo (CC), unidade de crescimento ou terminação (UCT) e unidade produtora de leitão (UPL). A Tabela 6 apresenta as características gerais das propriedades produtoras de suínos.

Tabela 6. Características gerais das propriedades.

Quantidade de produtores	71
Média de suínos por propriedade	1.025
Mediana de suínos por propriedade	730
Quantidade máxima de suínos em uma propriedade	7.887
Quantidade mínima de suínos em uma propriedade	42
Desvio-padrão	1.075

Os dejetos suínos foram quantificados a partir dos dados da Tabela 6, e foi calculada a quantidade de dejetos produzidos por cada propriedade. O cálculo do volume de efluentes gerados por dia utilizou a fórmula proposta por Kunz e Oliveira (2006) e Mito et al. (2018) (Equação 1).

$$Q = N^{\circ} \times PD \quad (1)$$

Onde:

Q é o volume total de dejetos ao dia (m³/dia);

N^o é o número de animais de cada proprietário (número inteiro);

PD é o volume de dejetos líquidos produzidos por animal e categoria ao dia (m³/dia).

Os parâmetros apresentados na Tabela 7, volumes de dejetos líquidos produzidos por animal e categoria por dia, foram obtidos do Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (2014).

Tabela 7. Volume de dejetos líquidos produzidos por animal e categoria por dia.

TERMINAÇÃO (m ³ /dia)	UPL (m ³ /dia)	CICLO COMPLETO (m ³ /dia)	CRECHE (m ³ /dia)	GRSC (UPL) (m ³ /dia)
0,0045	0,0228	0,0471	0,0023	0,0228

Com o objetivo de estimar o potencial de produção diária de biometano por biodigestão, foi utilizada a metodologia proposta por Kunz e Oliveira (2006) e Mito et al. (2018) (Equação 2).

Os parâmetros de sólido voláteis (SV) e de capacidade máxima teórica de produção de metano pelos dejetos suínos (B°) também foram extraídos de Mito et al. (2018).

$$\text{PrM} = B^\circ \times \text{SV} \times Q \quad (2)$$

Onde:

PrM é a produção diária de biometano (m^3/dia);

B° é a capacidade máxima teórica de produção de metano pelos dejetos suínos ($0,32 \text{ m}^3/\text{dia}$);

SV é a concentração de sólidos voláteis ($35,38 \text{ g/l}$);

Q é o volume total de dejetos ao dia (m^3/kg).

Para estimar o potencial de produção diária de biogás, foi preciso fazer a conversão de potencial de produção de biometano para potencial de produção de biogás (Equação 3). O parâmetro de conversão utilizado considera a proporção de 60% de biometano no biogás (Mito et al., 2018).

$$\text{PrB} = \text{PrM} \times C^\circ \quad (3)$$

Onde:

PrB é a produção diária de biogás (m^3/dia);

PrM é a produção diária de biometano (m^3/dia);

C° é o coeficiente de conversão ($\approx 1,67$).

Com base nos dados primários, também foi possível quantificar os macronutrientes N, P_2O_5 e K_2O (nitrogênio, pentóxido de fósforo e óxido de potássio) que cada produtor possivelmente geraria como resultado da biodigestão, ou seja, foi possível estimar a quantidade de fertilizante NPK presente no efluente (Tabela 8). Para isso, foram utilizados os dados referentes à oferta de nitrogênio, fósforo e potássio calculada a partir da excreção do equivalente em N, P_2O_5 e K_2O por unidade de animal alojado nos diferentes sistemas de produção, obtidos em Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (2014).

Tabela 8. Oferta de nitrogênio, fósforo e potássio calculada a partir dos dejetos por animal.

Sistema de produção	N (kg/ano)	P_2O_5 (kg/ano)	K_2O (kg/ano)
Terminação	8,00	4,30	4,00
UPL	25,70	18,00	19,40
Ciclo completo	85,70	49,60	46,90
Creche	0,40	0,25	0,35
GRSC (UPL)	25,70	18,00	19,40

Assim, para encontrar as quantidades de nitrogênio, de fósforo e potássio contidos nos dejetos suínos foi preciso multiplicar os parâmetros da Tabela 8 pela quantidade de animais de cada propriedade. Além disso, foram considerados mais dois parâmetros: perdas ou remoção de nutrientes quando o seu tratamento ocorre em biodigestores e índice de eficiência agrônômica dos nutrientes. Portanto, para estimar as quantidades de nitrogênio, fósforo e potássio presentes no efluente de cada propriedade foram utilizadas a Equação 4 (cálculo da estimativa da produção anual de N, P ou K em kg/ano), a Equação 5 (cálculo do raio no qual o produtor é capaz de fornecer NPK, em metros) e a Equação 6 (cálculo do valor que o produtor poderia ganhar com a venda dos nutrientes, em R\$).

A Equação 4 foi criada pelos autores, para estimar a produção anual de nitrogênio, pentóxido de fósforo e óxido de potássio. Os parâmetros utilizados foram: a quantidade de animais por categoria, o índice de oferta de nitrogênio, pentóxido de fósforo e óxido de potássio por categoria (Tabela 8), o índice de perdas ou remoção de nitrogênio, pentóxido de fósforo e óxido de potássio em biodigestores e a eficiência agrônômica do nitrogênio, pentóxido de fósforo e óxido de potássio. A multiplicação desses índices permite encontrar a quantidade fornecida de cada nutriente (Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina, 2014).

$$Q_i = N^o \times I_i \times P_i \times E_i \quad (4)$$

Onde:

Q_i é a produção anual de nitrogênio, fósforo ou potássio (kg/ano);

I_i é o índice de oferta de nitrogênio, fósforo ou potássio (Figura 3, kg/ano);

P_i é o índice de perdas ou remoção de nitrogênio quando o seu tratamento ocorre em biodigestores (55%, 0% e 0%, respectivamente);

E_i é a eficiência agrônômica do nitrogênio, fósforo ou do potássio (80%, 100% e 100%, respectivamente).

I pode ser o nitrogênio, o fósforo ou o potássio.

Os dados das quantidades demandadas de nutrientes N, P e K das culturas de milho, soja, trigo e leguminosas de inverno e de verão estão disponíveis em Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e Comissão de Química e Fertilidade do Solo (2004) e listados na Tabela 9. Para calcular o raio no qual cada produtor é capaz de fornecer esses nutrientes semestralmente foi usada a produção anual de N, P ou K dividida por 2.

Tabela 9. Quantidade de NPK que cada cultura demanda.

	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)
Milho	30	45	30
Soja	0	30	45
Trigo	20	30	20
Leguminosas - inverno	20	50	50
Leguminosas - verão	20	50	50

Para fazer esse cálculo é utilizada a equação da área de uma circunferência, porém a incógnita a ser encontrada é o raio. Além disso, como é mostrado na Equação 5, deve-se inicialmente dividir a produção potencial anual de nitrogênio, fósforo ou potássio pela demanda de N, de P₂O₅ ou de K₂O de cada cultura, e posteriormente multiplicar esse valor pelo fator 10.000, para transformar hectare em metros quadrados (m²). A Equação 5, também construída pelos autores, calcula o raio no qual o produtor é capaz de fornecer N, P₂O₅ e K₂O, em metros. Foram utilizados os seguintes parâmetros: produção anual de cada nutriente, quantidade de cada nutriente demandado por cada cultura por área (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo e Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004), e a fórmula da área de um círculo ($A = \pi.R^2$). Para fazer o cálculo, deve-se dividir a produção anual de cada nutriente em cada propriedade pela quantidade de nutrientes demandada por cada cultura, por área. Assim é calculada a quantidade de hectares que o produtor consegue suprir de nutrientes.

$$R_i = \sqrt{\left\{ \left(\frac{Q_{hi}/2}{D_x} \right) * 10000 \right\} / \pi} \quad (5)$$

Onde:

R_i é o raio que cada produtor é capaz de fornecer de nutrientes (m);

Q_{h_i} é a área, em hectares, que consegue suprir de N, P ou K (kg/ha/ano);

D_x é a quantidade demandada por cada cultura (kg/ha);

$\pi \approx 3,1415$.

X pode ser o milho, a soja, o trigo, a leguminosa de verão ou a leguminosa de inverno.

Por fim, foi feita a valoração dos macronutrientes potencialmente produzidos pelos produtores e conforme o Instituto do Meio Ambiente de Santa Catarina (2014). Foram consideradas como referências três matérias-primas: ureia, fosfato monoamônico (MAP) e cloreto de potássio (KCl). Inicialmente, foram constatadas, junto ao Instituto de Potassa & Fosfato (1998), as quantidades de N, P₂O₅ e K₂O que estão presentes nessas três matérias-primas (Tabela 10).

Tabela 10. Porcentagens de macronutrientes por matéria-prima.

	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)
Ureia	44	0	0
MAP	9	45	0
KCl	0	0	60

Também foi utilizado como parâmetro o preço das matérias-primas, divulgado pelo site GlobalFert (<https://www.globalfert.com.br/>). Os preços em dólares foram convertidos para reais. No dia em que foi feita a pesquisa (01/12/2019), a taxa de câmbio do dólar americano (US\$) era de R\$ 4,227. Assim, um kg de ureia custava R\$ 1,091, enquanto um kg de MAP custava R\$ 1,619 e um kg de KCl custava R\$ 1,484.

Para encontrar o valor de quanto cada produtor ganharia com a venda de cada nutriente, as quantidades totais de N, P₂O₅ e K₂O produzidas por cada produtor foram divididas por 100 e, em

seguida, multiplicadas pelas porcentagens de N, P₂O₅ e K₂O nas três matérias-primas (Tabela 10) e pelos preços, em reais, de cada matéria-prima.

A Equação 6, elaborada pelos autores, encontra o valor que cada produtor conseguiria obter com a venda de cada nutriente. Foram utilizados os parâmetros: produção anual de cada nutriente (Equação 4), porcentagens de cada nutriente presente nas três matérias-primas (Instituto de Potassa & Fosfato, 1998) e os preços de cada matéria-prima fornecidos em GlobalFert (2019). Por exemplo, o fertilizante MAP é composto por 48% de N e o seu valor de compra é R\$ 1,619/kg, portanto, se fosse composto por 100% de N, o preço seria igual ao valor encontrado.

$$PG = \sum \frac{Qi \times 100 \times Pi}{\%Ni} \quad (6)$$

Onde:

PG é o valor que o produtor poderia ganhar com a venda dos nutrientes (R\$);

Qi é a produção anual de nitrogênio, fósforo ou potássio (kg/ano);

%Ni são as porcentagens de N, P₂O₅ e K₂O presentes nas três matérias-primas;

Pi é o preço de cada matéria-prima.

Está claro para os produtores que o manejo correto da propriedade, da granja, do estábulo e das suas casas rurais passa pelo tratamento dos resíduos. Existem muitas tecnologias disponíveis no mercado para tratar efluentes. A análise de viabilidade deve considerar os custos de investimento, conhecidos como CAPEX (aquisição dos equipamentos e materiais permanentes), e o custo operacional, conhecido como OPEX, assim como o tempo de depreciação dos equipamentos. Os principais gargalos para a adoção de tais tecnologias são geralmente esses custos, para os quais são necessárias linhas de financiamentos atrativas. A análise econômica mostra a diferença entre tais custos e as receitas obtidas com os produtos para calcular a viabilidade e o tempo necessário para o pagamento de tais investimentos e a obtenção de lucros que complementem a produção primária. Não há nenhuma solução sem investimentos. O compartilhamento dos custos por meio de associação de produtores, cooperativas ou consórcios e a obtenção de linhas de créditos são aspectos fundamentais de sucesso em locais com grande número de produtores. Grandes produtores sempre terão maior capacidade para buscar e usar tecnologias inovadoras em seus negócios. Médios e pequenos produtores devem agir de forma conjunta para terem mais chances de sucesso.

A partir dos cálculos apresentados anteriormente é possível identificar duas fontes de receita para os produtores. A primeira é a transformação do biogás em energia elétrica via grupo gerador, e a segunda é a venda ou o uso do biofertilizante resultante da biodigestão anaeróbica. Além dos custos de implantação do biodigestor e dos equipamentos auxiliares, deve-se deduzir custos com grupos geradores. Se o biofertilizante for vendido para terceiros ou aplicado em áreas agrícolas próprias, deve-se deduzir custos com transporte.

Com base nos cálculos apresentados anteriormente foi possível encontrar as quantidades potenciais de biogás e biometano produzidos pelos 71 produtores. A Tabela 11 apresenta a quantidade total de dejetos que os produtores têm potencial para produzir por dia, além de informações como média de dejetos por produtor e mediana de dejetos por produtor.

Tabela 11. Informações referentes à quantidade de dejetos produzidos por dia (m³/dia).

Média	10,02
Mediana	5,40
Máximo	179,82
Mínimo	0,95
Desvio-padrão	21,95
Total	711,37

A partir da quantidade de dejetos que passará pela biodigestão é possível calcular as quantidades de biogás e biometano que os produtores são capazes de produzir. Levando em consideração que os plantéis dessa região são capazes de produzir 711,37 m³ de dejetos por dia e que a quantidade total desses dejetos será biodigerida, os dados referentes às gerações de biogás e biometano são expostos na Tabela 12.

Tabela 12. Informações referentes às quantidades de biogás e biometano ao dia (m³/dia).

	Biogás	Biometano
Média	189,06	113,43
Mediana	101,89	61,14
Máximo	3.393,15	2.035,89
Mínimo	17,83	10,70
Desvio-padrão	413,53	248,12
Total	13.423,08	8.053,85

Essa quantidade de dejetos tem a capacidade de produzir, diariamente, um total de 13.423 m³ de biogás e, conseqüentemente, 8.054 m³ de biometano, considerando que o biometano representa 60% do biogás. Assim, cada estabelecimento produz diariamente, em média, 189 m³ de biogás, ou seja, 113 m³ de biometano. Quando avaliamos essas informações mensais (30 dias) é possível identificar que essa região tem o potencial de produzir 402.690 m³ de biogás e 241.614 m³ de biometano.

Por meio de um grupo gerador a biogás, é possível gerar energia elétrica. Portanto, se os produtores instalarem grupos geradores, disponíveis no mercado, com a capacidade de 260 kWh e que consumam 118 m³ de biogás, em regime contínuo, é possível gerar aproximadamente 887.283 kWh por mês. Essa quantidade de energia remunerada no valor de R\$ 0,46/kWh – taxa informada no site da Celesc no mês de fevereiro de 2020 – pode levar a uma economia de R\$ 408.150,18. Ou seja, em média, cada produtor economizaria aproximadamente R\$ 5.750 por mês.

Foi possível obter também estimativas referentes à quantidade de biofertilizante produzida, ao tamanho da área em que o produtor poderá utilizar o biofertilizante de acordo com a cultura cultivada e o valor, em reais, pelo qual o produtor poderá vender o biofertilizante. Os custos de investimento, operação e manutenção dos geradores devem ser considerados na análise econômica. Aqui é apresentada uma estimativa do potencial de benefício econômico.

Cada produtor dessa região tem a capacidade de produzir, em média, 4.837 kg de nitrogênio, 8.415 kg de fósforo e 8.570 kg de potássio anualmente. Assim, no total, a região com 71 produtores poderia produzir 343.416 kg de nitrogênio, 597.448 kg de fósforo e 608.498 kg de potássio.

Quanto ao tamanho dos raios de abrangência correspondentes à área potencialmente capaz de ser fertilizada, de acordo com a cultura plantada (Tabela 13), os mapas correspondentes foram apresentados anteriormente junto com a dimensão geográfica do alcance.

Tabela 13. Raio, em metros, que os produtores serão capazes de suprir de N, P₂O₅ e K₂O semestralmente (m³/semestre).

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Milho	30.627,90	32.286,46	39.436,18
Soja	0,00	39.542,68	32.199,51
Trigo	37.511,37	39.542,68	48.299,26
Leguminosas de inverno	37.511,37	30.629,63	30.547,13
Leguminosas de verão	37.511,37	30.629,63	30.547,13

Foi estimado o valor, em reais, que os produtores ganhariam se vendessem todo o biofertilizante produzido em suas propriedades. O total que os 71 produtores teriam capacidade para arrecadar é R\$ 374.344 por mês ou, em média, R\$ 5.272,45 por mês cada produtor. Igualmente para a venda de energia elétrica gerada com o biogás, a renda do comércio dos nutrientes contidos nos dejetos já biodigeridos precisa subtrair os custos de investimento, operação e manutenção de tratores e caminhões para transporte. Como a prática corrente é o uso em áreas próprias, existe o custo evitado com a compra de fertilizantes comerciais. Ainda há poucos exemplos de venda de biofertilizantes a terceiros, mas ela pode tornar-se corriqueira e importante fonte de renda para os produtores.

Portanto, para a região da SBHLF, considerando os 71 produtores selecionados para o estudo conseguirão, se investirem de forma correta, a partir das hipóteses e condições aqui testadas, economizar ou arrecadar aproximadamente R\$ 782.494,15 por mês. Assim, em média, a renda de cada produtor poderá ser aumentada em até R\$ 11.021,48 por mês. Esse valor pode ser superior à receita bruta com suínos em terminação, mas é apenas um indicativo da quantidade de receita que pode estar sendo perdida pelos produtores que não aproveitam os dejetos.

Abordagem holística para estudos de manejo de dejetos.

A junção de bases de dados georreferenciadas de produção, de características naturais, econômicas e ambientais, além de uso e ocupação das terras e das condições de infraestrutura locais pode ser capaz de equacionar soluções inovadoras. Cada região tem suas próprias características intrínsecas, e soluções genéricas geralmente não funcionam muito bem. Algumas estratégias podem ser generalizadas e devem ser mescladas com as características regionais.

As empresas que comercializam soluções baseadas em processo de biodigestão, seja para cogeração ou para refino de biometano, têm suas planilhas automatizadas criadas para atender as demandas de seus equipamentos. As soluções relacionadas com o uso dos efluentes das plantas de biodigestão, tanto líquidos como sólidos, denominados biofertilizantes, são mais bem equacionadas quando balizadas por normativas. Neste estudo específico foi usada uma instrução normativa do órgão ambiental do estado de Santa Catarina. Também sabemos que nem todas as unidades da Federação têm suas legislações aprovadas e em execução com atualizações periódicas. Assim, naqueles locais onde não existe base legal que regulamente o uso de biofertilizantes, é fundamental que estudos sejam realizados e sejam usados métodos científicos para fazer os levantamentos. A disposição incorreta dos dejetos traz, além de impactos ambientais negativos, baixa produtividade e perdas de rendimento.

A construção de um aplicativo de computador ou de celular que possa fazer uma análise de viabilidade para um novo empreendimento de manejo de dejetos animais em propriedades rurais será uma realidade muito em breve e deverá considerar tais premissas de caráter técnico, social, econômico, legal e ambiental, todos de forma regionalizada.

Soluções digitais serão cada vez mais parte da vida dos produtores rurais. A digitalização crescente na tomada de decisões será responsável pela agilidade na adoção da solução dos problemas no dia-a-dia do produtor. Os custos deverão ser acessíveis. Certamente faz parte do amplo processo de digitalização pelo qual a sociedade como um todo e o setor do agronegócio particularmente estão passando. As conexões rápidas e confiáveis são mais do que desejáveis nesse contexto, são fundamentais. Os equipamentos de informática já são amplamente difundidos e, embora ainda possam apresentar altos custos, não são o principal obstáculo à existência e ao uso de programas computacionais dessa natureza. A habilidade dos produtores rurais em manusear tais aplicativos computacionais passa por programas de capacitação do tipo que a Confederação Nacional da Agricultura (CNA), por meio do seu braço formação educacional, o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (Senar), poderia oferecer com foco na inclusão digital dos produtores rurais.

Conclusões

O planejamento territorial pode ajudar na solução de problemas coletivos ou individuais dos produtores rurais. Ao equacionar o problema de disposição de efluentes e implantar soluções, as propriedades vizinhas e no entorno da bacia hidrográfica são também afetadas positivamente e podem adotar tais soluções caso necessitem. A análise por meio de dados georreferenciados e o mapeamento da área de estudo são essenciais. As decisões tomadas serão tanto mais acuradas quanto mais confiável e qualificada forem as bases de dados usadas. Neste caso particular, onde coexiste um grande número de produtores de animais e o manejo de seus resíduos significa a continuidade ou a descontinuidade da atividade produtiva e, portanto, o futuro de dezenas de famílias que por décadas têm se dedicado à atividade, essas informações são a base para novos investimentos em busca de soluções duradouras. Existe grande conexão entre esses planos de informações para o alcance dos objetivos do estudo. Ao analisar essas informações, os planejadores serão capazes de desenhar arranjos produtivos envolvendo os proprietários rurais no que diz respeito ao correto manejo de dejetos. Assim, serão capazes de diminuir seus custos de produção ao, por exemplo, deixarem de pagar para dispor os dejetos em aterro sanitário, e terão nova renda com a venda da energia gerada pela queima do biogás, a venda do biometano e dos nutrientes no biofertilizante.

A complexidade da área estudada, a SBHLF em Concórdia, SC, em termos da população de agricultores e pecuaristas é vasta e plural. Usar a inteligência territorial auxilia a formatar soluções inovadoras e equacionar os problemas de muitos produtores rurais de forma conjunta e cooperada.

Como esse, existem inúmeros outros locais com alta densidade de produtores. A produção de suínos e aves é completamente realizada em regime de confinamento. Também na bovinocultura o confinamento e o semiconfinamento, particularmente no gado de leite, vêm crescendo rápido. A Região Sul do Brasil tem a característica de ter muitas pequenas propriedades. A Região Nordeste também é recortada por maioria de pequenos produtores. Esta abordagem do problema da disposição correta e rentável dos rejeitos da produção animal vista de forma integrada em uma determinada área com dados relevantes e significativos que possam ser usados na sua caracterização torna-se um caminho que pode ser replicável em outras partes do Brasil.

O uso de informações de plataformas que gerenciam e fornecem cada vez mais dados georreferenciados também ajuda o entendimento de como funciona toda a produção e sua logística. A distribuição da produção, assim como dos seus insumos e resíduos, é marcada, muitas vezes, por relevo acidentado, estradas precárias e dificuldades de produzir em regiões remotas e até isoladas.

Ao analisar os resíduos animais como fonte de bioenergia e nutrientes, após passar pelo processamento, verifica-se que os produtores perdem muitos recursos ao pagarem pela retirada e pelo esgotamento de suas esterqueiras e ao renunciarem a importante matéria orgânica e mineral. Também está claro que o processamento exige investimentos, que podem ser altos e dos quais geralmente o produtor não dispõe. A associação e cooperação em diversas formas pode viabilizar tais investimentos. O entendimento da dispersão e da localização é chave para desenhar os arranjos produtivos e unir os esforços em busca de financiamentos, tecnologias apropriadas e a solução do problema comum.

Este estudo mostrou que conhecer a realidade dos produtores de animais e o seu contexto territorial e socioeconômico é o caminho seguro para propor as soluções, que poderão ser replicadas para outras regiões com características similares.

Esperamos que esta abordagem possa ser útil para o desenvolvimento de sistemas automatizados para a tomada de decisões e o planejamento estratégico de bacias hidrográficas com altas cargas de efluentes da pecuária.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Base Hidrográfica Ottocodificada 1:250.000 (BHO250)**. 2018. Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>. Acesso em: 13 jun. 2019.

BARROS, E. C.; NICOLOSO, R. da S.; HIGARASHI, M. M.; KUNZ, A. **Tratamento de dejetos no âmbito do programa do ABC**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Pecuária/RS, 2015. 13 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Suinocultura de baixa emissão de carbono: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos**. Brasília, DF: MAPA, 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Portal Nacional de Licenciamento Ambiental – Pesquisa de Licenciamento Ambiental**. 2019. Disponível em: <http://pnla.mma.gov.br/pesquisa-de-licenciamento-ambiental>. Acesso em: 22 out. 2019.

CADASTRO AMBIENTAL RURAL. **Siscar Downloads**. 2019. Disponível em: <http://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>. Acesso em: 17 de out. 2019.

COPERNICUS SENTINEL DATA; EUROPEAN SPACE AGENCY. **Retrieved from Earth Explorer, processed by European Space Agency (ESA)**. 2019. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>. Acesso em: 22 out. 2019.

CORRÊA, J. C. **BIOGASFERT: tecnologias para produção e uso de biogás e fertilizantes a partir do tratamento de dejetos animais no âmbito do plano ABC**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves; Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2016. 63 p.

EARTH EXPLORER. **USGS (Science for a changing world)**. 2019. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 22 out. 2019.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema de Informação dos Solos Brasileiros**. Disponível em: https://www.bdsolos.cnptia.embrapa.br/consulta_publica.html. Acesso em: 22 out. 2019.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS Desktop 10.6**. Redlands, CA, 2019.

IBGE. **Downloads**. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 09 out. 2019.

IBGE. **Manuais Técnicos em Geociências**. 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 09 out. 2019.

INSTITUTO DE POTASSA & FOSFATO. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2. ed. rev. e ampl. Piracicaba: POTAFOS, 1998. 177 p.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. **Suinocultura**. Florianópolis: FATMA, 2014, 37 p. (Instrução Normativa, 11). Disponível em: <http://www.ima.sc.gov.br/index.php/downloads/licenciamento-ambiental/instrucoes-normativas-1/in11/2572-in11-suinocultura>. Acesso em: 25 nov. 2019.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias para o tratamento de resíduos de animais. In: PALHARES, J. C. P.; GEBLER, L. (Org.). **Gestão ambiental na agropecuária**. Brasília, DF: Embrapa, 2014, v. 2, p. 235-283.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. **Revista de Política Agrícola**, v. 15, n. 3, p. 28-35, 2006.

MAPBIOMAS. **Engine Explorer**. 2018. Disponível em: https://code.earthengine.google.com/?accept_repo=users/mapbiomas/user-toolkit. Acesso em: 31 out. 2019.

MIRANDA, E. E. de. **Agricultura e preservação ambiental: uma análise do Cadastro Ambiental Rural – material e métodos**. 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/car/material-metodos>. Acesso em: 10 set. 2019.

GLOBALFERT. **GlobalFert**. Disponível em: <https://www.globalfert.com.br/preco-mp/>. Acesso em: 01 dez. 2019.

MITO, J. Y. L.; KERKHOFF, S.; SILVA, J. L. G.; VENDRAME, M. G.; KUNZ, A. **Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2018. 52 p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 196).

OPEN STREET MAP. **Map**. 2019. Disponível em: <https://www.openstreetmap.org/#map=14/-27.2500/-52.0402&layers=TD>. Acesso em: 17 out. 2019.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO; COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre, 2004. 400 p. Disponível em: http://www.sbcs-nrs.org.br/docs/manual_de_adubacao_2004_versao_internet.pdf. Acesso em: 25 nov. 2019.

Embrapa

Territorial