

Campinas, SP
Dezembro, 2012

Autores

Fabio Enrique TorresanEcólogo, Doutor em Ecologia e Recursos Naturais, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP
fabio.torresan@embrapa.br**Carlos Cesar Ronquim**Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ecologia e Recursos Naturais, pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP
carlos.ronquim@embrapa.br**Janice Freitas Leivas**Meteorologista, Doutora em Agrometeorologia, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP
janice.leivas@embrapa.br**Luciana Spinelli Araujo**Engenheira Florestal, Doutora em Ecologia Aplicada, pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas, SP
luciana.spinelli@embrapa.br

Base de dados espaciais para avaliação da sustentabilidade e planejamento ambiental de paisagens agrossilviculturais

Introdução

No Estado de São Paulo, a cultura de eucalipto (*Eucalyptus* sp.) abrange uma área total de cerca de 1.031.677 ha, o que confere ao estado o segundo lugar em área plantada com esse gênero (ABRAF, 2012). Com a diminuição e o desaparecimento de extensas áreas de vegetação nativa em um estado com a predominância da cultura de cana-de-açúcar, os plantios de florestas homogêneas comerciais adquirem grande importância por constituírem uma matriz com características próprias em uma paisagem fragmentada.

Em paisagens agrossilviculturais, onde o processo de fragmentação de ecossistemas naturais encontra-se maximizado pelas atividades antrópicas e a estrutura fundiária é baseada na propriedade particular, as ações de conservação e adequação ambiental das propriedades exigem uma abordagem baseada na paisagem como unidade territorial, pois a análise de problemas de ocupação do espaço é determinante nessas regiões (METZGER, 2001).

A análise de indicadores de ecologia da paisagem pode fornecer subsídios técnicos para a gestão de áreas de silvicultura integradas ao seu entorno, bem como a definição de áreas adequadas para a implantação e recomposição de reserva legal e áreas de preservação permanente.

A aplicação de geotecnologias, como sistemas de informações geográficas e interpretação de imagens de sensoriamento remoto, oferece grandes vantagens em relação à análise espacial tradicional/analógica (por exemplo, grande capacidade de armazenamento e processamento de dados digitais e rapidez nas análises) para o processamento e a análise de dados espaciais e ambientais, o que torna essas técnicas fundamentais na identificação e espacialização dos mosaicos dos diferentes ambientes modificados, os quais podem subsidiar tecnicamente a gestão e o zoneamento do uso e da cobertura das terras.

Nesse contexto, o projeto Avaliação da sustentabilidade e planejamento ambiental em propriedade do setor silvicultural (SilvSust) foi elaborado com o objetivo geral de avaliar o estado atual da biodiversidade da flora arbustivo-arbórea e da fauna de uma propriedade do setor florestal, definindo e testando indicadores de sustentabilidade e propondo ações de manejo florestal e aumento da conectividade de remanescentes na paisagem para incremento dos processos ecológicos.

O projeto teve início em 2009 e é desenvolvido em uma propriedade denominada "Horto Florestal Santa Fé", (Figuras 1 e 2) localizada no Município de Brotas, SP, onde é cultivado *Eucalyptus* spp. para a fabricação de celulose e papel. Entretanto, foi adotada como área de estudo do projeto uma faixa de entorno de 5 km a partir dos limites da propriedade, com o objetivo de considerar os efeitos e impactos das atividades vizinhas à propriedade.

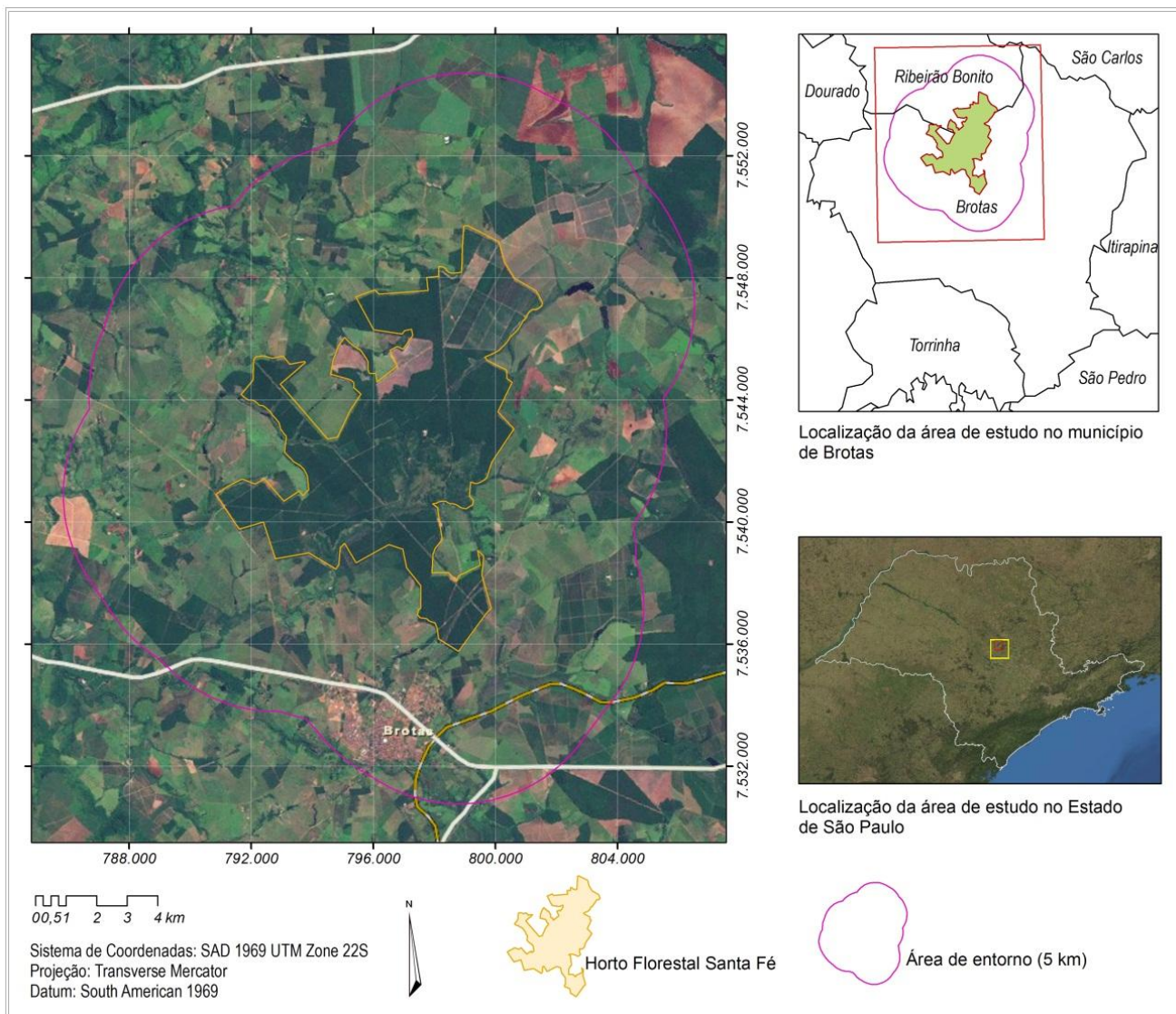


Figura 1. Localização da área de estudo.



Figura 2. Aspecto geral do Horto Florestal Santa Fé.

Como produto final, o projeto SilvSust tem a ambição de propor o manejo mais adequado para a promoção da recomposição arbórea nativa de áreas de reserva legal e preservação permanente. Com base nos princípios de ecologia da paisagem serão definidos, ainda, cenários alternativos para alocação das áreas de reserva legal na propriedade rural, que tornarão possível compatibilizar a conservação da biodiversidade por meio da conectividade entre os remanescentes florestais e a proteção ao meio físico e biótico.

A metodologia adotada para atingir o objetivo final do projeto envolve a utilização de ferramentas de geoprocessamento e a interpretação e classificação de imagens de sensoriamento remoto, e inclui as seguintes atividades: estruturação de banco de dados geográficos, levantamento de fauna (aves e mamíferos), mapeamento do uso e da cobertura das terras, cálculo de métricas de ecologia da paisagem, análise dos resultados e proposição de zoneamento para a área de estudo.

No presente documento, é descrita a metodologia adotada para a estruturação do banco de dados geográficos, a qual é uma etapa prévia para a geração de cartas temáticas de dinâmica de uso e cobertura das terras, as quais darão suporte às próximas atividades do projeto.

Materiais e métodos

Área de estudo

A área de estudo está localizada no Município de Brotas, SP. Conhecida como Horto Florestal Santa Fé, ela é constituída pela silvicultura de eucalipto em talhões com diferentes idades e formas de manejo do sub-bosque, além de áreas de preservação permanente e talhões que já não têm nenhuma intervenção há mais de 20 anos.

Será avaliada também uma área de entorno do Horto Florestal correspondente a uma faixa de 5 km a partir dos limites do Horto, com o objetivo de considerar os efeitos e impactos das atividades vizinhas à propriedade. A paisagem do entorno é constituída por uma matriz onde predominam usos agrícolas diversos, entre eles o cultivo de cana-de-açúcar, a citricultura e pastagens.

A área total do Horto Florestal Santa Fé é de cerca de 6.050 ha, dos quais cerca de 4.900 ha são explorados para silvicultura de *Eucalyptus* spp. O Horto Florestal Santa Fé vem se destacando na busca de alternativas para recomposição de áreas destinadas a reserva legal e áreas de preservação permanente.

Além dos usos antrópicos, ainda ocorrem alguns remanescentes de vegetação nativa, com destaque para a mata ciliar dos rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, que interceptam as glebas do Horto Florestal Santa Fé. O Rio Jacaré-Pepira é de extrema importância para o Município de Brotas, pois seu leito apresenta trechos com muitas corredeiras e cachoeiras que são muito utilizados para a prática de esportes de aventura (*rafting*, boiacross, rapel, canyoning) e ecoturismo, e atrai um grande contingente de turistas e receita econômica para o município.

Originalmente essa região era dominada por vegetação de cerrado com algumas porções de florestas estacionais semidecíduas (NISHIKAW et al., 2002; KRONKA et al., 1998). Algumas áreas antes cultivadas com silvicultura foram destinadas à recomposição da reserva legal usando diferentes metodologias, como a condução da regeneração natural a partir de formação de sub-bosque e o plantio de espécies arbóreas nativas. Nessa propriedade, uma região de cerrado em regeneração foi recentemente categorizada como reserva particular do patrimônio natural (RPPN "Floresta das Águas Perenes"), com uma área de 793 ha.

Segundo a classificação de Köppen, o clima de Brotas é caracterizado como Cwa (tropical de altitude) com verão úmido e inverno seco, precipitação média anual entre 1.200 mm e 1.300 mm, com temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C.

O clima de características tropicais apresenta temperatura mínima anual de 15 °C e temperatura máxima média anual de 27 °C, e tem fevereiro como mês mais quente (média de 24,1 °C) e julho, o mais frio (média de 17,8 °C). A precipitação média anual é de 1.209 mm, com janeiro como mês mais chuvoso (200,1 mm) e agosto, o mês mais seco (25 mm) segundo dados do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (Cepagri), como é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Dados climatológicos para o Município de Brotas.

Mês	Temperatura do ar (°C)			Chuva (mm)
	Mínima média	Máxima média	Média	
Janeiro	18,3	29,5	23,9	200,1
Fevereiro	18,6	29,6	24,1	179,5
Março	17,8	29,3	23,6	132,7
Abril	15,2	27,8	21,5	62,7
Maió	12,5	25,9	19,2	50,9
Junho	11,1	24,8	18,0	34,0
Julho	10,6	25,1	17,8	25,7
Agosto	12,0	27,3	19,6	25,2
Setembro	14,0	28,4	21,2	57,5
Outubro	15,7	28,7	22,2	106,2
Novembro	16,5	29,0	22,8	145,9
Dezembro	17,7	28,9	23,3	189,3
Ano	15,0	27,9	21,4	1.209,7
Mínima	10,6	24,8	17,8	25,2
Máxima	18,6	29,6	24,1	200,1

Fonte: CEPAGRI (2012).

Estruturação do banco de dados geográficos

Todas as bases de informações espaciais georreferenciadas foram armazenadas em formato digital, na estrutura "file geodatabase", formato de banco de dados geográficos nativo do software ArcGIS, o que possibilita a realização de análises posteriores com maior rapidez e precisão. Esse banco de dados geográficos também foi utilizado para incorporação de novas informações resultantes da execução de outras atividades do projeto de pesquisa, como os resultados dos trabalhos de caracterização da biodiversidade de fauna, localização dos pontos e parcelas de amostragem e o mapeamento do uso e da cobertura das terras da área de estudo (Figura 3).



Figura 3. Esquema conceitual do banco de dados espaciais.

Um “geodatabase” é constituído por uma coleção de conjuntos de bases de dados geográficos e conta com uma ampla gama de arquiteturas de sistema de gerenciamento de banco de dados (DBMS, *database management system*), e pode ter desde um único usuário até um grande grupo de trabalho, departamentos e banco de dados empresariais acessados por muitos usuários.

Mapa base

A base cartográfica analógica existente sobre a área de estudo (cartas topográficas do IBGE em escala 1:50.000)¹ foi digitalizada, originando uma imagem digital que foi devidamente georreferenciada na projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) Zona 22 sul, *South American Datum*, 1969.

Posteriormente, essas imagens foram vetorizadas usando o procedimento de digitalização em tela. Dessa forma, para a folha topográfica foram gerados os seguintes planos de informação: hidrografia, altimetria (curvas de nível), vias de transporte (estradas de terra, asfaltadas, etc.). Um plano de informação representa uma coleção de feições geográficas e seus atributos (HAGAN et al., 1998).

Esses planos de informação foram exportados para o banco de dados geográficos (*file geodatabase*) e agrupados para dar origem ao mapa base da área de estudo (Figura 4), que tem como utilidade inicial o planejamento das campanhas para coleta de dados em campo

¹ Folha SF-22-Z-B-III-4 (Brotas - 1974) e Folha SF-22-Z-B-III-2 (Ribeirão Bonito - 1971).

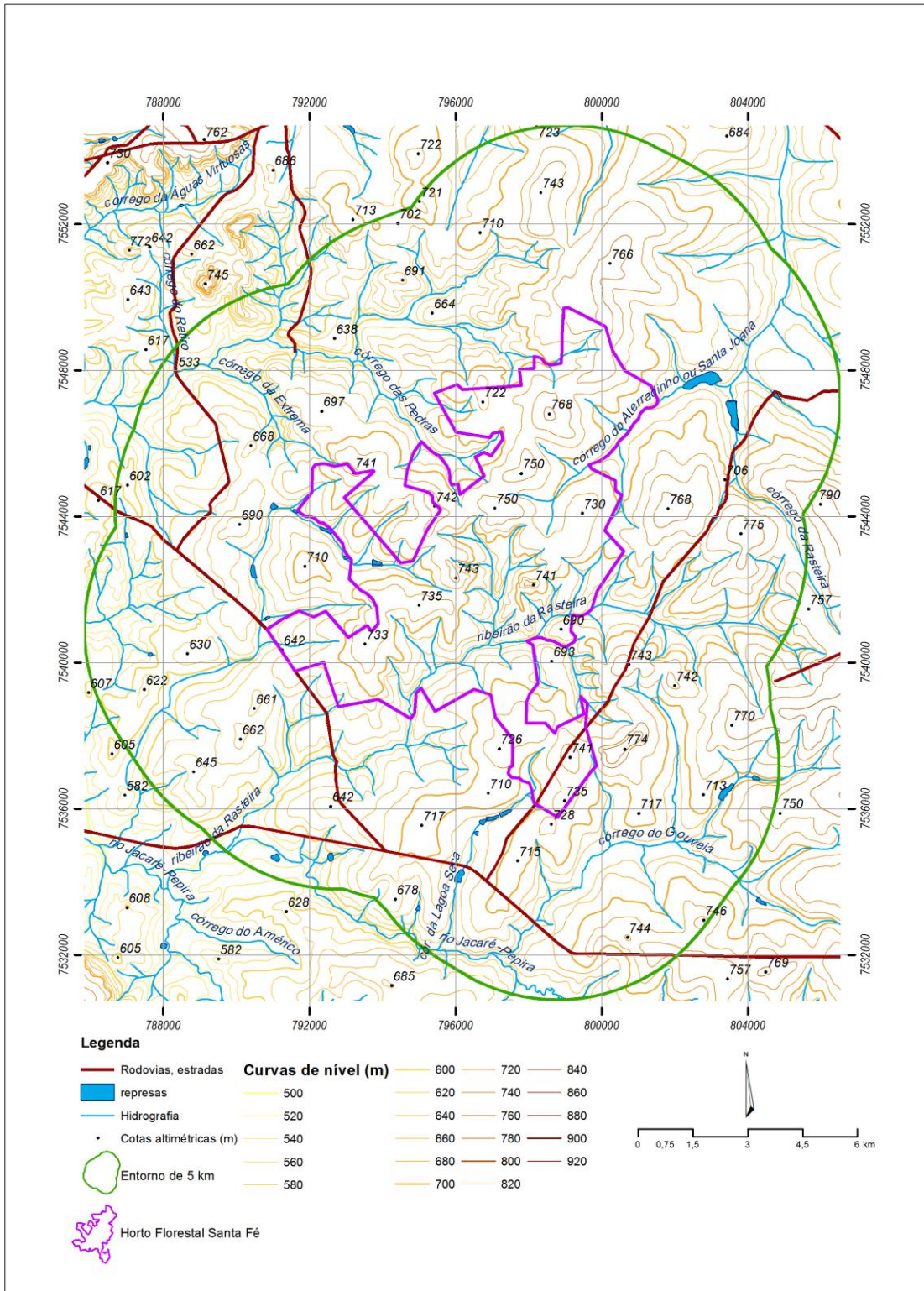


Figura 4. Mapa base da área de estudo.

Modelo digital de elevação

As curvas de nível que foram vetorizadas anteriormente deram origem ao modelo digital de elevação (MDE, Figura 5), que é representado por uma imagem em que cada pixel representa um valor de altitude. Utilizamos também o arquivo vetorial de corpos d'água e represas para que o modelo fosse gerado consistentemente com a hidrografia. Esse modelo foi gerado usando o algoritmo de interpolação denominado "Topo to Raster". A análise dos resultados mostra que as altitudes da área de estudo variam entre 491 m e 925 m, com altitude média de 720 m.

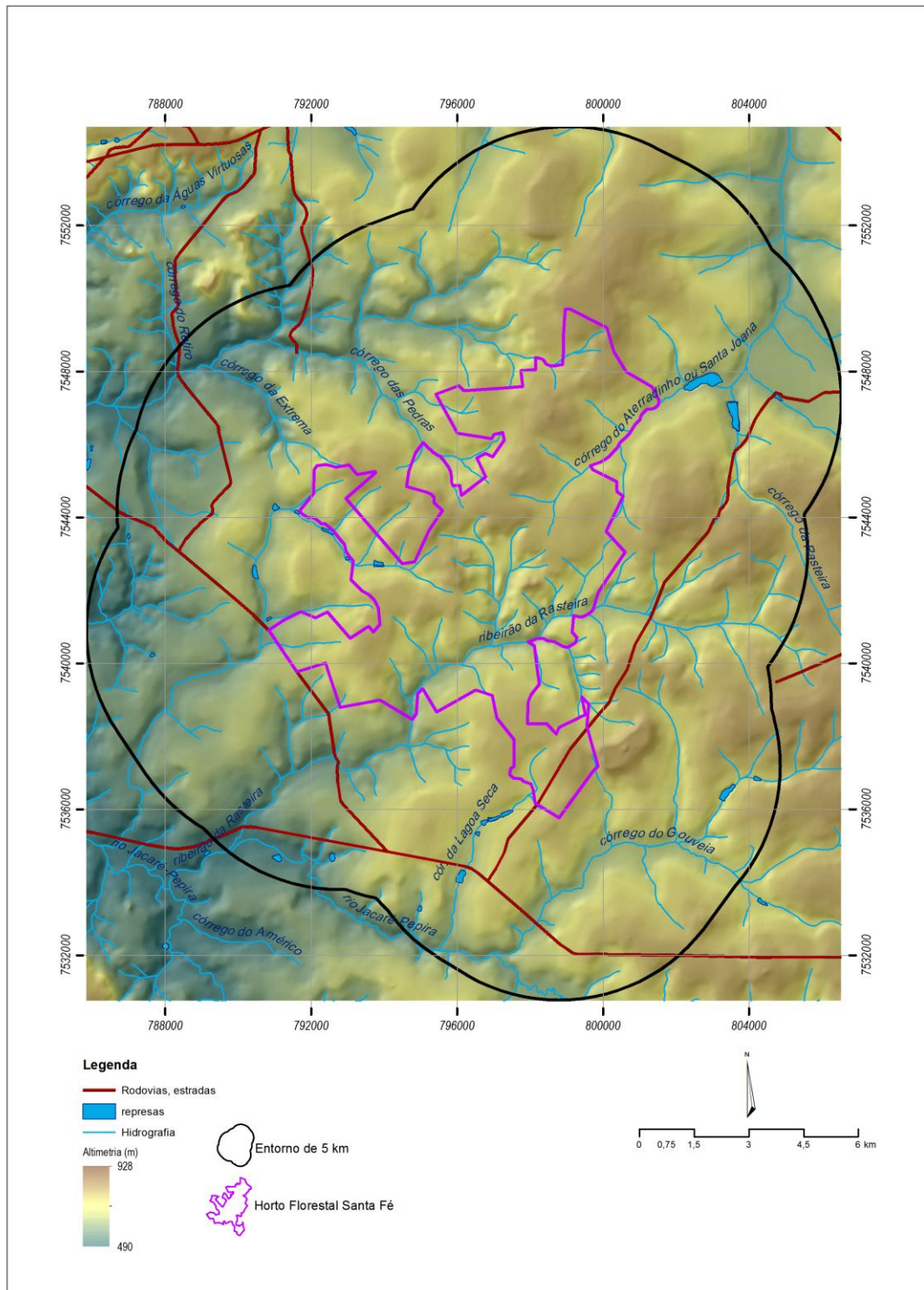


Figura 5. Modelo digital de elevação da área de estudo.

Mapa de declividades

A partir do MDE, geramos o mapa de declividades (Figura 6), que pode ser bastante útil na delimitação de áreas de preservação permanente e para indicar vulnerabilidades ambientais relacionadas a processos erosivos. Adotamos as classes de declividades sugeridas por Embrapa (1999), ou seja: Classe A, plano (0% a 3%); Classe B, suave ondulado (3% a 8%); Classe C, moderadamente ondulado (8% a 13%); Classe D, ondulado (13% a 20%); Classe E, forte ondulado (20% a 45%); e Classe F, montanhoso ou escarpado (acima de 45%).

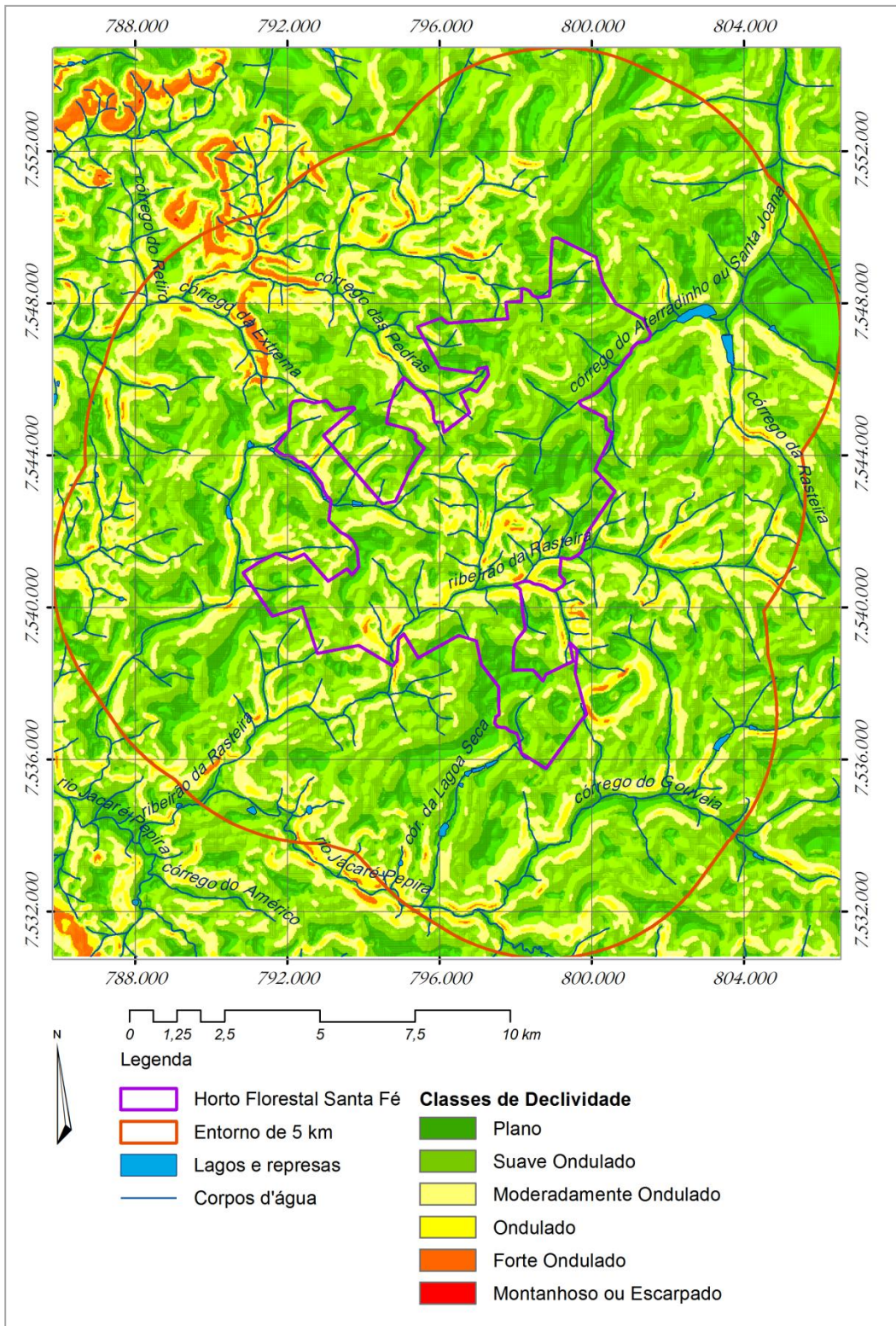


Figura 6. Mapa de declividades.

Organização dos dados de levantamento de fauna

Uma das atividades realizadas no projeto é o levantamento, em campo, das espécies de aves e mamíferos encontradas na área de estudo e, posteriormente, a avaliação de indicadores de diversidade de espécies. O trabalho de campo é feito percorrendo trilhas, fazendo o avistamento das espécies e registrando a sua localização usando o GPS.

Os resultados são organizados em uma planilha eletrônica (Figura 7) com informações sobre cada ponto amostrado, suas coordenadas geográficas e as espécies identificadas. Essa planilha eletrônica é exportada para o ArcGIS, onde os pontos de amostragem podem ser sobrepostos a outros planos de informação (Figura 8), como imagens de sensoriamento remoto, mapas temáticos, como hidrografia e topografia, e métricas de ecologia da paisagem. A próxima etapa da pesquisa consiste em analisar a ocorrência das espécies em relação a esses atributos espaciais, o que permitirá subsidiar o monitoramento da biodiversidade.

PONTO	ID	AVE	X	Y	Z	DIA	HORA	ESPECIE	Nome Popular	Familia	Ordem
2	A01	AVE01	796529,00	7542957,00	684,34	28/09/2010	16:59	<i>Pitangus sulphuratus</i> (Linnaeus, 1766)	bem-te-vi	Tyrannidae Vigors, 1825	Passeriformes Lin
3	A02	AVE02	796555,00	7542886,00	681,94	28/09/2010	17:10	<i>Tyrannus savana</i> Vieillot, 1808	tesourinha	Tyrannidae Vigors, 1825	Passeriformes Lin
4	A03	AVE03	798631,00	7544704,00	687,46	29/09/2010	08:15	<i>Cyanocorax chrysops</i> (Vieillot, 1818)	gralha-picaça	Corvidae Leach, 1820	Passeriformes Lin
5	A03	AVE04	798631,00	7544704,00	687,46	29/09/2010	08:15	<i>Cyanocorax cristatellus</i> (Temminck, 1823)	gralha-do-campo	Corvidae Leach, 1820	Passeriformes Lin
6	A03	AVE05	798631,00	7544704,00	687,46	29/09/2010	08:15	<i>Thamnophilus doliatus</i> (Linnaeus, 1764)	choca-barrada	Thamnophilidae Swainson, 1824	Passeriformes Lin
7	A04	AVE06	798585,00	7544796,00	697,08	29/09/2010	08:45	<i>Cyanocorax cristatellus</i> (Temminck, 1823)	gralha-do-campo	Corvidae Leach, 1820	Passeriformes Lin
8	A04	AVE07	798585,00	7544796,00	697,08	29/09/2010	08:45	<i>Patagioenas picazuro</i> (Temminck, 1813)	pombão	Columbidae Leach, 1820	Columbiformes La
9	A05	AVE08	798609,00	7544884,00	699,96	29/09/2010	09:10	<i>Cyanocorax cristatellus</i> (Temminck, 1823)	gralha-do-campo	Corvidae Leach, 1820	Passeriformes Lin
10	A05	AVE09	798609,00	7544884,00	699,96	29/09/2010	09:10	<i>Patagioenas picazuro</i> (Temminck, 1813)	pombão	Columbidae Leach, 1820	Columbiformes La
11	A06	AVE10	798478,00	7545808,00	710,78	29/09/2010	09:45	<i>Guira guira</i> (Gmelin, 1788)	anu-branco	Cuculidae Leach, 1820	Cuculiformes Wag
12	A07	AVE11	798526,00	7545880,00	704,29	29/09/2010	10:34	<i>Cyanocorax cristatellus</i> (Temminck, 1823)	gralha-do-campo	Corvidae Leach, 1820	Passeriformes Lin

Figura 7. Exemplo da organização dos dados do levantamento de campo em planilha eletrônica.

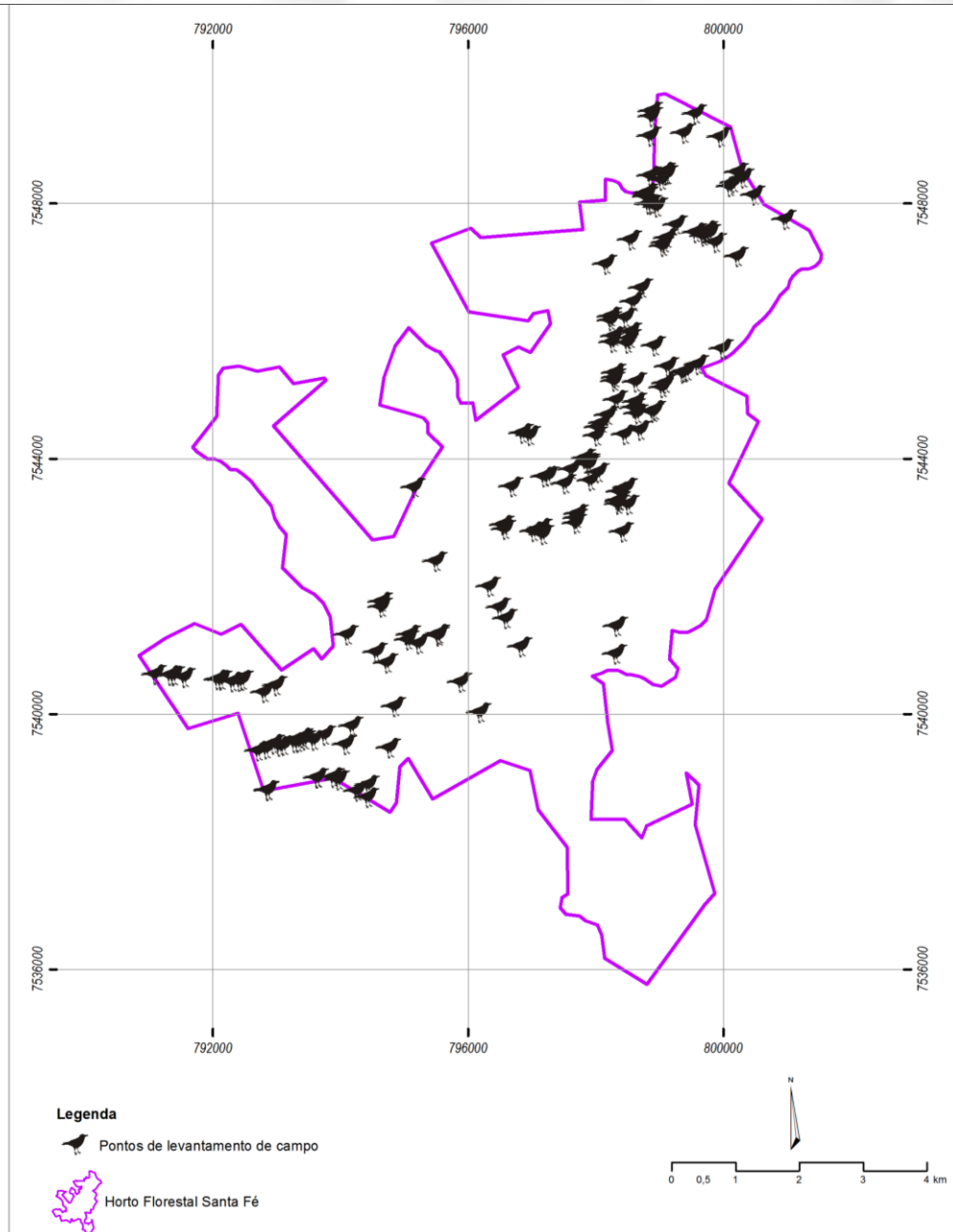


Figura 8. Mapa mostrando os pontos de levantamento de campo.

As métricas de ecologia da paisagem serão calculadas utilizando-se o software FRAGSTATS 3.2 (MCGARIGAL et al., 2002) a partir do mapa de uso e ocupação do solo. Para cada fragmento de vegetação natural e para os talhões de silvicultura serão calculadas as seguintes métricas:

Sigla	Nome	Descrição
NP	Número de fragmentos	Número de fragmentos de determinada classe
PD	Densidade de fragmentos (NP/100 ha)	Número de fragmentos por unidade de área (100 ha)
NCA	Número de áreas nucleares	Número de áreas nucleares disjuntas de uma determinada classe
MPI	Índice de proximidade média	Distância média entre fragmentos de diferentes classes para um raio determinado (100 m)
IJI	Índice de dispersão e justaposição (%)	Grau de agregação dos fragmentos componentes das classes, na paisagem
AREA	Área (ha)	Área total de um determinado fragmento
SHAPE	Índice de forma	Perímetro (m) dividido pela raiz quadrada da área (m ²), ajustado por uma constante para ter-se a equivalência a um círculo padrão
FRACT	Índice de forma na dimensão fractal	Igual a duas vezes o logaritmo do perímetro (m) do fragmento dividido pelo logaritmo da área do fragmento (m ²)
CORE	Área nuclear (ha)	Área (m ²) interna de um fragmento, após ter sido retirada a faixa referente ao efeito de borda
NEAR	Distância média entre os fragmentos (m)	Distância entre fragmentos de mesma classe, baseada na menor distância entre bordas desses fragmentos

Essas métricas de ecologia da paisagem já foram utilizadas por diversos autores. Valente e Vettorazzi (2005) confirmaram a eficácia delas na avaliação da estrutura florestal de bacias hidrográficas, mesmo apresentando alta variabilidade nas características de seus fragmentos de floresta, e concluíram, ainda, que esses índices permitem identificar as diferenças de estruturas florestais existentes entre diversas sub-bacias.

Seleção de imagens de sensoriamento remoto

Para análise da dinâmica de uso e cobertura das terras, bem como para análise de métricas de ecologia da paisagem, selecionamos imagens do sensor Thematic Mapper, do satélite Landsat 5, de datas próximas às datas dos trabalhos de campo e também que consideraram a menor cobertura de nuvens. Para tanto, foram utilizadas imagens da órbita/ponto 220/075 das datas de aquisição 22/4/2009, 13/9/2009, 27/5/2010, 15/8/2010, 27/3/2011 e 3/9/2011.

Essas imagens foram armazenadas no banco de dados geográficos, foram corrigidas geometricamente e estão passando por procedimento de segmentação para posteriormente serem classificadas quanto ao uso e à cobertura das terras. As classes previstas para classificação, de acordo com os levantamentos de campo, são as seguintes: silvicultura, pastagens, citricultura, cana-de-açúcar, solo exposto, mineração, floresta estacional semidecídua, cerrado, mata ciliar, capoeira, área urbana. A Figura 9 mostra um exemplo da composição colorida das bandas 5, 4 e 3 da data de 19 de setembro de 2011.

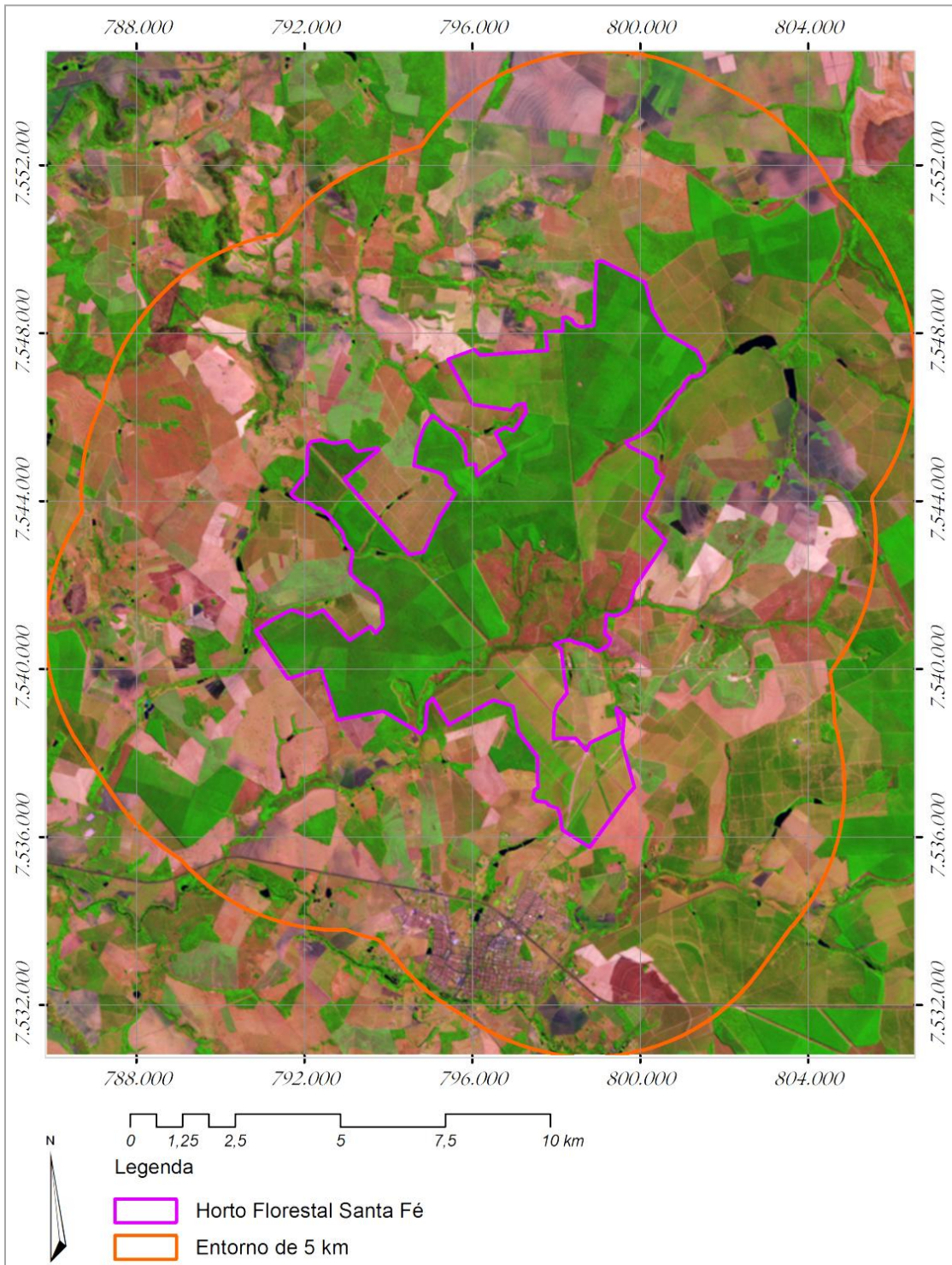


Figura 9. Exemplo de imagem LANDSAT 5.

Considerações finais

A aplicação de geotecnologias tem mostrado bastante eficiência no armazenamento, na organização e na análise de uma grande quantidade de informações espaciais, as quais subsidiarão o zoneamento e a gestão da paisagem agrossilvicultural da área de estudo.

Dessa forma, a base de dados atualmente implantada permitirá que o projeto SilvSust atinja seu objetivo final de propor o manejo mais adequado para a promoção da recomposição arbórea nativa de áreas de reserva legal e preservação permanente. Com base nos princípios de ecologia da paisagem serão definidos, ainda, cenários alternativos para alocação das áreas de reserva legal na propriedade rural, tornando possível compatibilizar a conservação da biodiversidade por meio da conectividade entre os remanescentes florestais e a proteção ao meio físico e biótico.

Referências

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011**. Brasília, DF: Abraf, 2012. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas.asp>>. Acesso em: 13 dez. 2012.

CEPAGRI. Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas aplicadas à Agricultura. **Clima dos Municípios Paulistas**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_091.html>. Acesso em: 13 dez. 2012.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1999. 412 p.

HAGAN, J. E.; EASTMAN, J. R.; AUBLE, J. CARTALINX. **The Spatial Data Builder**. User's Guide. Version 1.0. Worcester, MA: Clark Labs; Clark University, 1998. 201 p.

KRONKA, F. J. N.; NALON, M. A.; MATSUKUMA, C. K.; PAVÃO, M.; GUILLAUMON, J. R.; CAVALLI, A. C.; GIANNOTTI, E.; IWANE, M. S. S.; LIMA, L. M. P. R.; MONTES, J.; DEL CALI, I. H.; HAACK, P. G. **Áreas de domínio do cerrado no Estado de São Paulo**. São Paulo, SP: Secretaria de Estado do Meio Ambiente; Instituto Florestal, 1998.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagem? **Biota Neotropica**, Campinas, SP, v. 1, n. 1/2, dez. 2001.

NISHIKAW, D. L. L.; DURIGAN, G.; ROCHA, E.; SILVEIRA, É. R. da; PULITANO, F. M.; REGALADO, L. B.; CARVALHAES, M. A.; PARANAGUÁ, P. A.; RANIERI, V. E. L. Caracterização de dois estratos da vegetação em uma área de cerrado no município de Brotas, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 16, n. 3, set. 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062002000300002&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 13 dez. 2012.

MCGARIGAL, K.; CUSHMAN, S. A.; NEEL, M. C.; ENE, E. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps**. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. 2002. Disponível em: <www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>. Acesso em: 13 dez. 2012.

VALENTE, R. O. A.; VETTORAZZI, C. A. Avaliação da estrutura florestal na bacia hidrográfica do rio Corumbataí, SP. **Scientia Forestalis**, v. 68, p. 45-47, 2005.

Circular Técnica, 22

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

Embrapa Monitoramento por Satélite
Endereço: Av. Soldado Passarinho, 303
Fazenda Chapadão, CEP 13070-115 Campinas, SP
Fone: (19) 3211-6200
Fax: (19) 3211-6222
E-mail: cnpm.sac@embrapa.br
www.cnpm.embrapa.br

1ª edição
1ª impressão (2012): versão on-line

Comitê de publicações

Presidente: Cristina Criscuolo
Secretária: Bibiana Teixeira de Almeida
Membros: Daniel Gomes dos Santos Wendriner
Loebmann, Fabio Enrique Torresan, Janice Freitas
Leivas, Ricardo Guimarães Andrade, Shirley Soares
da Silva e Vera Viana dos Santos

Expediente

Supervisão Editorial: Cristina Criscuolo
Revisão de texto: Bibiana Teixeira de Almeida
Normalização bibliográfica: Vera Viana dos Santos
Diagramação eletrônica: Shirley Soares da Silva