

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CAMPUS SÃO CARLOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS  
NATURAIS

RÔMULO THEODORO COSTA

**USO DA TERRA E AVALIAÇÃO DA NATURALIDADE PARA O  
PLANEJAMENTO E MANEJO AMBIENTAL DE BACIAS  
HIDROGRÁFICAS (SUDESTE DO BRASIL)**

São Carlos  
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CAMPUS SÃO CARLOS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E RECURSOS  
NATURAIS

RÔMULO THEODORO COSTA

**USO DA TERRA E AVALIAÇÃO DA NATURALIDADE PARA O  
PLANEJAMENTO E MANEJO AMBIENTAL DE BACIAS  
HIDROGRÁFICAS (SUDESTE DO BRASIL)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais do Centro de Ciências Biológicas e Saúde, da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do Título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

Orientação: Prof. Dr. José Eduardo dos Santos  
Coorientação: Dra. Angela Terumi Fushita

São Carlos  
2016

## ERRATA

COSTA, R. T. **Uso da terra e avaliação da naturalidade para o planejamento e manejo ambiental de bacias hidrográficas (sudeste do Brasil)**. 2016. 47 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

Folha	Linha	Onde se lê	Leia-se
5	27 e 28	À CAPES e, posteriormente, à FAPESP pelo financiamento do projeto na forma de bolsa e auxílios.	À CAPES pelo financiamento do projeto em forma de bolsa de Mestrado. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Processo nº 2015/09828-7) pelo financiamento do projeto em forma de bolsa de Mestrado.

Recebido na BCo  
Em 17/02/17  
Ass.: Juli-Deref

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar  
Processamento Técnico  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C837u Costa, Rômulo Theodoro  
Uso da terra e avaliação da naturalidade para o  
planejamento e manejo ambiental de bacias  
hidrográficas (Sudeste do Brasil) / Rômulo Theodoro  
Costa. -- São Carlos : UFSCar, 2016.  
47 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de  
São Carlos, 2016.

1. Capital natural. 2. Indicadores estruturais da  
paisagem . 3. Sustentabilidade . 4. Serviços  
ecossistêmicos. I. Título.



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

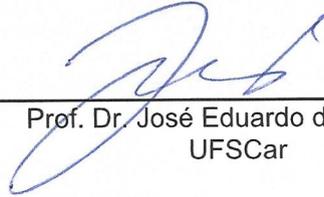
Centro de Ciências Biológicas e da Saúde  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais

---

## Folha de Aprovação

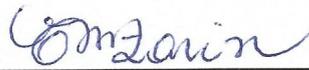
---

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Rômulo Theodoro Costa, realizada em 30/09/2016:



---

Prof. Dr. José Eduardo dos Santos  
UFSCar



---

Profa. Dra. Elisabete Maria Zanin  
URI



---

Profa. Dra. Eliziane Carla Scariot  
IFC - Camboriú

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por abrir os caminhos pelos quais eu sempre busquei em minha vida.

Professor Doutor José Eduardo dos Santos. Agradeço pela oportunidade de caminhar ao seu lado durante esses anos e desfrutar não apenas do amplo conhecimento científico, mas também da boa companhia, amparando-me nas horas mais difíceis e apontando os caminhos certos, nunca deixando, porém, de pôr à prova minhas capacidades. Obrigado por compartilhar um entendimento tão claro e singelo da nossa complexa Ecologia, conseguindo trazer à superfície os conceitos e processos ecológicos imersos no caos entre números e mapas de maneira tão elegante.

Doutora Angela Terumi Fushita. Obrigado por trazer à luz todo o universo das Geotecnologias e, pacientemente, dividir o seu vasto conhecimento em técnicas e teorias de geoprocessamento. Agradeço pelos incontáveis favores, pela dedicação nas atividades, pela paciência (em explicar centenas de vezes a mesma coisa), pela competência e pela eficácia, sempre se pondo de prontidão para ajudar no que fosse necessário. Obrigado pela amizade que construímos e por acreditar em minha capacidade, sempre observando de perto para não cometer grandes deslizes, mas também mostrando que o conhecimento se faz pelo caminho das tentativas.

Aos professores membros de minha banca avaliadora: Professora Doutora Eliziane Carla Scariot e Professora Doutora Elisabete Maria Zanin. Obrigado pela disponibilidade e por enriquecer meu trabalho com suas preciosas contribuições, compartilhando o conhecimento de vocês, sem os quais não tornaria este trabalho completo.

À CAPES e, posteriormente, à FAPESP pelo financiamento do projeto na forma de bolsa e auxílios.

Aos profissionais da Universidade Federal de São Carlos pela atenção, apoio e orientação durante o meu Mestrado.

Aos amigos: Mayra, Dayana, Camila, Eduarda, Imyra, Ivan, Valéria e Lia. Obrigado pela oportunidade de pertencer a esse time tão especial que fez parte de todos os momentos dessa trajetória. Agradeço a amizade sincera de cada um, ao companheirismo, aos valiosos ensinamentos, às centenas de tutoriais e à dedicação em estarem sempre a postos para qualquer tipo de ajuda necessária.

Agradeço especialmente à Camila por compor a “Equipe dos Mapas”. Obrigado pelos incontáveis dias em frente à tela do computador para construir nossos mapas. Agradeço imensamente a paciência, a dedicação, e por estar sempre sorrindo e disposta, mesmo nas situações mais difíceis e mais cansativas pelas quais passamos.

À minha amada e companheira Francine por permanecer ao meu lado e me acompanhar em uma nova vida em uma cidade completamente desconhecida. Foi aqui em São Carlos que nos casamos e tivemos nosso primeiro filho. Obrigado por atravessar ao meu

lado todas as dificuldades em construir uma família longe dos familiares, passando por tristezas, saudades, medos, e também por novas descobertas. Obrigado por existir em minha vida, por me erguer nas quedas e celebrar minhas (nossas) conquistas. Agradeço pela paciência em me ver preso ao computador durante vários finais de semana, por compartilhar toda experiência acadêmica, e pelos tantos conselhos que sempre procurei.

Ao meu Filho Heitor, recém-chegado, que veio concretizar o amor e a união entre mim e minha esposa Francine. Agradeço desde já ao meu filho por fortificar nossa relação, por nos trazer tanta luz e forças que não imaginávamos possuir e por nos mostrar o que é o verdadeiro amor de Pai e Mãe.

Aos meu pais Silvan e Cristina e meus irmãos Elaine e Junior por todo apoio e motivação em meu trabalho, sempre compreensivos pela minha ausência e distância. Obrigado pelas orações e pelas mensagens positivas que sempre enviaram, e pelos sorrisos que trouxeram nas visitas à São Carlos.

## RESUMO

Ecossistemas manejados manifestam vulnerabilidade em função do declínio da resiliência ecológica e do esgotamento ou perda dos fluxos de serviços ecossistêmicos. Forças motrizes atuantes na paisagem resultam em modificações que demandam ações de gerenciamento regional e/ou local, em conjunto com outros fatores externos. Para operacionalizar esses conceitos na gestão da paisagem, este trabalho abordou a dinâmica do uso da terra e as condições de conservação e sustentabilidade de cenários de biodiversidade nas sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, no período de 2004 a 2014, e nas áreas alagáveis formadas na foz dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, no período de 2004, 2014 e 2015. A condição de sustentabilidade foi avaliada com base na dinâmica do uso e cobertura da terra e de indicadores estruturais da paisagem. Mapas da dinâmica de uso e cobertura da terra foram elaborados com base na digitalização em tela de imagens LandSat com resolução espacial de 30m e composição espectral composta de três bandas próximas ao infravermelho, vermelho e verde, datadas de 2004, 2014 e 2015. Cenários de conservação da biodiversidade foram projetados com base no Indicador de Urbanidade, que estima as condições de naturalidade da paisagem. Os resultados demonstram um território predominantemente antropizado, induzido pela expansão de áreas antrópicas agrícolas e não-agrícolas, e pela conversão de outros tipos de cobertura da terra em plantios de cana-de-açúcar e silvicultura. O processo histórico de ocupação do território para a produção agrícola representa a principal força motriz de transformação da paisagem, ocupando, atualmente, mais de 70% da área total das sub-bacias hidrográficas. A sub-bacia do Rio Jacaré-Guaçu apresentou um cenário de condições mais críticas em função da perda de áreas com maior naturalidade. Os cenários de conservação da biodiversidade apresentaram redução em área e deslocamento espacial entre os anos abordados, resultante da fragmentação e perda do capital natural das sub-bacias hidrográficas. Apesar do aumento de áreas de vegetação natural, entre os anos de 2004 e 2014, as sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira estão distantes de uma condição sustentável, em função da perda da capacidade de suporte e da provisão de serviços ecossistêmicos. Não foram evidenciadas alterações na extensão das áreas alagáveis entre os anos abordados. Entretanto, as mesmas apresentaram perda de sustentabilidade por estarem localizadas em uma região com alta vulnerabilidade em função das áreas agrícolas e urbanas.

**Palavras-chave:** Capital natural. Indicadores estruturais da paisagem. Sustentabilidade. Serviços ecossistêmicos.

## ABSTRACT

### **Land use and naturalness assessment for watershed environmental planning and management (Southeastern Brazil).**

Ecosystems managed manifest vulnerability according to decline of ecological resilience and depletion or loss of the main ecosystem service flows. Driving forces acting in landscape result in changes, which require regional management actions and / or local, in conjunction with other external factors. To operationalize these concepts in landscape management, this study approached the dynamics of the intensity changes in land use and conservation conditions of biodiversity scenarios, between 2004 and 2014, for the Jacaré-Guaçu and Jacaré-Pepira watershed rivers. The same analyzes were applied on floodplains formed at the Jacaré-Guaçu and Jacaré-Pepira headwaters in 2004, 2014 and 2015. Conditions of sustainability, involving environmental aspects from the land use and cover dynamic and sustainability indicators were assessed in these areas. Land use and cover dynamics maps were produced based on visual interpretation of Landsat images. Biodiversity conservation scenarios were designed based on Urbanity Index, which estimates the naturalness landscape conditions. The results showed a predominantly anthropogenic scenario, induced by expansion of the agricultural anthropogenic and non-agricultural anthropogenic land uses, and trough conversion of other land use types in sugarcane and forestry. The historical process of land use occupation for agricultural production remains the main driving force of landscape changes, which currently occupies more than 70% of the watersheds area. The Jacaré-Guaçu watershed river presented a critical scenery due to naturalness areas losses and critical naturalness areas increase. The biodiversity conservation scenery showed a reduction area and spatial displacement between 2004 and 2014, resulting from loss and fragmentation of natural capital in the watersheds. Despite the increase in natural vegetation areas, the watershed are far from a sustainable condition, according to loss of carrying capacity and the ecosystem services provision. There was no changes evidenced in land use and cover in floodplains, however, the localization of floodplains showed high vulnerability due to agricultural and urban areas, which indicates evidence of sustainability losses evidences.

**Keywords:** Natura capital. Landscape structural indicator. Sustainability. Ecosystem services.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Representação do diagrama DPSIR - Drivers (fatores de mudanças); Pressures (pressões); State (estado); Impact (impacto); Response (resposta). Adaptado Salles et al., 2004..... 12
- Figura 2** - Mapa de localização, limites e extensão (ha) das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, e áreas urbanas com os limites dos 22 territórios municipais, parcial ou totalmente, inseridos nas mesmas. .... 17
- Figura 3** - Mapa de localização das áreas legalmente protegidas e áreas alagáveis nas sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira. Em detalhe a localização das sedes urbanas e dos limites territoriais dos municípios inseridos nas mesmas. .... 19
- Figura 4** - Características geomorfológicas das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira. .... 21
- Figura 5** - Formações de aquíferos presentes nos limites das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira. .... 23
- Figura 6** - Representação espacial e extensão (ha / %) das classes de usos e cobertura da terra das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, em um nível hierárquico primário de classificação, para os anos de 2004 e 2014..... 28
- Figura 7** - Áreas de cultivos temporários, permanentes e de cana-de-açúcar, entre os anos de 2004 e 2014, no território dos 22 municípios inseridos nos limites das sub-bacias Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira. Fonte: IBGE (2014)..... 31
- Figura 8** - Representação espacial das condições de alta e baixa naturalidade projetadas com base no Indicador de Urbanidade (IU) para as áreas totais das sub-bacias dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, para os anos de 2004 e 2014..... 34
- Figura 9** - Áreas (%) de alta, média e baixa naturalidade para: a) área total das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré Pepira; b) da sub-bacia do Rio Jacaré-Pepira; c) da sub-bacia d Jacaré-Guaçu, entre 2004 e 2014.....35
- Figura 10** - Dinâmica de uso e cobertura da terra nas áreas alagáveis das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira para os anos de 2004, 2014 e 2015. .... 37
- Figura 11** - Extensão (área) dos usos e ocupação da terra nas áreas alagáveis das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, nos anos de 2004, 2014 e 2015 (Fonte dados precipitação: DAEE)..... 39
- Figura 12** - Representação espacial das condições de naturalidade e sustentabilidade projetadas com base no Indicador de Vulnerabilidade Ambiental da Paisagem (IVAP) para a área total das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, para os anos 2004 e 2014..... 41

## SUMÁRIO

### LISTA DE FIGURAS

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	15
<b>3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	16
3.1. Descrições gerais .....	16
3.2. Vegetação natural e áreas legalmente protegidas .....	18
3.3. Geologia, geomorfologia e pedologia.....	20
3.4. Climatologia.....	22
3.5. Economia .....	22
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	24
4.1. Classificação e estimativa do uso e cobertura da terra das sub-bacias hidrográficas .....	24
4.2. Análise da condição de naturalidade das bacias hidrográficas .....	25
4.3. Análise da condição de naturalidade das áreas alagáveis .....	25
4.3.1. Capacidade de provisão .....	26
4.4. Análise estatística .....	26
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	27
5.1. Dinâmica de uso e cobertura da terra das sub-bacias hidrográficas .....	27
5.2. Análise da naturalidade das sub-bacias hidrográficas .....	33
5.3. Condição da naturalidade das áreas alagáveis das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira .....	36
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	42
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	43

## 1. INTRODUÇÃO

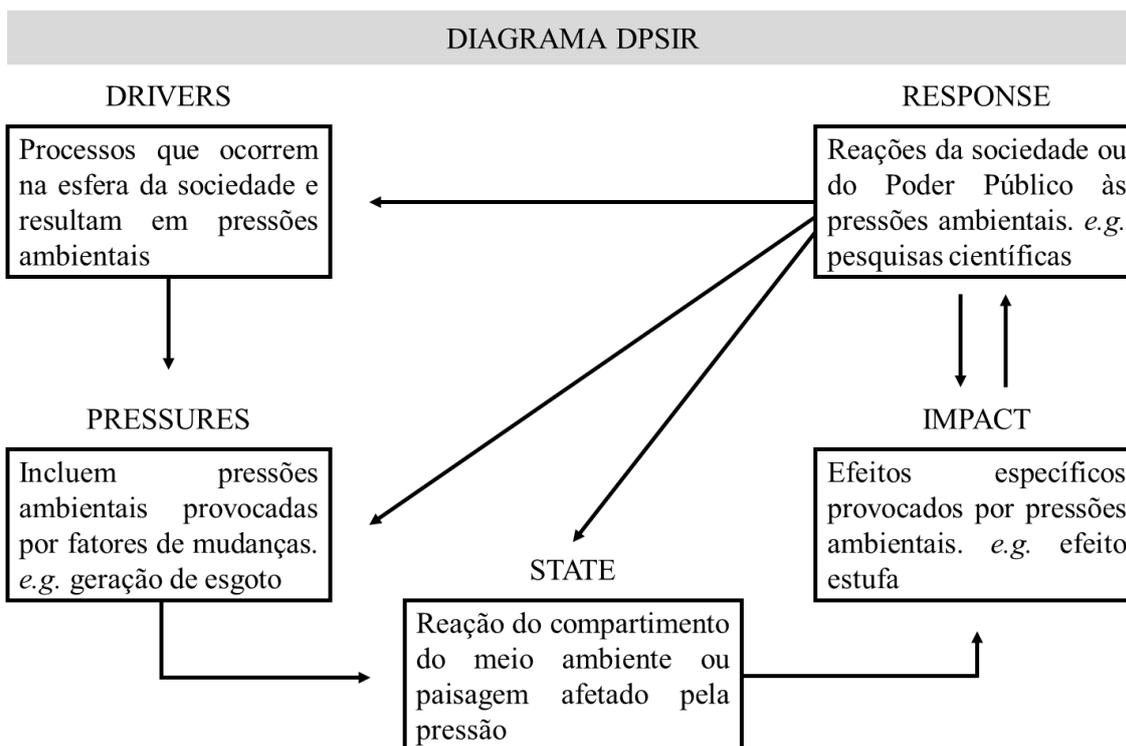
Paisagens naturais têm sido constantemente exploradas e alteradas, ao longo do tempo, em sua configuração e composição espacial e temporal. O desenvolvimento da sociedade ocorre distante de uma perspectiva sustentável, compreendendo um dos principais impactos ao ambiente (SANTOS, 2008). Essas alterações têm sido evidenciadas desde a década de 70 do século passado, com o crescimento demográfico mundial, o uso indiscriminado e não planejado dos recursos naturais e a consequente perda da diversidade biológica, em decorrência do processo de substituição de áreas naturais por ecossistemas simplificados (KOHLENER, 2003).

Áreas naturais são importantes componentes da paisagem por contribuírem com a regulação climática, proteção do solo, ciclagem de nutrientes, controle biológico e manutenção da diversidade biológica (PEREIRA; VIEIRA, 2001). Esse capital natural, embora indispensável para a qualidade ambiental e de vida, está continuamente submetido às pressões socioeconômicas, que são a base norteadora nas decisões da interação entre homem-ambiente (PEREIRA; VIEIRA, 2001; MILLENNIUM, 2005).

As mudanças observadas em paisagens naturais podem ocorrer de forma independente da ação humana, em decorrência de alterações naturais experimentadas em curto prazo, como incêndios, deslizamentos de terra, enchentes e furacões; ou em longo prazo, como mudanças fenológicas sazonais e mudanças climáticas. Em paralelo, a inter-relação entre sociedade e natureza, expressa na forma de ações antrópicas, é agente de alterações constantes no ambiente físico que, conseqüentemente, interferem de forma negativa nas funções ecossistêmicas proporcionadas pelos componentes naturais (ANTROP, 1998; BÜRGI *et al.*, 2004).

Ações antrópicas, que são provenientes da interação entre conservação e desenvolvimento, atuam como fatores de pressão ambiental que alteram a estrutura das paisagens naturais e resultam em ciclos de feedbacks em diversas escalas de tempo e espaço. Essas ações podem ser classificadas como forças diretas (fatores físicos e biológicos, mudanças no uso da terra, mudanças climáticas), ou indiretas (aspectos socioeconômicos, políticos, religiosos, tecnológicos e culturais), que atuam de forma independente ou combinada, causando modificações na estrutura das paisagens e no fornecimento dos serviços ecossistêmicos (MARCUCCI, 2000; BÜRGI *et al.*, 2004).

A identificação de fatores de pressão em uma paisagem natural e o seu impacto sobre os ecossistemas são definidos pelo modelo Global Environmental Outlook (GEO), desenvolvido pela Agência Ambiental Europeia (EEA), em que são estabelecidas cinco categorias: *DPSIR* – *Drivers* (fatores de mudanças); *Pressures* (pressões); *State* (estado); *Impact* (impacto); *Response* (resposta) (BÜRGI *et al.*, 2004) (**Figura 1**).



**Figura 1** – Representação do diagrama DPSIR - Drivers (fatores de mudanças); Pressures (pressões); State (estado); Impact (impacto); Response (resposta). Adaptado Salles *et al.*, 2004.

O reconhecimento das inter-relações entre componentes ambientais (biológicos e não-biológicos), e dos reflexos da conservação/degradação dos ecossistemas sobre as relações econômicas, sociais e culturais, é essencial para estabelecer estratégias de conservação dos ecossistemas, tanto em termos técnicos quanto políticos (RANIERI, 2004). Nesse sentido, as práticas de uso da terra constituem uma importante ferramenta para o planejamento de ações conservacionistas, na medida em que permite uma análise da evolução espacial e temporal dos diversos componentes que constituem ecossistemas naturais e culturas e suas inter-relações (CRISCUOLO *et al.*, 2000, 2006).

Embora as práticas de uso da terra variem em escala global, o resultado tem sido similar: a demanda e aquisição de recursos naturais para atendimento das necessidades humanas ocorre, muitas vezes, às custas da degradação ambiental. Nesse caso, o uso da terra como fator de pressão nos ecossistemas se apresenta como um dilema: por um lado, muitas práticas de uso da terra são absolutamente essenciais no fornecimento de recursos naturais críticos e serviços ecossistêmicos para a sociedade; por outro lado, algumas formas de uso da terra estão degradando os ecossistemas e os serviços proporcionados pelos mesmos (FOLEY *et al.*, 2005).

As tecnologias desenvolvidas pela civilização permitiram a expansão da cobertura de territórios ainda não explorados e a intensificação das transformações do espaço habitado, principalmente no setor industrial e agrícola, de acordo com as potencialidades de cada contexto geográfico. Por outro lado, o processo desordenado de urbanização vem acompanhado de problemas ambientais gerados por conflitos de uso da terra, na medida em que a demanda excessiva por recursos e espaço territorial nesses locais excede a capacidade suporte do ecossistema local (SANTOS, 2008).

Os processos relacionados às pressões ambientais são complexos e ocorrem em grandes dimensões. O monitoramento de áreas extensas é um desafio, na medida em que exigem aspectos técnicos e econômicos, como o envolvimento de pessoal especializado e informações detalhadas do local, que nem sempre estão disponíveis. O desenvolvimento e incorporação de algoritmos em ferramentas dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) têm sido essenciais no processamento rápido e eficiente dos dados para a caracterização e diagnóstico de áreas extensas sob intervenção antrópica (NASCIMENTO *et al.*, 2005), como os territórios municipais e/ou as bacias hidrográficas.

Trabalhos direcionados à caracterização e diagnóstico de paisagens sob intervenção antrópica têm utilizado SIGs, por constituírem de ferramentas facilitadoras de atividades em áreas extensas, com resultados menos subjetivos, em menor tempo, replicáveis e mais precisos que os métodos tradicionais. A disponibilidade de imagens provenientes de sensores (*e.g.* sensores orbitais, alojados em satélites artificiais, fotografias aéreas e mais recentemente os Veículos Aéreos Não Tripulados - VANT's) aliados aos SIGs, fornecem uma gama de informações sobre os usos e cobertura da terra (ESCADA; KURKDJIAN, 1993; RIBEIRO *et al.*, 2000), bem como, seu ordenamento, a fim de preservar suas estruturas funcionais e seu valor social no fornecimento de serviços ecossistêmicos.

Somado a isso, os indicadores de sustentabilidade são fundamentais para auxiliar na compreensão das consequências da ação antrópica sobre os ecossistemas. Um indicador é definido como uma variável, ou conjunto de variáveis, que fornecem informações relevantes sobre um processo, ambiente ou área. Os indicadores simplificam ou sumarizam um conjunto de informações a respeito de um fenômeno complexo, tornando-o perceptível e mensurável. Deste modo, os indicadores contribuem para processos de tomada de decisão, monitoramento e avaliação, na medida em que fornecem informações sobre fenômenos de uma maneira acessível (MARANHÃO, 2007; NIEMEIJER; DE GROOT, 2008).

Em pesquisas relacionadas à análise ambiental são empregados indicadores ecológicos, ambientais e/ou de sustentabilidade. Indicadores ecológicos tratam especificamente de retratar funções e processo ecológicos do ecossistema, enquanto indicadores ambientais incorporam aspectos específicos dos ecossistemas e fatores de ordem econômica e social. Indicadores de sustentabilidade estão relacionados à avaliação de metas, em um contexto temporal, representando, portanto, um aprofundamento dos indicadores ambientais, na medida em que integram indicadores econômicos, sociais e ambientais.

Considerando que as paisagens naturais são sistemas de interações complexas sujeitos a processos que os modificam ao longo do tempo, torna-se necessária a definição de limites e componentes funcionais de uma paisagem a serem abordados em estudos sistematizados. Neste aspecto, a questão escala a ser utilizada, varia de acordo com o problema, podendo ser considerada desde a totalidade de uma bacia hidrográfica, a delimitação de sub-bacias hidrográficas, até a avaliação de áreas específicas, como áreas alagáveis dentro de um território definido.

A bacia hidrográfica compreende uma área geográfica naturalmente delimitada por divisores de água, e composta por uma rede de drenagem de rios afluentes que desembocam em um curso d'água principal (ARAÚJO *et al.*, 2010). São consideradas

um ente sistêmico, onde são realizados o balanço de entrada e saída de água das chuvas, permitindo delimitar os limites de bacias e sub-bacias hidrográficas.

O uso de bacias hidrográficas como unidade gestão de recursos hídricos ganhou importância a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED), no Rio de Janeiro em 1992, com a adoção dos Princípios de Dublin (PORTO; PORTO, 2008).

O documento, produzido por centenas de especialistas e representantes de organizações internacionais, intergovernamentais e não-governamentais na conferência internacional sobre Água e Meio Ambiente (ICWE) em 1992, em Dublin, Irlanda, definiu princípios para gestão eficiente dos recursos hídricos recomendados para os líderes mundiais reunidos na Conferência Rio+20. Um dos princípios básicos estabeleceu que a gestão dos recursos hídricos, para ser efetiva, deve ser integrada e considerar aspectos econômicos, físicos, econômicos e sociais (WMO, 1992).

No Brasil, o acordo estabelecido entre o Ministério de Minas e Energia e o Governo do Estado de São Paulo, em 1976, para a melhoria das condições sanitárias das bacias hidrográficas do alto Tietê e Cubatão trouxe êxito na utilização de bacias hidrográficas como unidade de gestão. A experiência resultou na criação do Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH), em 1978, que desempenhava um papel consultivo nos órgãos de Governo, sem a implantação obrigatória de suas decisões (PORTO; PORTO, 2004).

Após diversas outras experiências baseadas na gestão de bacias hidrográficas por todo o país, foi promulgada a Lei n. 9.433, de 1997, que estabelece uma nova política de recursos hídricos e organiza o sistema de gestão com base em bacias hidrográficas (PORTO; PORTO, 2004).

O uso da bacia hidrográfica, como unidade para o planejamento e gestão das ações antrópicas no uso dos recursos naturais, possibilita a utilização da abordagem sistêmica e integrada, na medida em que contextualiza as dimensões sociais, econômicas e ambientais na unidade de gerenciamento, na perspectiva da manutenção da biodiversidade que proporciona serviços ecossistêmicos ao bem-estar humano, e do desenvolvimento sustentável local e/ou regional (NASCIMENTO; CARVALHO, 2005; BEIER *et al.*, 2008).

O rio principal, que constitui o ponto de convergência em uma bacia hidrográfica, tem importância fundamental nas características da paisagem do seu entorno e no estabelecimento de inter-relações entre elementos aquáticos e terrestres que compõem essa paisagem. O sistema rio-planície de inundação é importante na provisão de habitats para uma diversidade de organismos tanto aquáticos como terrestres (JUNK *et al.* 1989). Áreas alagáveis de planícies de inundação são consideradas como zonas de transição aquático/terrestre (ATTZ) sujeitas à constantes alterações em função do regime de cheias provocadas pelo aporte de água de rios, lagos, precipitação ou águas subterrâneas nas bacias hidrográficas. Os regimes de inundação conferem importância em relação à produção primária e secundária, definidas pela soma das produções no estágio aquático e terrestre na ATTZ (JUNK *et al.*, 1989).

Em épocas de vazante, a área alagável contempla um sistema lacustre e acumulativo. Na medida em que ocorre a cheia, a planície de inundação é definida como reservatório, podendo atuar como canais de transporte de água e nutrientes. A alteração entre o período de cheia e vazante promove uma dinâmica de produção e transporte de

matéria orgânica na área, que é regulada pelo ritmo do pulso de inundação em função das características hidrológicas do rio e da planície de inundação. O grau de fertilidade das planícies de inundação é definido pelos tipos de nutrientes escoados pelo rio, sujeitos a alterações pelos rios tributários e pelo escoamento da bacia hidrográfica local. Dessa forma, as características de tamanho, amplitude e frequência do pulso de inundação, definem a ocorrência, os ciclos de vida e a abundância de produtores primários e secundários, que regulam o controle de exploração e regeneração de nutrientes (JUNK, 1997).

O regime de inundação causa impactos perceptíveis sobre a biota, proporcionando alterações físico-químicas no ambiente que resultam em respostas morfológicas, fisiológicas, anatômicas, fenológicas e comportamentais. As respostas apresentadas pela biota local caracterizam a estrutura da comunidade (JUNK, 1999). Alterações provocadas por fatores de pressão em áreas alagáveis resultam na modificação de suas características, podendo torná-las inóspitas para a diversidade da vida aquática e inapropriada para o uso humano (LOPES, 2001).

Nesse sentido, é fundamental avaliar as alterações provocadas pelas atividades antrópicas e inferir sobre a condição da sustentabilidade em bacias hidrográficas e áreas alagáveis, em um determinado período de tempo, possibilitando evidenciar alterações na estrutura das paisagens naturais e na provisão dos bens e serviços ecossistêmicos. Para isso, se faz necessário a adoção de estratégias que tornem a coleta de informações rápida e eficiente, facilitando o planejamento e as ações de manejo que minimizem os impactos das atividades, visando a sustentabilidade ecológica e a qualidade de vida da população.

## **2. OBJETIVOS**

Analisar a condição de naturalidade e sustentabilidade ecológica das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, no período de 2004 a 2014, enfatizando as áreas alagáveis formadas pelos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, com base na dinâmica de usos e cobertura da terra e na utilização de indicadores estruturais da paisagem. Especificamente, o estudo buscou responder se:

1. As condições de naturalidade apresentam alterações significativas nas e entre as sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, no período de 2004 a 2014, em função da dinâmica espacial e temporal do uso da terra?
2. Indicadores estruturais da paisagem permitem identificar mudanças de naturalidade nas sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, como resultado da dinâmica espacial e temporal dos usos da terra?
3. As condições de naturalidade apresentam alterações nas áreas alagáveis das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, no período de 2004, 2014 e 2015, em função da dinâmica espacial e temporal do uso da terra?

### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1. Descrições gerais

A Lei nº 9.034 de 1994 instituiu as normas de orientação à política Estadual de Recursos Hídricos, estabelecendo a divisão do Estado de São Paulo em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) (SÃO PAULO, 1994). A 13º UGRHI representa a bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré, com área total de 11.803,807km<sup>2</sup>, situada na depressão periférica do Estado de São Paulo, e composta por seis sub-bacias hidrográficas (IPT, 2000), sendo elas:

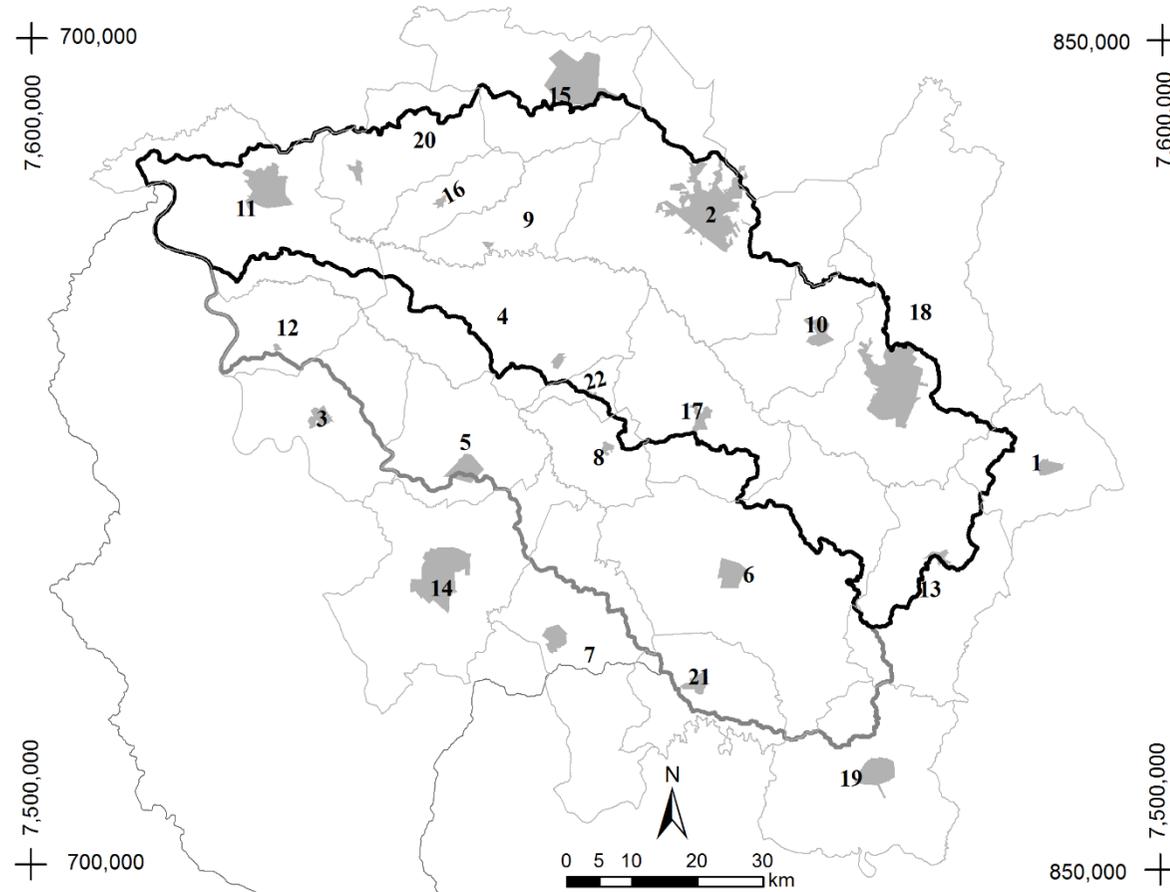
- Sub-bacia do Rio Jacaré-Guaçu e afluentes do Rio Tietê;
- Sub-bacia do Rio Jacaré-Pepira e afluentes diretos do Rio Tietê;
- Sub-bacia do Rio Jaú-Ribeirão da Ave Maria-Ribeirão do Sapé e afluentes diretos do Rio Tietê;
- Sub-bacia do Rio Lençóis-Ribeirão dos Patos e afluentes diretos do Rio Tietê;
- Sub-bacia do Rio Bauru-Ribeirão Grande-Ribeirão Pederneiras e afluentes diretos do Rio Tietê;
- Sub-bacia do Rio Claro-Ribeirão Bonito-Ribeirão do Veado-Ribeirão da Água Limpa e afluentes diretos do Rio Tietê.

No presente trabalho, foram analisadas as sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, com extensão de 416.800ha e 266.350ha, respectivamente, localizadas entre os paralelos 21°37' e 22°31' de latitude sul e os meridianos 47°43' e 49°02' de longitude oeste (**Figura 2**). Em conjunto, as sub-bacias hidrográficas totalizam 58% da área total da bacia hidrográfica do Rio Tietê-Jacaré, sendo 35,4% correspondente à sub-bacia hidrográfica do Rio Jacaré-Guaçu e 22,6% do Rio Jacaré-Pepira (IPT, 2000).

De acordo com a Cooperativa de Serviços, Pesquisas Tecnológicas e Industriais – CPTI – (2008b, p. 4) “Esta UGRHI é definida pelas bacias dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira e seus tributários, além de porções de áreas drenadas diretamente para o Rio Tietê, no trecho situado entre a Usina Hidrelétrica de Ibitinga, a jusante, e a Usina de Barra Bonita a montante”.

A UGRHI 13 engloba três principais rios: O Rio Tietê, com 150km de extensão; o Rio Jacaré-Guaçu, com 155km de extensão, com sua nascente entre os municípios de São Carlos e Itirapina; e o Rio Jacaré-Pepira, com 174km de extensão, que nasce na divisa dos municípios de Brotas e São Pedro.

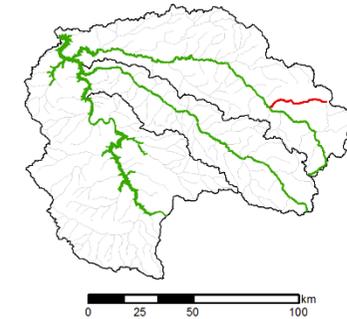
As sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira abrangem em conjunto os limites territoriais dos municípios de Analândia, Araraquara, Bariri, Boa Esperança do Sul, Bocaina, Brotas, Dois Córregos, Dourado, Jaú, Gavião Peixoto, Ibaté, Ibitinga, Itajú, Itirapina, Matão, Nova Europa, Ribeirão Bonito, São Carlos, São Pedro, Tabatinga, Torrinha e Trabiju (**Figura 2; Tabela 1**).



**LOCALIZAÇÃO DA UGRHI 13 NO ESTADO**



**QUALIDADE DA ÁGUA (IQA)**



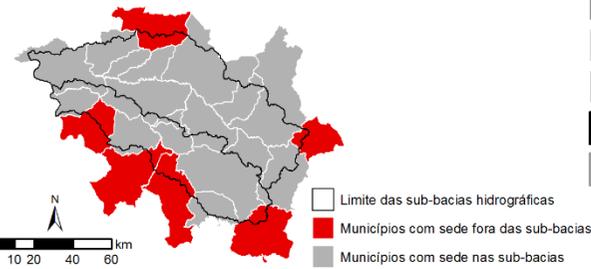
FAIXAS DO IQA	CLASSIFICAÇÃO
79 < IQA < 100	ÓTIMA
51 < IQA < 79	BOA
36 < IQA < 51	REGULAR
19 < IQA < 36	RUIM
< IQA < 19	PÉSSIMA
Corpo d'água não avaliado	

Fonte: Relatório de Qualidade das Águas Superficiais (CETESB, 2014)

**MUNICÍPIOS COM ÁREA NAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Nº	MUNICÍPIOS	Área na UGRHI 13		Área na UGRHI 13	
		km²	%	km²	%
1	Análândia	46,38	14,21	279,97	85,79
2	Araraquara	691,56	68,81	313,42	31,19
3	Bariri	149,10	33,56	295,22	66,44
4	Boa Esperança do Sul	693,38	100,00	0,00	0,00
5	Bocaina	319,23	87,65	44,99	12,35
6	Brotas	1102,80	99,98	0,17	0,02
7	Dois Córregos	158,06	24,94	475,58	75,06
8	Dourado	206,09	100,00	0,00	0,00
9	Gavião Peixoto	243,99	100,00	0,00	0,00
10	Ibaté	262,41	90,14	28,69	9,86
11	Ibitinga	558,95	14,21	130,60	18,94

Nº	MUNICÍPIOS	Área na UGRHI 13		Área na UGRHI 13	
		km²	%	km²	%
12	Itaju	206,92	68,81	23,02	10,01
13	Itirapina	277,57	33,56	288,22	50,94
14	Jaú	66,46	100,00	619,83	90,32
15	Matão	157,60	87,65	367,76	70,00
16	Nova Europa	160,48	99,98	0,00	0,00
17	Ribeirão Bonito	472,16	24,94	0,00	0,00
18	São Carlos	449,52	100,00	689,85	60,55
19	São Pedro	60,86	100,00	554,80	90,11
20	Tabatinga	295,75	90,14	74,07	20,03
21	Torrinha	187,58	14,21	128,10	40,58
22	Trabiju	63,49	68,81	0,00	0,00



**LEGENDA**

- Limite da UGRHI 13
- Limites municipais
- Perímetro urbano
- Sub-bacia Jacaré-Guaçu (416.800,94ha)
- Sub-bacia Jacaré-Pepira (266.354,66ha)

Projeção: SIRGAS 2000  
UTM Zona 22 S  
Org.: Costa, R. T.;  
Gonçalves, C. F. (2016)

**Figura 2** - Mapa de localização, limites e extensão (ha) das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, e áreas urbanas com os limites dos 22 territórios municipais, parcial ou totalmente, inseridos nas mesmas.

**Tabela 1** - Municípios inseridos nos limites das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira e suas respectivas extensões (área km<sup>2</sup> / %) em relação às UGRHIs adjacentes.

Municípios	Área na UGRHI 13		Área externa à UGRHI 13		Total km <sup>2</sup>	Nº da UGRHI adjacente
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%		
Analândia (*)	46,83	14,27	281,41	85,73	328,24	5 e 9
Araraquara	658,29	65,16	351,96	34,84	1.010,25	9
Bariri (*)	437,45	100,00	0,00	0,00	437,45	-
Boa Esperança do Sul	670,60	100,00	0,00	0,00	670,60	-
Bocaina	367,51	100,00	0,00	0,00	367,51	-
Brotas	1.112,40	100,00	0,00	0,00	1.112,40	-
Dois Córregos	375,34	58,85	262,47	41,15	637,81	5 e 10
Dourado	208,10	100,00	0,00	0,00	208,10	-
Gavião Peixoto	244,20	100,00	0,00	0,00	244,20	-
Ibaté	258,54	89,34	30,86	10,66	289,40	9
Ibitinga	548,79	79,84	138,53	20,16	687,32	16
Itaju	226,91	100,00	0,00	0,00	226,91	-
Itirapina (*)	283,78	50,74	275,55	49,26	559,33	5
Jaú (*)	688,85	100,00	0,00	0,00	688,85	-
Matão (*)	153,65	29,30	370,73	70,70	524,38	16
Nova Europa	160,80	100,00	0,00	0,00	160,80	-
Ribeirão Bonito	468,11	100,00	0,00	0,00	468,11	-
São Carlos	450,72	39,35	694,74	60,65	1.145,46	9
São Pedro (*)	70,07	11,35	547,10	88,65	617,17	5
Tabatinga	287,15	76,95	85,99	23,05	373,14	16
Torrinha	195,81	62,08	119,62	37,92	315,43	5
Trabiju	86,04	100,00	0,00	0,00	86,04	-

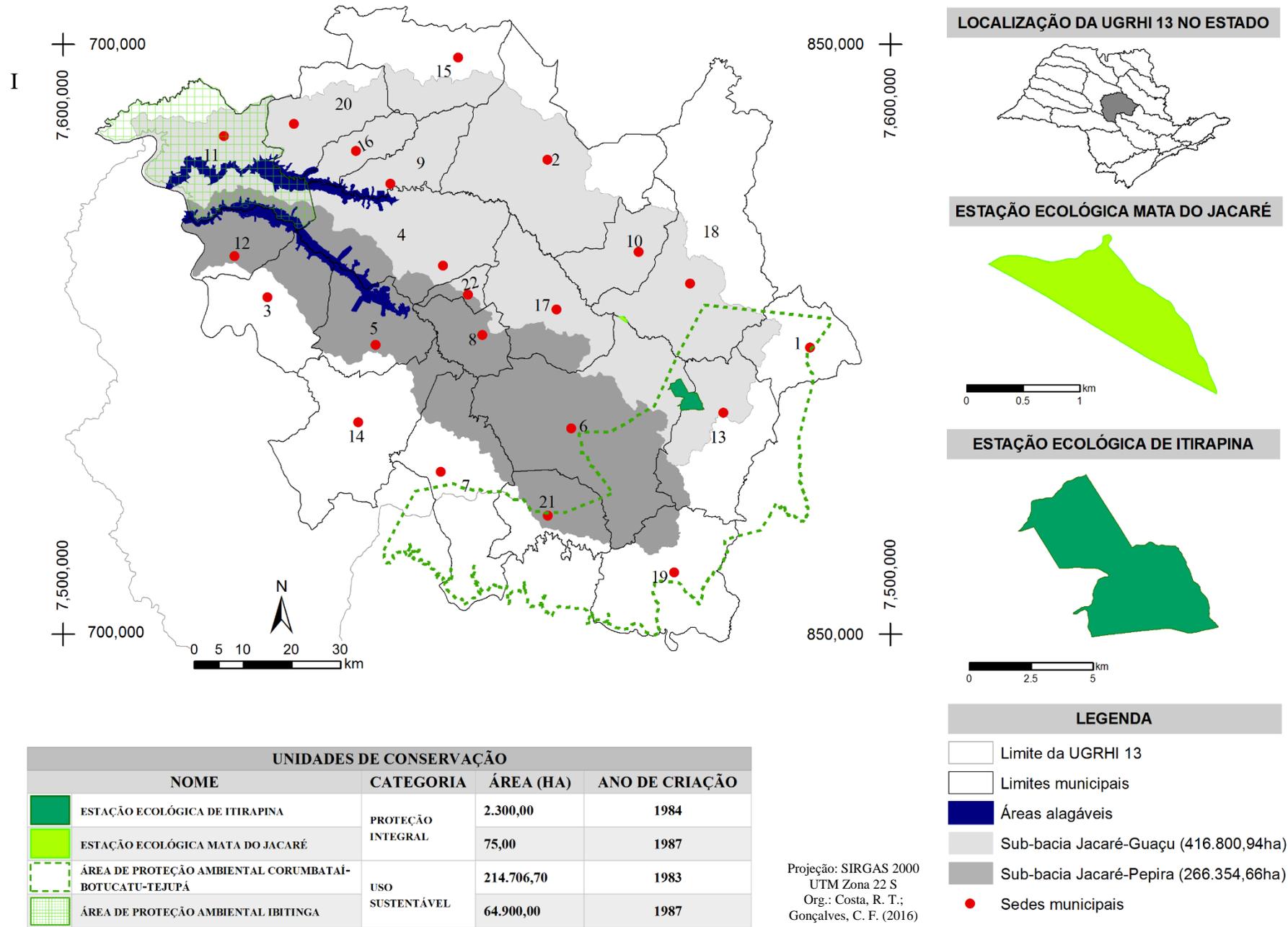
(\*) Municípios com sede administrativa externa aos limites territoriais da UGRHI 13.

Fonte: Relatório IPT nº 40674/00.

### 3.2. Vegetação natural e áreas legalmente protegidas

Segundo o Inventário Florestal do Estado de São Paulo realizado em 2009, o território da UGRHI 13 apresenta apenas 9,6% de cobertura vegetal nativa (110.679ha), distribuída em forma de fragmentos localizados em áreas pouco acessíveis para atividades agrícolas. Os municípios de Bocaina, Dourado, Itirapina, Ribeirão Bonito, São Carlos e Trabiju apresentam as maiores áreas de vegetação natural remanescente em relação à área total do município (IPT, 2000).

As áreas de foz dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, conhecidas, respectivamente, como “Pantaninho” e “Varjão”, formam o “Pantanal Paulista” (**Figura 3**), um complexo ambiente de áreas alagáveis caracterizado pela ocorrência de remanescentes de vegetação em estágio avançado de regeneração, com formações de Floresta Estadual Semidecidual, Floresta de Brejo ou Paludosa, Floresta ribeirinha e manchas de Cerrado (CBH-TJ, 2015). A riqueza de recursos da área está associada à fauna, como: tamanduá-mirim e tamanduá-bandeira, veado campeiro, lobo guará, onça parda e diversas espécies de aves e peixes, algumas das quais ameaçadas de extinção (COELHO, *et al.*, 2006; SÃO PAULO, 2012).



**Figura 3** - Mapa de localização das áreas legalmente protegidas e áreas alagáveis nas sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira. Em detalhe a localização das sedes urbanas e dos limites territoriais dos municípios inseridos nas mesmas.

Nos limites das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, estão presentes quatro áreas legalmente protegidas, sendo duas categorizadas como de Proteção Integral (Estação Ecológica de Itirapina e Estação Ecológica Mata do Jacaré), e duas de Uso Sustentável (Área de Proteção Ambiental de Corumbataí-Botucatu-Tejupá e Área de Proteção Ambiental de Ibitinga) (**Figura 3**).

A Estação Ecológica (EEc) de Itirapina (2.300ha), criada em 1984, abrange os municípios de Itirapina e Brotas. A EEc é destinada à conservação dos recursos naturais e à pesquisa científica, e contempla as fitofisionomias de campo sujo, campo úmido, campo Cerrado, campo limpo, Cerrado *sensu strictu* e florestas ribeirinhas (SÃO PAULO, 2006).

A Estação Ecológica (EEc) Mata do Jacaré, criada em 1987, possui aproximadamente 75ha de Floresta Estacional Semidecidual. A unidade está situada entre os municípios de Brotas e São Carlos, às margens do Rio Jacaré-Guaçu (CBH-TJ, 2013).

A Área de Proteção Ambiental (APA) Corumbataí-Botucatu-Tejupá, criada em 1983, (214.706,70ha), abrange parte dos municípios de Analândia, Brotas, Dois Córregos, Itirapina, São Carlos, São Pedro e Torrinha. A APA tem como objetivo a proteção das *cuestas* basálticas, Morros Testemunhos, aquífero Guarani e patrimônio arqueológico e cultural da região, de considerável importância ambiental no aporte de nascentes de rios e fontes hidrotermais, além do valor paisagístico com belezas cênicas (SÃO PAULO, 2011).

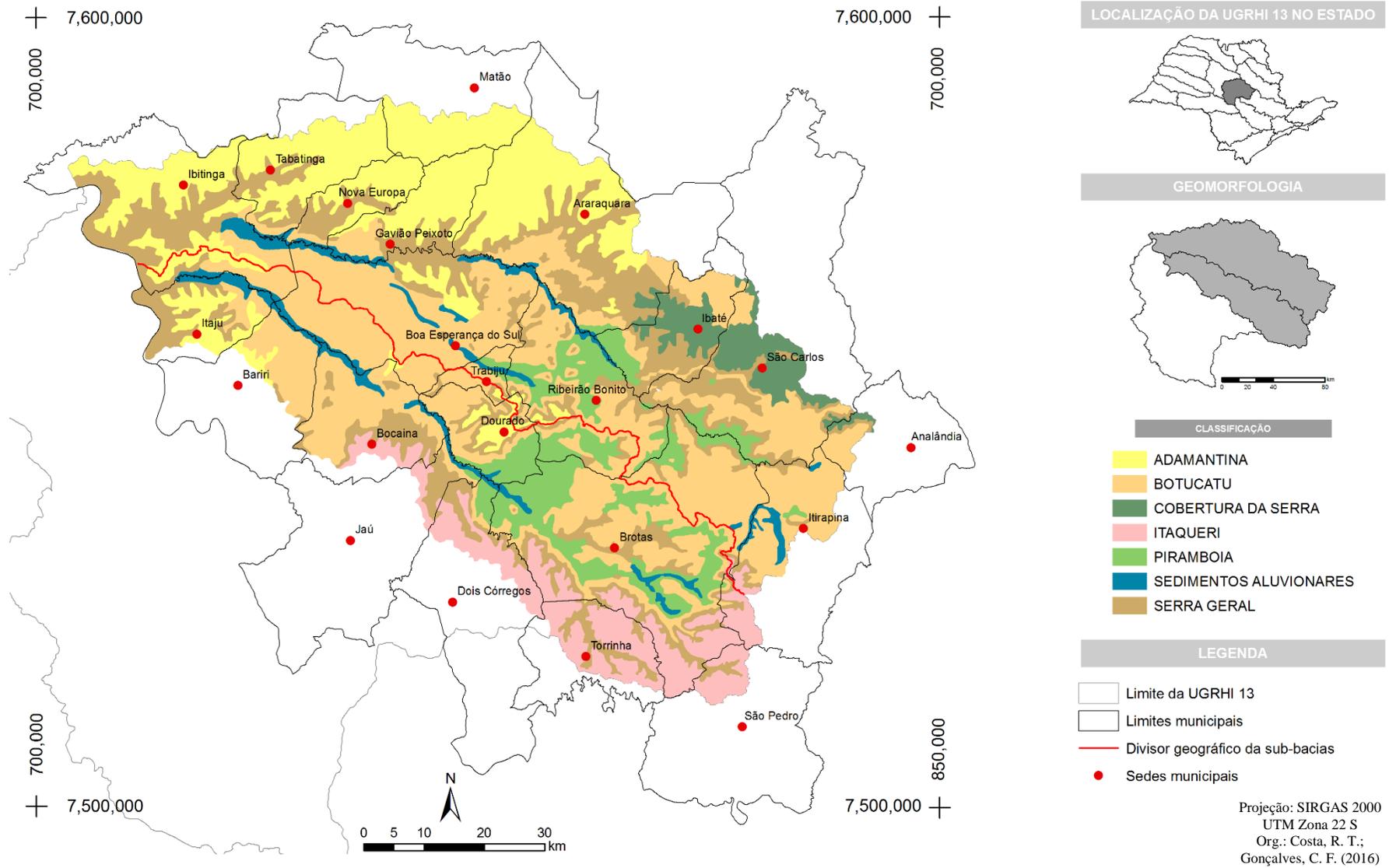
A Área de Proteção Ambiental de Ibitinga abrange a mesma extensão do município de Ibitinga. Foi criada em 1987 com o objetivo da proteção do conjunto das áreas alagáveis relacionadas aos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira (Pantanal Paulista). A área total abrange cerca de 64.900ha e possui remanescentes de vegetação em estágios avançados de regeneração de floresta estacional, semidecidual e decidual, floresta paludosa e floresta ribeirinha (IBITINGA, 2016).

As áreas legalmente protegidas presentes em ambas sub-bacias hidrográficas somam aproximadamente 280.000ha, dos quais 75.000ha estão relacionados a áreas de vegetação natural e recursos hídricos (CBH - TJ, 2013).

### **3.3. Geologia, geomorfologia e pedologia**

O território da UGRHI 13, localizado na Província Geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista e das *cuestas* Basálticas, é formado por unidades geológicas relacionadas aos sedimentos clásticos predominantemente arenosos, aos sedimentos pertencentes à formação Itaqueri, às rochas basálticas do Grupo São Bento (formações Piramboia, Botucatu e Serra Geral), às rochas sedimentares do Grupo Bauru (formações Vale do Rio Peixe – Adamantina e Marília), aos depósitos das Serras de São Carlos e Santana e aos depósitos aluviais (CPTI, 2008b) (**Figura 4**).

O relevo da região apresenta diversas unidades, como: planícies fluviais, colinas amplas, colinas médias, morros amplos, morrotes alongados e espigões, morros arredondados, mesas basálticas, encostas sulcadas por vales subparalelos, encostas não escarpadas com cânions locais e escarpas festonadas (IPT, 2000).



**Figura 4 -** Características geomorfológicas das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira.

Dentre os solos que abrangem o território da UGRHI 13 estão: latossolo roxo e terra roxa estruturada, latossolo vermelho escuro e vermelho amarelo, podzólico vermelho amarelo, areias quartzosas, litólicos e cambissolos e planossolos (IPT, 2000).

Os recursos hídricos subterrâneos da UGRHI 13 ocorrem em um sistema formado por quatro aquíferos: Cenozoico, Guarani e Serra Geral e Bauru (**Quadro 1**). Os recursos hídricos subterrâneos são utilizados para o abastecimento público, sendo que o aquífero Guarani apresenta as maiores vazões, com parte da área de recarga nos limites das sub-bacias (CBH-TJ, 2015). (**Figura 5**)

**Quadro 1** - Tipos de Aquíferos, unidades Geológicas e características hidrogeológicas da UGRHI 13 (bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré).

Aquífero	Unidade Geológica	Características Hidrogeológicas
Cenozoico	Formação Itaqueri, coberturas da Serra de São Carlos e similares	Extensão limitada, porosidade granular; livre, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico
Serra Geral	Formação Serra Geral	Extensão regional com caráter eventual, porosidade por fraturas, livre a semi-confinado, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico
Bauru	Grupo Bauru (Formação Vale do Rio do Peixe)	Extensão regional, porosidade granular, livre a semi-confinado, descontínuo, heterogêneo e anisotrópico
Guarani	Formações Piramboia e Botucatu	Extensão regional porosidade granular, livre, contínuo, homogêneo, isotrópico
	Formações Piramboia e Botucatu	Extensão regional porosidade granular, confinado, contínuo, homogêneo, isotrópico

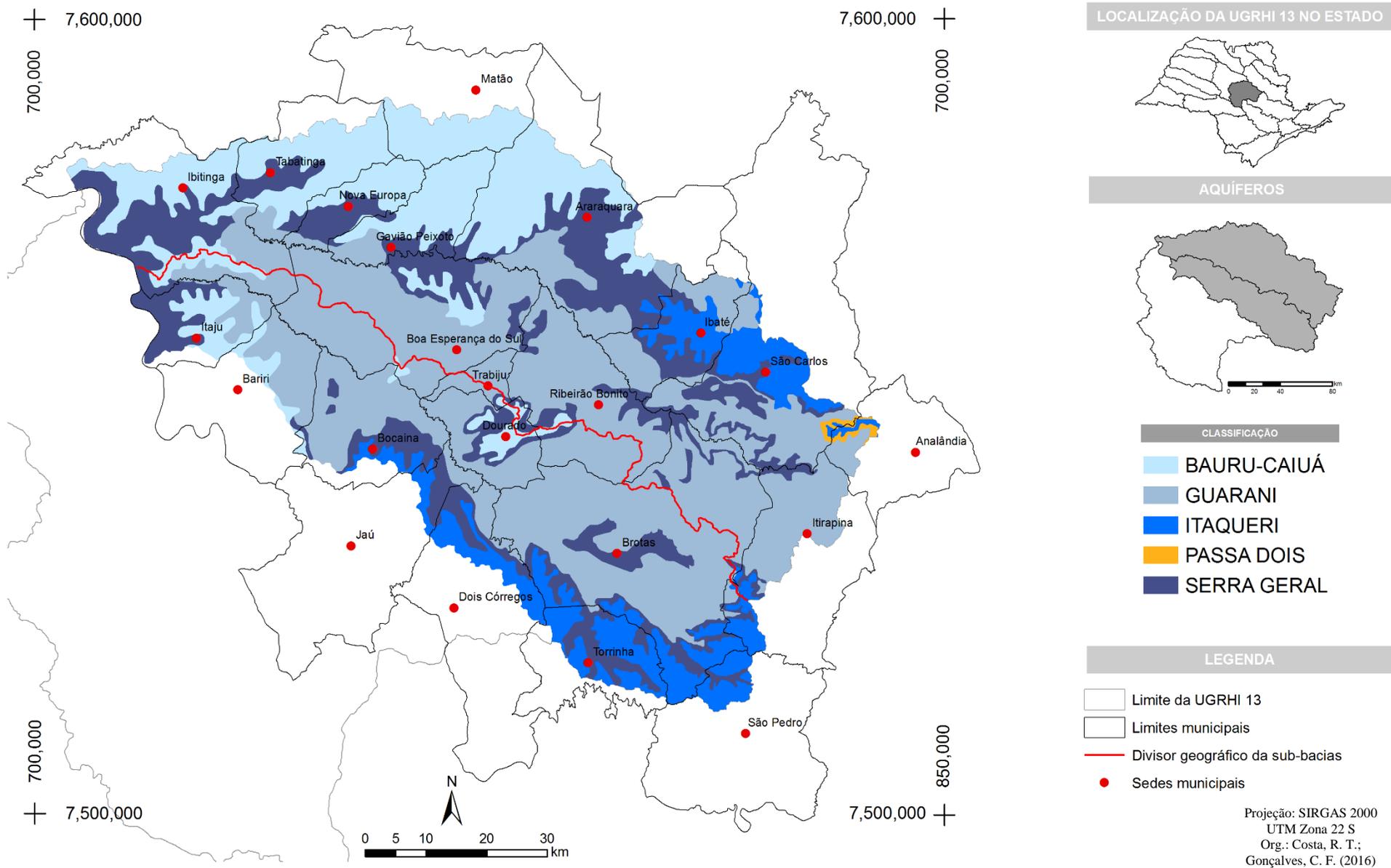
Fonte: IPT (2000).

### 3.4. Climatologia

De acordo a classificação de Köppen, a região da UGRHI 13 enquadra-se na categoria Cwa, cujo clima é caracterizado por umidade e temperaturas elevadas durante o verão e invernos secos. O mês mais seco apresenta precipitação total inferior a 30mm. As temperaturas médias durante o mês mais quente superam 22°C, e são inferiores a 18°C no mês mais frio. O índice de chuvas médias anuais na região varia de 1.500 a 2.000mm (CBH-TJ, 2015).

### 3.5. Economia

A atividade econômica predominante da região é voltada ao setor primário, caracterizado por atividades agropecuárias diversificadas, com destaque para o agronegócio sucroalcooleiro. As atividades desse setor estão relacionadas à produção de açúcar e álcool para o abastecimento de mercados distintos, como: bens finais de consumo, insumos para as indústrias alimentícia ou química, e de combustíveis para automóveis (CPTI, 2008a).



**Figura 5** - Formações de aquíferos presentes nos limites das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira.

Os cultivos de cítricos, principalmente na produção de laranja, estão concentrados nos municípios de São Carlos e Araraquara, sendo este último, destaque no processamento do produto. Além disso, estão presentes extensas áreas de pastagem para criação de bovinos e áreas de reflorestamento de *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp., destinados à produção de celulose.

O desenvolvimento da produção agrícola ao longo dos anos consolidou a instalação de complexos industriais voltados ao processamento de frutas cítricas e de cana-de-açúcar, produção de papel, de bebidas, calçados e tecidos. As características cênicas naturais aliadas à presença de represas na região favorecem o ecoturismo como outra atividade econômica, para alguns municípios das sub-bacias hidrográficas (CBH-TJ, 2015; PDRF-TJ, 2013).

#### 4. METODOLOGIA

##### 4.1. Classificação e estimativa do uso e cobertura da terra das sub-bacias hidrográficas

A classificação, estimativa, e a espacialização da dinâmica dos usos e cobertura da terra das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, para 2004, 2014 e 2015, foi obtida com base na digitalização em tela de imagens LandSat (**Quadro 2**), processadas no software ArcMap 10.2 (ESRI, 2013). A digitalização das imagens referentes ao ano de 2015 foi efetuada somente para a análise da dinâmica de uso e cobertura da terra das áreas alagáveis formadas pelos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira (Pantaninho e Varjão, respectivamente).

As tipologias de uso e cobertura da terra foram discriminadas com base na textura, tonalidade e contexto (CROSTA, 1992; MOREIRA, 2001) das imagens LandSat, no software ArcMap 10.2. Cada polígono foi categorizado em duas escalas de níveis hierárquicos e classificados conforme sua presença durante a digitalização. A denominação das tipologias de uso e cobertura da terra seguiram as determinações do IBGE (2013) e HABER (1994).

Os limites territoriais das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira e das áreas alagáveis foram obtidos das cartas topográficas do IBGE (1970).

**Quadro 2** - Informações das imagens LandSat utilizadas na elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira.

Informações	2004	2014	2015*
Órbitas	220 e 221	220 e 221	220 e 221
Pontos	75 e 76	75 e 76	75 e 76
Resolução	30m	30m	30m
Série/Sensor	LandSat 5/TM	LandSat 8/OLI	LandSat 8/OLI
Data de passagem	21 e 30 de agosto	01 de agosto e 11 de setembro	13 e 20 de agosto
Composição de bandas (RGB)	R3G4B5	R4G5B6	R4G5B6

\*Imagem LandSat utilizada para o mapeamento de uso e cobertura da terra das áreas alagáveis formadas pelos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira.

#### 4.2. Análise da condição de naturalidade das bacias hidrográficas

Projeções das condições de naturalidade das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, para 2004 e 2014, foram obtidas com base na utilização do Indicador de Urbanidade (IU).

O Indicador de Urbanidade reflete a condição de naturalidade da paisagem e estima (**Equação 1**) o quanto as paisagens são dominadas por sistemas fortemente alterados pelo homem (WRBKA *et al.*, 2004; O'NEILL *et al.*, 2007).

$$IU = \log_{10} \left[ \frac{(A+U)}{F+W} \right] \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

A = área agrícolas, silvicultura, solo exposto e infraestruturas rurais;

U = áreas urbanas, industriais, áreas de mineração e malha viária;

F = área de vegetação natural, e

W = ambientes aquáticos e áreas alagáveis.

A representação espacial do Indicador de Urbanidade foi obtida com base nos comandos VETOR, RASTER, AREA e IMAGE CALCULATOR do software IDRISI Selva (EASTMAN, 2012), reescalado (lógica fuzzy) para função linear, sendo estabelecidos o valor mínimo = 0 (zero) e valor máximo = 1 (um). Esta representação considera o grau máximo de naturalidade (IU=0), e o grau mínimo de naturalidade (IU=1), correspondente à predominância de sistemas alterados pelo homem.

Nesta análise foram consideradas condições de alta e baixa naturalidade, respectivamente, os valores de  $IU \leq 0,3$  e  $IU \geq 0,7$ . Os cenários de conservação da biodiversidade e da condição de sustentabilidade foram projetados com base nas áreas dos valores de  $IU \leq 0,3$ , correspondentes ao capital natural das sub-bacias hidrográficas entre os anos de 2004 e 2014.

#### 4.3. Análise da condição de naturalidade das áreas alagáveis

As áreas alagáveis das sub-bacias hidrográficas correspondem às regiões de foz dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, conhecidas, respectivamente, por “Pantaninho” e “Varjão”. A vulnerabilidade da alteração destes sistemas foi avaliada sob dois aspectos: capacidade dos ecossistemas em proporcionar serviços (provisão); e fluxos de serviços ecossistêmicos para a sociedade (dinâmica espacial e temporal dos usos e cobertura da terra). Nesta abordagem, a provisão representa a capacidade ecológica de gerar serviços com base no potencial do capital natural remanescente; e o uso representa os fluxos de serviços para a sociedade em determinada escala (BEIER *et al.*, 2008).

A dinâmica do uso e cobertura da terra nas áreas alagáveis formadas pela foz dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira foram analisadas para os anos de 2004, 2014 e 2015. Devido ao período de estiagem prolongada durante o ano de 2014, foi investigado se a extensão das áreas alagáveis permaneceu inalterada durante esse período, ou se sofreram uma redução de área em função do avanço das áreas antrópicas.

### 4.3.1. Capacidade de provisão

A capacidade de provisão foi estimada pelo Índice de Vulnerabilidade Ambiental da Paisagem (IVAP), que é composto pela combinação de duas métricas (**Equação 2**): Índice de Qualidade da Vegetação (IQV) e Índice de Qualidade dos Recursos Hídricos (IQHidro), elaborado com base na curva funcional do Índice de Qualidade de Habitat, proposto por Canter (1996):

$$IVAP = \frac{IQV + IQHidro}{2} \text{ (Equação 2)}$$

O IQV é composto pela média aritmética de três métricas relacionadas aos remanescentes de vegetação nativa: área, forma, e distância entre os fragmentos. O IQHidro é baseado na distância entre os recursos hídricos em relação a fontes impactantes. Os mapas foram gerados no software IDRISI SELVA, com ajuste por lógica fuzzy (função linear crescente), com valor mínimo = 0 (zero) e valor máximo = 1 (um), para os anos de 2004 e 2014.

## 4.4. Análise estatística

Para testar a hipótese nula de igualdade das condições de naturalidade para e entre as sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, e entre os anos de 2004 e 2014, foi utilizada a Análise de Variância por Permutação (PERMANOVA), por distância euclidiana, com 4999 permutações, e nível de significância de 5%, em relação a uma amostra de 1000 pontos da representação espacial do Indicador de Urbanidade. Os pontos foram sorteados pelo comando *random* do pacote *dismo* (HIJMANS *et al.*, 2014), para cada sub-bacia hidrográfica, nos anos de 2004 e 2014, sem sobreposição, resultando em 4000 pontos amostrais.

Os testes de permutação foram realizados pelo comando *adonis* do pacote *vegan* (OKSANEN *et al.*, 2013) no software R (R CORE TEAM, 2014) e em duas etapas, sendo considerados os fatores os anos (2004 e 2014) e as sub-bacias (Jacaré-Pepira e Jacaré-Guaçu), respectivamente.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Dinâmica de uso e cobertura da terra das sub-bacias hidrográficas

Foram identificadas quatro classes de usos da terra nas sub-bacias hidrográficas, em um primeiro nível hierárquico: (1) Natural (mata secundária, Cerrado e campo sujo); (2) Usos antropogênicos agrícolas (culturas temporárias e permanentes, silvicultura, pastagens, solo exposto e infraestruturas rurais); (3) Usos antropogênicos não-agrícolas (áreas urbanas e industriais, mineradoras e malha viária); e (4) Ambientes aquáticos (rios, lagos, lagoas, represas e reservatórios, e áreas alagáveis) (**Figura 6**). Em um segundo nível hierárquico estas classes foram, posteriormente, categorizadas em 13 tipologias de cobertura da terra (**Tabela 2**).

O território das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira representa um espaço de ocupação antrópica da paisagem resultante das ações desenvolvimentistas regionais, sendo que áreas destinadas ao setor agrossilvipastoril atuam como principal força motriz de alteração da paisagem nas sub-bacias dentro do período abordado (PDRF-TJ, 2013).

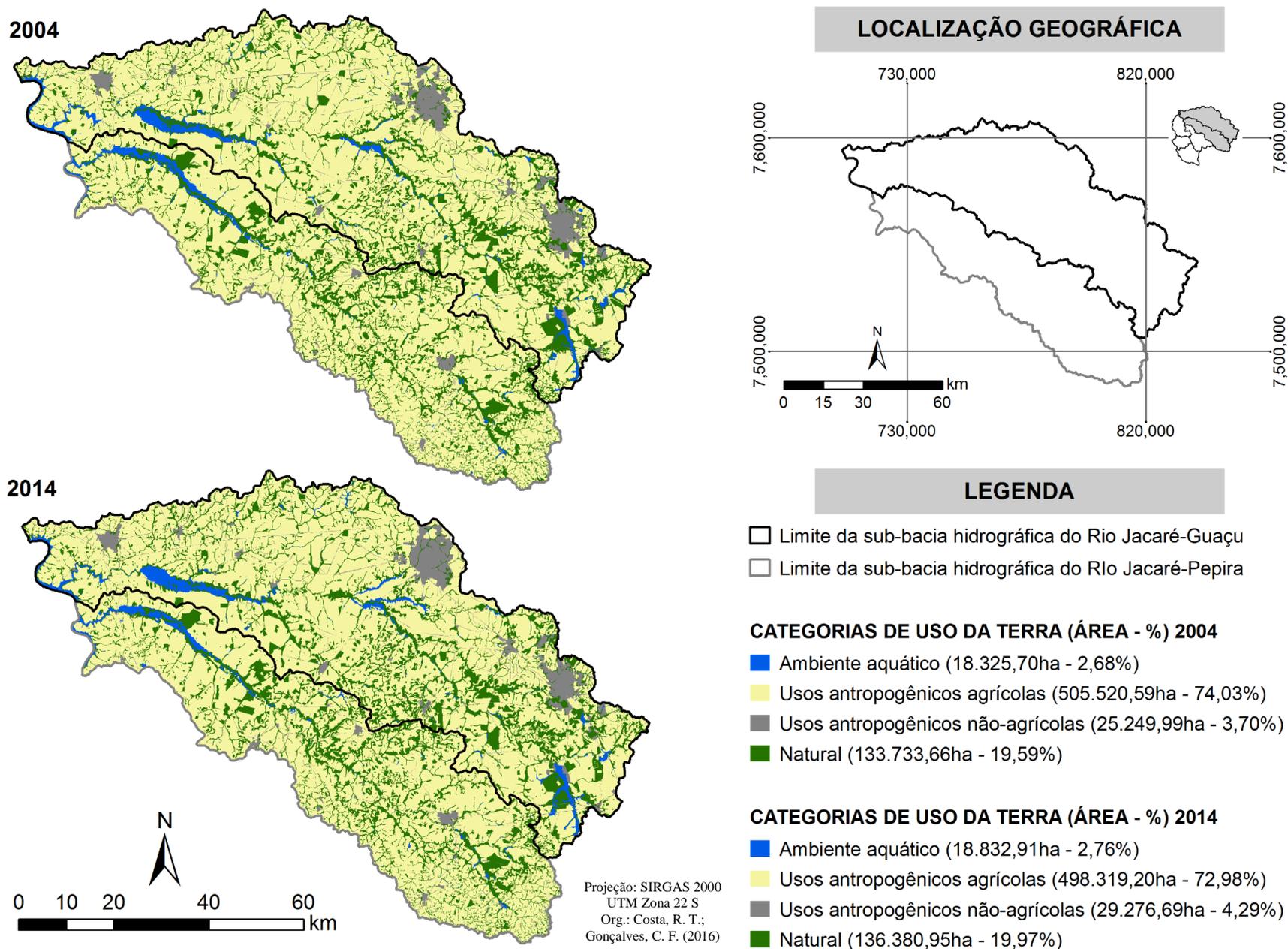
Historicamente, a região passou por um processo de ocupação intenso em decorrência do início da atividade cafeeira, em 1870. A atividade trouxe desenvolvimento econômico para a região por meio da construção e ampliação de ferrovias para escoamento do café, transformando algumas cidades em grandes centros regionais, como Araraquara, Jaú, Bauru e São Carlos (PDRF-TJ, 2013).

O rápido crescimento desordenado das cidades e a intensificação dos plantios agrícolas destinados ao setor econômico geraram processos erosivos com degradação do solo e substituição da cobertura vegetal nativa por extensos cultivos de café. Após a crise do produto em 1929, os municípios da região iniciaram um novo ciclo de atividades econômicas com ênfase na diversificação de produtos, principalmente relacionados à produção de *Citrus* spp., grãos e cana-de-açúcar (PDRF-TJ, 2013).

O desenvolvimento da malha viária para escoamento da produção agrícola facilitou as relações comerciais entre os municípios e o transporte de produtos, resultando no desenvolvimento econômico dos centros urbanos. Entretanto, a ocupação desordenada na região, somado ao uso inadequado da terra, uso intensivo de agroquímicos, e a redução da vegetação ribeirinha refletem parte da problemática ambiental que, historicamente, tem resultado em prejuízos na qualidade ambiental regional.

Foram evidentes a ocorrência de mudanças quantitativas e qualitativas nos tipos de uso e cobertura da terra, entre os anos de 2004 e 2014, nas sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira,

Áreas com vegetação natural no limite territorial das sub-bacias Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, no período de 2004 a 2014, apresentaram uma expansão mínima de 19,59% para 19,97%, equivalente a 2.647,30ha, decorrente, principalmente, da redução de áreas ocupadas por atividades agrícolas (**Tabela 2**).



**Figura 6** - Representação espacial e extensão (ha / %) das classes de usos e cobertura da terra das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, em um nível hierárquico primário de classificação, para os anos de 2004 e 2014.

**Tabela 2** - Descrição e extensão (ha / %) das tipologias de cobertura da terra nas sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, em 2004 e 2014.

Classes	Descrição	Tipologias	Sub-bacias Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira			
			2004		2014	
			Área (ha)	Área (%)	Área (ha)	Área (%)
Natural	Paisagens dominadas por um conjunto de estruturas arbóreas e campestres, abrangendo desde formações alteradas até formações originais	Florestas secundárias, Cerrado, campo sujo	133.733,66	19,59	136.380,95	19,97
<b>Subtotal</b>			<b>133.733,66</b>	<b>19,59</b>	<b>136.380,95</b>	<b>19,97</b>
Ambientes aquáticos	Corpos de água permanentes e áreas sujeitas à alagamentos periódicos	Corpos d'água, rios, lagos, represas	6.531,40	0,96	6.321,54	0,93
		Áreas alagáveis	11.794,30	1,73	12.511,37	1,83
<b>Subtotal</b>			<b>18.325,70</b>	<b>2,68</b>	<b>18.832,91</b>	<b>2,76</b>
Usos antropogênicos agrícolas	Paisagens dominadas por espécies de plantas ou animais domesticados usadas para plantio, reflorestamento ou solo exposto e infraestruturas rurais	Lavouras temporárias	132.438,85	19,40	130.965,33	19,18
		Lavouras permanentes	68.459,57	10,03	39.046,47	5,72
		Silvicultura	47.150,62	6,91	45.198,25	6,62
		Infraestruturas rurais	2.402,11	0,35	3.270,23	0,48
		Solo exposto	156.749,36	22,96	217.138,12	31,80
	Pastagens	98.320,09	14,40	62.700,80	9,18	
<b>Subtotal</b>			<b>505.520,59</b>	<b>74,03</b>	<b>498.319,20</b>	<b>72,98</b>
Usos antropogênicos não-agrícolas	Paisagens construídas com pequenas, médias ou baixas densidades de urbanização, indústrias, mineradoras e rodovias	Áreas urbanas	18.075,55	2,65	21.061,85	3,08
		Áreas industriais	212,40	0,03	1.023,96	0,15
		Áreas de mineração	211,02	0,03	260,19	0,04
		Malha rodoviária	6.751,01	0,99	6.930,69	1,02
<b>Subtotal</b>			<b>25.249,99</b>	<b>3,70</b>	<b>29.276,69</b>	<b>4,29</b>
<b>Total</b>			<b>682.829,94</b>	<b>100,00</b>	<b>682.809,75</b>	<b>100,00</b>

A condição da sustentabilidade ecológica da paisagem remete à obtenção de serviços ecossistêmicos, com base no estoque do capital natural que suporta as demandas da sociedade e os limites da capacidade do ambiente, de modo que a integridade dos processos naturais não seja irreversivelmente comprometida (MÄLER *et al.*, 2008; ANDRADE; ROMEIRO, 2009). Em termos quantitativos, para que isso ocorra, tem sido considerado que o limite mínimo de 30% de cobertura vegetal natural no sistema ambiental como suficiente para garantir a sustentabilidade em paisagens antropizadas (METZGER, 2010). Considerando que a área da cobertura vegetal nas sub-bacias hidrográficas é inferior a 20% da área total das sub-bacias hidrográficas (**Tabela 2**), e que as áreas de alta naturalidade, projetadas pelo Indicador de Urbanidade, torna-se evidente a existência de cenário de comprometimento da sustentabilidade das sub-bacias hidrográficas, anterior ao período de 2004 e 2014.

Usos antropogênicos agrícolas compreendem as áreas alteradas para o desenvolvimento de atividades agropecuárias, relacionadas ao plantio de cultivos temporários e perenes, silvicultura, pastagens, além de solos temporariamente expostos. A categoria de usos antropogênicos agrícolas reduziu, minimamente, de 74,03% para 72,98%, em relação ao limite territorial das sub-bacias dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, entre os anos de 2004 e 2014. Considerando as tipologias de cobertura da terra identificadas, entre 2004 e 2014, os cultivos temporários sofreram redução de 19,40% para 19,18%. Do mesmo modo, cultivos permanentes tiveram redução de 10,03% para 5,72%, enquanto que a silviculturas uma redução de 6,91% para 6,62%. Em contrapartida, a cobertura relacionada a solo exposto apresentou um aumento de 22,96% para 31,80% (**Tabela 2**). Esse aumento, equivalente a uma área de 60.388,76ha, pode estar associado ao período da colheita da cana-de-açúcar, que ocorre entre os meses de abril a outubro no Estado de São Paulo, bem como, da expansão do plantio da cana-de-açúcar nos últimos anos.

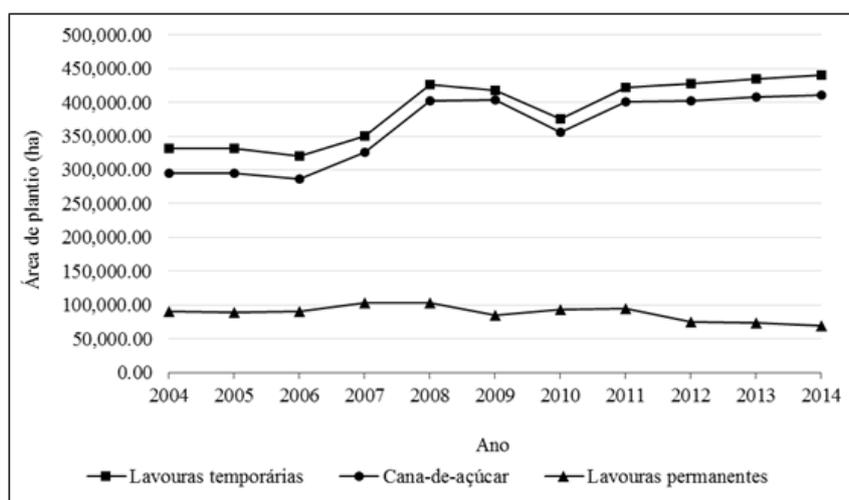
O avanço da fronteira agrícola, ao longo dos anos, para o atendimento da demanda crescente da produção de alimentos e combustíveis, resulta na degradação dos ecossistemas. O cenário ilustra a ocorrência de interações (*trade-offs*), em que as ações antrópicas esgotam os estoques de capital natural que subsidiam os serviços ecossistêmicos para a sociedade, resultando em problemas sociais, como a redução na qualidade e disponibilidade de água nos municípios e o decréscimo da biodiversidade (FOLEY *et al.*, 2005; ANDRADE; ROMERO, 2009).

A demanda por combustíveis verdes nos últimos anos impulsionou a produção de cana-de-açúcar, principalmente com a implantação do Programa Nacional do Alcool – PROÁLCOOL, em função dos estímulos financeiros proporcionados pela política agrícola nacional induzindo a expansão do cultivo. Além da crescente demanda de biocombustíveis pelas novas tecnologias de motores automotivos, o produto possui grande versatilidade, podendo ser utilizado para produção de bioenergia e de açúcar (TORQUATO, 2006).

A expansão do cultivo da cana-de-açúcar tem avançado sobre as áreas de citricultura, que a cada ano perde espaço para o mesmo, com a consequente queda na rentabilidade da produção (TORQUATO, 2006). A tendência de substituição de áreas de pastagem e de 03 cultivos permanentes por cana-de-açúcar (**Tabela 2**), também foram observadas, principalmente, na região oeste do Estado de São Paulo, onde a

fertilidade do solo, clima e topografia são favoráveis ao desenvolvimento dessa monocultura (DURIGAN *et al.*, 2007).

A produção de cana-de-açúcar nos municípios inseridos nos limites das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, entre os anos de 2004 e 2014, acompanhou a expansão agrícola observada para o Estado de São Paulo, apresentando um aumento de 294.913,00 para 410.851,00 toneladas (IBGE, 2014) (**Figura 7**).



**Figura 7** - Áreas de cultivos temporários, permanentes e de cana-de-açúcar, entre os anos de 2004 e 2014, no território dos 22 municípios inseridos nos limites das sub-bacias Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira. Fonte: IBGE (2014).

A ocupação de terras em decorrência da expansão dos cultivos temporários, impulsionada, principalmente, pelo cultivo de cana-de-açúcar, é determinante na configuração da paisagem das sub-bacias hidrográficas no período investigado. Considerando que de mais de 70% do território das sub-bacias hidrográficas (**Tabela 2**), estão ocupados pelo uso antropogênico agrícola, o setor agrícola regional continua atuando como a principal força motriz de alteração da condição do estoque de capital natural das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira.

A classe de uso antropogênico não-agrícola apresentou aumento de 3,70% para 4,29%, equivalente a 4.026,71ha da área total das sub-bacias dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, entre 2004 e 2014. As áreas urbanas, loteamentos e conjuntos habitacionais, tiveram aumento de 2,65% para 3,08%, equivalente a 2.986,30ha da área total das sub-bacias hidrográficas, entre 2004 e 2014 (**Tabela 2**).

O número total de habitantes relacionado aos 22 municípios inseridos nos limites das sub-bacias hidrográficas alterou de 766.757, em 2000, para 892.487, em 2010, representando uma média de 5.700 habitantes por município, no período de 10 anos (IBGE 2000; 2010). A expansão dos centros urbanos em decorrência das ações desenvolvimentistas regional atraiu investimentos, como a instalação de indústrias e a ampliação da malha viária. No período entre os anos de 2004 a 2014, a área ocupada por estabelecimento industriais ampliou de 0,03% para 0,15%, equivalente a uma expansão de 811,56ha em relação ao território total das duas sub-bacias hidrográficas (**Tabela 2**).

Este processo está associado a descentralização da população urbana no Estado de São Paulo, conhecido como interiorização da migração, resultante da crise econômica dos anos 80, do século passado, e à recessão econômica dos anos 90, do século passado, que interferiu no processo de descentralização das indústrias para outros estados e para o interior do Estado de São Paulo. Essa nova etapa do desenvolvimento econômico fortaleceu o fluxo de imigração vinda da região metropolitana de São Paulo, de Minas Gerais e de estados do Nordeste, que detém boa parte da contribuição de imigrantes (26% entre os anos de 1990 e 2000) (BAENINGER, 2005).

Entre a década de 1990 a 2000, a migração para o interior do Estado de São Paulo reforçou a importância dos polos regionais como locais atrativos capazes de absorver e expandir o fluxo migratório. Observa-se, a partir de 1996, que a retenção do fluxo migratório pelos polos regionais levou ao adensamento da rede urbana dos entornos regionais, o que reforça a importância desses pequenos municípios no processo interno de redistribuição da população (BAENINGER, 2005).

Os valores observados para usos antropogênicos não-agrícolas, entre 2004 e 2014, sugerem que os municípios inseridos nos limites das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Pepira e Jacaré-Guaçu evidenciam uma tendência de adensamento populacional, considerando a presença dos polos regionais, como Araraquara e São Carlos.

A área total de ambiente aquático, representada por rios, lagos, lagoas, represas, reservatórios e áreas alagáveis apresentou um aumento de 2,68% para 2,76%, equivalente a uma área de 507,20ha, no período de dez anos, em relação à área total das sub-bacias dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira. Em uma análise detalhada, rios, lagos, represas e reservatórios apresentaram uma redução de 0,96% para 0,93%, entre 2004 a 2014. Em contrapartida, as áreas alagáveis apresentaram aumento de 1,73% para 1,83%, em dez anos, em relação à área total das duas sub-bacias hidrográficas (**Tabela 2**).

A redução da extensão dos corpos de água, entre 2004 a 2014, pode estar associada ao período de drástica estiagem regional a partir de 2014. Dados do balanço hídrico na bacia hidrográfica do Rio Tiete-Jacaré apontam que a crise hídrica resultou em problemas de abastecimento em vários municípios, causando danos na agricultura e na produção industrial regional. A sub-bacia do Rio Jacaré-Guaçu, especificamente, atingiu o nível crítico de 49,3% da disponibilidade de água, considerando o limite máximo de 50% (CBH-TJ, 2015). Esta condição está associada à demanda hídrica do setor agrícola que representa, aproximadamente, 72% da área total da sub-bacia hidrográfica. As vazões dos rios da região sofreram uma redução de 40% no ano de 2014, em relação à médias dos anos anteriores, em decorrência da redução de 25% da precipitação na UGRHI 13.

Em períodos normais de estiagem, entre os meses de abril a setembro, a água estocada nos lençóis freáticos pela ação das chuvas, abastece os mananciais, migrando lentamente para os reservatórios, garantindo uma vazão perene durante a estação seca. Para que isso ocorra é necessário um volume constante de precipitação e de baixa intensidade, favorecendo a penetração da água no solo e a recarga dos mananciais.

Parte da água estocada nos mananciais é utilizada pela vegetação natural do entorno, principalmente durante a estação seca. A presença de vegetação natural no entorno dos mananciais é substancialmente importante na medida em que facilitam a penetração da água no solo e regulam a umidade do ar e do solo, evitando a evaporação

da água. Entretanto, em situações de extrema escassez hídrica, a vegetação compete com os reservatórios nas reservas de água.

Em 2014, maiores valores de temperaturas, mesmo no outono, com poucas chuvas isoladas induziram a rápida evaporação da água no solo exposto pela redução do volume dos rios. A ausência de precipitação e a exploração dos mananciais durante a estiagem, somado à alta transpiração da água do solo e a absorção das reservas mínimas pela vegetação, provocaram redução na quantidade de água que alimenta os reservatórios. O volume dos reservatórios nas sub-bacias hidrográficas apresentou uma redução, entre os anos de 2004 e 2014, em função dos baixos níveis dos mananciais que os sustenta durante o período de seca. Em contrapartida, a vegetação natural das áreas alagáveis não sofreu danos durante o período de estiagem, pois utilizaram as reservas mínimas de água que abastecem os reservatórios durante esse período. Dessa forma, o assoreamento das lagoas e redução do volume dos rios permite o estabelecimento de vegetação pioneira, como macrófitas e gramíneas que, conseqüentemente, reflete no aumento de áreas de ambiente aquático.

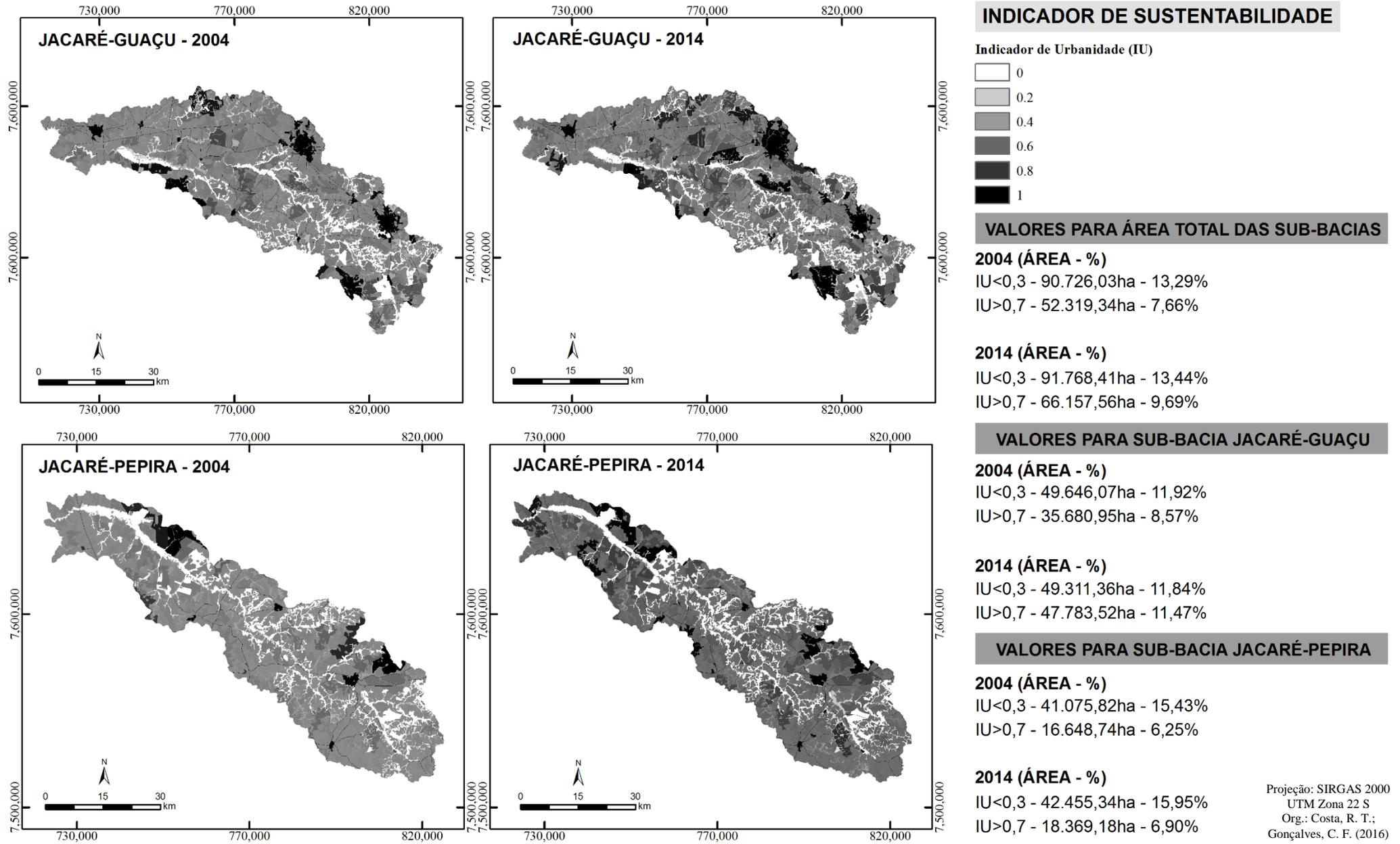
## 5.2. Análise da naturalidade das sub-bacias hidrográficas

As interações entre ecossistemas naturais e sociedade são estabelecidas por forças indiretas (crescimento urbano, demanda de alimentos associada às políticas de expansão agrossilvipastoris e produção de combustíveis), e diretas (uso da terra). As alterações na dinâmica de uso e cobertura da terra configuram cenários que refletem a condição da naturalidade e sustentabilidade dessas áreas (MARCUCCI, 2000). A análise de cenários da naturalidade pressupõe que as mudanças nos usos e cobertura da terra estão fortemente associadas à susceptibilidade e vulnerabilidade dos componentes naturais (vegetação natural e recursos hídricos).

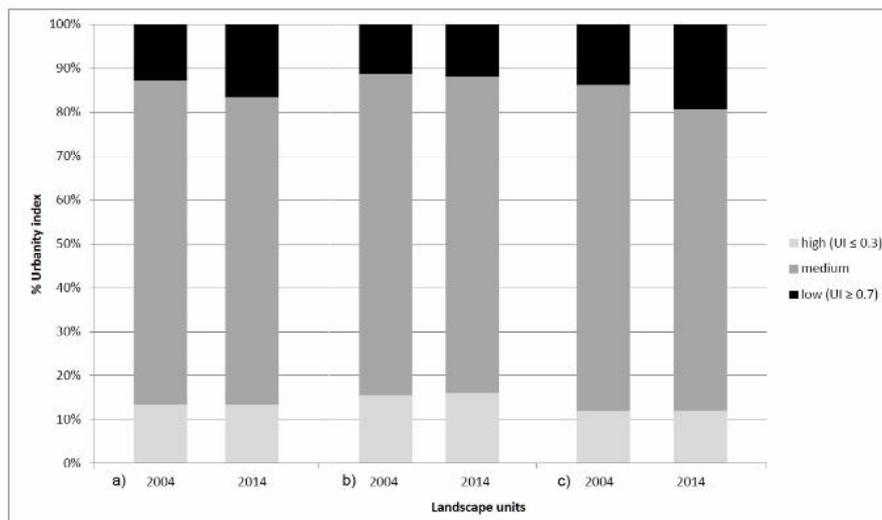
A **Figura 8** apresenta a espacialização dos cenários de alta ( $IU \leq 0,3$ ) e baixa ( $IU \geq 0,7$ ) naturalidade, projetada pelo Índice de Urbanidade, considerando a somatória das áreas das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, e de cada área total das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, para os anos de 2004 e 2014.

Os valores do Índice de Urbanidade para a área total das duas sub-bacias evidenciam a continuidade da predominância dos usos antropogênicos agrícolas e não-agrícolas em relação aos natural e aquático. As mudanças de naturalidade durante o período estão associadas, principalmente, a substituição dos usos antropogênicos agrícolas pelos não-agrícolas, resultando em uma diferença significativa da condição de naturalidade entre os anos de 2004 e 2014 ( $F = 4.6117, p = 0,026$ ). Áreas de baixa naturalidade ( $IU \geq 0,7$ ) apresentaram um aumento de 7,66% para 9,69%, entre 2004 e 2014. Em contrapartida, áreas de alta naturalidade ( $IU \leq 0,3$ ) apresentaram um aumento de 13,29% para 13,44%, entre 2004 e 2014 (**Figuras 8 e 9**).

O aumento de áreas críticas de naturalidade na paisagem regional, em decorrência dos usos e coberturas da terra antropogênicos, tem comprometido a perda gradativa da sustentabilidade ecológica dos municípios (PDRF-TJ, 2013). A dinâmica de usos da terra entre 2004 e 2014 evidencia uma tendência da continuidade da interferência antrópica, com o comprometimento da quantidade do capital natural para assegurar uma condição de cenários para conservação da biodiversidade e da sustentabilidade ecológica das duas sub-bacias hidrográficas.



**Figura 8** - Representação espacial das condições de alta ( $IU \leq 0,3$ ) e baixa ( $IU \geq 0,7$ ) naturalidade projetadas com base no Indicador de Urbanidade (IU) para a somatória das áreas e de cada área total das sub-bacias dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, para os anos de 2004 e 2014.



**Figura 9** – Condição de alta ( $IU \leq 0,3$ ), média e baixa ( $IU \geq 0,7$ ) naturalidade, entre os anos de 2004 e 2014, para: a) somatória das áreas totais das sub-bacias dos Rios Jacaré-Pepira e Jacaré-Guaçu; b) da área total da sub-bacia do Rio Jacaré-Pepira, c) da área total da sub-bacia do Rio Jacaré-Guaçu.

A sub-bacia do Rio Jacaré-Pepira apresentou diferença significativa nas condições de naturalidade ( $F = 6,9579, p = 0,012$ ), entre os anos de 2004 e 2014. As áreas com valores de alta naturalidade ( $IU \leq 0,3$ ) apresentaram um aumento de 15,43% para 15,95%, entre 2004 e 2014, enquanto as áreas de baixa naturalidade ( $IU \geq 0,7$ ) ampliaram de 6,25% para 6,90%, entre 2004 e 2014 (**Figuras 8 e 9**).

Não foram observadas alterações significativas na condição de naturalidade da sub-bacia hidrográfica do Rio Jacaré-Guaçu ( $F = 2,8266, p = 0,106$ ), entre os anos de 2004 e 2014. Áreas com valores de maior naturalidade ( $IU \leq 0,3$ ) apresentaram redução em extensão de 11,92% para 11,84%, enquanto que áreas de baixa naturalidade ( $IU \geq 0,7$ ), aumentaram de 8,57% para 11,47%, entre 2004 e 2014 (**Figuras 8 e 9**).

A condição da naturalidade entre as sub-bacias dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira apresentou diferenças significativas para 2004 ( $F = 13,462, p = 0,002$ ). Em 2004, a sub-bacia do Rio Jacaré-Guaçu apresentou maior comprometimento da condição de naturalidade, cerca de 90% de sua área total, em comparação com a sub-bacia hidrográfica do Rio Jacaré-Pepira, cerca de 85% da área total, como resultado da maior extensão das áreas com média e baixa naturalidade ( $IU > 0,3$ ), e menor extensão de áreas com alta naturalidade ( $IU \leq 0,3$ ) na sub-bacia do Rio Jacaré-Guaçu (8,57% e 11,92%, respectivamente), em comparação a sub-bacia hidrográfica do Rio Jacaré-Pepira (6,25% e 15,43%, respectivamente) (**Figuras 8 e 9**).

A condição da naturalidade entre as sub-bacias dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira não apresentou diferenças significativas em 2014 ( $F = 0,2587, p = 0,624$ ). As condições de naturalidade nas duas sub-bacias hidrográficas, em 2014, refletem a similaridade da distribuição dos valores intermediários de IU, entre os limites críticos de 0,3 e 0,7 (**Figura 9**), resultante do padrão espacial da dinâmica de uso e cobertura da terra.

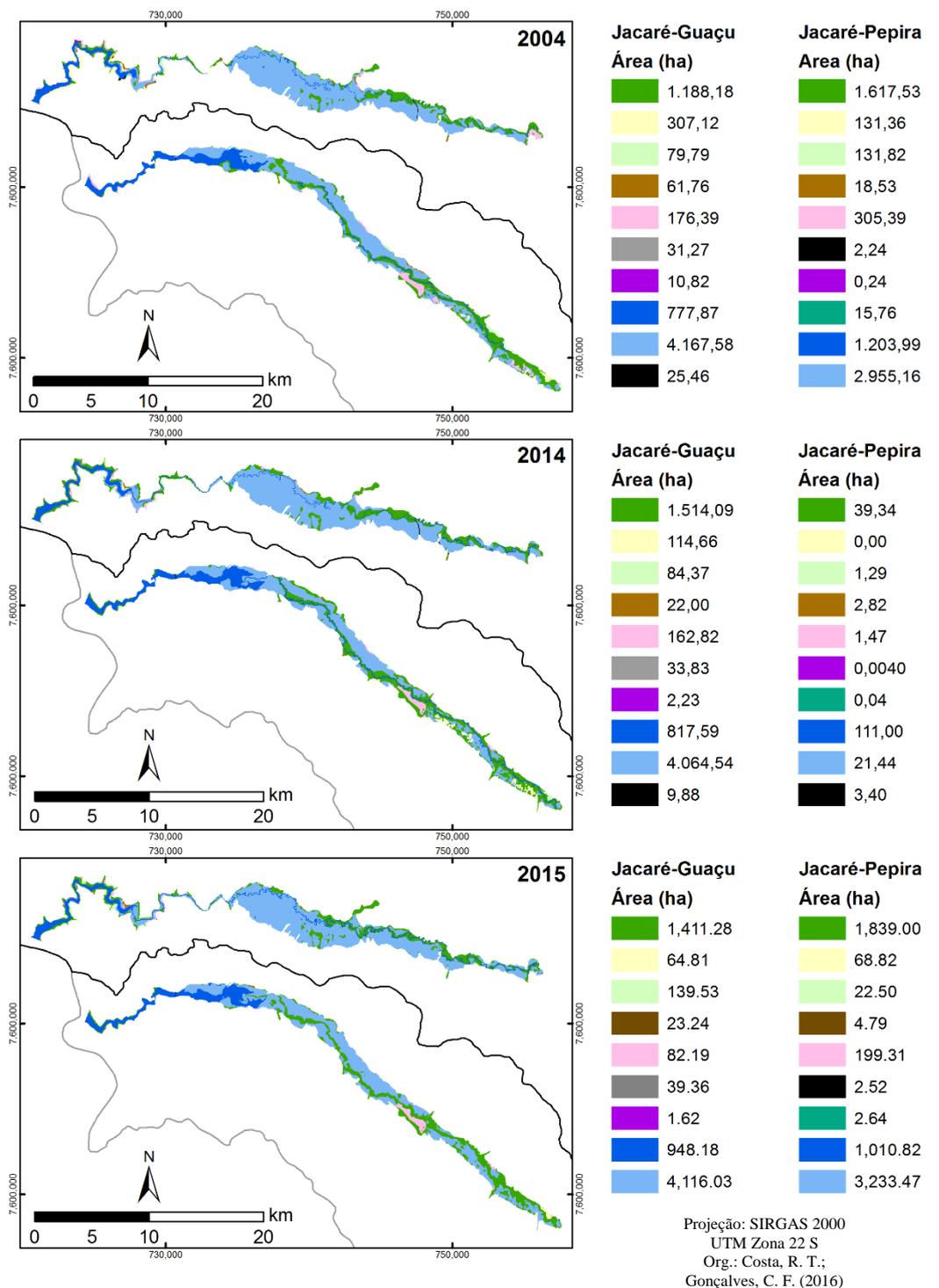
As extensões das áreas de alta naturalidade para as duas sub-bacias hidrográficas não apresentam um valor quantitativo suficiente para assegurar as condições de sustentabilidade na perspectiva de proporcionar e atender a demanda de serviços ecossistêmicos para o bem-estar humano. A expansão das áreas antropogênicas agrícolas e não-agrícolas, entre 2004 e 2014, constituem os principais fatores de pressão no comprometimento da sustentabilidade do território das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira. Pressões antrópicas atuantes nas sub-bacias hidrográficas têm modificado consideravelmente a dinâmica da vegetação natural remanescente. Para que os limites da capacidade ecológica sejam respeitados, torna-se essencial a adoção de estratégias conservacionistas para assegurar a sustentabilidade regional. A criação de corredores ecológicos, de reservas legais, e a ampliação de áreas legalmente protegidas presentes nas sub-bacias hidrográficas são algumas das estratégias para a recuperação de áreas de vegetal natural para assegurar a continuidade dos bens e serviços ecossistêmicos.

### **5.3. Condição da naturalidade das áreas alagáveis das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira**

Foram identificadas quatro classes de usos da terra nas áreas alagáveis das duas sub-bacias hidrográficas (**Figura 10**) em um primeiro nível hierárquico, posteriormente, categorizadas em 11 tipologias de cobertura da terra (**Figura 10; Tabela 3**): (1) Natural (mata secundária, Cerrado e campo sujo); (2) Usos antropogênicos agrícolas (culturas temporárias e permanentes, silvicultura, pastagens, solo exposto e infraestruturas rurais); (3) Usos antropogênicos não-agrícolas (áreas urbanas e malha viária); e (4) Ambientes aquáticos (rios, lagos, represas e reservatórios, e áreas alagáveis).

Foram observadas diferenças mínimas nos tipos de usos e coberturas da terra entre os anos de 2004, 2014 e 2015 (**Tabela 3**). Mesmo com o período de estiagem prolongado em 2014, corpos d'água, área alagável e áreas florestais apresentaram poucas alterações em suas extensões, entre os anos, nos limites das áreas alagáveis. Essa condição pode estar relacionada com as reservas hídricas dos mananciais que mantêm os reservatórios abastecidos durante períodos de seca.

A água das chuvas dos meses mais úmidos (outubro a março) infiltra nas camadas do solo, e são armazenadas nos mananciais subterrâneos. Durante os meses de seca (abril a setembro), a água estocada escoava para o canal principal, mantendo seu volume. O período de estiagem prolongado observado em 2014 (**Figura 11**) parece não ter sido suficiente para esgotar as reservas hídricas estocadas nos mananciais. Dessa forma, a umidade do solo proporcionada pelos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira manteve a integridade dos componentes naturais nas áreas alagáveis até a estação chuvosa seguinte, em 2015. Com base nos dados da precipitação total da região das sub-bacias hidrográficas (**Figura 11**), pode-se inferir que as chuvas ocorridas entre 2011 e 2012 foram determinantes para o abastecimento dos mananciais, e a posterior manutenção dos reservatórios como reservas subterrâneas. Dessa forma, a crise hídrica resultante do período prolongado de escassez de chuvas, entre 2013 e 2014, não foi suficiente para alterar a dinâmica de uso e cobertura da terra das áreas alagáveis para as duas sub-bacias hidrográficas.



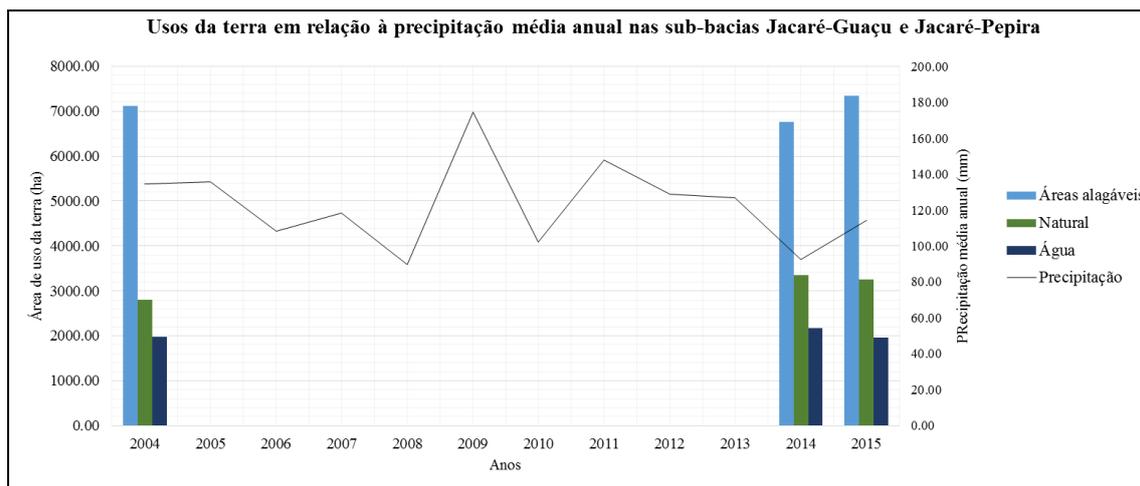
**Legenda**

<b>Limites das sub-bacias</b>	Áreas alagáveis	Infraestruturas rurais
Sub-bacia Jacaré-Guaçu	Áreas florestais	Malha rodoviária
Sub-bacia Jacaré-Pepira	Áreas urbanas	Pastagens
<b>Classes de uso da terra</b>	Culturas permanentes	Silvicultura
Represas e lagoas	Culturas temporárias	Solo exposto

**Figura 10** - Dinâmica de uso e cobertura da terra nas áreas alagáveis das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira para os anos de 2004, 2014 e 2015.

**Tabela 3** - Descrição e extensão (ha/%) das tipologias de uso e cobertura da terra das áreas alagáveis nas sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, para os anos de 2004, 2014 e 2015.

Classes	Tipologias	Sub-bacia Jacaré-Guaçu						Sub-bacia Jacaré-Pepira						Total	
		2004		2014		2015		2004		2014		2015			
		Área (ha)		Área (ha)		Área (ha)		Área (ha)		Área (ha)		Área (ha)			
		2004	%	2014	%	2015	%	2004	%	2014	%	2015	%		
Natural	Florestas secundárias, Cerrado e campo sujo	1.188,18	0,17	1.514,09	0,22	1.411,28	0,21	1.617,53	0,25	1.838,39	0,29	1.839,00	0,29	<b>9.409,92</b>	
<b>Sub-total</b>		<b>1.188,18</b>	<b>0,17</b>	<b>1.514,09</b>	<b>0,22</b>	<b>1.411,28</b>	<b>0,21</b>	<b>1.617,53</b>	<b>0,25</b>	<b>1.838,39</b>	<b>0,29</b>	<b>1.839,00</b>	<b>0,29</b>	<b>9.409,92</b>	
Ambientes Aquáticos	Corpos d'água, rios, lagos e represas	777,88	0,11	817,60	0,12	948,18	0,14	1.204,00	0,19	1.348,48	0,21	1.010,83	0,16	<b>6.107,90</b>	
	Áreas alagáveis	4.167,59	0,61	4.064,55	0,60	4.116,03	0,60	2.955,16	0,46	2.695,33	0,42	3.233,48	0,51	<b>21.235,34</b>	
<b>Sub-total</b>		<b>4.945,47</b>	<b>0,72</b>	<b>4.882,15</b>	<b>0,72</b>	<b>5.064,21</b>	<b>0,74</b>	<b>4.159,16</b>	<b>0,65</b>	<b>4.043,82</b>	<b>0,63</b>	<b>4.244,31</b>	<b>0,66</b>	<b>27.343,24</b>	
Usos antropogênicos agrícolas	Solo exposto	176,40	0,03	162,82	0,02	82,20	0,01	305,39	0,05	214,08	0,03	199,32	0,03	<b>1.140,38</b>	
	Lavouras temporárias	79,80	0,01	84,37	0,01	139,54	0,02	131,83	0,02	42,89	0,01	22,50	0,00	<b>501,00</b>	
	Lavouras permanentes	61,77	0,01	22,01	0,00	23,24	0,00	18,54	0,00	12,12	0,00	4,80	0,00	<b>142,49</b>	
	Infraestrutura rural	10,83	0,00	2,24	0,00	1,62	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>14,94</b>	
	Silvicultura	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,76	0,00	0,05	0,00	2,64	0,00	<b>18,45</b>	
	Pastagem	307,13	0,04	114,67	0,02	64,82	0,01	131,36	0,02	228,79	0,04	68,82	0,01	<b>915,72</b>	
<b>Sub-total</b>		<b>635,91</b>	<b>0,09</b>	<b>386,10</b>	<b>0,06</b>	<b>311,42</b>	<b>0,05</b>	<b>603,13</b>	<b>0,09</b>	<b>497,92</b>	<b>0,08</b>	<b>298,08</b>	<b>0,05</b>	<b>2.732,99</b>	
Usos antropogênicos não-agrícolas	Áreas urbanas	31,28	0,00	33,83	0,00	39,37	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>104,50</b>	
	Malha rodoviária	25,47	0,00	9,89	0,00	0,00	0,00	2,25	0,00	3,41	0,00	2,53	0,00	<b>43,54</b>	
<b>Sub-total</b>		<b>56,75</b>	<b>0,01</b>	<b>43,72</b>	<b>0,01</b>	<b>39,37</b>	<b>0,01</b>	<b>2,25</b>	<b>0,00</b>	<b>3,41</b>	<b>0,00</b>	<b>2,53</b>	<b>0,00</b>	<b>148,04</b>	
<b>Total</b>		<b>6.826,31</b>	<b>1,00</b>	<b>6.826,06</b>	<b>1,00</b>	<b>6.826,29</b>	<b>1,00</b>	<b>6.382,07</b>	<b>1,00</b>	<b>6.383,54</b>	<b>1,00</b>	<b>6.383,92</b>	<b>1,00</b>	<b>39.628,19</b>	



**Figura 11** - Extensão (área) dos usos e ocupação da terra nas áreas alagáveis das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, nos anos de 2004, 2014 e 2015 (Fonte dados precipitação: DAEE).

As planícies de inundação são consideradas áreas com pouca aptidão agrícola e sem expressivo interesse econômico ou social (Comunello 2003). Com base na **Figura 10** foi possível observar uma redução das áreas antrópicas nos limites definidos para as áreas alagáveis, entre os anos abordados. Os valores quantitativos de uso da terra (**Tabela 3**) demonstram que o período de estiagem em 2014 não foi suficiente para o avanço de áreas antrópicas nesses locais. Entretanto, é fundamental considerar os efeitos impactantes dos usos antrópicos diante da proximidade dos mesmos nos limites das planícies de inundação.

O crescimento populacional e econômico, que impulsiona o avanço das fronteiras urbanas sobre as áreas naturais, constitui uma das principais causas da degradação das áreas alagáveis, resultando na utilização inadequada da água, eutrofização e poluição dos corpos d'água, desmatamento, drenagem, construção de reservatórios, introdução de espécies invasoras, etc (DIMITRIOU; ZACHARIAS, 2010).

Atualmente, apenas parte das áreas de foz dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira se encontram em condição legalmente protegida (APA Ibitinga). Entretanto, essa área apresenta problemas de grande magnitude com a instalação da barragem para a Usina Hidrelétrica de Ibitinga (concluída em 1969), além da influência da malha viária do município. Além disso, a área apresenta um trecho do Gasoduto Bolívia-Brasil, que cruza o território do Pantaninho, podendo ampliar os efeitos nocivos que se acumulam junto aos riscos ambientais existentes na região (COELHO *et al.*, 2006).

A barragem de Ibitinga, situada na foz dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira com o Rio Tietê, causou o alargamento dos cursos dos rios, atraindo a especulação imobiliária nas margens, como a construção de chácaras e estabelecimentos de lazer com esportes náuticos. Se por um lado o represamento de reservatórios é essencial para a produção de energia elétrica, abastecimento de água potável, irrigação e controle de enchentes, por outro lado, são construções que resultam em uma série de alterações de caráter hidrológico, climático e ecológico.

As áreas submersas pela água represada iniciam processos de decomposição da matéria vegetal, causando a retenção de nutrientes que conduzem a eutrofização. Além disso, a estabilização física da coluna d'água favorece a presença de algas e macrófitas

aquáticas que comprometem a utilização da água para consumo humano e animal e também para a navegação. Efeitos relacionados às alterações químicas da água, redução da penetração de luz na água, baixa demanda de oxigênio dissolvido, e aumento da condutividade elétrica são outros fatores que influenciam diretamente na estrutura das comunidades aquáticas e do entorno das represas (SILVA, 2006).

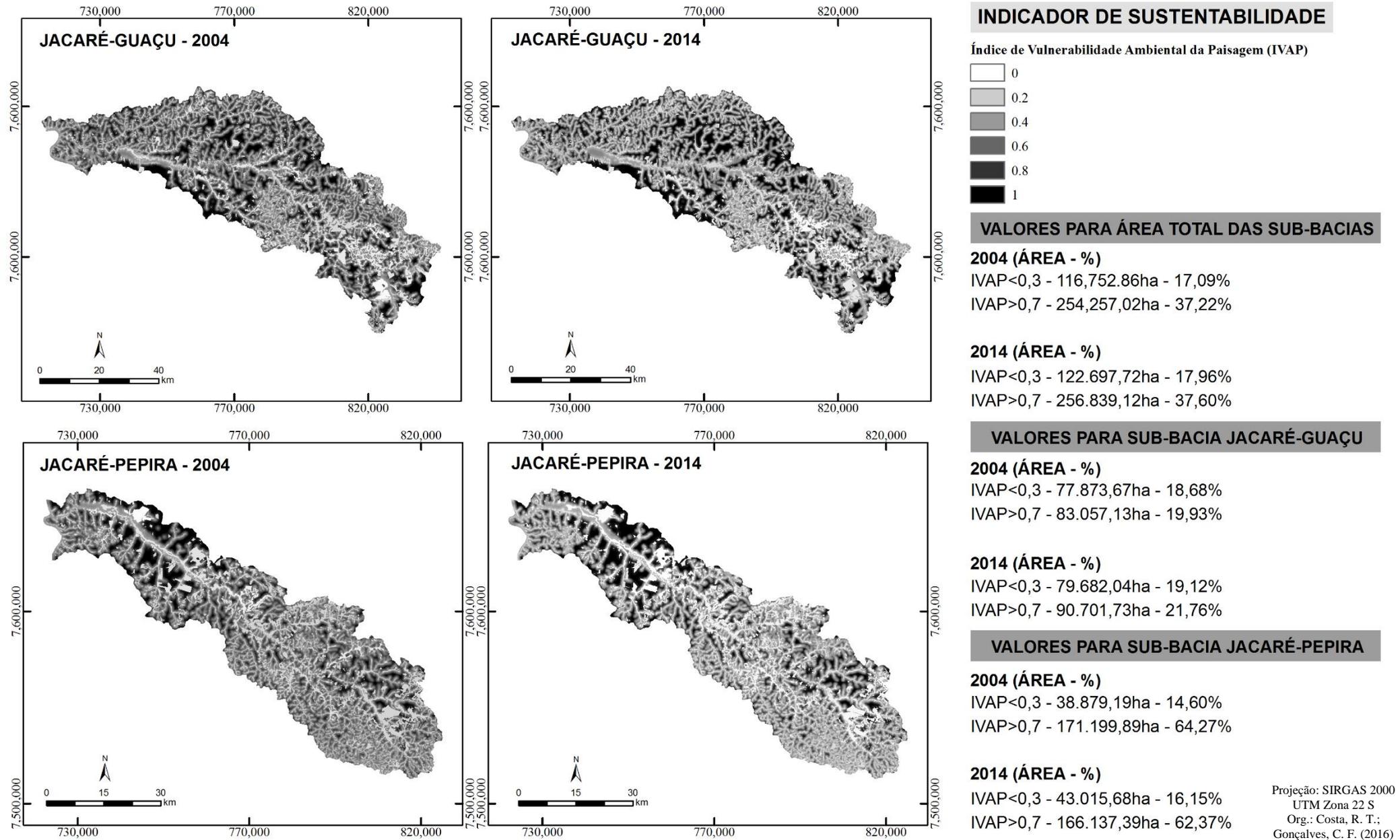
A criação da Área de Proteção Ambiental de Ibitinga, que abrange a área de foz dos rios, limita o uso e cobertura da terra quanto à implantação de atividades que podem resultar na poluição do ar e dos mananciais, além de restringir atividades que aceleram a erosão do solo e assoreamentos. Entretanto, os territórios das áreas alagáveis que não se encontram sob proteção legal e estão sujeitos à essas práticas (COELHO *et al.*, 2006).

A agricultura constitui o principal fator de impacto em áreas alagáveis. A conversão de áreas naturais em terras cultiváveis altera as condições hidrológicas e resulta em impactos, como o aumento do escoamento superficial, poluição dos corpos d'água por agentes químicos empregados nas áreas de cultivo (fertilizantes e agroquímicos), perda de vegetação natural e estabelecimento de espécies invasoras. Nesse cenário, torna-se inevitável a perda dos serviços ecossistêmicos proporcionados pelas áreas alagáveis ao bem-estar humano (ZEDLER, 2003).

As áreas destinadas à pecuária em áreas alagáveis podem acarretar impactos diretos, como a herbivoria da vegetação aquática, aporte de nutrientes para corpos d'água por excrementos ou retenção de sedimentos, e impactos indiretos, como modificações nas composições de algas e macrófitas e, conseqüentes alterações na cadeia alimentar. Além disso, o pastoreio promove o empobrecimento de fragmentos florestais nas áreas úmidas e intensificam o processo de erosão do solo e assoreamento de mananciais (PIRES; SANTOS, 1995).

As condições de naturalidade e de sustentabilidade projetadas pelos Índice de Urbanidade e Índice de Vulnerabilidade Ambiental da Paisagem demonstram que as áreas alagáveis das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e da Jacaré-Pepira são áreas críticas para conservação, uma vez que apresentam alta naturalidade, embora imersas em uma matriz de baixa naturalidade, o que o torna uma área de vulnerabilidade ambiental.

As áreas alagáveis das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira expressam um cenário de alta naturalidade (**Figura 8**), e áreas de baixa vulnerabilidade (**Figura 12**). Encontram-se imersas em uma matriz predominantemente antropogênica agrícola, sem evidências de alterações nessa tendência. Para garantir a continuidade dos serviços ecossistêmicos proporcionados ao bem-estar humano, local e regional, é fundamental a adoção de medidas que minimizem as interferências antrópicas nas mesmas. Principalmente pela iniciativa dos gestores dos territórios municipais nelas inseridos.



**Figura 12** - Representação espacial das condições de naturalidade e sustentabilidade projetadas com base no Indicador de Vulnerabilidade Ambiental da Paisagem (IVAP) para a área total das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, para os anos 2004 e 2014.

## 6. CONCLUSÕES

A ocupação da terra por atividades antropogênicas agrícolas e não-agrícolas pode ser considerada o principal fator de pressão sobre a qualidade ambiental das sub-bacias hidrográficas, no período de dez anos. Considerando que as atividades agrícolas são essenciais à economia dos municípios inseridos nas sub-bacias hidrográficas, as mudanças nos usos da terra ao longo do tempo, resultam do desenvolvimento econômico da região e do crescimento da população, que demandam recursos naturais e a ocupação das áreas territoriais. A consequência do desenvolvimento econômico implica na redução dos bens e serviços proporcionados pelo capital natural remanescente dos territórios municipais, em função do tipo e intensidade da ocupação antrópica.

A paisagem que compõe as sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, de característica eminentemente antrópica, está submetida a uma expansão urbana em detrimento das áreas agrícolas. O desenvolvimento econômico impulsionado pela produção da cana-de-açúcar e celulose para fins comerciais nos territórios municipais representa o principal agente de transformação nos usos da terra, principalmente, configurado pela conversão de áreas de pastagem e cultivos permanentes em áreas de cultivos temporários e silvicultura. Por outro lado, o desenvolvimento municipal agrega investimentos de empresas do ramo sucroalcooleiro e promove o crescimento populacional e, conseqüentemente, a expansão das áreas urbanas.

O aumento das áreas de vegetação natural das sub-bacias hidrográficas dos Rios Jacaré-Guaçu e Jacaré-Pepira, no período de 2004 a 2014, não assegura as condições de mínimas de naturalidade e sustentabilidade, em função do processo histórico de ocupação regional e da adoção de práticas não-sustentáveis. O cenário reflete um quadro de déficit do capital natural, inferior ao mínimo de capacidade suporte necessária para a garantia dos estoques e a provisão de serviços ecossistêmicos para o bem-estar humano. O aumento das áreas de vegetação natural não foi suficiente para garantir a manutenção desses cenários, especialmente para a sub-bacia hidrográfica do Rio Jacaré-Guaçu, que apresentou uma situação mais crítica em termos das condições de naturalidade.

Apesar do período prolongado de estiagem, em 2014, os componentes naturais das áreas alagáveis das sub-bacias hidrográficas permaneceram inalterados entre os anos de 2004, 2014 e 2015. Não foi evidenciado a expansão de áreas antrópicas agrícolas e não-agrícolas nos limites das áreas alagáveis. Entretanto, os valores de IVAP refletem um cenário de alta vulnerabilidade para o entorno das áreas alagáveis, com a possibilidade do comprometimento da naturalidade, o que remete a uma perda de sustentabilidade em função de uma matriz predominantemente antrópica, sem vestígios de alterar essa tendência ao longo do tempo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano. Instituto de Economia - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), SP: Texto para Discussão, v. 155, 2009. Disponível em: <[http://eco.ib.usp.br/labvert/Servicos\\_ecossistemicos\\_e\\_Sistema\\_Economico%20.pdf](http://eco.ib.usp.br/labvert/Servicos_ecossistemicos_e_Sistema_Economico%20.pdf)>. Acesso em: 31 jul. 2016.
- ANTROP, M. Landscape change: plan or chaos. **Landscape and Urban Planning**, v. 41, p. 155-161, 1998.
- ARAÚJO, L. E.; SANTOS, M. J.; DUARTE, S. M. OLIVEIRA, E. M. Impactos Ambientais em Bacias Hidrográficas - Caso da Bacia do Rio Paraíba. **Tecno-Lógica**, v. 13, n. 2, p. 109-115, 2010.
- BEIER, C. M.; PATTERSON, T. M.; CHAPIN III, F. S. Ecosystem services and emergent vulnerability in managed ecosystems: a geospatial decision-support tool. **Ecosystems**, v. 11, n. 6, p. 923-938, 2008.
- BÜRGI, M.; HERSPERGER, A. M.; SCHNEEBERGER, N. Driving forces of landscape change-current and new directions. **Landscape Ecology**, v. 19, n. 8, p. 857-868, 2004.
- CANTER, L. W. Environmental impact assessment. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 1996.
- CBH-TJ - COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA TIETÊ-JACARÉ. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos - ano base 2012. Araraquara, 114p., 2013. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhtj/documentos#>>. Acesso em 31 mar. 2016.
- CBH-TJ - COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA TIETÊ-JACARÉ. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos - ano base 2014. Araraquara, 130p., 2015. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/cbhtj/documentos#>>. Acesso em 31 mar. 2016.
- COELHO, J. O. M.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R.; MATTOS, J. D.; CAETANO, N. R.; MOURA, C. A.; PUPIM, F. N.; GUIMARÃES, P. L. Zoneamento geoambiental da região de Ibitinga-SP, como subsídio ao planejamento de uso e ocupação da terra. In: VI SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, Goiânia, 2006.
- COMUNELLO, E.; SOUZA FILHO, E. E.; ROCHA, P. C.; NANNI, M. R. Dinâmica de inundação de áreas sazonalmente alagáveis na planície aluvial do Alto Rio Paraná: estudo preliminar. In: 11º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais...** p. 2459-2466, 2003.
- CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Plano Estadual De Recursos Hídricos: 2004 / 2007 – Resumos. São Paulo: DAEE, 2006.
- CPTI – COOPERATIVA DE SERVIÇOS, PESQUISAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS. RELATÓRIO TÉCNICO - Nº. 402/08 - Revisão do Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Tietê/Jacaré, 2008b, 228 p. São Paulo. Disponível em:

<[http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7354/c\\_revisao-do-plano-de-bacia-ugrhi-13.pdf](http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7354/c_revisao-do-plano-de-bacia-ugrhi-13.pdf)>. Acesso em: 9 jun. 2016.

CRISCUOLO, C.; QUARTAROLI, C.; MIRANDA, E. D.; GUIMARÃES, M.; HOTT, M. Dinâmica de uso e cobertura das terras na Região Nordeste do Estado de São Paulo. Embrapa Monitoramento por Satélite-Documents (INFOTECA-E), 2006.

CRISCUOLO, C.; VASCONCELOS, C. H.; SILVA, J. S. V. Uso e ocupação da terra em 1965 e 1998. In: ESPÍNDOLA, E. L. G. *et al.* (Org.). A Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho: uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.

CROSTA, A. P. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas, SP. 170p., 1992.

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE. Dados da Rede Hidrológica Básica do Estado de São Paulo. Disponível em: <<http://www.daae.sp.gov.br>>. Acesso em: 9 jun. 2016.

DIMITRIOU, E.; ZACHARIAS, I. Identifying microclimatic, hydrologic and land use impacts on a protected wetland area by using statistical models and GIS techniques. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 51, p. 200-205, 2010.

DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M. F. D.; FRANCO, G. A. D. C. Threats to the Cerrado remnants of the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 4, p. 355-363, 2007.

EASTMAN, J. R. IDRISI Selva. Worcester, MA: Clark University, 2012.

ESCADA, M. I. S.; KURKDJIAN, M. L. N. O. Utilização de tecnologia de sensoriamento remoto para o planejamento de espaços livres urbanos de uso coletivo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, v. 8, 1993.

ESRI. ARCMAP. ArcGIS. 10.2. Redlands, California: Environmental Systems Research Institute, 2013.

FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; ... HELKOWSKI, J. H. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.

HABER, W. System ecological concepts for environmental planning. In: Ecosystem classification for environmental management. In: **Ecosystem classification for environmental management**. Springer Netherlands, 1994. p. 49-67.

HIJMANS, R. J. Raster: Geographic data analysis and modeling. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=raster>>. 2015. Acesso em: 31 jul. 2016.

HIJMANS, R. J.; PHILLIPS, S.; LEATHWICK, J.; ELITH, J. 2014. Dismo: Species distribution modeling. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=dismo>>. 2014. Acesso em: 31 jul. 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual Técnico de Uso da Terra, ed. 3, n. 7. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. (Série Manuais Técnicos em Geociências).

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resultados do Senso Demográfico 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sinopse do Senso Demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA – produção Agrícola Municipal 2014. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 31 de mar. 2016.

IBITINGA. Plano de manejo da Área de Proteção Ambiental de Ibitinga. Disponível em: <<http://apa-ibitinga.webnode.com>>. Acesso em: 31 de mar. 2016.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Cana-de-açúcar para indústria: o quanto vai precisar crescer. Disponível em: <[www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=7448](http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=7448)>. Acesso em: 30 mar. 2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. Diagnóstico da situação atual dos recursos hídricos e estabelecimento de diretrizes técnicas para a elaboração do plano da bacia hidrográfica do Tietê - Jacaré. São Paulo: (Relatório IPT nº 40674/00), 2000.

INVESTE SP. Agência Paulista de Promoção de Investimentos. Cana-de-açúcar. Disponível em: <<http://www.investe.sp.gov.br/setores-de-negocios/agronegocios/cana-de-acucar>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

JUNK, W. J. General Aspects of Floodplain Ecology with Special Reference to Amazonian Floodplains. In: **The Central Amazon Floodplain**. Springer Berlin Heidelberg, p. 3-20, 1997.

JUNK, W. J. The flood pulse concept of large rivers: learning from the tropics. Large Rivers, **Archiv für Hydrobiologie**. Supplementband, v. 11, n. 3, p. 261-280, 1999.

JUNK, W. J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in river-floodplain systems. In: INTERNATIONAL LARGE RIVER SYMPOSIUM, 1989.

KOHLER, M.C.M. **Agenda 21 local: desafios da sua implementação: experiências de São Paulo, Rio de Janeiro, Santos e Florianópolis**. 2003. 185 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

LOPES, J. S. F. A Ocupação Urbana em uma Planície de Alagamento, no Município de Francisco Beltrão - Estado do Paraná. In: 8º ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DE AMÉRICA LATINA, 2001.

MÄLER, K-G.; ANIYAR, S.; JANSSON, Å. Accounting for ecosystem services as a way to understand the requirements for sustainable development. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 105, n. 28, p. 9501-9506, 2008.

MARANHÃO, N. **Sistema de indicadores para planejamento e gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas**. 2007. 422 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

- MARCUCCI, D. J. Landscape history as a planning tool. **Landscape Urban Planning**, v. 49, p. 67-81, 2000.
- METZGER, J. P. O Código Florestal tem Base Científica? **Natural Conservation**, v. 8, n. 1, p. 92-99, 2010.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. 2005.
- MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologia de aplicação. INPE Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 250 p., 2001.
- NASCIMENTO, F. R.; CARVALHO, O. Conservação do Meio Ambiente e Bacia Hidrográfica: Elementos para Sustentabilidade do Desenvolvimento. **Sociedade & Natureza**, v. 17, n. 32, 2005.
- NASCIMENTO, M. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. Á. S.; SILVA, E. Uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio Alegre, Espírito Santo. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 2, p. 207-220, 2005.
- NIEMEIJER, D.; DE GROOT, R. S. A conceptual framework for selecting environmental indicator sets. **Ecological Indicators**. v. 8, n. 1, p. 14-25, 2008.
- O'NEILL, D. W.; TYEDMERS, P. H.; BEAZLEY, K. F. Human appropriation of net primary production (HANPP) in Nova Scotia, Canada. **Regional Environmental Change**, v. 7, p. 1-14, 2007.
- OKSANEN F. J.; BLANCHET, G.; KINDT R, *et al.* Vegan: community ecology package. R package version 2.0-9. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=vegan>>. 2013. Acesso em: 31 jul. 2016.
- PDRF-TJ - Plano Diretor De Restauração Florestal Visando a Produção de Água e a Preservação da Biodiversidade da UGRHI – Tietê-Jacaré. Relatório referente à segunda etapa. Disponível em <<http://pdrf-tiete-jacare.webnode.com>> Acesso em: 30 de mar. 2016.
- PEREIRA, C. A; VIEIRA, I. G. C. A importância das florestas secundárias e os impactos de sua substituição por plantios mecanizados de grãos na Amazônia. INCI, Caracas, v. 26, n. 8, p. 337-341, 2001.
- PIRES, J. S. R; SANTOS, J. E. Bacias hidrográficas: integração entre meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje**, v. 19, n. 110, p. 40-45, 1995.
- PORTO, M. F. A; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2013. 2014.
- RANIERI, V. E. L. **Reservas legais: critérios para localização e aspectos de gestão**. 2004. 156 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

RIBEIRO, C. A. A. S.; VARELLA, C.A.A.; SENA J.R, D.G.; SOARES, V. P. Sistemas de informações geográficas. In: BOREM, A. et al. (Ed.). Agricultura de precisão. Viçosa, MG, 467 p.: il. P. 380-407, 2000.

SALLES, P. S. B. A.; WALTER, M. I. T.; CASTRO, H. C. O. Sustentabilidade ambiental: objetivo 7: garantir a sustentabilidade ambiental. Organização UnB, PUC Minas/IDHS, PNUD, 308p, 2004.

SANTOS, M. Metamorfose do Espaço Habitado: Fundamento Teórico e metodológico da geografia. São Paulo, EDUSP, 2008.

SÃO PAULO (Estado), Lei Nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, a ser implantado no período 1994 e 1995, em conformidade com a Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 28 de dezembro de 1994, São Paulo, Seção 1, p. 3-4. Disponível em: <[www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/lei/1994/1994-Lei-9034.pdf](http://www.ambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/lei/1994/1994-Lei-9034.pdf)>. Acesso em 9 jun. 2016.

SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria do Meio Ambiente. Fundação para a Conservação e Produção Florestal do Estado de São Paulo. APA Ibitinga: Pantanal Paulista Patrimônio Socioambiental do Interior do Estado de São Paulo. Org.: Souza, A. M. de. Sammarco, Y. M. de. / Fundação Florestal / Secretaria do Meio Ambiente. 1ª Ed. São Paulo, 2012.

SÃO PAULO. Governo do Estado. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Instituto Florestal. Plano de manejo integrado das unidades de Itirapina. Estação Ecológica e Experimental de Itirapina/SP. 318p., 2006.

SÃO PAULO. Governo do Estado. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Fundação Florestal. Plano de Manejo da APA Corumbataí, Botucatu e Tejuπά – Perímetro Botucatu. Vol. I e II, 2011.

SILVA, L. A. **Intervenções em área de preservação permanente no reservatório de Ibitinga – SP: equívocos e omissões.** 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente). Centro Universitário de Araraquara - UNIARA, Araraquara, 2006.

TORQUATO, S. A. Cana-de-açúcar para indústria: o quanto vai precisar crescer. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, v. 1, n. 10, 2006

WMO. The Dublin Statement and Report of the Conference. International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century. 26-31 January 1992. Dublin, Ireland.

WRBKA, T.; ERB, K. H.; SCHULZ, N. B.; PETERSEILA, J.; HAHNA, C.; HABERL, H. Linking pattern and process in cultural landscapes. An empirical study based on spatially explicit indicators. **Land Use Policy**. 21, 2004.

ZEDLER, J. B. Wetlands at your service: reducing impacts of agriculture at the watershed scale. **Front Ecology & Environment**., v. 1, n. 2, p. 65-72, 2003.