

MAPEAMENTO DAS MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (PCJ) E JUQUERI

*MAPPING LAND USE AND LAND COVER CHANGES IN THE PIRACICABA, CAPIVARI AND
JUNDIAÍ (PCJ) AND JUQUERI RIVERS BASINS REGION*

**Rochane de Oliveira CARAM¹, Giane de Fátima VALLES², Felix CARRIELLO³,
Yan Breno Azeredo GOMES DA SILVA², Javier TOMASELLA²**

¹Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). Estrada Doutor Altino Bondensan, 500 - Distrito de Eugênio de Melo, São José dos Campos/SP. E-mail: rochacaram@gmail.com

²Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE). Avenida dos Astronautas, 1758, Jardim da Granja, São José dos Campos/SP. E-mail: giane.valles@gmail.com; yanbreno1@gmail.com; javier.tomasella@inpe.br

³Universidade Federal Fluminense. Avenida Litorânea, Instituto de Geociências, Campus Praia Vermelha, Niterói/RJ. E-mail: felixcarriello@id.uff.br

Introdução
Área de estudo
Material e métodos
Mapa de uso e cobertura da terra
Resultados e discussão
Índice Kappa
Análise específica das alterações
Considerações finais
Agradecimentos
Referências

RESUMO - As bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) e Juqueri, que fazem parte do Sistema Cantareira, passaram por grandes mudanças, seja no aspecto social, ambiental e econômico nas últimas décadas. Dessa forma, o entendimento sobre o ambiente em que as pessoas estão inseridas tem grande valor, o que torna importante avaliar informações de uso e cobertura da terra, podendo ajudar na tomada de decisões e no manejo do ambiente. Tais informações são obtidas utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. A área de estudo compreende área de aproximadamente 16 mil Km², abrange 80 municípios, destes, com 64 sedes municipais, e quase seis milhões de habitantes. Com o intuito de compreender a dinâmica do uso e cobertura da terra na região, o objetivo deste trabalho foi quantificar as mudanças de uso e cobertura da terra, ocorridas a partir de 1985, e a cada cinco anos, até 2015. As classes consideradas foram: vegetação nativa, silvicultura, agricultura, pastagem, área urbana e corpos hídricos. Os resultados mostram o predomínio de pastagem em todo período estudado, entretanto, houve recessão, de aproximadamente 12% nesta classe. Destaca-se também, que a área urbana se desenvolveu em toda região de estudo, principalmente na região central.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Geoprocessamento. Mudança de uso e cobertura da terra. Classificação supervisionada.

ABSTRACT - The basins of Piracicaba, Capivari and Jundiá (PCJ) and Juqueri rivers, which are part of the Cantareira System, have undergone extensive changes in social, environmental and economic aspects in recent decades. Therefore, understanding the environment in which people are inserted is of great value, which makes it important to evaluate information of land use and land cover to guide decision-making and managing the environment. Such information is obtained using remote sensing and geoprocessing techniques. The study area comprises approximately 16,000 km², covers 80 municipalities, with 64 municipal seats, and almost six million inhabitants. In order to understand the dynamics of land use and land cover in the region, the objective of this work was to quantify changes in land use and land cover, which occurred from 1985, and every five years, until 2015. The classes considered were: native vegetation, forestry, agriculture, pasture, urban area and water bodies. The results show the predominance of pasture throughout the studied period, however, there was a recession of approximately 12% in this class. It is also noteworthy that the urban area has developed throughout the study region, especially in the central region.

Keywords: Remote sensing. Geoprocessing. Land use/land cover change. Supervised classification.

INTRODUÇÃO

Mapear e monitorar as alterações das classes de uso e cobertura da terra é uma tarefa primordial para a análise do território, e tais mudanças estão ocorrendo de forma acelerada, principalmente em países em desenvolvimento, dificultando o mapeamento detalhado em tempo real. Este estudo é de grande importância e possibilita a formulação de medidas de mitigação

e estratégias adequadas (Schafer, 2019), podendo ainda subsidiar tomadas de decisões relacionadas ao uso e conservação dos recursos naturais e ambientais.

Na década de 1970, o Estado de São Paulo sofreu forte e intenso processo de urbanização e industrialização, na formação da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Este processo gerou,

concomitantemente, interiorização do desenvolvimento econômico, que fortaleceu a região de Campinas. Além disso, na mesma década, a bacia do rio Piracicaba passou por um grande desenvolvimento nos aspectos sociais, ambientais e econômicos, superando em alguns casos até mesmo a RMSP (Molim et al., 2015), e a população da bacia cresceu 5,1% ao ano, superior aos 3,5% de média paulista, atingindo uma taxa de urbanização de 85% (Negri, 1992).

As bacias dos rios Piracicaba, Capivari, Jundiá (PCJ) e Juqueri, estão inseridas quase totalmente no bioma da Mata Atlântica. A Mata Atlântica é um dos biomas mais ameaçados do mundo (Galindo-Leal & Câmara, 2005; Cruz & Vicens, 2007) desde 1500 quando os portugueses chegaram ao Brasil e iniciou a colonização.

No estado de São Paulo, a cobertura florestal da Mata Atlântica ocupava originalmente 16,6 milhões de hectares, ou 67,3% do estado, e, atualmente apenas 32,6% da área original está com vegetação florestal nativa, o que representa 5,4 milhões de hectares (Instituto Florestal, 2020). Estimativas publicadas na última década indicam que a Mata Atlântica tem entre 12% a 28% de sua cobertura florestal original (Ribeiro et al., 2011; Rezende et al., 2018).

O crescimento urbano é apontado como um dos vetores mais expressivos quando se trata de desmatamento das florestas nativas, especialmente quando ocorre de maneira desordenada, em função da demanda originada pelo aumento populacional (Mesquita et al., 2016).

O crescimento populacional e o desenvolvimento econômico transformam as paisagens em todo o mundo há décadas, e a intensificação de alguns processos, principalmente aqueles ligados ao crescimento econômico, provoca mudanças significativas no uso da terra (Silva et al., 2017).

O levantamento do uso e cobertura da terra é de grande importância, na medida em que os efeitos do uso desordenado causam deterioração do ambiente.

Os processos de erosão intensos, as inundações, os assoreamentos desenfreados de reservatórios e cursos d'água são consequências do uso inadequado da terra (Lorena, 2001).

Um estudo, em bacias hidrográficas da China, mostra que mudanças no uso e cobertura da terra provocam mudanças na evapotranspiração e no escoamento durante o século XX (Liu et al., 2008). A presença da cobertura vegetal é importante para os processos hidrológicos, principalmente no que

diz respeito às variações das taxas de infiltração e escoamento.

Urbanização e uso da terra por várias atividades econômicas, quando não são planejadas ou realizadas em áreas inadequadas, diminuem a capacidade de produção de água (Whately & Cunha, 2007), e provocam a deterioração da qualidade da água devido à falta de tratamento de efluentes (Tucci, 2008).

Neste sentido, as áreas rurais e urbanas abrangidas no Código Florestal ou outras leis, especialmente quanto ao respeito às áreas de proteção (APP) e Reservas Legais, contribuiria para reduzir desastres naturais e para preservar os serviços ambientais essenciais à população, tais como abastecimento de água (Coutinho et al., 2013).

A região Sudeste do Brasil, em especial o estado de São Paulo, é altamente impactada pelos extremos hidrológicos, porque além de ser densamente povoada, tem apenas 6% dos recursos hídricos disponíveis do país e uma alta demanda para a indústria, agricultura, irrigação, geração de energia hidrelétrica e de abastecimento público (Soriano et al., 2016).

Segundo Tucci & Clarke (1997), o impacto do uso da terra sobre o comportamento hidrológico de bacias rurais é fundamental na preservação e uso dos recursos hídricos. Hoffmann & Nanni (2017) identificaram que a alteração do uso da terra prejudica o escoamento superficial, potencializando aumento das vazões em curtos períodos e a redução das mesmas durante médios e longos períodos.

Garcia de Sousa et al. (2019), analisando vazão de curso d'água e uso da terra, concluíram que o aumento das vazões máximas está relacionado à redução de cobertura de floresta e aumento da área de infraestrutura, o que promove o menor tempo de residência da chuva na bacia e menor infiltração.

O papel da floresta no ciclo hidrológico tem sido alvo de estudos e debates nas últimas décadas (Hibbert, 1967; Bosch & Hewllett, 1982; Andréassian, 2004; Bruijnzeel, 2004) e, apesar de não totalmente resolvido, já conta com evidências experimentais acumuladas de que a cobertura florestal interfere diretamente nos processos físicos relacionados à dinâmica da água em uma bacia hidrográfica, que altera a produção de água, com variações no deflúvio, com alteração na dinâmica da vazão ao longo do tempo.

Diversos estudos associam o aumento de vazões elevadas à substituição de paisagens naturais por

usos agrícolas ou urbanos (Andréassian, 2004; Arabi et al., 2006; Vanzela et al., 2010; Blainski et al., 2011).

As inundações se tornaram um problema típico das cidades devido à impermeabilização do solo e à habitação no entorno de rios e córregos (Tominaga et al., 2015). Groppo et al. (2019), comparando capacidade de retenção de água do dossel entre mata atlântica e cobertura de eucalipto, concluíram que a mata interceptou 30% do total da precipitação incidente, duas vezes mais que a cobertura por eucalipto.

As bacias dos rios Piracicaba, Capivari, Jundiá (PCJ) e Juqueri contam com uma peculiaridade, a presença do Sistema Cantareira, que fornece água para 8,8 milhões de habitantes, com vazão média de 31 m³/s (Whately & Cunha, 2007), que possui área de aproximadamente 2300 km², um dos mais importantes sistemas de abastecimento de água da RMSP. Em 2014 e 2015, a vazão diminuiu drasticamente, afetando milhões de pessoas e levando ao consumo excepcional de água bombeada (Deusará-Leal et al., 2022).

Segundo Moraes et al. (1997) e Groppo et al. (2001), este fornecimento de água no Sistema Cantareira causou impactos significativos nas vazões dos rios a jusante. As obras deste sistema tiveram início nos anos 60, com o objetivo de atender a uma demanda crescente de água da RMSP, na tentativa de reverter a dramática situação dos índices de mortalidade infantil (Fredereci, 2014).

A situação de demanda maior que a disponibilidade no Sistema Cantareira foi agravada com o crescimento urbano, econômico e populacional da região e a consequente degradação que os recursos naturais sofreram de modo intenso (Paschoalotti & Neto, 2013). Destaca-se que, em 2014/2015, ocorreu uma seca histórica no Sudeste do Brasil, as consequências desta falta de chuvas, juntamente com mau planejamento no fornecimento e distribuição de água e na ocupação irregular e/ou desordenada das encostas, resultaram em uma crise de água e na severa redução dos

principais sistemas de abastecimento de água, especialmente na RMSP (Soriano et al., 2016).

A região da Mata Atlântica brasileira apresenta todos esses desafios e necessidades de restauração, pois abriga cerca de 60% da população brasileira (Calmon et al., 2011); gera mais de 70% do produto interno bruto (PIB) brasileiro; fornece água potável para cerca de 75% da população do país e gera 62% da eletricidade utilizada (Joly et al., 2014).

A maior parte da Mata Atlântica é ocupada por terras privadas (78%), um padrão diferente do Brasil e da Amazônia, onde há uma proporção maior de terras públicas (Faria et al., 2021).

Um estudo na bacia do rio Paraíba do Sul aponta que mais da metade das áreas convertidas para silvicultura vem da classe “Vegetação Natural”, e mostra que a Mata Atlântica tem sido convertida em silvicultura de forma abrupta, mesmo sendo um bioma ameaçado mundialmente pelas ações antrópicas (Carriello & Vicens, 2011).

Os resultados alertam sobre a necessidade da implementação de políticas públicas, como o Zoneamento Ambiental, e reforçam a importância da focalização dos governos para proteger os remanescentes da Mata Atlântica (Carriello et al., 2016).

Contudo, o objetivo deste estudo foi mapear o uso e cobertura da terra nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) e Juqueri, através do processamento digital de imagens, e, caracterizar as mudanças ocorridas no período de 1985 a 2015, o que possibilitou uma compreensão das dinâmicas ambientais e sociais. Ressalta-se que técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto são ótimas ferramentas para o monitoramento ambiental.

Destaca-se que outros estudos relacionados à compreensão das mudanças do uso e cobertura da terra foram realizados apenas na bacia do rio Piracicaba, sejam eles, o Projeto Piracena (1994-1998) que quantificou para os anos de 1978, 1985, 1993 e 1997, e, Molim et al. (2015) para os anos 1990, 2000 e 2010.

ÁREA DE ESTUDO

Esta pesquisa foi conduzida nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) e Juqueri, que possui uma área total de 16.345 Km², sendo que, 92% se encontram no estado de São Paulo, e 8% no estado de Minas Gerais.

A quase totalidade da bacia hidrográfica

apresenta clima subtropical Cwa, segundo a classificação de Köppen, com temperaturas médias anuais entre 18°C e 22°C. A precipitação média anual da bacia é de 1.400 mm, com regime climático caracterizado por duas estações bem distintas: seca no inverno (abril a setembro) e chuvosa no verão (outubro a março).

As bacias contam com uma peculiaridade no que tange à disponibilidade hídrica: a presença do Sistema Cantareira, inaugurado em dezembro de 1973 e em operação a partir de 1974, com o objetivo de incrementar a oferta de água para abastecimento da RMSP. A transposição das águas do sistema para abastecimento de grande parte da RMSP, por intermédio do Sistema Cantareira, representa historicamente o principal foco de conflitos pelo uso dos recursos hídricos na região de estudo.

A região destas bacias abrange 81 municípios dos quais 66 têm sede nas áreas de drenagem da região, e destes, 62 estão no Estado de São Paulo e 4 em Minas Gerais. Na porção paulista das bacias há o predomínio da produção de cana-de-

açúcar, em torno da qual se formou um complexo agroindustrial de açúcar e álcool, com um parque industrial diversificado que inclui destilarias de álcool e usinas de açúcar, indústrias de alimentos e de bens de capital, dentre outras. Na porção mineira, os municípios de Camanducaia, Extrema, Itapeva e Toledo se destacam na pecuária (corte e leiteira) e nas culturas de batata, milho e feijão.

A área em foco localiza-se entre os meridianos 46° e 49° oeste e as latitudes 22° e 23,5° sul, apresentando uma extensão aproximada de 300 km, no sentido Leste-Oeste, e de 100 km, no sentido norte-sul. A figura 1 apresenta a localização geográfica das bacias do PCJ e Juqueri em relação aos Estados de São Paulo e Minas Gerais, e as Sub-bacias do Sistema Cantareira.

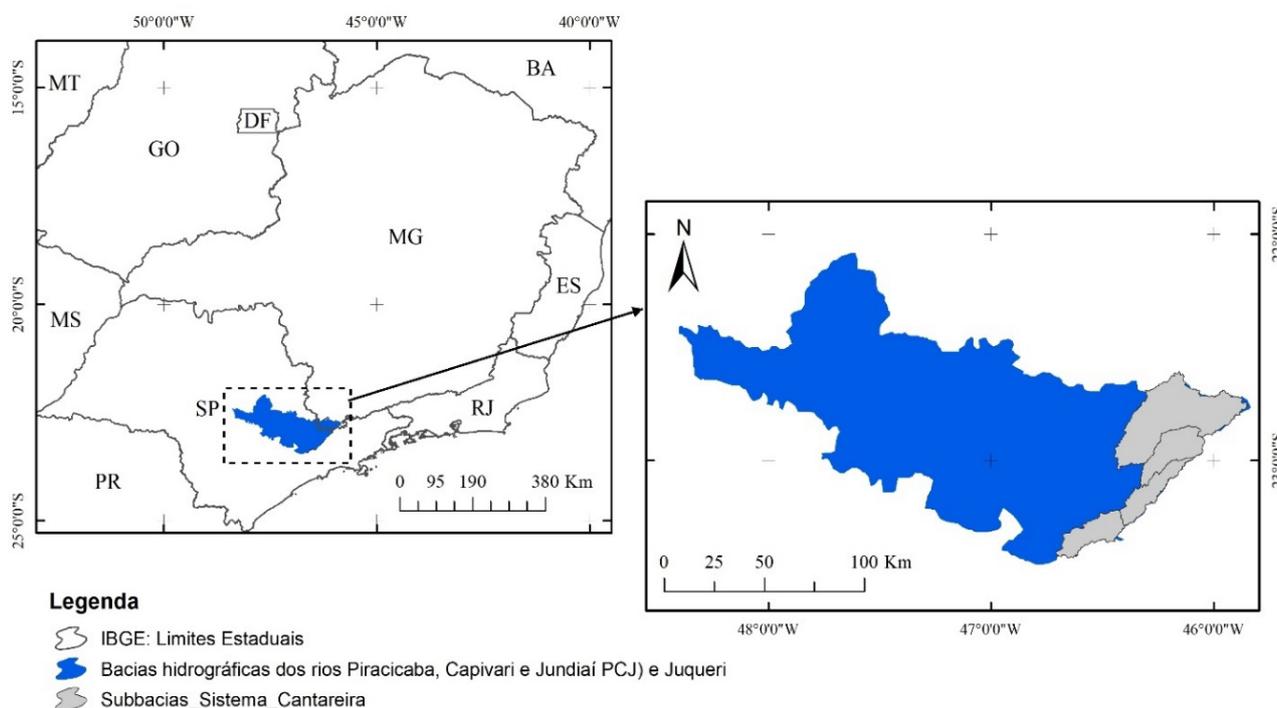


Figura 1 - Localização geográfica das bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) e Juqueri nos Estados de São Paulo e Minas Gerais e Subbacias do Sistema Cantareira.

MATERIAL E MÉTODOS

Mapa de uso e cobertura da terra

Para obter os mapas de uso e cobertura da terra foi preciso criar um Banco de Dados com o maior número de informações possíveis. Esse banco de dados foi elaborado no software Spring, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de acesso gratuito.

A versão Spring 5.5.3 foi usada para o ano 2015, pois foram utilizadas imagens do Landsat 8, enquanto a versão Spring 4.2 foi utilizada para os anos 1985, 1990, 1995, 2000, 2005 e 2010, onde foram utilizadas imagens Landsat 5 e 7.

Inicialmente foi inserido no banco de dados o limite da área estudada, isto é, as bacias dos rios

Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) e Juqueri, e para isso, foi utilizado como referência, um *shape* extraído de um trabalho em andamento de modelagem hidrológica na região de estudo. Para cobrir a área de estudo foram necessárias 3 imagens Landsat sendo essas imagens identificadas pelas órbitas/ponto: 219/76, 220/75 e 220/76. Para obtermos imagens sem nuvem, ou com o mínimo de nuvens, optou-se por selecionar imagens do período seco (julho/agosto), quando possível. Após a seleção das imagens, o download foi feito pelo site <https://earthexplorer.usgs.gov> e posteriormente importadas para o banco de dados.

Além disso, para auxiliar no mapeamento do

uso e cobertura da terra, foi inserido informações complementares de outros mapeamentos já realizados, como os dados dos biomas Mata Atlântica e Cerrado do Projeto MapBiomas coleção 7 obtida do link: <http://mapbiomas.org/map#coverage> (https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR).

O mapeamento do uso e cobertura da terra foi desenvolvido baseando-se em interpretação visual de imagens. As classes temáticas utilizadas foram: Vegetação nativa (áreas ocupadas por diferentes tipologias de florestais nativas; manchas de mata atlântica, e cerrado); Silvicultura (áreas ocupadas com plantios de Eucalyptus, Pinus ou qualquer outra espécie florestal caracterizada como plantio comercial); Agricultura (áreas com cobertura de cana-de-açúcar/culturas anuais ou que apresente resíduos de pós-colheita da cana e solo exposto em grandes áreas, e, outras culturas perenes como frutíferas); Pastagem (áreas utilizadas pela pecuária e cobertas por gramíneas); Área urbana (áreas de grandes centros urbanos e outros tipos de construções); e, Corpo hídrico (áreas de lagos, rios, represas, entre outros), presentes na data da imagem.

O primeiro mapa gerado foi do ano 2015 e o

Google Earth Pro foi utilizado para verificações em caso de dúvida. A partir do mapa do ano 2015, foram gerados os outros mapas. Imagens de satélite de alta resolução disponibilizadas pelo Google Earth têm sido utilizadas com sucesso na validação das classificações automáticas (Cha & Park, 2007; Dorais & Cardille, 2011; Holler, 2013).

A partir dos resultados de classificação das imagens, foi executado o processo de verificação de concordância através do Índice Kappa, no intuito de verificar a concordância entre os resultados da classificação e os mapas da plataforma MAPBIOMAS (coleção 7), para cada ano correspondente.

O índice Kappa é citado como um dos procedimentos mais utilizados para mensurar a exatidão das classificações temáticas por representar inteiramente a matriz de erros (Landis & Koch, 1977; Congalton & Green, 2009).

Este procedimento de verificação se baseou na comparação estatística de uma matriz de confusão. Os mapas do MAPBIOMAS do Brasil (Figura 2) foram reclassificados para as mesmas classes empregadas na classificação. Landis & Koch (1977), relacionam os valores de Kappa à concordância da classificação de acordo com a tabela 1.

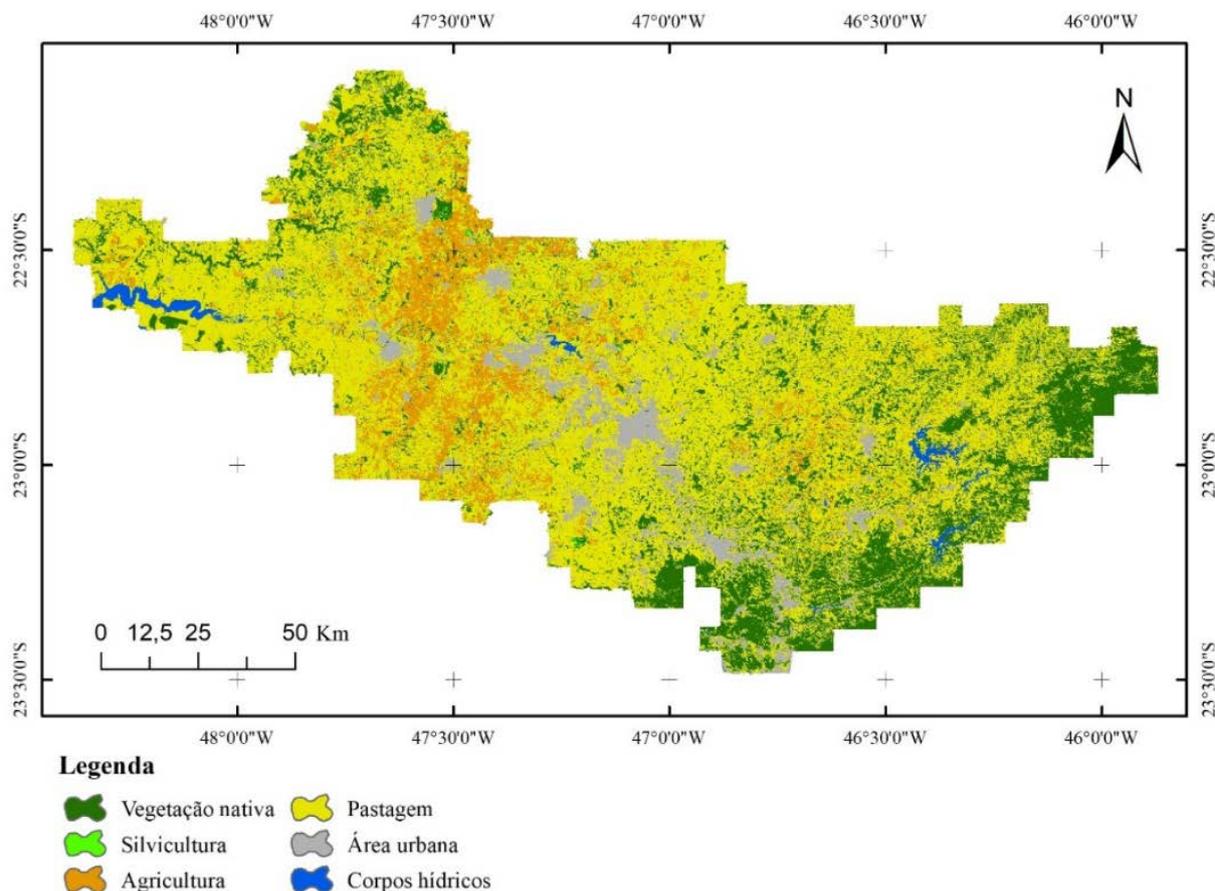


Figura 2 – MAPBIOMAS (1985) reclassificado, referente à área de estudo.

Tabela 1 - Graus de concordância da classificação temática em base no Índice Kappa

Valor do Kappa	Concordância
$K \leq 0$	Péssimo
$0,0 < K \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < K \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < K \leq 0,6$	Bom
$0,6 < K \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < K < 1,0$	Excelente

Os resultados obtidos neste trabalho, de grande valia para a continuidade de estudos na bacia, oferecem, sem dúvida, informações imprescindíveis para iniciativas de planejamento e gestão socioambiental da região.

Um estudo realizado apenas na bacia do Rio Piracicaba (Molim et al., 2015), em que analisou três mapas temáticos de uso e cobertura do solo, de 1990, 2000 e 2010, identificou coeficientes Kappa de 76%, 85% e 85%, respectivamente.

Para analisar as alterações nas classes, ao longo do período, procederam-se duas conversões, sejam elas, mapas em raster para polígono, e coordenadas geográficas WGS84 para UTM 23S. Posteriormente, realizou-se a interseção entre os mapas classificados de uso e

cobertura da terra da bacia do PCJ e Juqueri, ou seja, entre os mapas de 1985 e 1990, 1990 e 1995, 1995 e 2000, 2000 e 2005, 2005 e 2010, e 2010 e 2015.

Para tal finalidade, utilizou-se a ferramenta do “Intersect” do software ArcGis 10.5, que calcula a interseção geométrica dos dados de entrada e resulta na sobreposição das camadas ou classes presentes nos dados originais.

Na interseção, é selecionada na tabela de atributos a classes referentes ao ano inicial do intervalo e verifica-se o que cada classe se tornou no ano seguinte do intervalo. Após a identificação e seleção das classes é realizado o cálculo das áreas.

Neste estudo, julgou-se importante a execução do cálculo do Índice Kappa e as Interseções considerando, não apenas as 6 classes, como também; a exclusão da classe de Silvicultura e a reclassificação da Silvicultura como Vegetação nativa, sendo assim, os mapas foram convertidos a 5 classes.

Este procedimento foi executado, pois a Silvicultura é uma classe que apresenta muitas dúvidas na classificação, podendo ser confundida com Vegetação nativa ou Agricultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da classificação de uso e da cobertura da terra da bacia do PCJ e Juqueri para os anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015, são apresentados na figura 3. Pelo mapeamento é possível observar que grande parte da área de estudo é composta por Pastagem, seguido de Agricultura e Vegetação nativa em terceiro. Analisando os resultados é possível observar as mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra ao longo dos 30 anos, 1985 a 2015. A ocupação na área de estudo é muito distinta com relação à área em que se localiza. De

modo geral, a região noroeste da bacia concentra as áreas de agricultura, representadas principalmente pela cana-de-açúcar e também por culturas perenes. A região sudeste concentra as pastagens, representadas por pastagens plantadas e naturais e também as áreas degradadas e abandonadas. As áreas de vegetação nativa que ficam em regiões de serras e morros estão, principalmente, concentradas no sudeste da bacia.

A área em (km²) de cada tipo de classe foi calculada para cada mapa (Tabela 2).

Tabela 2 - Área (Km²) de cada tipo de uso e cobertura da terra na bacia do PCJ.

Classes	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
1 Vegetação nativa	3833,9	4010,9	4062,3	4051,8	3957,8	3970,9	3965,1
2 Silvicultura	413,8	444,3	471,5	478,2	545,5	788,7	902,5
3 Agricultura	4413,6	4373,9	4397,0	4382,0	4500,6	4684,6	4515,7
4 Pastagem	6984,2	6435,4	6209,4	6009,0	5682,4	5137,0	4951,5
5 Área urbana	755,9	864,9	1001,0	1218,1	1456,7	1544,4	1838,3
6 Corpos hídricos	210,4	215,9	207,6	209,9	205,9	219,0	175,8

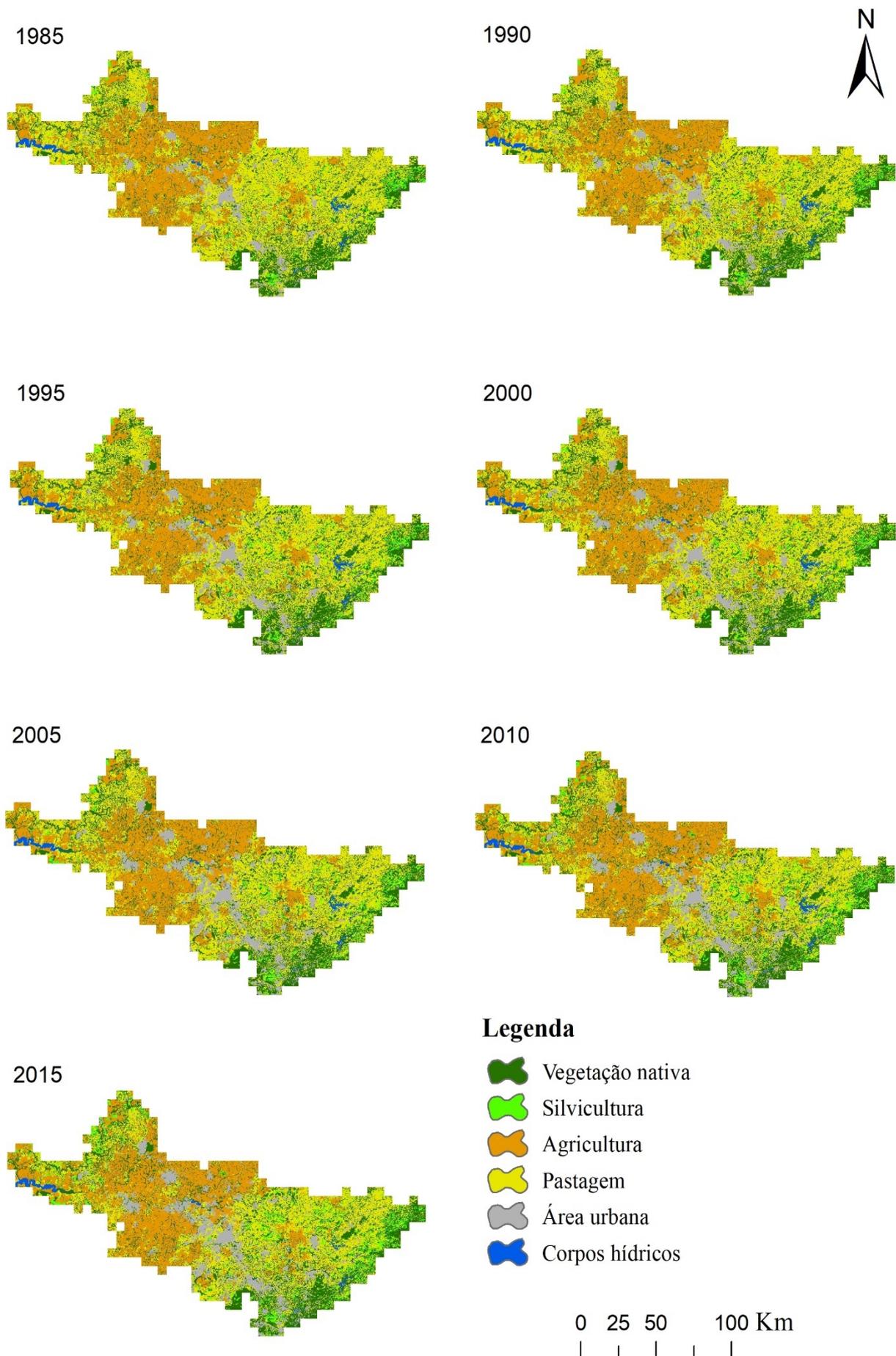


Figura 3 - Uso e cobertura da terra nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) e Juqueri.

A seguir, a figura 4 apresenta a quantificação da área em porcentagem do uso e cobertura da terra na bacia do PCJ e Juqueri para os anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015. São notáveis maiores alterações na pastagem e na

área urbana. Para uma melhor compreensão das mudanças, foi realizada uma comparação entre os mapas (Tabela 3) para os seguintes períodos: 1985 a 1990, 1990 a 1995, 1995 a 2000, 2000 a 2005, 2005 a 2010, 2010 a 2015 e 1985 a 2015.

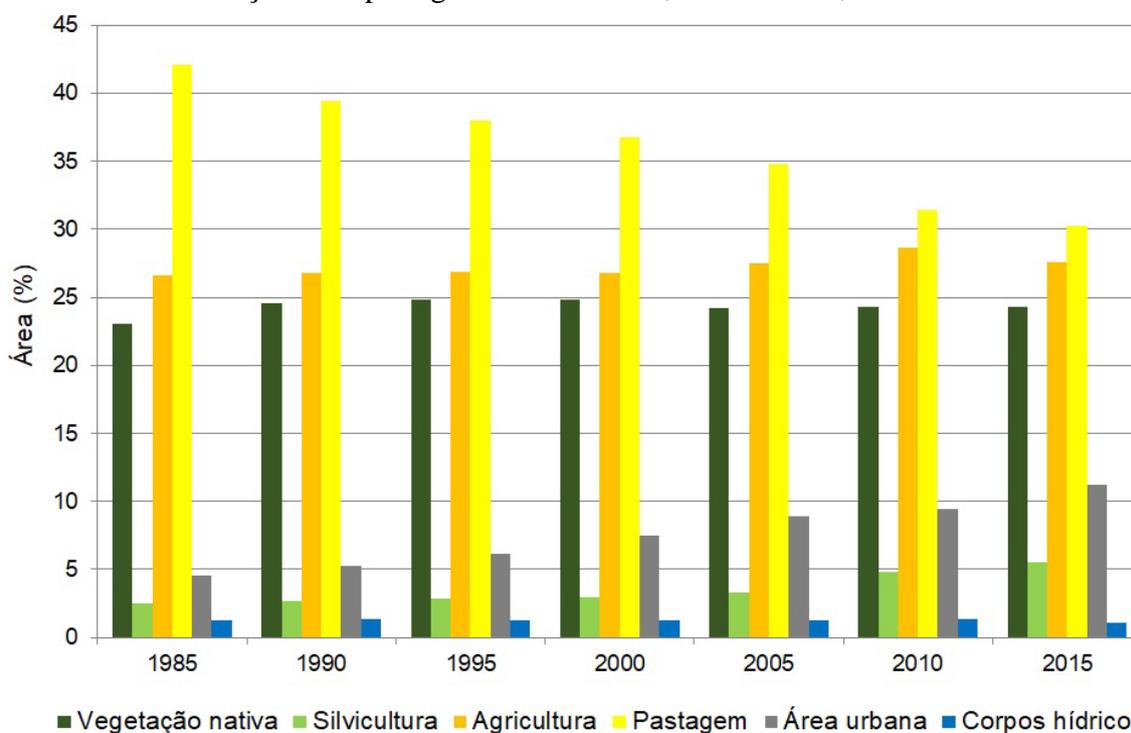


Figura 4 - Quantificação da área em porcentagem do uso e cobertura da terra nos anos de 1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015.

Tabela 3 - Porcentagem de mudança em cada tipo de uso e cobertura da terra nos períodos analisados.

Classe	1985-1990	1990-1995	1995-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2015	1985-2015
1 Vegetação nativa	1,5	0,3	-0,1	-0,6	0,1	0,0	1,2
2 Silvicultura	0,2	0,2	0,0	0,4	1,5	0,7	3,0
3 Agricultura	0,2	0,1	-0,1	0,7	1,1	-1,0	1,1
4 Pastagem	-2,7	-1,4	-1,2	-2,0	-3,3	-1,1	-11,8
5 Área urbana	0,7	0,8	1,3	1,5	0,5	1,8	6,7
6 Corpos hídricos	0,1	-0,1	0,0	0,0	0,1	-0,3	-0,2

Neste estudo, foi observado o predomínio da Pastagem, entretanto ocorreu uma diminuição gradativa ao longo de todo o período, apresentando uma redução total de aproximadamente 12%.

O mesmo foi observado nos resultados do Projeto Piracena para a bacia do rio Piracicaba, para o período entre 1978 e 1997, em que detectaram o predomínio da classe de pastagem e uma redução total de 14%. Além disso, Molim et al. (2015) observaram na mesma bacia (nos anos de 1990, 2000 e 2010) a predominância de pastagem nos três anos (40,1%, 34,4% e 33,6%) e uma recessão de 6,4%.

A classe de Agricultura não apresentou mudanças significativas ao longo de todo o período, entretanto, destacam-se mudanças maiores entre

2000 a 2005, e, 2005 a 2010, em que houve um aumento total de 1,9%. Destaca-se ainda que em 2003, os automóveis flex começaram a entrar no mercado consumidor brasileiro, causando uma expansão das áreas de cana-de-açúcar (cultura anual) e quase toda a mudança no uso e cobertura da terra, para a expansão da cana-de-açúcar na safra 2008/09, ocorreu em pastagens e áreas de cultivo anuais, sendo igualmente distribuídas em cada uma (Rudorff et al., 2010).

Em estudos anteriores, observou-se um maior aumento na classe de Agricultura. O Projeto Piracena detectou um aumento de 6,7% na classe agricultura (culturas anuais e perenes) para o período de 1978 a 1997 e Molim et al. (2015) observaram na classe cultura anual (cana-de-

açúcar) uma ascensão (+7,3%) no período de 1990 a 2000 e posteriormente uma recessão (-4,1%) entre 2000 e 2010.

A área de Vegetação nativa apresentou um pequeno aumento em 1990 (1,5%) e em 2005 (0,6%), mas no restante dos períodos se mantém estável. Enquanto Molim et al. (2015) detectaram uma redução (-4,4%) da vegetação nativa em 2000 e posteriormente um pequeno incremento em 2010 (+1,7).

Em conformidade com os resultados obtidos por Molim et al. (2015), que detectaram nos plantios comerciais arbóreos e nas zonas urbanas ascensão em todo período, de 1,9% e 1,6%, respectivamente, este estudo observou nas classes de Silvicultura e Área urbana um crescimento gradativo ao longo de todo período analisado, entre 1985 e 2015, atingindo um

Tabela 4 - Índice Kappa para 6 classes (Vegetação nativa, Silvicultura, Agricultura, Pastagem, Área urbana e Corpos hídricos)

Ano	Kappa	Acurácia Global %	Conceito
1985	0,43	59,9	Bom
1990	0,40	57,2	Bom
1995	0,43	58,6	Bom
2000	0,43	58,4	Bom
2005	0,46	59,8	Bom
2010	0,42	56,6	Bom
2015	0,50	62,5	Bom

De acordo com Landis & Koch (1977), a qualidade entre os mapas classificados e o MAPBIOMAS, quando comparadas as seis classes, variou de 0,40 a 0,50, o que é considerado como “Bom”. Quando a classe de Silvicultura é reclassificada a Vegetação nativa, percebe-se um pequeno aumento no Índice Kappa, variando entre 0,43 a 0,53, que também é considerado como “Bom”. Esta segunda análise foi realizada pois a Silvicultura fisiologicamente é mais próxima a Vegetação nativa, e, quando mais velha é mais difícil diferenciar.

Desse modo, é importante agora entendermos como se deu as transformações do uso e cobertura da terra na bacia de uma maneira mais detalhada.

Análise específica das alterações

Após uma análise geral, é importante estabelecer uma análise mais aprofundada das alterações ocorridas na região de estudo. Para cada classe, foi analisado as principais trans-

formações em seis classes, e cinco classes (Silvicultura reclassificada como Vegetação nativa), identificando o que cada classe se tornou no intervalo entre os anos analisados (1985, 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 e 2015). Desta forma, foi possível investigar de maneira minuciosa como se deu as alterações ao longo dos 30 anos.

aumento total de ~3% e 7%, respectivamente. Em termos de área, é importante destacar que a área de Silvicultura supera 2,2 vezes o tamanho comparado ao ano de 1985 e a Área urbana supera 2,4 vezes comparado ao mesmo período.

Índice Kappa

Em relação à classe corpos hídricos, como era esperado, foram observadas mínimas alterações. Os resultados do Índice Kappa, verificação e validação entre a classificação e os mapas da plataforma MAPBIOMAS para cada ano, são apresentados a seguir nas tabelas 4 e 5 para as condições de seis classes (Vegetação nativa, Silvicultura, Agricultura, Pastagem, Área urbana e Corpos hídricos), e cinco classes considerando a Silvicultura como Vegetação nativa (Vegetação nativa/Silvicultura, Agricultura, Pastagem, Área urbana e Corpos hídricos), respectivamente.

Tabela 5 - Índice Kappa para 5 classes (Silvicultura reclassificada com Vegetação nativa)

Ano	Kappa	Acurácia Global %	Conceito
1985	0,46	61,89	Bom
1990	0,43	59,06	Bom
1995	0,46	60,72	Bom
2000	0,46	60,41	Bom
2005	0,48	61,98	Bom
2010	0,45	59,42	Bom
2015	0,53	65,98	Bom

A tabela 6, a seguir, mostra as mudanças ocorridas nas classes de Vegetação nativa, Silvicultura, Agricultura, Pastagem e Área urbana. Apenas para a classe de Corpos hídricos considerou-se desnecessária a verificação.

As mudanças em cada classe variaram de: 25 a 46% na Vegetação nativa, 34 a 59% na Silvicultura, 12 a 20% na Agricultura, 20 a 32% na Pastagem, 10 a 22% na Área urbana, para todos os períodos analisados. As figuras 5, 6, e 7, a seguir, mostram as classes que tiveram mudanças mais significativas, sejam elas, Vegetação nativa, Silvicultura e Pastagem.

Tabela 6 - Mudanças ocorridas nas classes de Vegetação nativa, Silvicultura, Agricultura, Pastagem e Área urbana entre os anos: 1985-1990, 1990-1995, 1995-2000, 2000-2005, 2005-2010 e 2010-2015.

Classe/Período		1985-1990	1990-1995	1995-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2015
Vegetação nativa (Km ²)	Silvicultura	97,6	123,7	69,6	92,0	141,9	136,5
	Agricultura	445,1	475,6	275,9	270,9	426,7	449,0
	Pastagem	1087,1	1167,3	679,4	608,9	778,7	646,2
	Área Urbana	71,9	98,5	64,2	77,5	124,0	140,4
	Total	1701,8	1865,1	1089,1	1049,3	1471,2	1372,2
Mudança na Vegetação nativa (%)		44,39	46,50	26,81	25,90	37,17	34,56
Silvicultura (Km ²)	Vegetação nativa	97,4	124,4	66,8	60,2	106,7	118,2
	Agricultura	21,7	12,7	9,7	8,6	19,4	33,2
	Pastagem	102,6	122,0	99,1	91,5	107,7	133,7
	Área Urbana	3,2	3,8	3,1	3,9	6,0	11,2
	Total	224,8	263,0	178,7	164,3	239,8	296,3
Mudança na Silvicultura (%)		54,32	59,19	37,90	34,36	43,97	37,56
Agricultura (Km ²)	Vegetação nativa	458,2	484,1	284,7	254,0	408,3	453,9
	Silvicultura	10,7	11,3	5,1	24,1	47,7	58,7
	Pastagem	325,0	358,4	218,2	264,3	270,4	320,8
	Área Urbana	28,8	38,8	39,8	47,6	46,5	103,8
	Total	822,7	892,5	547,8	590,1	772,9	937,3
Mudança na Agricultura (%)		18,64	20,41	12,46	13,47	17,17	20,01
Pastagem (Km ²)	Vegetação nativa	1335,6	1220,1	679,6	589,2	863,3	663,2
	Silvicultura	151,5	152,1	109,3	113,3	287,9	207,5
	Agricultura	375,5	152,1	239,3	419,1	487,8	256,7
	Área Urbana	172,9	186,7	229,6	234,6	180,6	285,7
	Total	2035,6	1710,9	1257,8	1356,3	1819,5	1413,1
Mudança na Pastagem (%)		29,15	26,59	20,26	22,57	32,02	27,51
Área Urbana (Km ²)	Vegetação nativa	59,4	72,3	50,2	53,8	113,1	114,6
	Silvicultura	1,9	2,9	1,3	2,2	5,8	6,5
	Agricultura	17,7	22,7	9,3	9,9	25,0	28,0
	Pastagem	76,0	95,1	59,3	59,3	126,5	97,6
	Total	155,0	192,9	120,1	125,3	270,4	246,8
Mudança na Área Urbana (%)		20,51	22,30	12,00	10,28	18,56	15,98

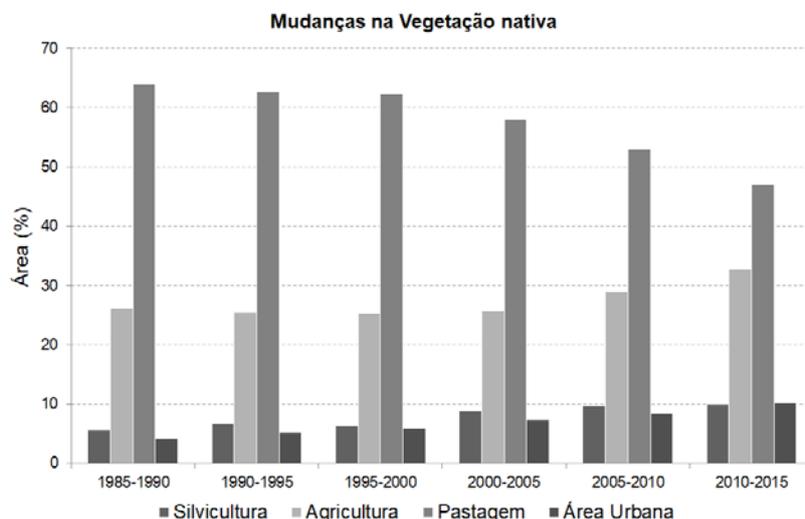


Figura 5 - Mudanças na classe de Vegetação nativa entre os anos: 1985-1990, 1990-1995, 1995-2000, 2000-2005, 2005-2010 e 2010-2015.

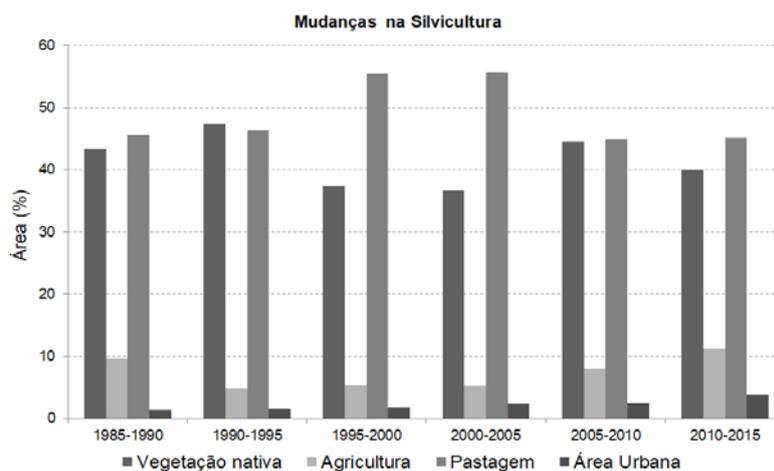


Figura 6 - Mudanças na classe de Silvicultura entre os anos: 1985-1990, 1990-1995, 1995-2000, 2000-2005, 2005-2010 e 2010-2015.

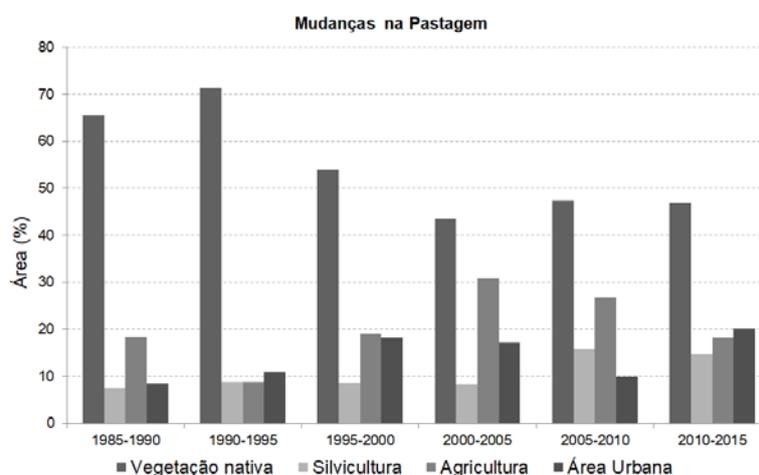


Figura 7 - Mudanças na classe de Pastagem entre os anos: 1985-1990, 1990-1995, 1995-2000, 2000-2005, 2005-2010 e 2010-2015.

Em relação a Vegetação nativa, em todos os períodos analisados, as mudanças que se destacaram foram para Pastagem, seguida da Agricultura. A área em km² variou de 1049 a 1865.

Quando analisamos a Silvicultura, as mudanças principais foram para Vegetação nativa e Pastagem, apesar de que, em termos de área em Km², não serem tão representativas em relação a área total de estudo.

As mudanças ocorridas na classe de Pastagem chamaram bastante atenção, pois se destacaram as mudanças para a classe de Vegetação nativa. Este fato pode ter decorrido em função da obrigação do reflorestamento.

Nos anos 2000 ocorreu um arcabouço legislativo referente ao Código Florestal e fortalecido com a reforma de 2012 (Lei n° 12.651/2012), juntamente com a criação do Cadastro Ambiental Rural (CAR). Tal cadastro tem por finalidade a promoção do desenvolvimento sustentável no campo, com

elaboração de políticas públicas na preservação e recuperação das florestas e demais formas de vegetação nativa, além de integrar as informações ambientais das propriedades rurais referentes às Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reserva Legal. Ou seja, cada propriedade rural tem o dever de recuperar APPs.

Segundo o relatório “Radiografia do CAR e do PRA nos Estados Brasileiros” elaborado por Chiavari et al. (2020) do Climate Policy Initiative (CPI/PUC-Rio), em conjunto a Iniciativa para Uso da Terra (INPUT), com a promulgação do novo Código Florestal, mesmo ainda não sendo implementado por completo, muitos proprietários rurais buscaram se adequar à nova realidade.

A tabela 7, a seguir, mostra as mudanças ocorridas nas classes de Vegetação nativa, Agricultura, Pastagem e Área urbana. Estes resultados se referem à classificação de cinco classes em que a Silvicultura foi reclassificada como Vegetação nativa.

Tabela 7 - Mudanças ocorridas nas classes de Vegetação nativa, Agricultura, Pastagem e Área urbana entre os anos: 1985-1990, 1990-1995, 1995-2000, 2000-2005, 2005-2010 e 2010-2015.

Período/Classe		1985-1990	1990-1995	1995-2000	2000-2005	2005-2010	2010-2015
Vegetação nativa (Km ²)	Agricultura	458,9	488,4	285,5	279,5	446,0	482,3
	Pastagem	1171,1	1289,0	777,7	699,7	885,6	779,0
	Área Urbana	74,0	102,4	67,3	81,3	130,0	151,6
	Total	1704,0	1879,7	1130,5	1060,6	1461,6	1412,9
Mudança na Vegetação nativa (%)		40,73	42,18	24,93	23,41	32,45	29,68
Agricultura (Km ²)	Vegetação nativa	461,0	495,4	289,8	278,2	456,0	512,6
	Pastagem	319,6	358,4	218,2	264,2	270,4	320,8
	Área Urbana	28,3	38,8	39,8	47,6	46,5	103,8
	Total	808,9	892,5	547,8	590,0	772,9	937,2
Mudança na Agricultura (%)		18,64	20,41	12,46	13,47	17,17	20,01
Pastagem (Km ²)	Vegetação nativa	1464,5	1371,8	788,0	701,8	1150,6	869,8
	Agricultura	369,3	401,3	239,3	419,1	487,7	256,7
	Área Urbana	170,3	186,6	229,6	234,6	180,6	285,7
	Total	2004,0	1959,8	1256,9	1355,5	1819,0	1412,2
Mudança na Pastagem (%)		29,15	30,46	20,25	22,56	32,02	27,50
Área Urbana (Km ²)	Vegetação nativa	60,4	75,1	51,5	56,0	118,9	121,2
	Agricultura	17,4	22,7	9,3	9,9	25,0	28,0
	Pastagem	74,8	95,0	59,3	59,3	126,5	97,6
	Total	152,6	192,9	120,1	125,3	270,4	246,8
Mudança na Área Urbana (%)		20,51	22,30	12,00	10,28	18,56	15,98

Na análise específica considerando as seis classes, na classe de Pastagem foi possível observar que grande parte foi convertida em Vegetação nativa, sendo maior no período de 1985 a 1990 e reduzindo gradativamente nos demais períodos.

Destaca-se também, a conversão de Pastagem em Agricultura nos períodos de 2000 a 2005 e 2005 a 2010. De Pastagem para Área urbana, observou-se uma maior conversão entre 2010 e 2015.

A Vegetação nativa apresentou maiores mudanças para Pastagem, sendo essa conversão maior entre 1985 e 1995 e depois foi reduzindo ao longo de todo o período analisado. Também

foi constatado uma mudança significativa para Agricultura em todo o período. Para a classe de Silvicultura foi observado maiores mudanças para Pastagem seguido de Vegetação nativa, enquanto para as classes de Agricultura e Área urbana quase não houve conversão.

Na classe de Agricultura observou-se maiores conversões para Vegetação nativa e Pastagem, e para Silvicultura quase nenhuma conversão. Para a classe de Área urbana não ocorreram mudanças significativas em todo o período.

Quando houve a redução no mapa para cinco classes (reclassificação da Silvicultura para Vegetação nativa) o comportamento foi bastante similar, apenas alterando as proporções.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em resumo, verifica-se que as mudanças no uso e cobertura da terra na área de estudo apresentaram comportamentos distintos para cada classe ao longo do período de 30 anos analisado.

A Vegetação nativa apresentou ganhos e perdas na sua área, mas em geral, se manteve relativamente estável no percentual. A Silvicultura apresentou apenas aumento de área, princi-

palmente no período de 2005 a 2015. A Agricultura apresentou redução e aumento, porém o ganho foi mais significativo, principalmente, entre 2000 e 2010. A Pastagem, apesar de ser a classe predominante em todo o período, apresentou apenas redução, sendo a maior perda entre 2005 e 2010, enquanto a Área urbana apenas aumentou, com destaque entre 2010 e 2105. Os corpos hídricos

não apresentaram mudanças significativas, como era esperado. Contudo, tais mudanças ocorridas se refletem nos padrões da paisagem atual.

No contexto geral, quando analisamos os 30 anos, é notável perceber alguns aspectos, como a diminuição de quase 12% da Pastagem, e um aumento de quase 7% da Área urbana. As classes de Vegetação nativa, Silvicultura e Agricultura também apresentaram crescimento, entretanto, em uma proporção inferior em relação ao tamanho da área de estudo.

Quando analisamos por região, notamos maiores mudanças. A Agricultura, por exemplo, se desenvolveu mais na porção oeste, enquanto a Silvicultura mais na porção leste. A Área urbana se desenvolveu em toda região de estudo, principalmente na porção central.

O que pode ter contribuído para manutenção da Vegetação nativa, pois poucas mudanças foram observadas entre 1985 e 2015, foi a criação da Lei nº 12.651/2012 e do Cadastro Ambiental Rural. Apesar disso, a região de estudo ainda é bastante desprovida de Vegetação nativa, e isto favorece

a presença de focos de erosão, o que pode contribuir para a ocorrência de desastres na região.

É importante destacar as conversões mais significativas, como o crescimento da Área urbana, em que a Pastagem foi convertida em Área urbana, além do aumento da Agricultura que se deu da conversão de Vegetação nativa, e, aumento da Silvicultura que se deu da Pastagem e Vegetação nativa.

Contudo, considera-se que este trabalho possa contribuir para um melhor entendimento da dinâmica do uso e cobertura da terra nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari, Jundiá (PCJ) e Juqueri, impulsionada pelo desenvolvimento de atividades sócio-econômico-ambientais. Pode auxiliar a traçar estratégias para otimizar o uso da terra e mitigar os impactos negativos, considerando as individualidades locais. E, portanto, fornece subsídio para identificação das atividades mais agravantes, viabilizando a promoção de estratégias para a utilização do solo, de acordo com as capacidades de adaptação e resiliência dos recursos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- ANDRÉASSIAN, V. Waters and Forests: From historical controversy to scientific debate. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 291, n. 1-2, p. 1-27, 2004.
- ARABI, M.; GOVINDARAJU, R.S.; HANTUSH, M.M.; ENGEL, B.A. Role of watershed subdivision on modeling the effectiveness of best management practices with SWAT. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 42, n. 2, p. 513-528, 2006. [http:// dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.2006.tb03854.x](http://dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.2006.tb03854.x).
- BLAINSKI, E.; SILVEIRA, F.A.; CONCEIÇÃO, G.; GARBOSSA, L.H.P.; VIANNA, L.F. Simulação de cenários de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araranguá utilizando a técnica da modelagem hidrológica. **Agropecuária Catarinense**, v. 24, n. 1, p. 65-70, 2011.
- BOSCH, J.M. & HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 55, p. 3-23, 1982.
- BRUIJINZEEL, L.A. Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 185-228, 2004.
- CALMON, M.; BRANCALION, P.H.S.; PAESE, A.; ARONSON, J.; CASTRO, P.; SILVA, S.C.; RODRIGUES, R.R. Emerging Threats and Opportunities for Large-Scale Ecological Restoration in the Atlantic Forest of Brazil. **Restoration Ecology**, v. 19, n. 2, p. 154-158, 2011. <http://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2011.00772.x>
- CARRIELLO, F. & VICENS, R.S. Silvicultura de eucalipto no vale do Paraíba do Sul/SP no período entre 1986 e 2010. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011
- CARRIELLO, F.; REZENDE, F.S.; NEVES, O.M.S.; RODRIGUEZ, D.A. Forestry expansion during the last decades in the Paraíba do Sul basin – Brazil. The International Archives of the Photogrammetry, In: REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, Prague, Czech Republic, 2016. **Proceeding...** Prague, Czech Republic, 2016, v. XLI-B8.
- CHA, S.Y. & PARK, C.H. The utilization of Google Earth images as reference data for the multitemporal land cover classification with MODIS data of North Korea. **Korean Journal of Remote Sensing**, Seoul, v. 23, n. 5, p. 483-491, Jul. 2007.
- CHIAVARI, J.; CRISTINA L.L.; JULIA, N.A. **Onde Estamos na Implementação do Código Florestal? Radiografia do CAR e do PRA nos Estados Brasileiros**. Edição 2020. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2020. Disp.: < <https://agerh.es.gov.br/cbh-sao-mateus> >. Acesso em: 12 março 2022
- CONGALTON, R.G. & GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2009, 192 p.
- COUTINHO, M.P.; MEDEIROS, J.D.; SORIANO, E.; LONDE, L.R.; LEAL, P.J.V.L.; SAITO, S.O. Código Florestal Atual (Lei Federal nº 12.651/2012) e suas implicações na prevenção de desastres naturais. **Sustentabilidade em Debate**, v. 4, n. 2, p. 237-256, 2013.
- CRUZ, C.B.M. & VICENS, R.S. Levantamento da cobertura vegetal nativa do bioma Mata Atlântica. **Relatório final. PROBIO “Ministério do Meio Ambiente”**, Brasil. IESB/UFRJ/UFF, 2007.
- DEUSDARÁ-LEAL, K.; MOHOR, G.S.; CUARTAS, L.A.; SELUCHI, M.E.; MARENGO, J.A.; ZHANG, R.; BROEDEL, E.; AMORE, D.J.; ALVALÁ, R.C.S.; CUNHA, A.P.M.A. and

- GONÇALVES, J.A.C. Trends and Climate Elasticity of Streamflow in South-Eastern Brazil Basins. **Article in Water**. July 2022. DOI: 10.3390/w14142245
- DORAIS, A. & CARDILLE, J. Strategies for Incorporating High-Resolution Google Earth Databases to Guide and Validate Classifications: Understanding Deforestation in Borneo. **Remote Sensing**, Basel, v. 3, n. 6, p. 1157-1176, Jun, 2011.
- FARIA, V.G.; MELLO, K.; PINTO, L.F.G.; BRITES, A.; TAVARES, P.A.; FERNANDES, R.B.; CHAMMA, A.L.S.; FRANZOZI, A.A.; GIUDICE, R.D.; ROSA, M.; SPAROVEK, G. O Código Florestal na Mata Atlântica. **Sustentabilidade em debate**, n. 11 – Piracicaba, SP. Imaflo, Geolab, SOS Mata Atlântica, OCF. 2021. 44 p.
- FREDERECI, A. **Análise do impacto do Sistema Cantareira sobre o regime de vazões do rio Piracicaba**. São Carlos, 2014. 110 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- GALINDO-LEAL, C. & CÂMARA, I.G. Mata Atlântica: uma síntese. In: Galindo-Leal, C., Câmara, I. G. (Eds.). Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas. São Paulo, Fundação SOS Mata Atlântica/Belo Horizonte, **Conservação Internacional do Brasil**, p. 3-11, 2005.
- GARCIA DE SOUSA, R.; MARTINS, L.; SOARES NUNES, F.; BERNARDES SILVA, F. Análise da precipitação, vazão, uso e cobertura da terra na bacia do rio São João/Mg. **Revista Augustus**, v. 24, n. 49, p. 146-154. 2019. DOI: <https://doi.org/10.15202/1981896.2019v24n49p146>
- GROPPO, J.D.; MORAES, J.M.; BEDUSCHI, C.E.; MARTINELLI, L.A. Análise de séries temporais de vazão e de precipitação na bacia do rio Piracicaba. **Revista de Ciência & Tecnologia**, Piracicaba, v. 8, n. 18, p. 109-117, 2001.
- GROPPO, J.D.; SALEMI, L.F.; MORAES, J.M.; TREVISAN, R.; SEGHESE, G.B.; MARTINELLI, L.A. (2019) Capacidade de retenção de água do dossel vegetativo: comparação entre Mata Atlântica e plantação florestal de eucalipto. **Ciênc. Florest.**, v. 29, n. 1, p. 96- 104. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509816862>.
- HIBBERT, A.R. Forest Treatment Effects on Water Yield. In: Proceedings of the International Symposium on Forest Hydrology, W.E. Sopper and H.W. Lull (Editors). **International Symposium on Forest Hydrology**, Pergamon Oxford, p. 813, 1967.
- HOFFMANN, G.P. & NANNI, A.S. O uso da terra e sua influência sobre o volume das águas na Bacia do Rio Biguaçu/SC. **Geosul**, Florianópolis, v. 32, n. 63, p. 97-117, 2017.
- HOLLER, W. Processo de validação da classificação automática de imagens de satélite para o Brasil no âmbito do FRA 2010. SIMPÓSIO NACIONAL DE INVENTÁRIO FLORESTAL, 2., 2013. Curitiba. **Anais...** Curitiba: IFN, 2013, p. 140.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. 2014. Disp.: <http://www.inpe.br/queimadas>. Acesso em: 28 de março de 2022.
- INSTITUTO FLORESTAL. **Inventário Florestal do Estado de São Paulo 2020**: mapeamento da cobertura vegetal nativa. Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, 2020. 40 p. Disp.: www.iflorestal.sp.gov.br. Acesso em: 10 de maio de 2020
- JOLY, C.A.; METZGER, J.P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: Ecological findings and conservation initiative. **New Phytologist**, v. 204, n. 3, p. 459-473, 2014. <http://doi.org/10.1111/nph.12989>
- LANDIS, J.R. & KOCH, G.G. The measure if observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.
- LIU, M.; TIAN, H.; CHEN, G.; REN, W.; ZHANG, C.; AND LIU, J. Effects of land use and land-cover change on evapotranspiration and water yield in China during 1900-2000. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 44, n. 5. October 2008
- LORENA, R.B. **Evolução do uso da terra em porção da Amazônia ocidental (Acre), com uso de técnicas de detecção de mudanças**. São José dos Campos, 2001. 116 p. (INPE-9650-TDI/846). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomass** – Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas_collection >. Acesso em 01 junho 2019.
- MESQUITA, F.; SILVESTRE K.F.; STEINKE, V.A. Urbanização e degradação ambiental: Análise da ocupação irregular em áreas de proteção permanente na região administrativa de Vicente Pires, DF, utilizando imagens aéreas do ano de 2016. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Brasília, v. 10, n. 03, p. 722-734, 2016.
- MOLIN, P.G.; MIRANDA, F.T.S.; SAMPAIO, J.V.; FRANZOZI, A.A. E FERAZ, S.F.B. Mapeamento de uso e cobertura do solo da bacia do rio Piracicaba, SP: Anos 1990, 2000 e 2010. **Circular Técnica IPEF**, n. 207, p. 01-11, fevereiro de 2015.
- MORAES, J.M.; GENOVEZ, A.M.; MORTATTI, J.; BALLESTER, M.V.; KRUSCH, A.V.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L. Análise de intervenção das séries temporais de vazão dos principais rios da bacia do rio Piracicaba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 65-79, jul/dez 1997.
- NEGRI, B. Urbanização e Demanda de Recursos Hídricos na bacia do rio Piracicaba, no Estado de São Paulo. In: SEMANA DE DEBATES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS E MEIO AMBIENTE, 1992, Piracicaba. **Anais...**Piracicaba: DAEE/Fundap. 1992, p.65-77.
- PASCHOALOTTI, E.L. & NETO, W.M. Sistema Cantareira – O desafio para atender regiões hidrográficas diferentes com uma disponibilidade hídrica limitada. **Águas do Brasil**. Birigui, v. 3, n. 6, p. 7-11, 2013.
- PROJETO PIRACENA - 1994-1998. Conjunto de estudos da bacia do rio Piracicaba, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Proc. no 94/0529-9), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (PADCTII/CIAMB 01/91-01).
- REZENDE, C.L.; SCARANO, F.R.; ASSAD, E.D.; JOLY, C.A.; METZGER, J.P.; STRASSBURG, B.B.N.; TABARELLI, M.; FONSECA, G.A.; MITTERMEIER, R.A. From hotspot do hopspot: An opportunity for the Brazilian Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, p. 208-214, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2018.10.002>
- RIBEIRO, M.C.; MARTENSEN, A.C.; METZGER, J.P.; TABARELLI, M., SCARANO, F., FORTIN, M.J. The Brazilian Atlantic Forest: a shrinking biodiversity hotspot. In: Zachos FE, Habel. **Biodiversity hotspots**. SpringerBerlin, Heidelberg; 2011. Doi: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-20992-5_21
- RUDORFF, B.F.T.; AGUIAR, D.A.; DA SILVA, W.F.; SUGAWARA, L.M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M.A. Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data. **Remote Sensing**, v. 2, p. 1057-1076, 2010.
- SCHAFFER, A.G. Efeitos das mudanças do uso e cobertura da terra nos padrões de paisagem da bacia hidrográfica do Arroio Cambucu, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia – UFG/REJ**. Jataí-GO. n. 35. Set-Dez/2019
- SILVA, R.F.B.; BATISTELLA, M.; MORAN, E.F. Socioeconomic changes and environmental policies as dimensions of regional land transitions in the Atlantic Forest, Brazil, **Environmental Science & Policy**, v. 74, p. 14-22, 2017.

- SORIANO, E.; LONDE, L.R.; DI GREGORIO, L.T.; COUTINHO, M.P.; SANTOS, L.B.L. Crise Hídrica em São Paulo sob o ponto de vista dos desastres. **Ambiente & Sociedade** n São Paulo v. XIX, n. 1 n. 21-42, jan.-mar. 2016
- TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (Orgs) Desastres naturais: conhecer para prevenir. **Instituto Geológico**, São Paulo, 2015. 196 p., 2023. Disp.: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/233/2017/05/Conhecer_para_Prevenir_3ed_2016.pdf>. Acesso em: 24 jul.
- TUCCI, C.E.M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.
- TUCCI, C.E.M. & CLARKE, R.T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, Jan/Jun, p. 135-152, 1997. DOI: 10.21168/rbrh.v2n1.p135-152.
- VANZELA, L.S.; HERNANDEZ, F.B.T.; FRANCO, R.A.M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 55-64, jan. 2010.
- WHATELY, M. & CUNHA, P. (Orgs). Cantareira 2006: um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo: **Instituto Socioambiental**, 2007.

*Submetido em 11 de outubro de 2023
Aceito para publicação em 29 de maio de 2024*