Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

# MUDANÇA NO USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA DO RIO TIETÊ E SEUS IMPACTOS NA TEMPERATURA DA SUPERÍFICIE

RUV, Murilo da Costa Lemes – murilo.ruv@terra.com.br
Universidade Federal de Itajubá / UNIFEI

REBOITA, Michelle Simões – mireboita@gmail.com
Universidade Federal de Itajubá / UNIFEI

RODRIGUES, Roger Torres – torres.fisico@gmail.com
Universidade Federal de Itajubá / UNIFEI

*Submetido em: 29/08/2019*
*Aceito para publicação em: 27/07/2020*
*Publicado em: 30/07/2020*
*DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.68836*

**RESUMO**: A bacia do rio Tietê tem sido uma importante região para as atividades agrícolas na última década. Áreas que antes eram cobertas por vegetação densa tornaram-se solo exposto para o cultivo. Diante desse contexto, o objetivo do trabalho é caracterizar a mudança no uso e cobertura da terra no Estado de São Paulo com ênfase na região da bacia do rio Tietê, entre 2000 a 2017, e as alterações na temperatura da superfície (TS). Os dados fisiográficos utilizados no estudo foram obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), já cobertura da terra e TS derivam do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Entre os principais resultados têm-se a expansão da área agrícola, principalmente às margens do rio Tietê. Em termos de sub-bacia, a expansão agrícola é maior no Baixo Tietê, o que resulta em um aumento na TS.

**PALAVRAS-CHAVE**: cobertura da terra, clima, temperatura da superfície.

*CHANGE IN LAND USE AND COVER IN THE TIETÊ RIVER BASIN AND ITS IMPACTS ON THE SURFACE TEMPERATURE*

**ABSTRACT:** The Tietê river basin has been an important region for crop activities in the last decade. Areas that were covered by dense vegetation became exposed soil for cultivation. In this context, the objective of this study is to characterize the change in land use in São Paulo State, with emphasis in the Tietê river basin region, from 2000 to 2017, and changes in skin temperature (ST). The physiographic data used in the study were obtained from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), while use and soil cover and ST from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor. Among the main results are the expansion of the agricultural area, mainly on the shore of the Tietê river. In terms of sub-basin, the agricultural expansion is larger in the Baixo Tietê resulting in an increase of ST.

**KEYWORDS**: land cover, climate, skin temperature

*ALTERACIÓN DEL USO DE LA TIERRA Y LA COBERTURA EN LA CUENCA DEL RÍO TIETÊ Y SUS IMPACTOS EN LA TEMPERATURA SUPERFICIAL*

**RESUMEN:** La cuenca del río Tietê ha sido una región importante para las actividades agrícolas en la última década. Las áreas que anteriormente estaban cubiertas por vegetación densa se convirtieron en suelo expuesto para el cultivo. Dado este contexto, el objetivo de este trabajo es caracterizar el cambio en el uso de la tierra y la cobertura de la tierra en el Estado de São Paulo con énfasis en la región de la cuenca del río Tietê, de 2000 a 2017, y los cambios en la temperatura de la superficie (TS). Los datos fisiográficos utilizados en el estudio se obtuvieron del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), ya utilizando y cubriendo el suelo y TS derivados del sensor de

espectroradiómetro de imagen de resolución moderada (MODIS). Entre los principales resultados están la expansión del área agrícola, principalmente a orillas del río Tietê. En términos de subcuenca, la expansión agrícola es mayor en Baixo Tietê, lo que resulta en un aumento de TS.

**PALABRAS CLAVE**: uso del suelo y cobertura; clima temperatura de superficie

## 1. INTRODUÇÃO

O Estado de São Paulo caracteriza-se por possuir a maior densidade populacional do Brasil (IBGE, 2019). Além disso, nele está localizada uma das mais importantes bacias hidrográficas do país, a do Rio Tietê. O rio Tietê possui extensão de 1.136 km e banha 62 municípios ao longo do seu percurso. A nascente do rio Tietê localiza-se no município de Salesópolis, na Serra do Mar, já a foz, em Itapura, deságua no rio Paraná. A bacia do Tietê é subdividida em 6 sub bacias (Alto Tietê, Sorocaba Médio Tietê, Piracicaba Jundiaí, Tietê Jacaré, Tietê Batalha e Baixo Tietê), de acordo com suas características fisiográficas.

Na última década, o aumento da densidade populacional colaborou para que as atividades humanas fossem responsáveis por diversas modificações na paisagem e no clima na bacia do rio Tietê, principalmente na temperatura da superfície (TS), que é a temperatura na interface na interface solo-ar, também chamada no inglês de *land* ou *skin temperature*. Na bacia do rio Tietê, a organização do uso e cobertura da terra foi modificada drasticamente desde o início do século (BARROS; LOMBARDO, 2016), com a substituição da vegetação por construção civil, atividades agrícolas, pastoreio, instalação de fábricas, entre outras. A substituição da vegetação por asfalto e concreto causa deficiência na infiltração da água da chuva no solo (COLTRI *et al*., 2007), o que contribui para pontos de alagamento (o que é muito comum, por exemplo, em São Paulo), erosão e deslizamento de terra (SANTOS; GREIBELER; OLIVEIRA, 2010). Outro impacto da substituição da cobertura da terra (vegetação) é na TS. Áreas menos vegetadas são em média 2$^{o}$C mais quentes comparada àquelas mais vegetadas, porém essa diferença pode chegar, em alguns casos, a cerca de 6$^{o}$C (AMORIM, 2005; BARROS; LOMBARDO, 2016). Barboza, Machado e Franchini (2013) mostram que o balanço de energia dos centros urbanos de médio porte já possuem diferenças em relação ao de cidades vizinhas menos urbanizadas. Essas diferenças são observadas na mudança das variáveis calor sensível e latente devido às alterações significativas nos valores do albedo (TANG et al., 2018; MENDONÇA, 2000). A qualidade de vida da população também é outro fator que pode ser impactado pelas mudanças no uso e cobertura da terra (BARCELLOS *et al*., 2009).

Mudanças na cobertura da terra por áreas urbanizadas também são responsáveis pelo fenômeno ilha de calor (PERES *et al*., 2018). Por exemplo, Peres et al. (2018) mostram que na cidade do Rio de Janeiro, num dia onde a temperatura no centro da cidade pode chegar a 50ºC, na área residencial a temperatura é de cerca de 35ºC e na área rural de 25ºC, o que implica em microclimas dentro das grandes cidades.

Diante do contexto apresentado, o objetivo do trabalho é caracterizar as mudanças no uso e cobertura da terra no Estado de São Paulo com ênfase na região da bacia do rio Tietê, entre 2000 a 2017, e os possíveis impactos na TS. Além disso, também se apresenta uma descrição do relevo e vegetação da região de estudo.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Estado de São Paulo (Figura 1) é o mais populoso e ativo economicamente do Brasil (IBGE, 2017). Cerca de 33% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional está atrelado à produção paulista (IBGE, 2017). Localizado entre as latitudes 20°S e 25°S, e entre os meridianos 55°W e 45°W, o Estado possui população de 41.262.199 habitantes (IBGE, 2010), estimando-se 45.094.866 até o final da década (IBGE, 2017).

Um dos principais rios do Estado de São Paulo é o Tietê, que nasce no município de Salesópolis (23º31'56"S e 45°50'17"E) e deságua no município de Itapura (20°38'46"S e 51°30'32"E). A bacia do Tietê está inserida na região hidrográfica da bacia do rio Paraná, de acordo com a divisão hidrográfica nacional, abrangendo uma área de 73.400 km$^2$ (PLANO DE BACIA DO RIO TIETÊ, 2018). O rio Tietê passa por 62 munícipios do Estado, incluindo a capital paulista. A região ao longo do rio é dividida em 6 sub bacias: Alto Tietê, Sorocaba Médio Tietê, Piracicaba Jundiaí, Tietê Jacaré, Tietê Batalha e, por fim, Baixo Tietê (Figura 1).

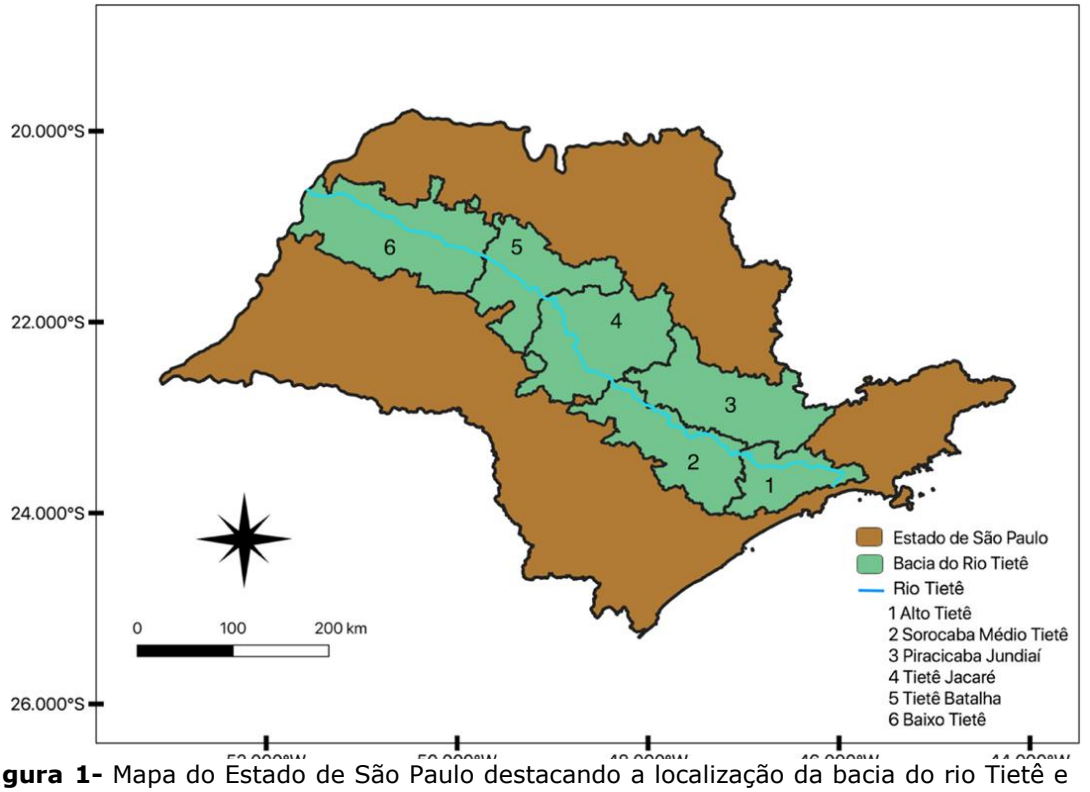



**Figura 1-** Mapa do Estado de São Paulo destacando a localização da bacia do rio Tietê e suas sub-bacias (números de 1 a 6).

Cada sub-bacia apresenta características diferenciadas de relevo, vegetação e clima. Na sub-bacia Alto Tietê (indicada pelo número 1 na Figura 1) está localizada a nascente do rio Tietê. Essa região apresenta maior altitude (Serra do Mar), vegetação do tipo Mata Atlântica, e é a região mais populosa de toda a bacia (englobando a Região Metropolitana de São Paulo). Além disso, o Alto Tietê possui os mais importantes reservatórios que abastecem a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), entre eles, Billings, Cantareira e Pinheiros.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

A região de número 2 (Figura 1) é a sub-bacia Sorocaba Médio Tietê, que se estende da cidade de Bom Jesus de Pirapora a Laras, com 260 km de extensão e pouco mais de 280 m de desnível; essa região é a segunda mais populosa ao longo do rio Tietê (IBGE, 2017) em função do avanço da urbanização na última década (COMITRE, 2017). A sub-bacia Piracicaba Jundiaí (Figura 1, número 3) é uma das mais importantes da bacia, pois nela está o maior afluente em volume do rio Tietê, o rio Piracicaba. Esse afluente é responsável por abastecer a Região Metropolitana de Campinas e parte da Grande São Paulo. As sub-bacias Tietê Jacaré e Tietê Batalha (números 4 e 5 na Figura 1) são as menos populosas, mas com maior concentração de atividades agrícolas (CRESPO *et al*, 2017). Assim como a sub-bacia do Baixo Tietê (número 6 na Figura 1), o maior trecho do rio é navegável; essas duas sub-bacias também possuem como principal atividade a agropecuária, com os famosos latifúndios ao entorno do rio, aproveitando a água para as plantações, fonte de hidratação para o gado e para a pesca (MARUYAMA *et al*., 2010).

## 2.2 DADOS

Esse estudo utiliza dados de diferentes fontes. Portanto, essa seção apresenta a descrição das características de cada conjunto de dados e informa o local em que eles estão disponíveis para *download*.

### 2.2.1 TOPOGRAFIA

O modelo digital de elevação (MDE) foi obtido da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE; https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html). O MDE possui resolução horizontal de 50m e é utilizado nesse estudo para mostrar em detalhes as características da topografia na bacia do rio Tietê.

### 2.2.2 USO E COBERTURA DA TERRA E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE

Os dados de uso e cobertura da terra e TS foram extraídos do sensor MODIS no período de 2000 a 2016 e de 2000 a 2018, respectivamente.

Para o estudo das alterações no uso e cobertura da terra, isto é, mudança da vegetação natural por urbanização e atividades agrícolas, bem como da TS, foram utilizados produtos de satélite em função da boa resolução horizontal dos dados. O produto MCD12Q1 (*Land Cover Type*) foi utilizado no estudo da cobertura da terra e o MOD11A1 (*Surface Temperature*) para a TS, ambos são provenientes do sensor MODIS, acoplados ao satélite Terra, pertencentes à *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). A TS é medida na camada rente ao solo. Isso se difere da temperatura do ar que, geralmente, é medida a 2 m (SERRA et al., 2018).

O sensor MODIS encontra-se acoplado em dois satélites da NASA, Terra e Aqua. No presente estudo só são utilizados dados do satélite Terra. Os horários de passagem desse satélite no Brasil são: 9, 11, 22 e 23 h (horário de Brasília) (dgi.inpe.br/documentacao/dgi/documentacao/satelites/terra/capa-terra/). O sensor MODIS tem por objetivo a obtenção de informações, tais como: TS, uso e cobertura da terra, características das nuvens, concentração de aerossóis,

entre outros. A versão 6 dos dados do MODIS, que é usada no presente estudo, não inclui nuvens (lpdaac.usgs.gov/documents/101/ MCD12_User_Guide_V6.pdf).

O produto MCD12Q1 possui resolução horizontal de 500 m com grânulos intervalados por: ano, mês ou dia, o que permite que a média possa ser calculada com diferentes *softwares*. Os dados são globais, possuem sistema de coordenadas geográficas sinusoidal (representação clássica do globo terrestre) e estão disponíveis em vários formatos: netcdf, tiff ou hdf. O produto classifica em 13 categorias o uso e cobertura da terra. Caso o usuário queira somente dados naturais, ou modificações feitas pelo homem ao longo do tempo, é possível ter essas informações separadas dentro do grânulo. Esse produto está disponível a partir de 21 de fevereiro de 2000.

O produto MOD11A1 (*Surface Temperature),* com resolução horizontal de 1000 m, possui as mesmas características e informações espaciais do MCD12Q1 (*User Land Cover*), mas está disponível desde 1990 até o presente. Os dados estão disponíveis para *download* no site da NASA (https://lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appeears/task/area).

## 2.3 ANÁLISES

Inicialmente é apresentada uma descrição geral do relevo e da vegetação no Estado de São Paulo com ênfase na bacia do rio Tietê. Para gerar as figuras utilizou-se o *software Quantum Gis* (QGIS) devido a sua disponibilidade gratuita, aplicabilidade e robustez.

Com o objetivo de enfatizar as mudanças no uso e cobertura da terra e na TS, serão mostrados mapas comparando essas variáveis com intervalos temporais entre 2000 e 2018. Os dados de uso e cobertura da terra foram trabalhados no QGIS. Nele, são geradas as imagens de uso e cobertura da terra de 2000, 2005, 2010 e 2017. Para isso, são destacadas as classificações das coberturas existentes no Estado, o que é feito através da análise comparativa entre os dados do MODIS e do IBGE (https://www.ibge.gov.br/estatisticas/downloads-estatisticas.html). Uma vez que os dados de uso e cobertura da terra do MODIS passam por tratamento para retirada do efeito da presença de nuvens antes de serem disponibilizados, não foi necessário um tratamento mais robusto nos dados. No QGIS também foi salva uma versão dos dados no formato netcdf para geração de mapas *no software* o *Grid Analysis and Display System* (GrADS) (http://cola.gmu.edu/grads/).

Os cálculos estatísticos com os dados de TS do MODIS (DUAN et al., (2019)) foram realizados no *software Command Data Operator* (CDO), também de acesso livre (code.mpimet.mpg.de/projects/cdo). No CDO foram calculadas as climatologias sazonais e anual e anomalias (ano de referência menos a média climatológica, nesse caso a média era referente ao quadriênio inicial 2000-2004). Após os cálculos, os dados foram apresentados graficamente através do GrADS. Em síntese: as Figuras 1, 2 e 3 foram geradas no QGIS, as Figuras 4, 5 e 7 no GrADS.

Para quantificar as mudanças no uso e cobertura da terra, isto é, o quanto a cobertura natural foi substituída para área agrícola e construção civil,

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

ou outra atividade antrópica, foram identificadas e computadas as áreas ($km^2$) entre os anos de 2000 e 2017. Também se computou a média da TS. Essa análise foi realizada por sub-bacia. Por fim, as médias computadas foram apresentadas em gráficos.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

#### 3.1.1 RELEVO E USO E COBERTURA DA TERRA

A Figura 2 mostra o relevo do Estado de São Paulo, além de destacar a localização da bacia do rio Tietê. De maneira geral, o relevo é composto por quatro diferentes unidades: planícies litorâneas a leste (número 5 na Figura 2), planaltos no leste e centro do Estado (número 4 na Figura 2), serras e depressões que se encontram distribuídas espacialmente pelo Estado (números 1,2 e 3 na Figura 2) (ROSS, MOROZ; 2011).

Na porção leste do Estado localiza-se a planície litorânea circundada a oeste pela Serra do Mar (terras mais altas do Estado junto da Serra da Mantiqueira, com trechos que chegam a mais de 2.000 m de altitude). Por sua vez, a Serra da Mantiqueira, localizada na porção leste do Estado, é o maior conjunto de aglomerados rochosos recentes, com altitudes que superam os 2.000 m (AB`SABER, 1956). Importantes munícipios do Estado de São Paulo localizam-se na Serra da Mantiqueira e possuem economia voltada para o turismo, entre eles estão: Campos do Jordão, Santo Antônio do Pinhal, São Bento do Sapucaí, Águas de Lindoia, Serra Negra, entre outros.

Os planaltos (superfícies elevadas e planas em sua maioria) localizam-se no leste do Estado e na parte média da bacia (Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiaí). Nessas regiões mais altas, o domínio geomorfológico mares de morros (AB`SABER, 1956) se sobressai com o relevo acidentado, embora são encontradas algumas regiões de vale, como o Vale do Paraíba. Esse domínio é conhecido por caracterizar trechos sinuosos de rios, em razão do relevo irregular e inúmeros meandros (SEABRA, 2018). As depressões (relevo com irregularidade e altitudes baixas) abrangem a porção central do Estado, sendo cercadas a oeste pelas Cuestas Basálticas (Tietê Jacaré) (serras com máximo 1.100 m de altitude) e a leste pelo planalto Atlântico. A oeste do Estado estão localizados o vale do Médio Tietê, Paranapanema e Mogi-Guaçu.

Por fim, a porção oeste do Estado, juntamente com as sub-bacias Tietê Batalha e Baixo Tietê, completam o Planalto Meridional, terras inferiores a 100 m de altitude, extensas planícies agricultáveis. Seu relevo é classificado como suave (MEDEIROS; MIGUEL; BRUGNOLLI, 2014), sendo uma vantagem para a agricultura, já que não há inclinação significativa. A foz do rio Tietê encontra-se no município de Itapura, na região do Baixo Tietê, que é o ponto de menor altitude da bacia e, por isso, há muitos pontos navegáveis (REZENDE; KAISER; PEIXOTO, 2018).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

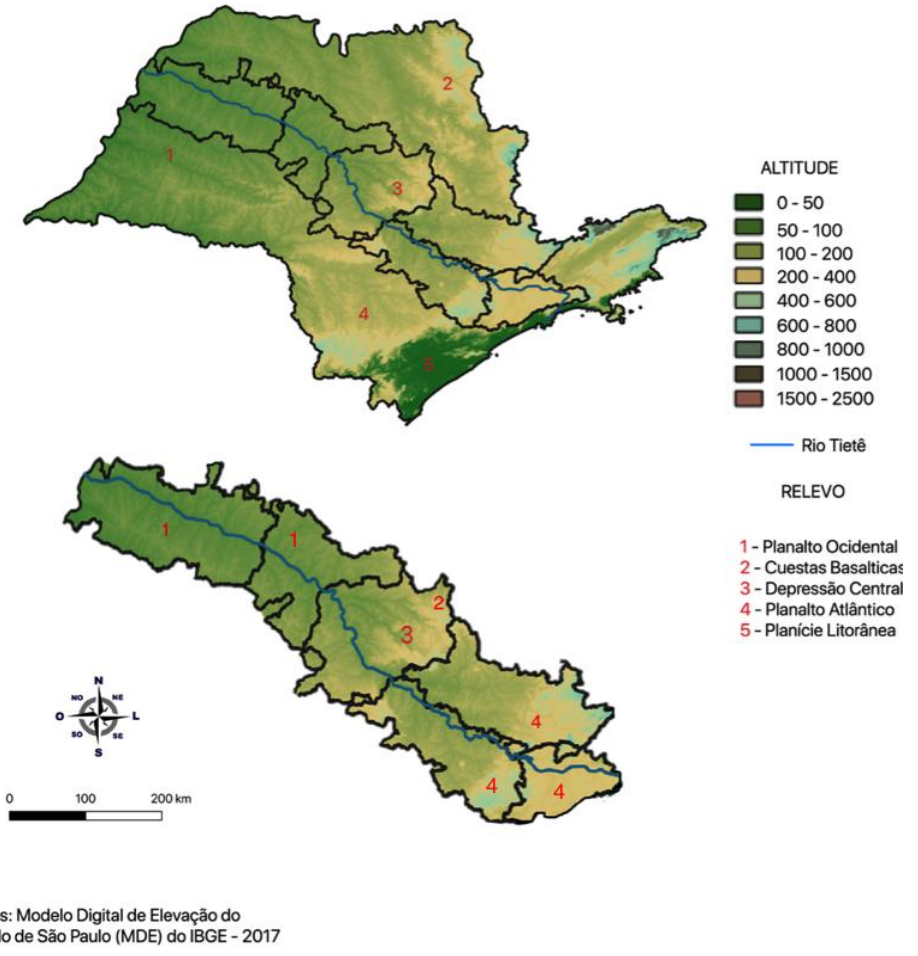



**Figura 2 -** Relevo do Estado de São Paulo e zoom na bacia do Rio Tietê. Os números de 1 a 5 indicam os tipos de relevo com base na classificação de 2000 do IBGE. Mapa gerado com dados de 2016 do modelo digital de elevação do IBGE.

A vegetação no Estado de São Paulo é heterogênea. A cobertura vegetal nativa é encontrada no setor sudeste do Estado (incluindo a sub-bacia Alto Tietê). Com resquícios de Mata Atlântica (Figura 3) ou floresta Atlântica (verde escuro na Figura 3), essa área possui alta densidade de mata, contribuindo com o balanço de umidade local, tanto pela evapotranspiração da floresta, quanto por reter parte da umidade que é transportada do oceano (BORELLI, 2006). O Estado também possui a Mata dos Pinheiros (MEIRELES *et al*., 2008), pouco menos densa que a Atlântica, e que se limita às regiões da Serra da Mantiqueira e da Serra da Cantareira, ou seja, Alto Tietê, e porções oeste de Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiaí).

Na porção central e norte do Estado, nas sub-bacias Tietê Jacaré e Tietê Batalha, a atividade agrícola (em rosa na Figura 3) ocupou o espaço que antes pertencia ao cerrado paulista (KLEIN, 2000). O cerrado paulista, caracterizado pela presença de árvores de pequeno porte e vegetação rasteira (SIQUEIRA *et al*., 2007), acompanha as regiões dos vales das Serras dos Agudos e Mirantes ao Sul, além da Serras do Tabuleiro e Jaboticabal e Batatas ao norte (cor bege e violeta na Figura 3). Ainda é possível observar, na Figura 3, a presença da Mata Caducifólia, ou Floresta Decídua (sul, próxima a divisa com o Paraná),

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

caracterizada por ser uma mata densa, encontrada em transições de biomas que, por sua vez, perdem suas folhas em uma determinada estação do ano e estão habituadas com baixas temperaturas.

As áreas industrializadas e urbanizadas localizam-se entre as sub-bacias Alto Tietê, Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiaí. Na Figura 3 é perceptível a mancha urbana (em marrom) a leste do Estado, próximo à foz do rio Tietê, que é a RMSP. A oeste encontram-se as regiões de Campinas, Sorocaba, Jundiaí, Piracicaba e outras localidades industrializadas e superpovoadas ao entrono da bacia do Tietê.

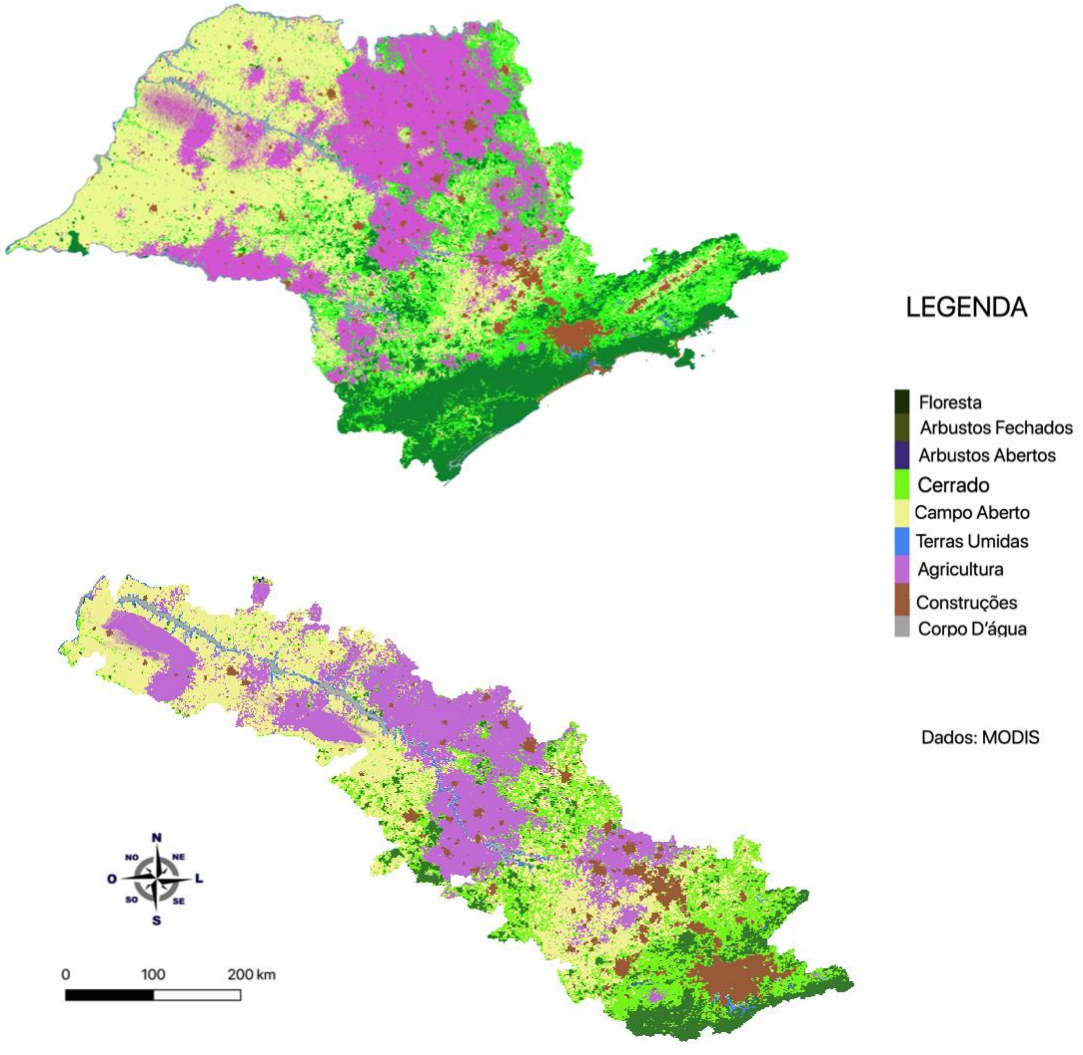



**Figura 3 -** Uso e cobertura da terra no Estado de São Paulo e bacia do Rio Tietê no ano de 2017. Mapa gerado com dados do MODIS do ano de 2017.

### 3.1.2 TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE

A Figura 4 representa a média anual da TS no período de 2000 a 2018, tanto para o Estado de São Paulo, quanto para a bacia do Rio Tietê, que está

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

destacada na mesma figura. Há um gradiente horizontal de TS no sentido leste-oeste, ou seja, à medida que se afasta do oceano Atlântico, as TS aumentam.

A porção litorânea possui TS média anual de cerca de 23ºC, porém, essa média decresce na região mais próxima da Serra do Mar devido à maior altitude (entre 800 a 1.000 m na Figura 2) e vegetação mais densa. Juntamente com a Serra da Mantiqueira (entre 1.000 a 2.000 m de altitude), essas terras possuem as menores médias de todo o Estado, registrando valores de 16ºC a 20ºC na média anual. Toda a porção leste do Estado possui TS média entre 16°C a 23ºC, porém, é nítido na Figura 4, na porção do Alto Tietê, uma região com TS mais elevada (área em tons mais amarelados), o que caracteriza a RMSP. Toda a faixa construída e modificada pelo homem é facilmente identificada pela mudança na média da TS. Assim como a RMSP (26ºC), o Vale do Paraíba também possui médias mais elevadas (23ºC) quando comparado às regiões vizinhas (22ºC).

A parte do Médio Tietê (regiões Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiaí) possui dois padrões de TS. A leste são registradas menores médias (19ºC a 20ºC) em função da altitude da Serra da Cantareira e da Serra do Mar. Já na porção oeste da região, a média anual da TS é de 23ºC a 26ºC. Nessa região, há a presença de terras destinadas à agricultura, além de centros urbanos, como as cidades de Sorocaba, Campinas, Jundiaí e Piracicaba. Na região central da bacia, divisa Sorocaba Médio Tietê com Tietê Jacaré, têm-se dois trechos com menores médias anuais de TS (em torno de 23ºC e 22ºC), o que ocorre por influência da altitude das serras de Botucatu (ao sul) e do Tabuleiro (ao norte).

Por fim, as regiões a oeste do Estado de São Paulo, bem como as sub-bacias Tietê Batalha e Baixo Tietê, apresentam as maiores médias anuais de TS entre 25ºC a 27ºC. Porém, alguns pontos isolados registram 28ºC. Essa região, diferente de todas as demais porções do Estado, é caracterizada por um relevo pouco acidentado e com pouca cobertura vegetal.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

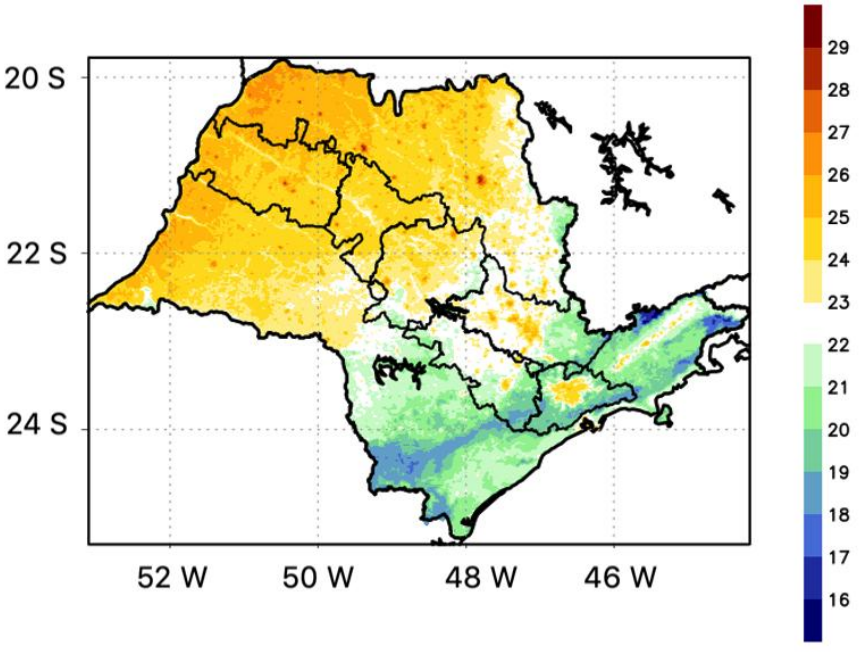



**Figura 4 -** Média anual da temperatura da superfície (°C) obtida do sensor MODIS no período de 2000 a 2018.

A TS no Estado de São Paulo, bem como a bacia do Rio Tietê, possui variabilidade sazonal. A Figura 5 apresenta, respectivamente, a média da TS (período de 2000 a 2018) para as estações do ano: verão (Figura 5a), inverno (Figura 5b), outono (Figura 5c) e primavera (Figura 5d).

Em todo o Estado, o verão possui a maior média de TS, que é acima de 23ºC (Figura 5a). As exceções são a Serra da Mantiqueira e a Serra do Mar (região do munícipio de Cunha), com média de 19ºC, e a região sul do Estado, com média de 20ºC, que é uma das porções com maior representatividade de Mata Atlântica. As sub-bacias do Rio Tietê que registram maior TS são o Baixo Tietê, Tietê Batalha e Tietê Jacaré. A partir das sub-bacias Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiaí, as maiores diferenças estão nos grandes centros urbanos (Sorocaba, região de Campinas, mas principalmente, RMSP). A alta demografia na região levou a um aumento significativo da construção civil. Por esse motivo, o fenômeno ilha de calor (PERES et al., 2018) já ocorre nessas regiões.

A Figura 5b indica as médias da TS para o inverno. As menores TS's são registradas na Serra da Mantiqueira (munícipios de Campos do Jordão, São Bento do Sapucaí e Santo Antônio do Pinhal) e Serra do Mar (novamente no trecho de Cunha), ambas registrando média 14ºC no trimestre. Nos primeiros trechos da sub-bacia do rio Tietê a sua jusante (Alto Tietê, Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiaí), há setores com maior TS em função da concentração dos centros urbanos. Na sub-bacia Alto Tietê é nítido a influência da RMSP na média da TS, bem como a leste, a região do Vale do Paraíba, sendo até 4ºC mais quente do que as regiões vizinhas, com menor concentração urbana. Isso também pode ser identificado na região de Campinas (localizada na sub-bacia Piracicaba Jundiaí).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

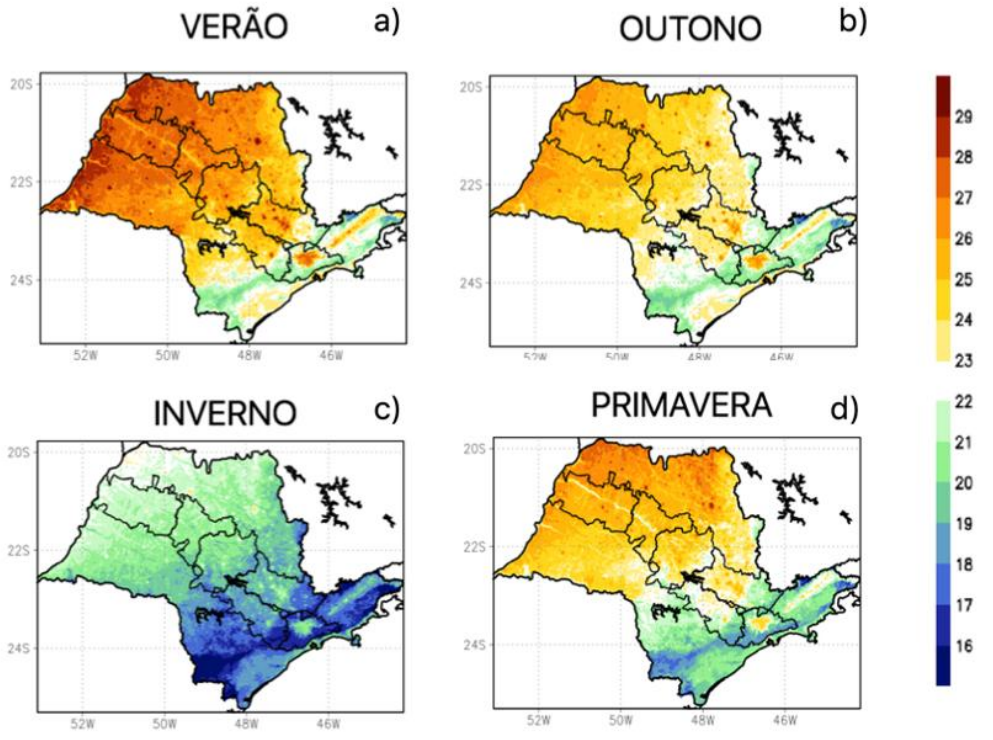



**Figura 5 -** Média sazonal da temperatura da superfície (°C) para as estações do ano (2000-2018).

Para exemplificar como cada tipo de cobertura da terra impacta na TS (agricultura, pequena, média e grandes cidades e florestas), foi elaborada a Figura 6. Essa figura representa um perfil zonal que se estende do setor da sub-bacia Baixo Tietê (esquerda da Figura 6) para o Alto Tietê (direita). Seria esperado um aumento linear na TS da direita para a esquerda na Figura 6 em função da influência do efeito da continentalidade/maritimidade. Entretanto, assim como Peres et al., (2018) para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, a linearidade foi interrompida com um pico de aumento da TS devido ao efeito da urbanização da RMSP, indicando dessa forma, grande contribuição do fenômeno ilha de calor no clima local em função da área urbanizada. No setor a esquerda da figura, as maiores TS também estão associadas com o uso e cobertura da terra (solo exposto, agricultável, vegetação rasteira), muito embora essa característica da cobertura da terra intensificou na última década.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

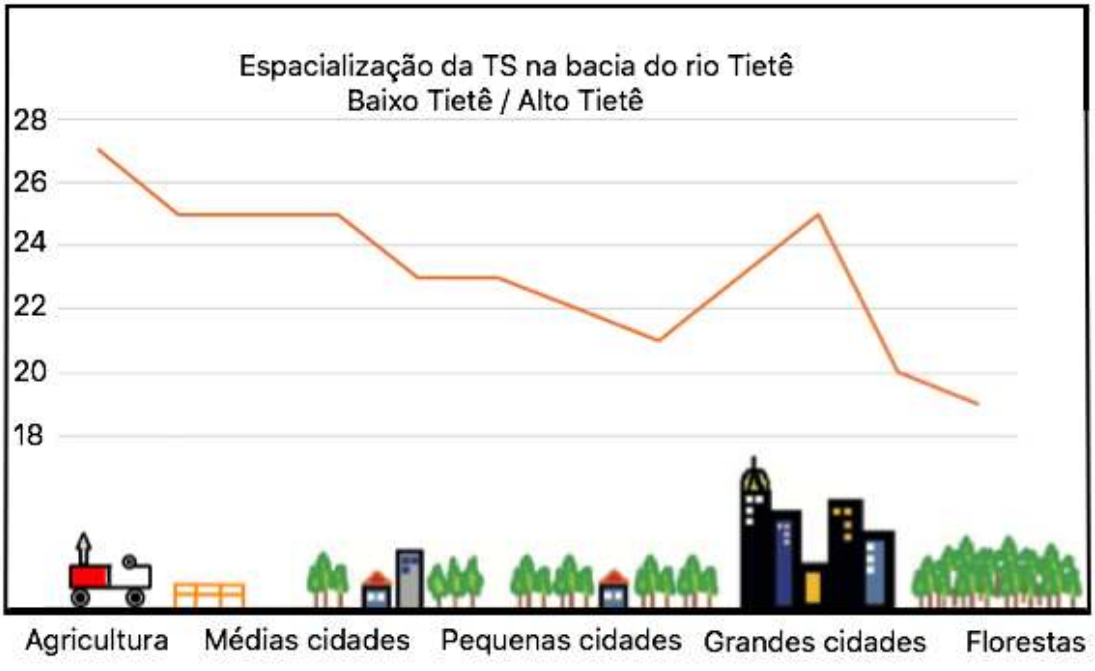



**Figura 6 -** Espacialização horizontal da temperatura da superfície (º C) na bacia do Rio Tietê de acordo com as características das áreas analisadas. As ilustrações foram obtidas de Senna et al. (2018) e indicam a mudança na cobertura e uso da terra entre o Baixo Tietê (esquerda) e o Alto Tietê (direita).

## 3.2 MUDANÇA NO USO E COBERTURA DA TERRA E RELAÇÃO COM A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE

Assim como em NourEldeen et al. (2020), a TS mostra-se muito sensível às mudanças que ocorreram no uso e cobertura da terra e, também, ao período de estudo. A Figura 7 mostra na coluna da esquerda o uso e cobertura da terra nos anos de 2000, 2005, 2010 e 2017, na coluna central as médias da TS, considerando intervalos de 5 anos (2000/04, 2005/09, 2010/14 e 2015/18) e, por fim, na coluna da direta as anomalias de cada período em relação à média do período mais antigo (2000-2004) da série temporal de TS. Já a Tabela 1 apresenta todas as alterações físicas identificadas no uso e cobertura da terra (2000–2017) e TS tendo por base a diferença do primeiro período analisado (2000–2004) para o último período (2015–2018).

Numa análise global da Figura 7, há mudanças no uso e cobertura da terra na porção leste e oeste do Estado, onde há, respectivamente, expansão das áreas urbanizadas e aumento das áreas de agricultura. Uma diminuição na área vegetada também é observada na porção central de São Paulo. Essas modificações no uso e cobertura da terra, principalmente o avanço das áreas de agricultura e urbanização, causam impactos na TS (coluna da direita na Figura 7).

As sub-bacias, Alto Tietê, Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiaí mostraram um maior crescimento urbano (área em marrom) destacando-se pelas regiões: RMSP, Campinas e Sorocaba (além de outras cidades vizinhas).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Além da expansão urbana, as plantações de eucalipto (ARGUELLO et al., 2010) contribuíram para a ocupação local, o que antes era solo exposto ou vegetação rasteira teve sua ocupação e uso alterados. A TS nessas bacias mudou de 23ºC para 24,5ºC (Alto Tietê) e de 23ºC para 24ºC (Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiaí) entre o primeiro e o último período analisado (Figura 7).

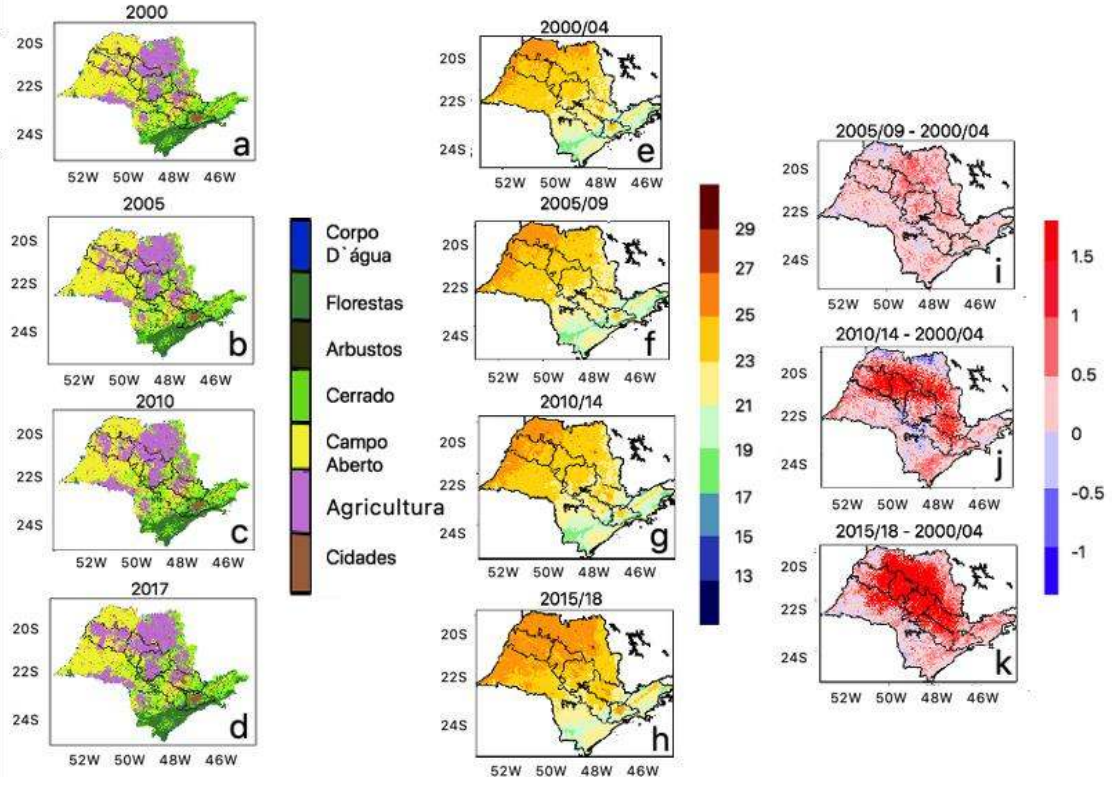



**Figura 7 -** Coluna da esquerda: uso e cobertura da terra em diferentes períodos da série (2000/2017); coluna central: média anual da temperatura da superfície (ºC) para 5 intervalos da série histórica analisada e) 2000/04, f) 2005/09, g) 2010/14, h) 2015/17 e 2018; coluna da direita: anomalia dos períodos em relação ao último ano da séria completa (2018).

Segundo dados do IBGE (2017), a maior parte da produção agrícola ao longo da bacia (principalmente nas sub-bacias Baixo Tietê, Tietê Batalha e Tietê Jacaré) é de cana-de-açúcar e laranja. Um fator para isso é o tipo de solo, composto por argissolo, com características arenosas e argilosas (TUNDISI *et al*., 2008). Este é favorável ao cultivo, como da cana-de-açúcar, laranja, florestas de eucaliptos e pastagens. Essas porções da bacia marcam o avanço na produção de laranja no Estado de São Paulo. A produção de laranja e cana-de-açúcar no ano de 2017 foi de 447,5 milhões de toneladas. Portanto, essas áreas são propícias aos investimentos agrícolas. Segundo a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAAESP), a colheita aumentou 22,1% do ano de 2010 para o ano de 2011, alcançando 320 milhões de caixas de 40,8 kg, sendo que mais da metade disso foi destinada para a indústria de suco. Isso levou há uma mudança no uso e cobertura da terra de 16.587,9 km$^2$ nas sub-bacias Baixo Tietê, Tietê Batalha e Tietê Jacaré.

As principais mudanças na cobertura da terra ocorreram na sub-bacia Baixo Tietê, que registrou 25% de transformações em seu território,

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

diretamente para agricultura (Tabela 1). Com isso, a TS também apresentou alteração, aumentando para 26,3ºC em comparação ao período inicial de estudo em que era de 25ºC. O rio Tietê foi o principal responsável pela instalação de grandes indústrias na região (NEGRI, 2006), em razão da alta disponibilidade de água. Essas características, somadas ao aumento da população, implicaram em novos desafios para o abastecimento, tanto da população quanto da indústria (agricultura).

Em geral, as anomalias da TS mostram um aumento do primeiro para o último período analisado, sendo que no período de 2015 a 2018, no centro do Estado, a diferença da TS ultrapassou 1,5ºC na média anual. A sub-bacia Alto Tietê registrou o maior aumento de toda a bacia (1,5ºC) seguida pelas sub-bacias Baixo Tietê, Tietê Batalha, Tietê Jacaré, Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiaí (+1,3ºC, +1,3ºC, +1,2ºC, +1ºC e +1ºC, respectivamente). Essas anomalias indicam uma tendência de aquecimento da TS maior do que o esperado, despertando o sinal de alerta para o futuro.

**Tabela 1 -** Dados sobre mudanças do uso e cobertura da terra atrelados a temperatura da superfície por sub-bacias.

| **Sub-bacia** | **Área Total** | **Redução da cobertura natural: 2017 em relação à 2000 (valores % entre parênteses)** | **Mudança na temperatura do ar: média de 2015 a 2018 menos a média de 2000 a 2014 (valores % entre parênteses)** | **Principal causa da redução da cobertura vegetal (expansão da agricultura ou da urbanização)** |
|---|---|---|---|---|
| Alto Tietê | 14.424 $km^2$ | 2.654,7 (18,4%) | +1,5ºC | Urbanização |
| Sorocaba Médio Tietê | 30.782 $km^2$ | 2.955,5 (9,6%) | +1ºC | Agricultura e urbanização |
| Piracicaba – Jundiaí | 30.896 $km^2$ | 3.046,3 (11,2%) | +1ºC | Agricultura e urbanização |
| Tietê Jacaré | 25.324 $km^2$ | 2.608,2 (10,3%) | +1,2ºC | Agricultura |
| Tietê Batalha | 27.225 $km^2$ | 5.063,8 (18,6%) | +1,3ºC | Agricultura |
| Baixo Tietê | 26.944 $km^2$ | 6.736 (25%) | +1,3ºC | Agricultura |
| Bacia total | 155 595 | 23.064,5 (14,82%) | +1,2ºC | Agricultura e Urbanização |

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

A Figura 8 mostra, por sub-bacia, a média anual da TS e a da área (km$^2$) coberta por floresta. É possível notar que em todas as sub-bacias a TS aumentou com o passar do tempo, enquanto a área coberta por floresta diminuiu em 5 das 6 sub-bacias analisadas. Apenas no Alto Tietê, onde foi encontrada a maior urbanização de toda a bacia, é que essa vegetação cresceu de 6.500 para 9.000 km$^2$ com o passar dos anos. A urbanização aumentou para oeste e não para leste, o que poupou a floresta (Mata Atlântica) nas últimas décadas, avançando para regiões que possuíam a característica de campo aberto ou pequenos arbustos.

O destaque está para o aumento da TS na região em decorrência dos fatores de uso e mudança da cobertura da terra. As regiões do médio Tietê (Sorocaba Médio Tietê e Piracicaba Jundiaí) mostram uma redução drástica na vegetação e um aumento praticamente constante na TS. A sub-bacia Tietê Jacaré apresentou a maior redução da vegetação (8.000 km$^2$) e em consequência disso, foi uma das sub-bacias que mais sofreram com o aumento da TS, juntamente com Baixo Tietê e Alto Tietê.

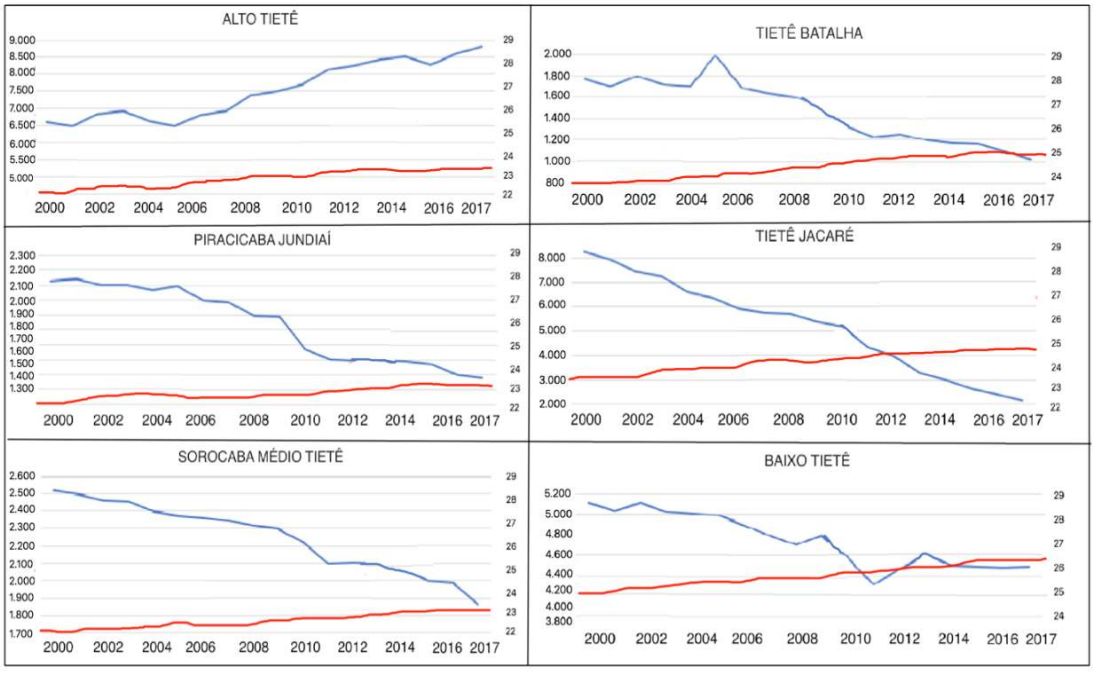



**Figura 8 -** Evolução da média anual da temperatura da superfície ($^o$C; vermelho) e da área coberta por floresta (km$^2$; azul) para as 6 sub bacias do rio Tietê.

## 4. CONCLUSÃO

A mudança no uso e cobertura da terra foi perceptível em toda a bacia do rio Tietê. Cerca de 23.064,5 km$^2$ foram alterados na bacia no período de 2000 a 2017, representando 14,8% de alterações no território, seja vegetação natural, campo aberto, área agricultável. O bioma mais alterado foi o cerrado paulista, já que a maior parte da área alterada, cerca de 14.408 km$^2$ (contemplando as sub-bacias Baixo Tietê, Tietê Batalha e Tietê Jacaré) de toda área alterada na bacia hidrográfica. A TS registrou diferenças em toda a região. As sub-bacias mais afetadas foram: Alto Tietê e Baixo Tietê, respectivamente a porção da nascente

e foz do rio. Alto Tietê mostrou o crescimento da zona urbana, tendo por sua vez, 18,4% da mudança na cobertura da terra, e destacando a maior variação na TS (1,5ºC). Já a sub-bacia do Baixo Tietê, alcançou o índice de 25% de modificações antrópicas em sua paisagem, resultando num limiar de aquecimento de +1ºC anual, para o período de 2000 a 2018. Embora na sub-bacia Baixo Tietê a área modificada foi superior ao Alto Tietê, a urbanização influencia mais no albedo do que na atividade agrícola, reduzindo assim, a capacidade de reflexão da radiação de onda longa, aprisionando maior quantidade de radiação de onda curta, impactando diretamente a TS, como foi visto nesse trabalho.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES código financeiro 001, FAPESP (SANSAO – 08/58101-9) e ao CNPq pelo auxílio financeiro e aos centros de meteorologia que disponibilizaram os dados usados nesse estudo.

## 6. REFERÊNCIAS

AB`SABER, A. N. A terra Paulista. *Boletim Paulista de Geografia, 23*, 1 - 33,1956.

AMORIM, M. C. ILHAS DE CALOR EM BIRIGUI/SP. *Revista Brasileira de Climatologia,*, 121 - 131,2005.

ARGUELLO, F., DIAS, N., BATISTA, G., PONZONI, F. Spatial distribution of Eucalyptus plantations in the São Paulo State portion of Paraíba do Sul river basin, Brazil. *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, 5*(3),2010.

BARCELLOS, C., MONTEIRO, A., CORV, CORVALAN, C., GURGEL, H., CARVALHO, M., . . . RAGONI, V. Climatic and Environmental Changes and their Effect on Infectious Diseases: Scenarios and Uncertainties for Brazil. *Epidemiol. Serv. Saúde, 18*(3), pp. 285 - 304, 2009.

BARROS, H. R., LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. *GEOUSP: espaço e tempo*, 160 - 177, 2016.

BORELLI, E. Cidade e natureza: análise da gestão ambiental da zona costeira do litoral norte paulista. São Paulo, SP, Brasil: PUC/SP, 2006.

CALADO, R. N., DERECZYNSKI, C. P., CHOU, S. C., SUEIRO, G., OLIVEIRA, J. D., SILVA, V. R. Avaliação do Desempenho das Simulações por Conjunto do Modelo Eta-5km para o Caso de Chuva Intensa na Bacia do Rio Paraíba do Sul em Janeiro de 2000. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 83 - 96, 2018.

COLTRI, P. P., VELASCO, G. D., POLIZEL, J. L., DEMETRIO, V. A., FERREIRA, N. J.. Ilhas de Calor da estação de inverno da área urbana do município de Piracicaba, SP. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (pp. 5151 - 5157). Florianópolis - SC: INPE, 2007.

COMITRE, F. A evolução do uso e ocupação do solo na periferia urbana de Sorocaba-SP: do esquecimento ao despertar dos interesses públicos e privados. *GEO UERJ, 31*(1), 1 - 30, 2017.

CRESPO, J. C., RODRIGUES, W. W., TOMAZELA, M., ALLEONI, B. C., NETO, R. L., POLGA, R., . . . CESAR, R. A. *Relatório de Situação Comitê da Bacia do rio Tietê.* São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2017.

DUAN, S. B., LI, Z. L., LI, H., GOTTSCHE, F. M., WU, H., ZHAO, W., LENG, P., ZHANG, X., COLL, C. Validation of Collection 6 MODIS land surface temperature product using in situ measurments. *Remote Sensing of Environment,* 225, pp. 16 - 29, 2019.

GAMARRA, N., CORRÊA, M., TARGINO, A. Utilização de sensoriamento remoto em análises de albedo e temperatura de superfície em Londrina - PR: contribuições para estudos de ilha de calor urbana. *Revista Brasileira de Meteorologia, 29*(4), pp. 537 - 550, 2014.

INSTITUTO NACIOANL DE PESQUISAS ESPACIAIS. DGI/INPE, 2019. Disponível em < http://www.dgi.inpe.br/documentacao/dgi/documentacao/satelites/terra/capa-terra/>. Acesso em: 29 de agosto de 2019.

KLEIN, A. *Eugen Warming e o cerrado brasileiro* (Vol. 1). (UNESP, Ed.) São Paulo, São Paulo, Brasil : UNESP, 2000.

MARUYAMA, L. S., CASTRO, P. G., PAIVA, P., SILVA, M. A., SILVA, K. M. Produção Pesqueira do Baixo Tietê, nos anos de 2003 - 2004. São Paulo, São Paulo, Brasil: Governo do Estado de São Paulo, 2010.

MEDEIROS, R. B., MIGUEL, A. S., BRUGNOLLI, C. C. Caracterização Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Córrego das Marrecas Dracena-SP. *Fórum Ambiental do Alto Paulista, 10*(2), 41 - 56, 2014.

MENDONÇA, F. O. O clima urbano de cidades de porte médio e pequeno: aspectos teórico-metodológico e estudos de caso. *Vulnerabilidade e Mudanças Climáticas*, 167 - 192, 2000.

National Aeronautics and Space Administrations. AppEEARS, 2019. Disponivel em <lpdaacsvc.cr.usgs.gov/appears>. Acesso em: 28 de agosto de 2019.

NEGRI, B. Urbanização e demanda de recursos hídricos na bacia do rio Piracicaba no Estado de São Paulo. *VIII Encontro Nacional de Estudos Populacionais* (pp. 65 - 77). Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 2006.

NOURELDREEN, N., MAO, K., YUAN, Z., SHEN, X., XU, T., QUIN, Z. Analysis of the spatiotemporal change in land surface temperature for a long-term sequence in Africa (2003 - 2017). *Remote Sensing,* 12(3), 1 - 24, 2020.

PERES, L. F., LUCENA, A. J., ROTUNNO FILHO, O. T., FRANÇA, J. A. The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 64*, 104-116, 2018.

REZENDE, L., KAISER, I. M., & PEIXOTO, A. S. Vulnerabilidade Ambiental das Margens do rio Tietê. *Gestão e Sustentabilidade Ambiental, 7*(1), 136 - 166, 2018.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

SANTOS, G. G., GREIBELER, N. P., OLIVEIRA, L. F. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 115 - 123, 2010.

SERRA, C., LANA, X., MARTINEZ, M., ROCA, J., ARRELANO, B., BIERE, R. Temperatura del aire en la región metropolitana de Barcelona a partir de la temperatura do MODIS en surperficie y de datos topogeograficos. *XII Congresso Internacional Cuidad y territorio virtual*, (pp. 359 - 368). Barcelona, 2018.

SIQUEIRA, M., DURIGAN, G. Modelagem da distribuição geográfica de espécies lenhosas de cerrado no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Botanica, 30*(2), 233 - 243, 2007.

TANG, R., ZHAO, X., ZHOU, T., JIANG, B., WU, D., TANG, B. Assessing the impacts os urbanization on albedo in Jing-Jin-Ji region of China. *Remote Sensing, 10*(1096), pp. 1 - 21, 2018.

TUNDISI, J. M., TUNDISI-MATSUMURA, T., PARESCHI, D., LUZIA, A., VON HAELING, P., FROLLINI, E. A bacia hidrográficado tietê/Jacaré: estudo de casoem pesquisa e gerenciamento. *Estudos Avançados, 22*(63), 159 - 172, 2018.

.