UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Sorocaba

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em
Ciências Ambientais

AMANDA LETÍCIA DE MENESES MENDES

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA EVOLUÇÃO DE ILHAS DE CALOR NA APA DE ITUPARARANGA

Sorocaba

2024

AMANDA LETÍCIA DE MENESES MENDES

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA EVOLUÇÃO DE ILHAS DE CALOR NA APA DE ITUPARARANGA

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva
Coorientador: Prof.ª Dr.ª Vanessa Cezar Simonetti

Sorocaba

2024

M538a

Mendes, Amanda Letícia de Meneses
Análise espaço-temporal da evolução de ilhas de calor na APA de Itupararanga / Amanda Letícia de Meneses Mendes. -- Sorocaba, 2024
57 p. : tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba
Orientador: Darllan Collins da Cunha e Silva
Coorientadora: Vanessa Cezar Simonetti

1. Sensoriamento Remoto. 2. Mudanças Climáticas. 3. Áreas de Conservação de Recursos Naturais. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Sorocaba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA EVOLUÇÃO DE ILHAS DE CALOR NA APA DE ITUPARARANGA

AUTORA: AMANDA LETÍCIA DE MENESES MENDES
ORIENTADOR: DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA
COORIENTADORA: VANESSA CEZAR SIMONETTI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências Ambientais, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RENAN ANGRIZANI DE OLIVEIRA (Participaçao Virtual)
Departamento de Engenharia Ambiental / Universidade de Sorocaba (UNISO)

Prof. Dr. FELIPE ALEXANDRE RIZZO (Participaçao Virtual)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - IFMA

Prof. Dr. DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA (Participaçao Virtual)
ICTS / UNESP/Sorocaba (SP)

Sorocaba, 10 de julho de 2024

RESUMO

A urbanização intensiva, a expansão das áreas agrícolas e as mudanças climáticas têm um impacto relevante no equilíbrio ambiental afetando a disponibilidade dos recursos naturais. A utilização do sensoriamento remoto se mostra crucial para monitorar essas mudanças ao longo do tempo, permitindo uma compreensão mais ampla dos processos em curso e auxiliando na identificação de áreas que necessitam de atenção prioritária. O trabalho teve por objetivo analisar comparativamente as alterações climáticas e do uso da terra, identificando os principais fatores contribuintes para a formação das ilhas de calor na Área de Proteção Ambiental (APA) de Itupararanga. Através dessas análises, buscou-se compreender melhor os impactos das atividades antrópicas na disponibilidade de recursos naturais, visando garantir a sustentabilidade ambiental e social da região para as gerações futuras. Foi conduzida uma análise espaço-temporal comparativa das mudanças climáticas, ilhas de calor e uso da terra na APA de Itupararanga, utilizando sensoriamento remoto, com ênfase na série de satélites Landsat. A visualização dos usos do solo, da temperatura e suas alterações é crucial para compreender a formação das ilhas de calor. A análise considerou o período de 1986 a 2021, utilizando imagens dos satélites Landsat 5, 7 e 8. Os dados do MapBiomas foram empregados para mapear a cobertura e o uso da terra. O *software* QGIS versão 3.28.11 foi utilizado para manipulação e análise das imagens, além do PAST 4.09 para as análises estatísticas. Buscou-se identificar a relação entre temperatura superficial e os diferentes usos do solo, que influenciam na formação das ilhas de calor. A pesquisa revelou mudanças significativas na APA de Itupararanga entre 1986 e 2021, com expansão urbana crescente nos anos de 2000, 2007 e 2021. As análises estatísticas revelam uma correlação negativa significativa (-0,98), indicando que o aumento da Temperatura Campestre está associado à redução da extensão das Áreas Continentais. Isso sugere um efeito do aquecimento localizado que pode afetar a disponibilidade hídrica do Reservatório de Itupararanga. Além disso, a Temperatura Campestre mostra uma correlação positiva forte (0,93) com a Área de Cultura Temporária, destacando o impacto significativo do aumento desse uso do solo no aumento da temperatura local.

Palavras-chave: uso e cobertura da terra; temperatura superficial; sensoriamento remoto; ebulição global.

ABSTRACT

Intensive urbanization, the expansion of agricultural areas and climate change have a relevant impact on the environmental balance, affecting the availability of natural resources. The use of remote sensing is crucial for monitoring these changes over time, allowing a broader understanding of ongoing processes and helping to identify areas that require priority attention. The work aimed to analyze climate and land use changes comparatively, identifying the main factors contributing to the formation of heat islands in the Itupararanga Environmental Protection Area (EPA). Through these analyses, we sought to better understand the impacts of anthropogenic activities on the availability of natural resources, aiming to ensure sustainability environmental and social aspects of the region for future generations. A comparative spatio-temporal analysis of climate change, heat islands and land use in the Itupararanga EPA was conducted, using remote sensing, with an emphasis on the Landsat satellite series. Visualizing land use, temperature and their changes are crucial to understanding the formation of heat islands. The analysis considered the period from 1986 to 2021, using images from Landsat 5, 7 and 8 satellites. Data from MapBiomas were used to map land cover and use. The QGIS version 3.28.11 software was used to manipulate and analyze the images, in addition to PAST 4.09 for statistical analyses. Attempted to identify the relationship between surface temperature and different land uses, which influence the formation of heat islands. The research revealed significant changes in the EPA of Itupararanga between 1986 and 2021, with increasing urban expansion in the years 2000, 2007 and 2021. Statistical analyzes reveal a significant negative correlation (-0.98), indicating that the increase in Countryside Temperature is associated with reduction in the size of Continental Areas. This suggests an effect of localized warming that could affect water availability in the Itupararanga Reservoir. Furthermore, Countryside Temperature shows a strong positive correlation (0.93) with Temporary Culture Area, highlighting the significant impact of increasing this land use on increasing local temperature.

Keywords: land use and cover; surface temperature; remote sensing; global boiling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo. 19
Figura 2: Zoneamento APA de Itupararanga. 20
Figura 3: Temperatura superficial do espaço e tempo estudados. 29
Figura 4: Análise temporal da temperatura superficial da APA de Itupararanga. 30
Figura 5: Análise temporal da ocupação das classes de uso e cobertura da terra em %. 31
Figura 6: Uso e cobertura do solo no espaço e tempo estudados. 32
Figura 7: Áreas consideradas como ilhas de calor. 34
Figura 8: Área em km² das regiões consideradas como ilhas de calor. 35
Figura 9: Análise temporal da temperatura superficial média em (°C) das classes de uso e cobertura da terra. 38
Figura 10: Índice de correlação com o algoritmo *Bipartite Linear*. 41
Figura 11: Correlação das variáveis. 42
Figura 12: Análise Multivariada. 46
Figura 13: Análise Hierárquica *Clustering*. 47
Figura 14: Índice de Qualidade de Água do Reservatório de Itupararanga. 49
Figura 15: Índice de Qualidade de Água Bruta para fins de abastecimento 50
Figura 16: Sobreposição das áreas de conflitos entre o zoneamento da APA e os PDMs. 50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Zoneamento APA de Ituparanga. 20
Tabela 2: Aspectos das imagens orbitais utilizadas. 21
Tabela 3: Variável de ʎ em função de SAVI. 23
Tabela 4: Descrição das classes de uso e cobertura do solo. 25
Tabela 5: Dados de temperatura superficial em ºC do espaço e tempo estudados. 31
Tabela 6: Área em km² e porcentagem de ocupação das classes de uso e cobertura da terra no espaço e tempo estudados. 33
Tabela 7: Valores médios de temperatura superficial acima da média anual. 34
Tabela 8: Área em km² das regiões consideradas como ilhas de calor. 35
Tabela 9: Estatística zonal das ilhas de calor x zoneamento da APA de Itupararanga. 36
Tabela 10: Temperatura superficial média em Cº das classes de uso e cobertura da terra. 38
Tabela 11: Correlações entre as variáveis. 42

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AHC	Análise Hierárquica de Conglomerados
ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
DP	Desvio Padrão
ETM	*Enhanced Thematic Mapper Plus*
EZ	Estatística Zonal
IAF	Índice de Área Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Ilhas de Calor
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço
NDVI	*Normalized Difference Vegetation Index*
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PDMs	Planos Diretores Municipais
PI	Plano de Informação
PM	Plano de Manejo
SAVI	*Soil Adjusted Vegetation Index*
SCP	*Semi-Automatic Classification Plugin*
SCUT	Sistema de Classificação de Uso da Terra
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SR	Sensoriamento Remoto
TIRS	*Thermal Infrared Sensor*

TM	*Thematic Mapper*
TOA	Topo da Atmosfera
TS	Temperatura Superficial
UCT	Uso e Cobertura da Terra
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê
UPGMA	*Unweighted Pair-Group Methods with Arithmetic Average*
ZCB	Zona de Conservação da Biodiversidade
ZCRH	Zona de Conservação dos Recursos Hídricos
ZOC	Zona de Ocupação Consolidade
ZOD	Zona de Ocupação Diversificada
ZOR	Zona de Ocupação Rural

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 10

2. OBJETIVOS 12

2.1. OBJETIVO GERAL 12

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12

3. REFERENCIAL TEÓRICO 13

3.1. IMPACTOS DA ALTERAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA SOBRE O BALANÇO HÍDRICO 13

3.2. IMPACTOS DAS ILHAS DE CALOR SOBRE O CLIMA LOCAL 15

3.3. UTILIZAÇÃO DE DADOS REMOTOS PARA ANÁLISE DE FENÔMENOS AMBIENTAIS 16

4. MATERIAL E MÉTODOS 18

4.1. ÁREA DE ESTUDO 18

4.2. IMAGENS ORBITAIS 21

4.2.1. TEMPERATURA SUPERFICIAL 22

4.2.2. USO E COBERTURA DA TERRA 24

4.2.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS 26

4.2.4. ILHAS DE CALOR 28

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 29

6. CONCLUSÃO 52

7. REFERÊNCIAS 53

1. INTRODUÇÃO

Em meio aos diversos aspectos ambientais característicos das ações antrópicas, um dos mais impactantes na esfera ambiental e social, é o processo de contínua urbanização de novas áreas e expansão das que já existem (TRINDADE et al., 2017). Fatores como a impermeabilização do solo que antes era revestido por vegetação, mudança da vegetação nativa em cultivos agrícolas, solo exposto sem nenhuma cobertura vegetal, ou seja, usos e coberturas da terra (UCT) impactam diretamente no processo de absorção solar, no albedo, na temperatura superficial (TS), na evaporação, na retenção de calor, e na circulação atmosférica, alterando os processos de balanço hídrico e energético, afetando a saúde e resiliência dos ecossistemas (SWADES; ZIAUL, 2017).

As modificações no UCT, ocasionam um fenômeno de anomalia térmica chamado de ilha de calor (IC), onde a temperatura é mais elevada em determinadas regiões quando comparadas as áreas circundantes (MIRZAEI, 2015). Esse fenômeno pode acontecer em diversas escalas. As IC podem ser classificadas em categorias distintas, podendo ser com base na temperatura atmosférica, ou da superfície (DISSANAYAKE et al., 2019).

Esses fatores, se dão devido ao constante crescimento da população que, como efeito, geram um aumento no desenvolvimento de atividades econômicas, necessárias para a sobrevivência. O clima retrata padrões climáticos médios, que interferem diretamente nos recursos naturais (MARTIN, 2021) e de forma totalmente interativa com o ciclo terrestre da água sofrem alterações conforme a utilização do solo. O UCT influencia em vários processos naturais do ambiente além do clima, e de forma inerente, essas duas condições são elementos essenciais para a disponibilidade da água (MARTIN, 2021).

As mudanças culturais e climáticas, a pressão demográfica, expansão econômica, assuntos políticos e a necessidade de migração, são alguns dos principais responsáveis pelo impacto negativo na demanda por água, energia e alimento, aumentando o risco para os recursos naturais em todo o mundo. O processo de globalização apesar dos seus efeitos positivos, implica diferentes âmbitos como a biodiversidade, os ecossistemas, os recursos naturais, a economia e o bem-estar. Ela caracteriza o momento atual em um ambiente de constante mudança, além de se tornar um desafio na busca por estratégias de adaptações coerentes e oportunas para o desenvolvimento econômico e social de forma colaborativa (MOLAJOU et al., 2021).

O sensoriamento remoto (SR) tem se mostrado um valioso aliado nos estudos relacionados a essa temática, fornecendo dados essenciais para estudos sobre o tema. Essa abordagem ampla dificilmente seria alcançada por meio de trabalhos de campo convencionais

em uma escala tão extensa. (MOREIRA; NÓBREGA, 2011). Através de geotecnologias como o SR podemos realizar uma análise espaço temporal, e acompanhar de forma espacial, as alterações no comportamento da temperatura, e observar as áreas mais quentes através das características termais, identificando microclimas locais, visto que os Sistemas de Informação Geográficos (SIG), mostraram muitos avanços nos últimos anos (TRINDADE et al., 2017).

Além disso, é possível caracterizar as mudanças no UCT e mensurar a influência da ação antrópica nas alterações climáticas e na disponibilidade de recursos naturais. Com o auxílio de mapas de temperatura e UCT, se torna possível direcionar as ações para as regiões que mais precisam de atenção. A área de estudo dessa pesquisa se trata de uma Área de Proteção Ambiental (APA) que contempla o Reservatório de Itupararanga, importante devido ao seu uso múltiplo, entre eles o abastecimento público, sendo a fonte principal de aproximadamente um milhão habitantes que estão inseridos na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 10) do Sorocaba e Médio Tietê (BERNADI et al., 2020).

A APA de Itupararanga está localizada no estado de São Paulo, e o Reservatório de Itupararanga é responsável pelo abastecimento de importantes cidades do estado, como Ibiúna, Sorocaba, Votorantim e São Roque (MANFREDINI, 2018). O local também possui grandes extensões utilizadas para atividades agrícolas. Os municípios inseridos na área, possuem falhas no sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário, além da constante urbanização (SIMONETTI et al., 2019a).

Considerando a importância do reservatório e da área em questão, conduziu-se uma análise espaço-temporal comparativa da temperatura superficial, formação de ilhas de calor e uso e cobertura da terra utilizando sensoriamento remoto. A análise abrange o período de 1986 a 2021, com intervalos de 7 anos, e foi baseada em imagens orbitais das séries Landsat 5, 7 e 8, considerando a estação de inverno. Também foram empregados dados da plataforma MapBiomas para mapear a cobertura e uso da terra. O software QGIS foi utilizado para a manipulação e análise das imagens, e análises estatísticas foram conduzidas para avaliar os padrões de relação entre a variação climática, usos do solo e a formação das ilhas de calor.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar de forma comparativa os fatores de variações de temperatura superficial e de uso e cobertura da terra, além da formação de ilhas de calor e suas relações, na Área de Preservação Ambiental (APA) de Itupararanga, utilizando o sensoriamento remoto e análises estatísticas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma análise espaço-temporal do período de 1986 a 2021 caracterizando o uso e cobertura da terra e suas modificações históricas na APA de Itupararanga;
- Levantar a variação de temperatura superficial na APA de Itupararanga e os fatores influentes nesse processo, no recorte temporal de 1986 a 2021;
- Analisar de forma estatística a relação da temperatura superficial com o uso e cobertura da terra;
- Identificar as áreas com focos de calor acima da média (formação de ilhas de calor) e verificar em quais classes de uso e cobertura da terra ocorrem.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. IMPACTOS DA ALTERAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA SOBRE O BALANÇO HÍDRICO

A alteração no UCT é uma consequência evidente da intervenção humana nos ecossistemas e causa impactos expressivos, de forma direta e indireta no ambiente, afetando suas variações climáticas e perspectivas econômicas. Essa crescente transformação da paisagem natural tem gerado alterações nas condições pré-estabelecidas, e isso tem resultado em temperaturas mais altas em determinados locais quando comparado as áreas circundantes (ROUSTA et al., 2018).

O planejamento hídrico é fundamental para a gestão adequada dos recursos hídricos, e uma ferramenta importante para isso é a realização balanço hídrico, que permite avaliar a necessidade e disponibilidade de água no solo ao longo do tempo. No Brasil, a Agência Nacional de Águas (ANA) é responsável por atualizar o balanço hídrico nacional tanto para as bacias hidrográficas quanto para os rios em todo o território brasileiro (PINHATI; SOUZA; VILLELA, 2017).

Em termos simples, o balanço hídrico é o registro da quantidade de água presente no solo, que envolve o cálculo das entradas e saídas de água do sistema, em um determinado período, permitindo a identificação dos períodos de seca e chuva na região analisada (VILLA et al., 2022). A água é obtida principalmente por meio da precipitação, enquanto a principal forma de perda ocorre através da evapotranspiração, quando a água retorna para a atmosfera. A ET engloba a perda de água através da transpiração das folhas das plantas e a evaporação da superfície do solo, poças, lagoas, lagos e rios. A quantidade de ET depende da vegetação, tipo de solo, clima e geralmente ela aumenta quando a temperatura se eleva (MARTIN, 2021).

A capacidade de retenção de água (CRA) da paisagem refere-se à capacidade da vegetação de armazenar água após a precipitação, liberando-a gradualmente para completar o ciclo hidrológico. A precipitação em uma área com alta CRA é absorvida pela vegetação ou pelos corpos d'água, recarregando os lençóis freáticos. Áreas com camadas mais espessas de matéria orgânica possuem uma maior capacidade de retenção, o que ajuda a prevenir deslizamentos de terra e inundações, desastres que têm se tornado cada vez mais frequentes com o aumento das chuvas (KRNÁČOVÁ et al., 2020).

Paisagens com baixa CRA no solo e uso inadequado da terra são identificadas como áreas críticas para o manejo dos recursos hídricos, onde há uma alta tendência para o escoamento superficial e perda de água subterrânea, e exigem intervenções para reverter a

degradação gradual do solo e da paisagem. A redução do escoamento superficial permitirá a infiltração da água no solo, possibilitando o desenvolvimento ou recuperação das funções ecológicas essenciais da paisagem (KRNÁČOVÁ et al., 2020). Podemos obter estimativas mais precisas do volume de água retida no solo por meio do cálculo do balanço hidrológico.

Segundo Boretti e Rosa (2019) trouxeram em seu trabalho de reavaliação do Relatório Mundial de Desenvolvimento da Água das Nações Unidas de 2018, sobre a disponibilidade de água potável e as expectativas futuras, quase 6 bilhões de pessoas enfrentarão escassez de água potável até 2050, devido à pressão crescente sobre o sistema de água. Isso se deve ao aumento populacional, que pode chegar a 9,4 a 10,2 bilhões de pessoas, representando um aumento de 22% a 34%, principalmente nos países em desenvolvimento.

A demanda global por água acompanhará o crescimento populacional, o desenvolvimento econômico e as mudanças nos padrões de consumo. Nas próximas duas décadas, a demanda por água aumentará significativamente nos três componentes: indústria, uso doméstico e agricultura. Embora as demandas industriais e domésticas cresçam mais rapidamente do que a demanda agrícola, esta última continuará sendo a maior (MARTINS, ROSA, 2019). Atualmente, a água é usada principalmente para irrigação na agricultura, representando 70% do consumo total. Enquanto isso, o uso industrial de água representa 20% do consumo global (CAPELLARI, CAPELLARI, 2018).

Entende-se por segurança hídrica a habilidade de uma comunidade de garantir o acesso sustentável a quantidades suficientes de água de qualidade adequada para manter os meios de vida, o bem-estar humano e o desenvolvimento socioeconômico (GUO; WANG, 2023). O ODS 6 estabelece justamente a garantia da disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e saneamento para todos. Incluindo a melhoria na qualidade da água, redução da poluição, eliminação de despejos e diminuição da liberação de produtos químicos e materiais perigosos, redução da quantidade de águas residuais não tratadas e aumento da reciclagem e reutilização segura globalmente (ONU, 2024).

Ainda é um desafio realizar uma previsão precisa e realista da demanda de água, porém é imprescindível que pesquisas continuem sendo realizadas para que se tenha conhecimento da magnitude do problema e para que sirvam como base para tomadas de decisões que busquem conciliar a utilização sustentável dos recursos hídricos com o atendimento das demandas econômicas e ambientais.

3.2. IMPACTOS DAS ILHAS DE CALOR SOBRE O CLIMA LOCAL

As projeções do clima futuro tornaram-se cada vez mais importantes devido aos fatores antropogênicos que influenciam as variações climáticas além dos limites históricos. Entende-se por clima a condição média do tempo em um determinado local durante um intervalo de tempo (MARTIN, 2021). Essa condição engloba os eventos atmosféricos diários que podem mudar em curtos períodos, variando de minutos a semanas.

As Normais Climatológicas, que são as médias dos dados meteorológicos de três décadas, oferecem uma descrição específica do clima em um local e período determinados. Estima-se que, em todo o mundo, a temperatura média aumentará em 1,5°C em relação aos níveis pré-industriais, no período de 2030 a 2052 (MARTIN, 2021).

Conforme o recente relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas e a dinâmica do clima, a alteração nos padrões de temperatura e precipitação, juntamente com o aumento da frequência e gravidade dos eventos climáticos extremos e suas consequências, representam um dos maiores riscos para as pessoas e os ecossistemas (EBI et al., 2021). O número de eventos extremos, incluindo calor extremo, secas, inundações e tempestades, dobrou desde o início dos anos 1990 até 2016 (ALPINO et al., 2022).

Diariamente, áreas urbanas enfrentam o desafio do aumento das temperaturas. Com o avanço do aquecimento global, a deterioração desses ambientes representa um perigo à saúde pública, aumentando desde o desconforto térmico até o surgimento de doenças relacionadas ao calor. A expansão das cidades e mudanças no UCT intensifica o fenômeno das IC (ROMERO et.al, 2020).

Considerando esses e outros desafios enfrentados por países em desenvolvimento, surgem os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) criados pela Organização das Nações Unidas (ONU), como uma maneira de promover a sustentabilidade por meio das questões ambientais, sociais e econômicas, visando garantir que as próximas gerações não tenham suas necessidades comprometidas.

Alguns desses objetivos como o 6 e o 13, tem relação direta com a problemática dessa pesquisa, já que se trata de uma sucessão de efeitos, pois cada um desses aspectos causa impactos significativos um ao outro. Os estilos de vida estabelecidos pela sociedade ditam as mudanças no UCT, que contribuem de forma significativa para as mudanças climáticas, que têm sido tão expressivas nos últimas anos. Também impactam os recursos e os processos

naturais de forma drástica, causando efeitos consideráveis na disponibilidade da água, interferindo em questões como abastecimento público, água potável e segurança alimentar.

O ODS 13, procura adotar medidas para combater as alterações climáticas e seus impactos e o ODS 6 busca assegurar que todos tenham acesso contínuo a água potável e serviços de saneamento de forma sustentável (ONU, 2024). De uma maneira global, o clima se mostra cada vez mais afetado, o que é notável por meio dos eventos ambientais frequentes, prejudicando o ecossistema local como um todo e estendendo esses efeitos a uma extensa cadeia (GOMES, FUZETO, PRATES, 2020).

3.3. UTILIZAÇÃO DE DADOS REMOTOS PARA ANÁLISE DE FENÔMENOS AMBIENTAIS

Nos últimos anos, a humanidade foi submetida a fatos ainda mais devastadores de climas extremos, doenças que ameaçam a vida e interrupções trágicas no fornecimento de recursos essenciais como alimentos, energia, água e ar. Além disso, desde a revolução industrial, quantidades significativas de recursos necessários para a produção de diversos produtos, foram explorados da natureza, gerando uma massa antropogênica maior do que toda a biomassa viva em 2020 (RAMAKRISHNA, RAJAN, 2022). A exploração excessiva desses recursos, contribui para desastres naturais e custos sociais.

Conforme Hoosain et al. (2023), 789 milhões de pessoas estavam sem energia em 2018, 2,2 bilhões de pessoas em todo o mundo ainda não tinham acesso a água potável adequadamente gerenciada e, em 2019, cerca de 2 bilhões de pessoas experimentaram insegurança alimentar moderada a grave, representando 25,9% da população mundial.

É amplamente reconhecido que o ambiente terrestre é fundamental para a sustentação da vida humana, porém, a longo prazo, temos observado uma crescente preocupação com a sua capacidade de manutenção (STEFFEN et al., 2015). O foco principal dos ODS é enfrentar as mudanças climáticas, combater as desigualdades, erradicar a fome e a pobreza (HOOSAIN et al., 2023).

A utilização de sensoriamento remoto via satélite, é uma técnica econômica e eficiente em termos de tempo para análises espaço-temporais da distribuição da temperatura superficial, devido à ampla disponibilidade de satélites e sensores, que oferecem uma cobertura global significativa (CORDEIRO, 2016). Por isso, os estudos sobre o efeito das mudanças climáticas com base na TS estão se tornando cada vez mais populares e acessíveis.

As imagens térmicas oferecem uma cobertura espacial completa em diversas escalas temporais, em contraste com as temperaturas do ar coletadas por estações meteorológicas (TRAN et al., 2017). A Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço (NASA) lançou os satélites Landsat 5 (L-5) em março de 1984, seguido pelo Landsat 7 (L-7) em 1999. Posteriormente, o Landsat 8 (L-8) foi lançado em fevereiro de 2013, sendo ele capaz de capturar imagens da superfície terrestre em onze bandas espectrais, incluindo os domínios do infravermelho óptico e térmico.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A avaliação das características do uso e cobertura da terra e das mudanças climáticas observadas na APA de Itupararanga foi realizada através de uma análise da variação temporal das diferentes classes de UCT utilizando a classificação disponibilizada nas coleções 7 e 1 do Mapbiomas, e dos dados de temperatura superficial obtidos através das coleções do satélite Landsat, no período de 1986 a 2021 considerando intervalos de 7 anos.

Dessa forma, verificou-se mudanças entre as classes de UCT, evidenciando diminuições ou aumentos nos padrões e a substituição de classes de uso e cobertura do solo. A partir desses dados e por meio de método estatístico, analisou-se a relação entre essas duas variáveis, considerando os padrões do aumento de TS em determinadas classes de UCT.

Em função dos dados de TS, foi possível observar as alterações no clima local e a evolução da formação de ilhas de calor, ocasionadas por essas mudanças no UCT.

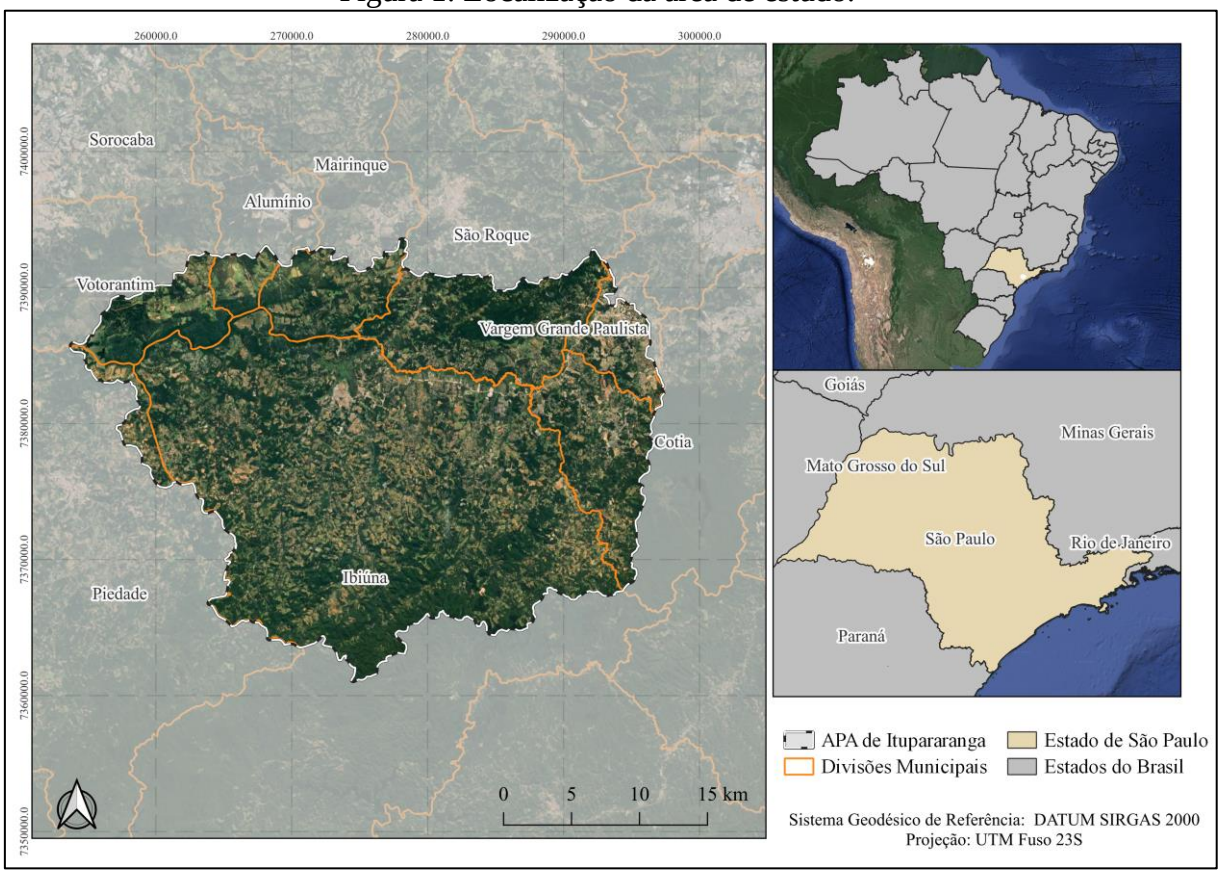
4.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo denominada de APA de Itupararanga está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10), e foi estabelecida pela Lei Estadual nº 10.100, de 01 de dezembro de 1998, e modificada pela Lei Estadual 11.579 de 02 de dezembro de 2003, ambas publicadas em São Paulo. Foi criada com o propósito de preservar o reservatório de Itupararanga, o principal manancial da região, esta Unidade de Conservação desempenha um papel crucial no contexto regional, sendo de grande importância para a conservação dos recursos hídricos e ambientais locais.

Abrange os municípios de Alumínio, Cotia, Ibiúna, Mairinque, Piedade, São Roque, Vargem Grande Paulista e Votorantim, essa região é objeto de estudo devido à sua importância ambiental. Sob a gestão da Companhia Brasileira de Alumínio – CBA, a represa está situada no trecho superior do rio Sorocaba (Figura 1), abrangendo uma área de drenagem de 936,51 km² (SIMONETTI et al., 2019a).

Esta área desempenha um papel vital no fornecimento de água para os municípios de Sorocaba (74% do consumo), Votorantim (92%), Ibiúna (100%) e São Roque (32%) (SIMONETTI et al., 2019a).

Figura 1: Localização da área de estudo.



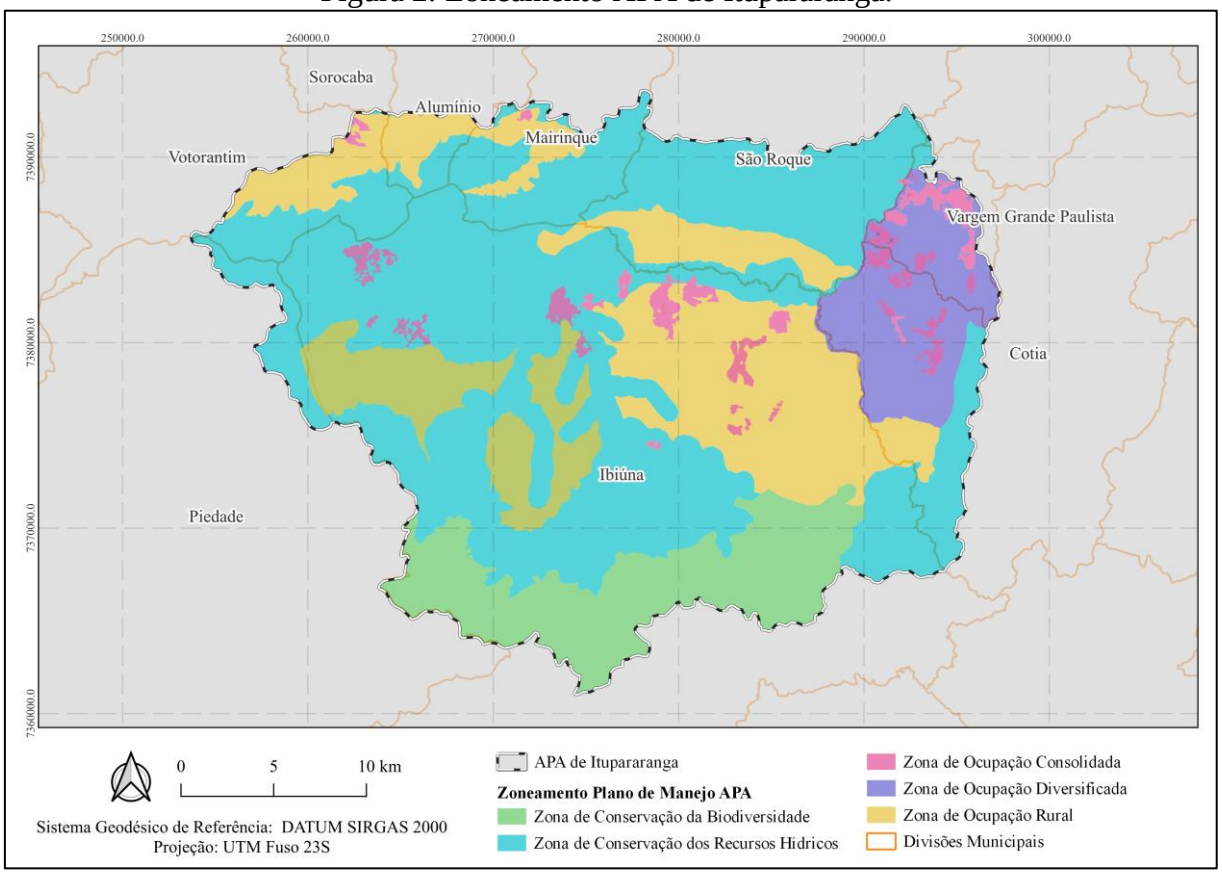
Fonte: Dados obtidos com o IBGE, 2023.
Elaboração: Autor, 2024.

Com uma média anual de precipitação de 1.492 mm, a região apresenta um clima marcado por um verão chuvoso e um inverno seco. Janeiro registra a maior quantidade de chuva, com 248 mm, enquanto agosto é o mês mais seco, com apenas 43 mm de precipitação. A vegetação predominante é constituída pela Floresta Ombrófila Densa, conforme observado por Simonetti et al. (2019a).

Um importante instrumento de gestão para esta região é o Plano de Manejo da APA de Itupararanga, elaborado com base em estudos técnicos detalhados e ampla participação da comunidade local, que visa estabelecer diretrizes para a conservação e o uso sustentável dos recursos naturais (Fundação Florestal, 2010).

O Plano de Manejo da APA de Itupararanga propõe a delimitação de zonas de conservação, podendo ser delineadas com base em critérios específicos, como a presença de ecossistemas únicos, espécies ameaçadas de extinção, áreas de recarga de aquíferos e fragmentos de vegetação nativa significativos (Figura 2).

Figura 2: Zoneamento APA de Itupararanga.



Fonte: Dados obtidos com Fundação Florestal de São Paulo, 2024.
Elaboração: Autor, 2024.

De acordo com a Fundação Florestal (2010), o zoneamento busca primordialmente ordenar como o solo é utilizado e ocupado, bem como conservar e preservar os recursos naturais da área e define a divisão da APA em duas áreas, sendo: Área de Conservação e Área de Ocupação Dirigida, conforme pode ser visto de forma mais detalhada na Tabela 1.

Tabela 1: Zoneamento APA de Ituparanga.

ÁREAS	ZONAS	DESCRIÇÃO
Área de Conservação	Zona de Conservação da Biodiversidade (ZCB)	Conservar a vida silvestre e a biodiversidade, assegurando a preservação da vegetação em diferentes estágios de regeneração e protegendo as principais nascentes dos rios que formam a bacia de contribuição da represa Itupararanga.
	Zona de Conservação dos Recursos Hídricos (ZCRH)	Preservar a água na bacia do reservatório Itupararanga, protegendo as nascentes dos rios locais. Isso inclui manter a vegetação nas áreas de preservação, garantir a permeabilidade do solo e restaurar as áreas alagáveis para conservar o ambiente e sua biodiversidade.

ÁREAS	ZONAS	DESCRIÇÃO
Área de Ocupação Dirigida	Zona de Ocupação Diversificada (ZOD)	Área em processo de urbanização, onde a ocupação deve ser planejada e controlada para minimizar os impactos sobre a Área de Conservação.
	Zona de Ocupação Rural (ZOR)	Visa sustentar economicamente as propriedades, promover agricultura sustentável e permitir atividades urbanas compatíveis, com infraestrutura de saneamento adequada.
	III - Zona de Ocupação Consolidada (ZOC)	Inclui áreas urbanas, onde diretrizes de uso e ocupação devem ser estabelecidas para garantir a compatibilidade com a proteção ambiental da APA.

Fonte: Dados obtidos com a Fundação Florestal, 2010.
Elaboração: Autor, 2024.

4.2. IMAGENS ORBITAIS

Foram utilizadas imagens orbitais de satélites da coleção Landsat, sendo o Landsat 5 (TM) para os anos de 1986; 1993; e 2007, o Landsat 7 (ETM+) para o ano 2000 e o Landsat 8 (TIRS) para os anos de 2014 e 2021 (Tabela 2).

Tabela 2: Aspectos das imagens orbitais utilizadas.

ANO	ID	PONTO/ORBITA	SATÉLITE
1986	LT05_L1TP	219076	Landsat 5
1986	LT05_L1TP	219077	Landsat 5
1993	LT05_L1TP	219076	Landsat 5
2000	LT07_L1TP	219076	Landsat 7
2007	LT05_L1TP	219076	Landsat 5
2014	LT08_L1TP	219076	Landsat 8
2021	LT08_L1TP	219076	Landsat 8

Fonte: Dados obtidos com o USGS, 2023.
Elaboração: Autor, 2024.

O critério para a seleção da imagem que representaria cada ano foi baseado na ausência de nuvens durante o período mais seco do ano. O software utilizado para a manipulação desses dados foi o QGIS na versão 3.28.11.

4.2.1. TEMPERATURA SUPERFICIAL

Foram utilizadas imagens orbitais da série Landsat 5, 7 e 8, considerando o período mais seco e sem nuvens na região, além da presença dos sensores *Thematic Mapper* (TM), *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) que são responsáveis pela coleta de dados de reflectância no comprimento de onda na região do infravermelho reflexivo e termal, sendo o Landsat 5 para os anos de 1986; 1993; e 2007, o Landsat 7 para o ano 2000 devido à alta porcentagem de nuvens na área de estudo e o Landsat 8 para os anos de 2014 e 2021.

As imagens passaram por uma correção radiométrica onde utilizou-se plug-in *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP) disponível no QGIS, e a partir dessa correção, obtiveram-se os números de reflectância no topo da atmosfera (TOA). Após esse processo, calculou-se a radiância das bandas termais seguindo a metodologia descrita por Waters et al. (2002). Por fim, todas as imagens tiveram suas coordenadas reprojetadas para o Datum EPSG: SIRGAS 2000 – UTM zona 23S (Código 31983).

Para o cálculo de TS por meio do SR se torna necessário os cálculos dos índices *Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI (Equação 1) (RIZZO et al., 2024); *Soil Adjusted Vegetation Index* – SAVI (Equação 2); e o *Índice de Área Foliar* – IAF (Equação 3).

$$NDVI = \frac{(P_{nir} - P_{red})}{(P_{nir} + P_{red})} \quad (1)$$

Sendo:

$NDVI$ = valor do *Normalized Difference Vegetation Index*;

P_{nir} = refletância na banda do infravermelho próximo;

P_{red} = refletância na banda do vermelho.

Com base nos dados de estatística zonal do NDVI obtido dos mapas de UCT do Mapbiomas, para o valor de L do SAVI criou-se um Plano de Informação (PI) e assim uma nova classificação sendo: L = 0,5 – média e alta cobertura vegetal, L = 1 – baixa cobertura vegetal e L = 0 – sem cobertura vegetal. A partir desse processo, o SAVI foi calculado conforme a Equação 2 (Adaptado de SILVA et al., 2017).

$$SAVI = \frac{(1 + L_{PI})(P_{nir} - P_{red})}{L_{PI} + P_{nir} + P_{red}} \quad (2)$$

Sendo:

$SAVI$ = valor de *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI);

L_{PI} = valor de L obtido para cada ano estudado, baseado na cobertura de solo do índice NDVI segundo o plano de informação;

P_{nir} = refletância na banda do infravermelho próximo;

P_{red} = refletância na banda do vermelho.

Realizou-se a estimativa do IAF de acordo com a Equação 3 (WATERS et al., 2002), que corresponde a quantidade de área de folhas em relação à área do solo da amostra.

$$IAF = -\frac{In\left(\frac{\Lambda - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (3)$$

Sendo:

IAF = índice de área foliar;

Λ = variável obtida após valor máximo de SAVI para cada ano na APA de Itupararanga conforme a Tabela 3.

Tabela 3: Variável de Λ em função de SAVI.

ANO	Λ	SAVI
1986	0,7000	0,6917
1993	0,7200	0, 7112
2000	0,7100	0,7062
2007	0,7200	0,7122
2014	0,7900	0,7811
2021	0,7800	0,7651

Fonte: Dados obtidos com o USGS (2023), calculados no software QGIS na versão 3.28.11.
Elaboração: Autor, 2024.

Para o cálculo da TS, torna-se necessário o cálculo da emissividade (ε), e para isso, utiliza-se os valores dos índices calculados nas etapas anteriores. A Equação 4 foi aplicada em duas situações, para valores de NDVI superiores a 0 e valores de IAF inferiores a 3. Onde os valores de NDVI foram menores que 0 considerou-se o valor de emissividade (ε) igual a 0,99, e para valores de IAF maiores ou iguais a 3, considerou-se o valor de ε 0,98 (WATERS et al., 2002; SILVA et al., 2020).

$$\varepsilon = 0{,}97 + 0{,}0033\ IAF \quad (4)$$

Para os valores da temperatura da superfície em graus Celsius (ºC) utilizou-se a Equação 5 adaptada conforme citado por Waters et al. (2002) e Rizzo et al. (2024).

$$T_s = \left(\frac{k_2}{In\ \left(\frac{\varepsilon k_1}{L_\lambda}\right) + 1} \right) - 273{,}15 \quad (5)$$

Sendo:

ε = emissividade calculada através da Equação 3 (espectral) das bandas utilizadas;

k_1 e k_2 = constantes de calibração da radiância da banda termal;

L_λ = radiância espectral para as bandas utilizadas (W/m2/sr/µm).

4.2.2. USO E COBERTURA DA TERRA

Os mapas de UCT da área de estudo foram obtidos por meio da plataforma online do "Projeto MapBiomas" do bioma Mata Atlântica, nos anos 1986, 1993, 2000, 2007, 2014 e 2021. O projeto que produz o mapeamento anual da cobertura e uso da terra, desde o ano de 1985 por meio de mosaicos do Landsat com resolução de 30 metros.

As imagens foram baixadas em formato *raster* com DATUM WGS 84, foram recortadas nos limites da APA de Itupararanga, convertidas para *vetor* no QGIS e reprojetadas para Datum SIRGAS 2000 – Universal Transversa de Mercator (UTM) zona 23S (Código EPSG: 31983). Calculou-se também a área ocupada por cada uma das classes.

As classes foram agrupadas através da ferramenta dissolver do *software* QGIS e nomeadas seguindo os códigos da legenda para os valores de pixel nas coleções 7 e 1 do Mapbiomas. Posteriormente realizou-se um novo agrupamento de classes semelhantes afim de otimizar a leitura dos dados, onde as classes foram renomeadas conforme o Sistema de Classificação de Uso da Terra – SCUT (IBGE, 2013).

Por fim, as classes encontradas na área foram: área florestal, silvicultura, área campestre, pastagem, áreas urbanizadas, águas continentais, cultura temporária, cultura permanente, conforme pode ser visualizado Tabela 4, que apresenta a descrição das classes de uso e cobertura da terra.

Tabela 4: Descrição das classes de uso e cobertura da terra.

SCUT IBGE	MAPBIOMAS	DESCRIÇÃO
Área florestal	Formação florestal	Áreas com formação arbórea
Silvicultura	Silvicultura	Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. pinus, eucalipto, araucária).
Área campestre	Campo alagado e área pantanosa	Formações não-arbóreas, com fitofisionomia diversa e diferente das áreas florestais, com um estrato predominantemente arbustivo e gramíneo-lenhoso.
Pastagem	Pastagem e mosaico agricultura e pastagem	Uso agropecuário da terra, não sendo possível distinguir entre pastagem e agricultura, por análise visual (SOUZA et al., 2020).
Áreas urbanizadas	Área urbanizada e outras áreas não vegetadas	Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura, ou mineração não mapeadas em suas respectivas classes.
Águas continentais	Rios, lagos e oceanos	Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.
Culturas temporárias	Outras lavouras temporárias, cana, soja, arroz, algodão	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir.
Culturas permanentes	Outras lavouras perenes e café	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de ciclo vegetativo longo (mais de um ano), que permitem colheitas sucessivas, sem necessidade de novo plantio.

Fonte: Classificação IBGE (2013) e Mapbiomas coleções 7 e 1.
Elaboração: Autor, 2024.

A Estatística Zonal (EZ) de cada ano e classes foi realizada utilizando o *software* QGIS através da ferramenta de processamento chamada “estatística zonal”, onde selecionamos a camada *raster* com os dados de TS da APA de Ituparanga e a cama vetorial manipulada anteriormente, contendo a descrição das classes de UCT com a área ocupada por cada uma delas. A partir desse processo, é determinado quais os valores serão obtidos após o processamento, nesse caso foram: as mínimas, máximas e médias de temperatura superficial em graus Celsius (ºC), o desvio padrão e a porcentagem de ocupação de cada classe. Ao final, obtém-se uma nova camada vetorial com essas informações contidas em sua tabela de atributos.

4.2.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os resultados referentes à TS e as áreas das classes UCT foram inicialmente submetidos à análise estatística descritiva, que englobou a avaliação dos valores mínimos, máximos, médios ($\bar{x}$), desvios padrão (DP), amplitudes e coeficientes de variação (CV%). Em seguida, para garantir uma comparação justa entre as variáveis, estas foram padronizadas em relação à média e ao desvio padrão, eliminando possíveis distorções decorrentes de escalas diferentes, onde Z representa a variável padronizada, xi é a variável a ser padronizada, X é o valor médio e σ é o desvio padrão (Equação 6).

$$z = \frac{xi - X}{\sigma} \tag{6}$$

Sendo:

$z =$ variável padronizada;

$xi =$ variável a ser padronizada;

$X =$ valor médio;

$\sigma =$ desvio padrão.

Após a normalização dos dados, foi conduzido o teste de correlação linear de Pearson (r) no software *PAST 4.09*, considerando apenas as variáveis de TS e área de UCT com intervalo de confiança igual ou superior a 95% ($p \leq 0,05$) para cada período avaliado. Para o estudo, foram adotados os valores médios de TS de cada ano considerando o período mais seco e sem nuvens. A significância da correlação foi verificada por meio do Teste T Bicaudal (Equação 7).

$$t = r\sqrt{\left(\frac{n-2}{1-r^2}\right)} \tag{7}$$

Sendo:

$t =$ teste-t bicaudal;

$n - 2$ = grau de liberdade;

r = coeficiente da correlação de Pearson;

r^2 = coeficiente de determinação.

Ainda no software PAST 4.09, foi elaborada uma tabela de correlação para cada um dos anos, utilizando a função de elipses para destacar os coeficientes de correlação. Essas elipses variam de tamanho de acordo com o grau de correlação, seguindo o método proposto por Schilling (1984).

Foi elaborado um gráfico de rede, cujo índice de similaridade utilizado foi o de correlação juntamente com o algoritmo *Bipartite Linear*, sendo uma ferramenta que permite entender como esses fatores interagem e quais têm mais influência em cada ano.

A análise multivariada foi conduzida por meio da aplicação da análise hierárquica de conglomerados (AHC), empregando medidas de distância para expressar as similaridades ou dissimilaridades entre as classes de UCT e a TS para cada ano.

As medidas de distância utilizadas na AHC foram calculadas por meio da distância euclidiana, na qual a distância entre duas observações i e j é a raiz quadrada da soma dos quadrados das diferenças entre os pares de observações i e j para todas as variáveis. Essa metodologia é descrita por Fávero et al. (2009) (Equação 8 e 9).

$$d_{ij=}\sqrt{\sum_{k=1}^{p}(Xik-Xjk)^2} \tag{8}$$

$$d_{ij=}\sqrt{(Xi1-Xj1)^2+(Xi2-Xj2)^2+\ldots+(Xip-Xjp)^2} \tag{9}$$

Sendo:

Xik = valor de k em relação a observação i;

Xjk = representação de k para a observação j.

O algoritmo adotado foi o método de médias não ponderadas de pares de grupos, conhecido como *Unweighted Pair-Group Methods with Arithmetic Average* (UPGMA), no qual os dendrogramas (*clusters*) são combinados com base na distância média entre todos os membros dos dois grupos (i e j) e (k), representada pela Equação 10.

$$d_{(ij)k=média\,\{d_{ik,}d_{ik,}\}} \tag{10}$$

Assim, esta metodologia parte da premissa de que quanto mais reduzida for a distância, mais similares serão os valores de TS e as classes de UCT para tais pontos. Os dados organizados conforme o agrupamento estratigraficamente limitado, permitindo a união apenas de linhas ou grupos de linhas adjacentes durante o procedimento de agrupamento aglomerativo, resultando na geração de um dendrograma.

4.2.4. ILHAS DE CALOR

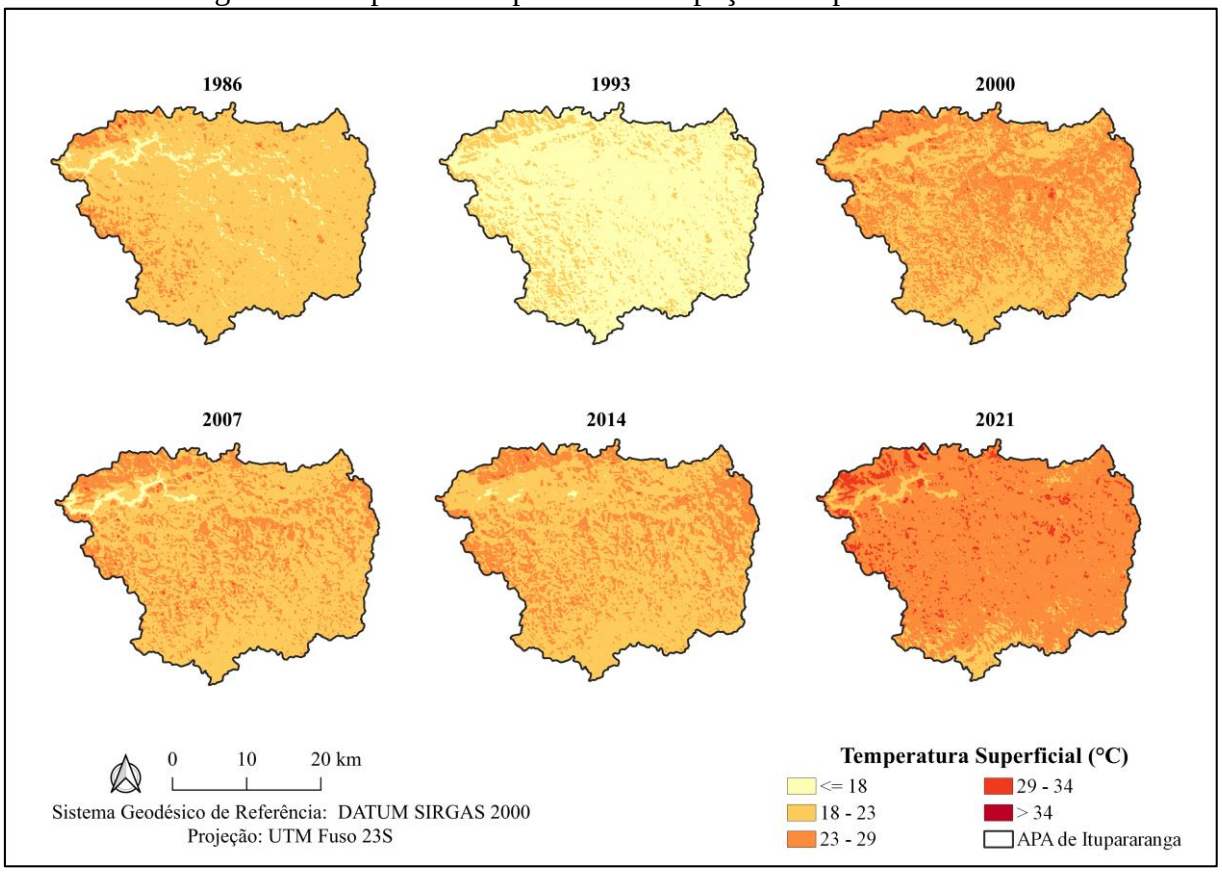
O procedimento adotado para identificar as áreas definidas como ilhas de calor IC neste estudo fundamenta-se na utilização da média da TS de cada imagem do período analisado. Utilizou-se esse valor como ponto de referência, empregando a ferramenta "calculadora *raster*" disponível no *software* QGIS. Essa técnica de subtração permite examinar as imagens de temperatura de cada ano, destacando os locais onde os valores são superiores à média anual. Esses pontos, indicativos de ilhas de calor, buscam identificar elevações significativas da temperatura superficial em relação à média verificada para cada ano das imagens estudadas.

Posteriormente, foram calculadas as áreas desses pontos, permitindo uma análise mais aprofundada sobre eventuais aumentos ao longo do período estudado. Realizou-se a conversão da imagem *raster* para um arquivo vetorial de pontos através da ferramenta de processamento do QGIS, e multiplicamos os pontos do arquivo vetorial com valores acima de 0 (zero) por 900, considerando que o pixel das imagens possui 30 m x 30 m, obtendo assim a área em m^2, a qual foi convertida posteriormente para km^2.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

É possível observar, conforme a Figura 3, que a TS da área variou bastante no período estudado, principalmente nos anos 1993, 2000 e 2021. Em 1993 tivemos as menores temperaturas registradas na área quando comparado aos outros anos, pois o país passava pelo fenômeno do El Niño, que causou impactos significativos no clima, principalmente nas regiões sul e sudeste do Brasil, como chuvas intensas, enchentes e deslizamentos de terra em diversas regiões, além de secas extremas na região nordeste (CAVALCANTI, 1996).

Figura 3: Temperatura superficial do espaço e tempo estudados.



Fonte: Dados obtidos com o USGS, 2023.
Elaboração: Autor, 2024.

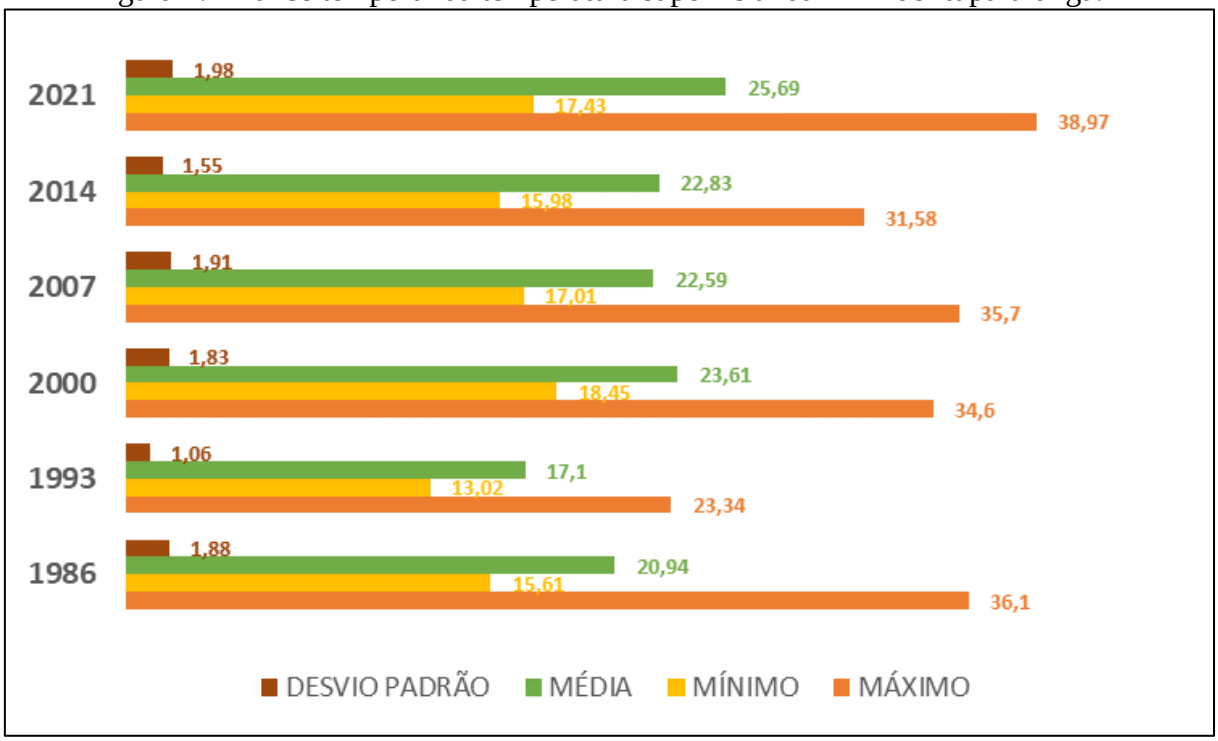
O aumento de temperatura expressivo no ano de 2021 pode ser atribuído a diversos fatores que são consequências de ações antrópicas (SALES, SALES, MENDONÇA, 2022), essas atividades incluem a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento, a agricultura intensiva e outras práticas, ocasionando eventos climáticos de ondas de calor, secas e incêndios florestais, temporais e enchentes. Além disso, o registro de temperaturas recordes em diversas cidades e o aumento da temperatura média global, conforme observado por instituições como

o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), são indicadores claros do acelerado processo de ebulição global (ROJAS, 2024).

Segundo o último relatório divulgado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (2023), a temperatura média global da superfície durante os primeiros vinte anos do século XXI foi 0,99 ºC mais alta do que no período entre 1850 e 1900, chegando a atingir 1,1 ºC. Além disso, o aumento da temperatura global desde 1970 tem sido mais rápido do que em qualquer outro período de cinquenta anos nos últimos dois milênios, dados que condizem com a variação observada na área de estudo. Estima-se que a influência humana tenha contribuído significativamente para essa ebulição global, com os gases de efeito estufa sendo responsáveis por grande parte do aquecimento observado.

Na Figura 4 é possível observar a análise temporal da temperatura superficial da APA de Itupararanga.

Figura 4: Análise temporal da temperatura superficial da APA de Itupararanga.



Fonte: Dados obtidos com o USGS (2023), calculados no *software* QGIS na versão 3.28.11.
Elaboração: Autor, 2024.

Em geral, os anos mais recentes, tendem a apresentar temperaturas mais altas, tanto em relação aos valores máximos quanto aos mínimos e à média. Além disso, o desvio padrão também tende a ser maior nos anos mais recentes, indicando uma maior variabilidade nas temperaturas ao longo desses anos. Isso sugere um aumento da variabilidade climática ao longo do tempo, conforme os dados da Tabela 5 e Figura 4.

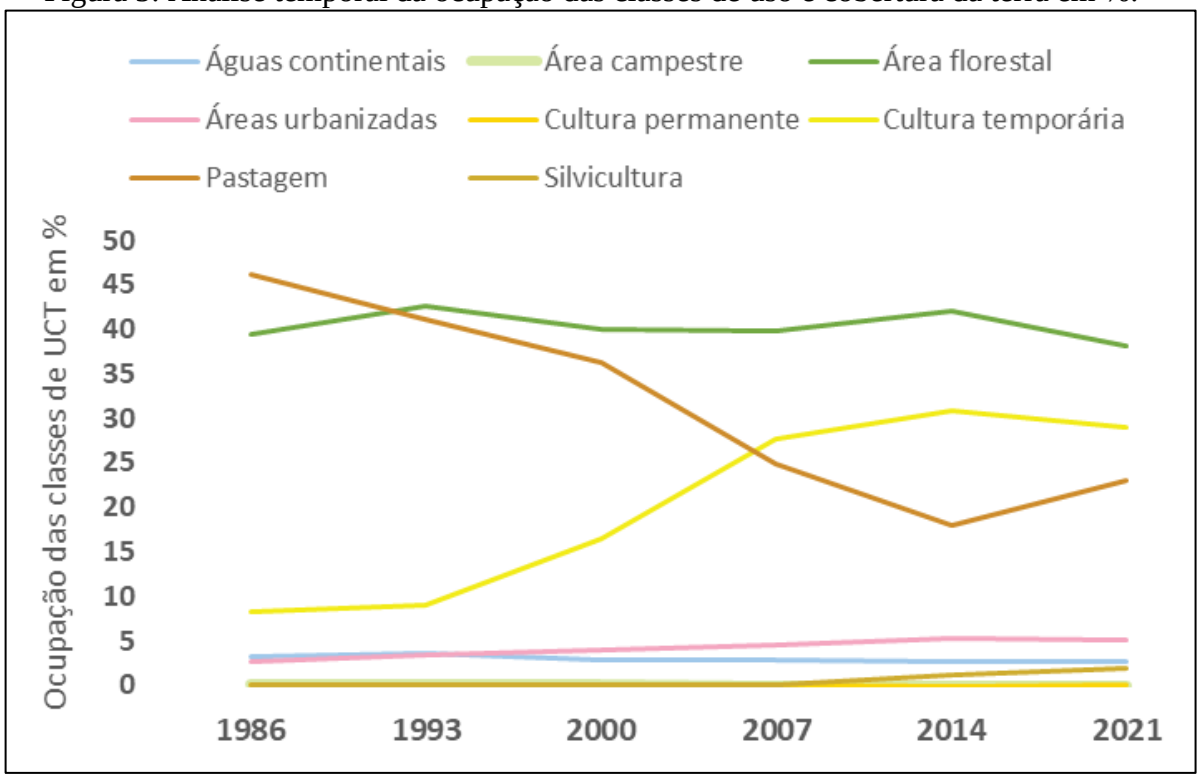
Tabela 5: Dados de temperatura superficial em ºC do espaço e tempo estudados.

ANO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
1986	36,10	15,61	20,94	1,88
1993	23,34	13,02	17,10	1,06
2000	34,60	18,45	23,61	1,83
2007	35,70	17,01	22,59	1,91
2014	31,58	15,98	22,83	1,55
2021	38,97	17,43	25,69	1,98

Fonte: Dados obtidos com o USGS (2023), calculados no *software* QGIS na versão 3.28.11.
Elaboração: Autor, 2024.

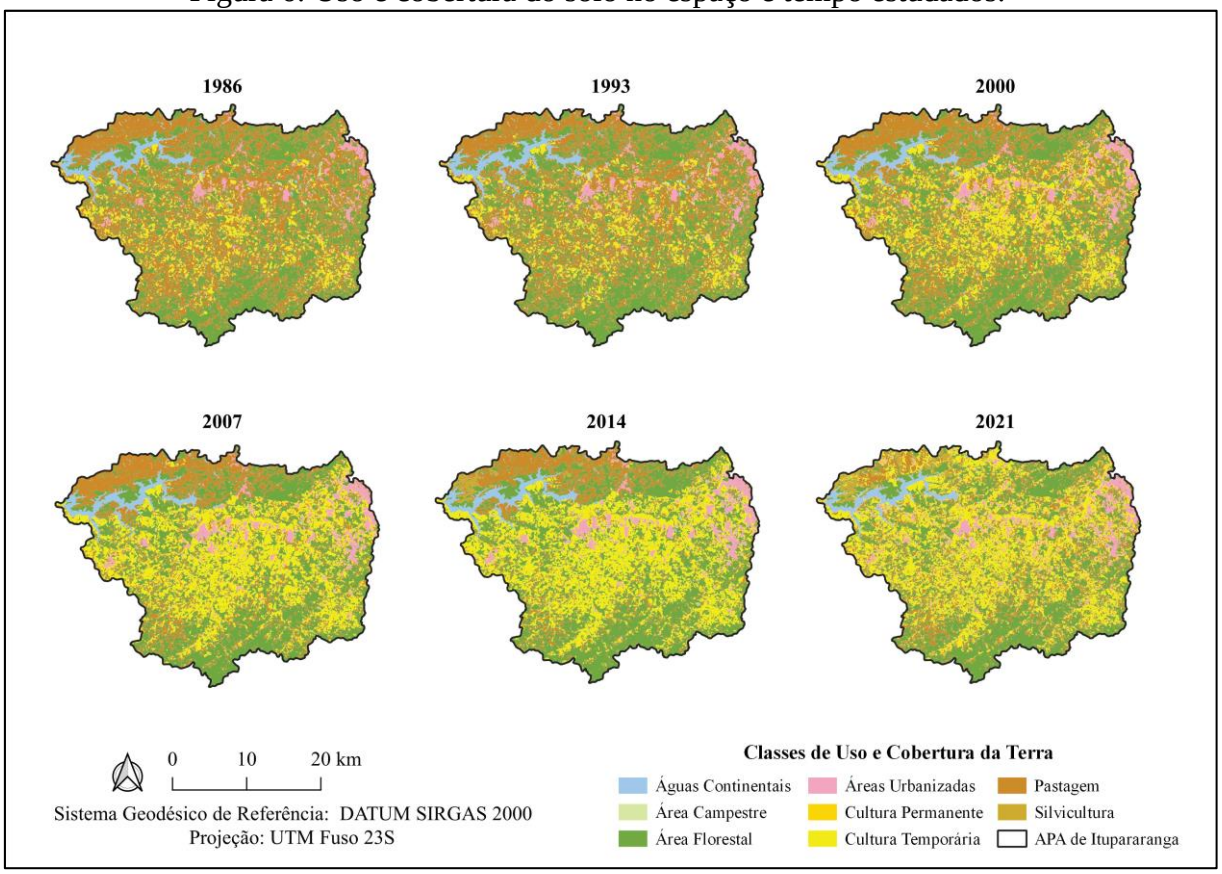
Na análise dos dados de área ocupada por cada classe de UCT ao longo dos anos (Figura 5, observou-se uma tendência de diminuição nas áreas de águas continentais, área campestre e pastagem enquanto houve um aumento nas áreas urbanizadas, silvicultura e de culturas temporárias. Destaca-se também a estabilidade nas áreas de florestas e culturas permanentes ao longo do período analisado. É possível observar uma conversão de áreas naturais para usos urbanos e agrícolas na Figura 6.

Figura 5: Análise temporal da ocupação das classes de uso e cobertura da terra em %.



Fonte: Dados obtidos com o Mapbiomas, 2024.
Elaboração: Autor, 2024.

Figura 6: Uso e cobertura do solo no espaço e tempo estudados.



Fonte: Dados obtidos com o Mapbiomas, 2024.
Elaboração: Autor, 2024.

A área ocupada por águas continentais mostra uma tendência de diminuição ao longo dos anos, indicando possíveis processos de redução de corpos d'água. A área campestre também apresenta uma diminuição, embora em uma escala menor. As florestas mostram flutuações ao longo dos anos, mas sem uma tendência clara de aumento ou diminuição, dado importante visto que desempenham um papel fundamental na regulação do clima, conservação da biodiversidade e fornecimento de serviços ecossistêmicos essenciais. As áreas urbanizadas apresentam um aumento contínuo ao longo dos anos, refletindo o processo de urbanização e expansão das áreas urbanas.

A área ocupada por culturas permanentes é mínima ao longo de toda a série temporal, indicando uma baixa prevalência desse tipo de uso do solo na região. As culturas temporárias mostram um aumento significativo nos primeiros anos da série, seguido por uma estabilização e, posteriormente, uma leve redução. Essas áreas são frequentemente destinadas à produção agrícola sazonal, como o cultivo de grãos. A pastagem apresenta uma diminuição significativa ao longo dos anos, indicando uma possível conversão para outros usos do solo ou mudanças

nas práticas de manejo. A silvicultura mostra flutuações ao longo dos anos, com um aumento gradual nos últimos anos.

Na Tabela 6 são apresentadas as áreas em Km² e porcentagem de ocupação das classes de uso e cobertura da terra no espaço e tempo.

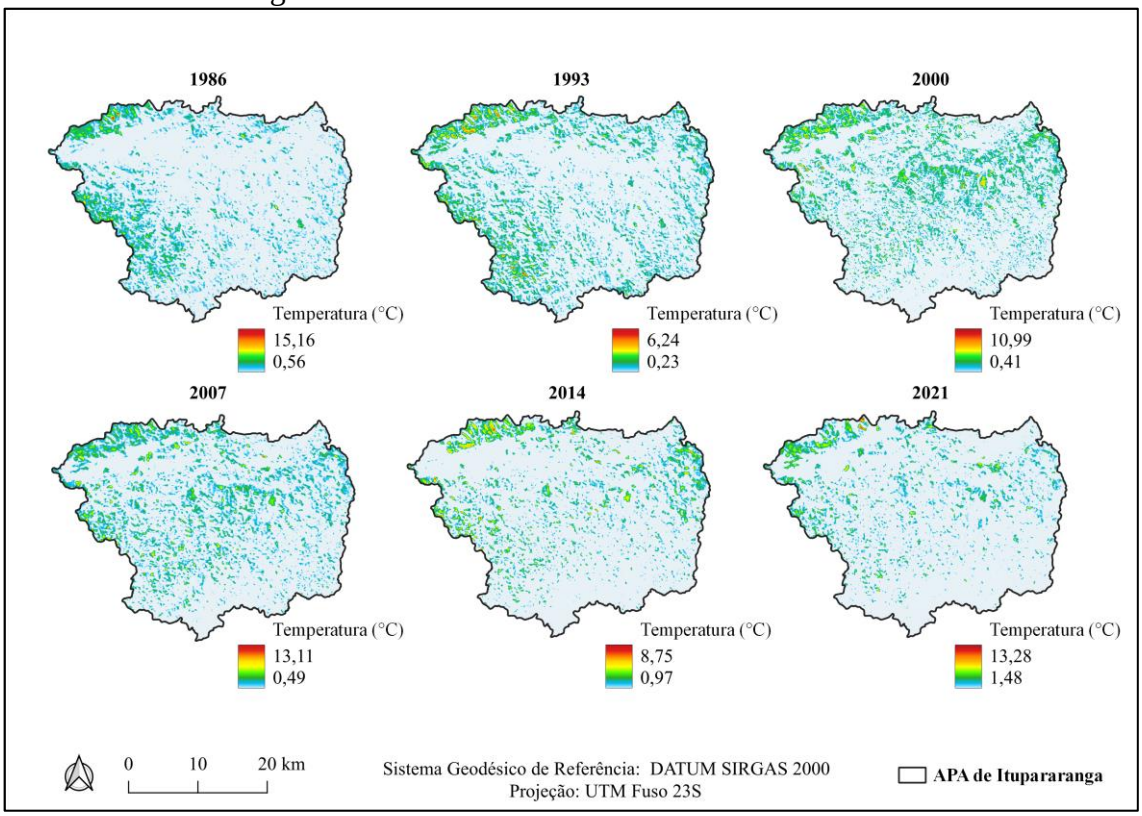
Tabela 6: Área em km² e porcentagem de ocupação das classes de uso e cobertura da terra no espaço e tempo estudados.

CLASSES	1986	1993	2000	2007	2014	2021
Águas continentais	30,21	33,39	27,30	27,22	25,63	24,48
	3,22%	3,56%	2,91%	2,90%	2,73%	2,60%
Área campestre	2,22	1,65	0,71	0,21	0,11	0,06
	0,23%	0,17%	0,07%	0,02%	0,01%	0,006%
Área florestal	370,15	399,10	375,70	374,33	394,94	358,35
	39,45%	42,54%	40,04%	39,90%	42,09%	38,19%
Áreas urbanizadas	24,39	31,73	37,49	42,93	49,33	47,80
	2,59%	3,38%	3,99%	4,57%	5,25%	5,09%
Cultura permanente	0,08	0,04	0,05	0,01	0,00	0,03
	0,009%	0,005%	0,006%	0,001%	0,000%	0,003%
Cultura temporária	77,36	84,66	154,92	259,20	289,07	272,77
	8,24%	9,02%	16,51%	27,62%	30,81%	29,07%
Pastagem	432,83	386,66	340,97	233,38	168,01	216,08
	46,13%	41,21%	36,34%	24,87%	17,90%	23,03%
Silvicultura	0,89	0,86	0,96	0,83	11,04	18,54
	0,09%	0,09%	0,10%	0,08%	1,17%	1,97%

Fonte: Dados obtidos com o Mapbiomas, 2024.
Elaboração: Autor, 2024.

Para a identificação das áreas denominadas aqui como ilhas de calor, foram consideradas a diferença de temperaturas que ultrapassaram a média das imagens como ilhas de calor, analisando a relação com cada UCT, destacando as classes com as maiores temperaturas e as variações que ocorrem ao longo do tempo (Figura 7). As áreas urbanizadas variam de 3,59°C a 10,99°C, em 2000, atingiram sua temperatura mais alta neste período, antes de diminuir nos anos seguintes. A pastagem tende a registrar temperaturas mais altas, enquanto as áreas florestais e as águas continentais geralmente têm temperaturas mais baixas.

Figura 7: Áreas consideradas como ilhas de calor.



Fonte: Dados obtidos no USGS (2023) e Mapbiomas (2024), calculados no *software* QGIS na versão 3.28.11.
Elaboração: Autor, 2024.

Analisando os dados, verifica-se que a pastagem apresenta consistentemente as temperaturas mais altas ao longo dos anos, com valores acima de 10°C em todos os anos. A cultura temporária também registra temperaturas consideravelmente altas, especialmente em 1993, 2007, 2014 e 2021, com valores superiores a 10°C em cada um desses anos, e a classe de áreas urbanizadas apresenta temperaturas elevadas, principalmente em 2000 e 2007, com valores próximos ou acima de 10°C (Tabela 7).

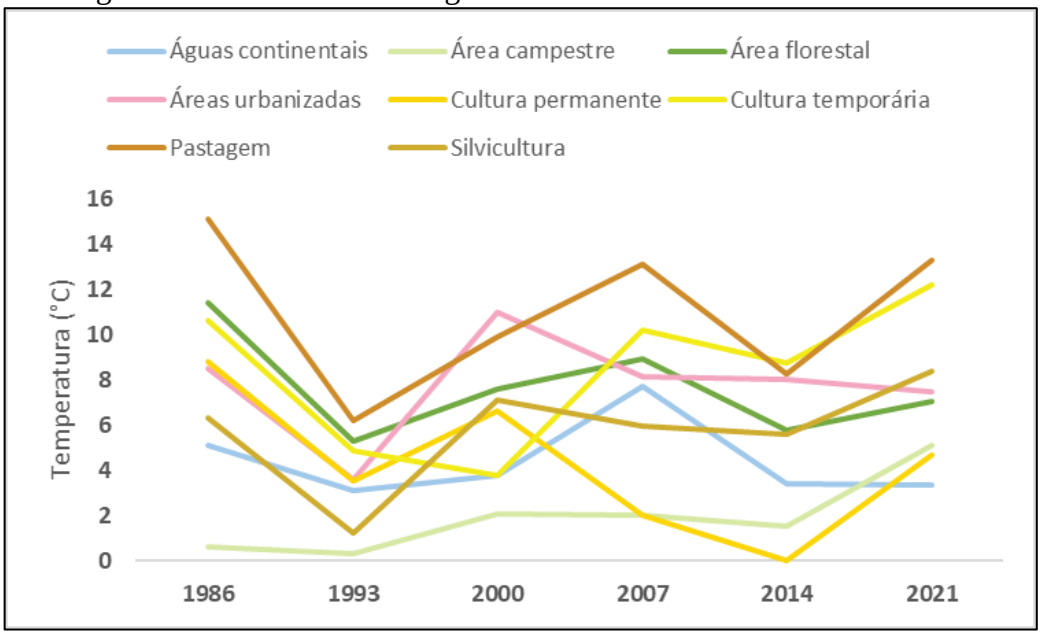
Tabela 7: Valores médios de temperatura superficial acima da média anual em ºC.

CLASSES	1986	1993	2000	2007	2014	2021
Águas continentais	5,10	3,15	3,78	7,72	3,40	3,35
Área campestre	0,65	0,32	2,08	2,00	1,56	5,10
Área florestal	11,44	5,33	7,62	8,95	5,78	7,08
Áreas urbanizadas	8,51	3,59	10,99	8,14	8,06	7,47
Cultura permanente	8,82	3,53	6,61	2,04	0,00	4,67
Cultura temporária	10,61	4,90	3,78	10,22	8,75	12,23
Pastagem	15,15	6,23	9,89	13,11	8,25	13,28
Silvicultura	6,33	1,27	7,15	6,00	5,60	8,42

Fonte: Dados obtidos com o USGS (2023) e Mapbiomas (2024).
Elaboração: Autor, 2024.

Observa-se uma redução significativa nas temperaturas de culturas permanentes em 2007 e 2014, chegando a zero em 2014, porém com um pico em 2021, enquanto a cultura temporária apresenta flutuações ao longo dos anos, também com um pico notável em 2014 e 2021. As classes de área campestre e silvicultura apresentam um aumento acentuado em 2021 e as classes de águas continentais e florestal mantém uma relativa estabilidade, mas sem grandes variações (Figura 8).

Figura 8: Área em km² das regiões consideradas como ilhas de calor.



Fonte: Dados obtidos com o USGS (2023) e Mapbiomas (2024), calculados no *software* QGIS na versão 3.28.11.
Elaboração: Autor, 2024.

Quando estimada a área em que obteve-se TS acima da média anual, consideradas aqui como ilhas de calor, observamos que houve uma variação ao longo do período de estudo, diminuindo de 45,953 km² em 1986 para 42,878 km² em 2021, conforme a Tabela 8.

Tabela 8: Área em km² das regiões consideradas como ilhas de calor.

ANO	ÁREA (km²)
1986	45,953
1993	44,208
2000	42,208
2007	41,670
2014	42,548
2021	42,878

Fonte: Dados obtidos com o USGS (2023) e Mapbiomas (2024), calculados no *software* QGIS na versão 3.28.11.
Elaboração: Autor, 2024.

A redução na extensão dos locais afetados pode ser significativa em relação à área total da região de estudo, que abrange 936,51 km². Em 1986, a parcela dos locais com temperaturas acima da média anual representava aproximadamente 4,91% da extensão total da área investigada, enquanto em 2021, essa proporção diminuiu para cerca de 4,58%. Porém, o menor valor encontrado foi em 2007 e desde então houve novamente um aumento registrado em 2014 e 2021. Houve uma redução na extensão das áreas com temperaturas elevadas ao longo do tempo, indicando possíveis mudanças nos padrões climáticos e de uso da terra. Essa diminuição sugere uma resposta dinâmica das paisagens locais às mudanças climáticas, porém nos últimos períodos houve novamente um aumento, que pode apontar uma nova tendência.

Os dados de estatística zonal das ilhas de calor, com base no zoneamento estabelecido pelo Plano de Manejo da APA de Itupararanga, demonstram como as diferentes zonas estão sendo afetadas pelo aumento da temperatura ao longo dos anos. (Tabela 9).

Tabela 9: Dados de temperatura em ºC das ilhas de calor de cada zona da APA.

ANO	VALOR	ZCRH	ZCB	ZOD	ZOR	ZOC
1986	Média	0,75	0,64	0,41	0,95	0,64
	Máxima	10,61	9,34	11,44	15,15	12,69
	Desvio Padrão	1,25	0,99	0,78	1,48	1,16
1993	Média	0,41	0,46	0,34	0,46	0,43
	Máxima	6,23	5,80	4,49	5,78	5,35
	Desvio Padrão	0,64	0,64	0,52	0,74	0,61
2000	Média	0,66	0,20	0,83	0,92	2,22
	Máxima	9,89	7,72	8,47	9,88	10,99
	Desvio Padrão	1,16	0,62	1,14	1,32	1,46
2007	Média	0,73	0,27	0,71	0,99	1,77
	Máxima	13,11	7,68	7,72	10,20	7,31
	Desvio Padrão	1,20	0,73	0,99	1,35	1,25
2014	Média	0,55	0,16	0,92	0,73	1,50
	Máxima	8,75	5,12	7,09	8,04	8,06
	Desvio Padrão	0,96	0,49	1,02	1,12	1,21
2021	Média	0,76	0,17	0,86	0,97	1,58
	Máxima	12,65	7,53	7,53	13,28	7,27
	Desvio Padrão	1,25	0,61	1,10	1,44	1,14

Fonte: Dados obtidos com o USGS (2023) e Mapbiomas (2024), calculados no *software* QGIS na versão 3.28.11.
Elaboração: Autor, 2024.
Legenda: ZCRH = Zona de Conservação de Recursos Hídricos; ZCB = Zona de Conservação da Biodiversidade; ZOD = Zona de Ocupação Diversificada; ZOR = Zona de Ocupação Rural; ZOC = Zona de Ocupação Consolidada.

A Zona de Ocupação Rural (ZOR) se destaca pela tendência a apresentar médias mais elevadas ao longo dos anos, indicando uma maior exposição aos extremos de calor na região. Esta zona também registra os valores máximos mais altos, refletindo sua vulnerabilidade aos picos de temperatura. Além disso, o desvio padrão nesta área é significativamente alto, apontando para uma variabilidade considerável nas condições climáticas ao longo do tempo.

Em contrapartida, a Zona de Ocupação Diversificada (ZOD) mostra uma média de temperatura mais baixa e valores máximos moderados, sugerindo uma menor susceptibilidade aos extremos de calor. O desvio padrão é um dos menores entre as zonas analisadas, indicando uma estabilidade climática relativamente consistente.

A Zona de Conservação dos Recursos Hídricos (ZCRH) revela variações significativas em suas médias de temperatura, destacando a sensibilidade climática dos recursos hídricos na região. Os valores máximos de temperatura nesta zona influenciam diretamente a evaporação e a qualidade da água, fatores críticos para a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos. A estabilidade climática, medida pelo desvio padrão, é moderada, requerendo uma gestão cuidadosa para preservar a integridade dos recursos hídricos.

A Zona de Conservação da Biodiversidade (ZCB) exibe uma média de temperatura que influencia diretamente a distribuição e o comportamento das espécies locais. Embora os dados estejam indicando uma estabilidade climática relativamente estável, a área possui desafios, que podem impactar negativamente ecossistemas sensíveis. A gestão adaptativa é essencial neste caso, focando em medidas que visam a conservação de habitats e a promoção da resiliência biológica diante das mudanças climáticas.

Por sua vez, a Zona de Ocupação Consolidada (ZOC) mostra um aumento significativo na média de temperatura desde os anos 2000, indicando uma maior urbanização e intensificação das atividades humanas nessa área. Isso sugere uma crescente exposição ao calor urbano e à formação de ilhas de calor, o que pode ter impactos significativos. Essas análises ressaltam a importância de uma abordagem integrada e adaptativa para o manejo das diferentes zonas da área, visando mitigar os impactos das mudanças climáticas e promover a sustentabilidade ambiental na região.

Com relação aos dados da média de TS para cada classe de UCT é possível observar um aumento da temperatura ao longo do tempo em todas as suas classes. Isso sugere um aquecimento geral da região ao longo das décadas estudadas, conforme a Tabela 10 e Figura 9. O aumento das TS nessas áreas está associado ao efeito de ilha de calor, resultante da crescente impermeabilização e atividades humanas, elevando a demanda por energia para resfriamento, poluição do ar e a diminuição da qualidade de vida, além da expressiva expansão da agricultura

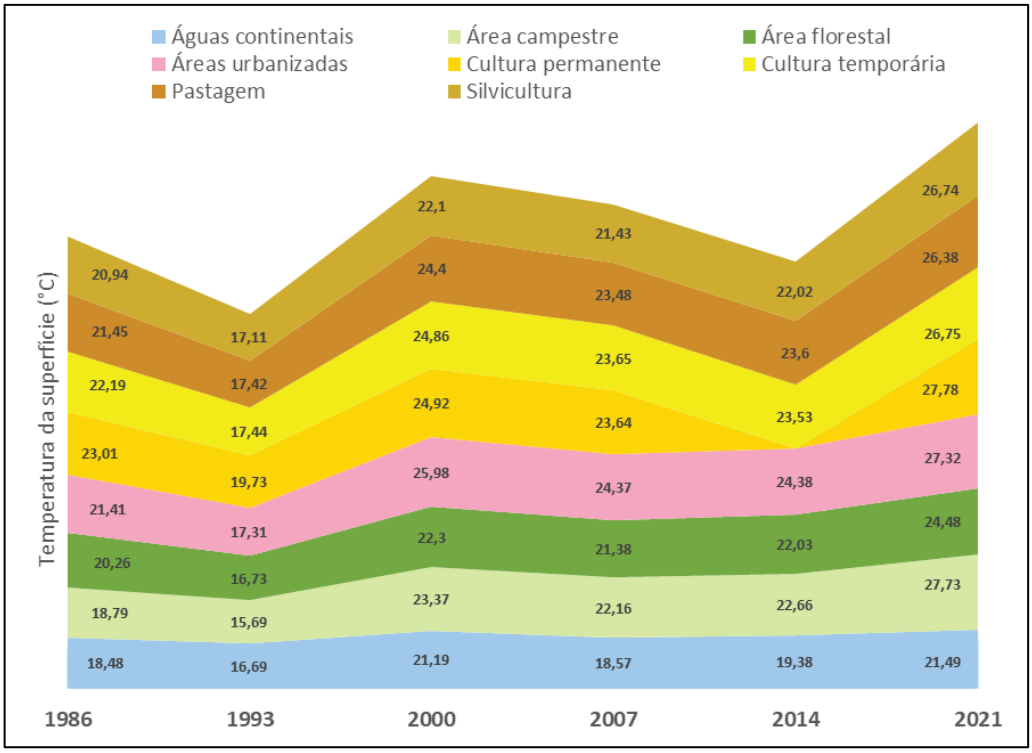
e desmatamento resultando em perda de habitat, fragmentação de ecossistemas, aumento da erosão do solo e redução da disponibilidade de água devido à maior demanda hídrica (TEIXEIRA, AMORIM, 2022).

Tabela 10: Temperatura superficial média em Cº das classes de uso e cobertura da terra.

CLASSES	1986	1993	2000	2007	2014	2021
Águas continentais	18,48	16,69	21,19	18,57	19,38	21,49
Área campestre	18,79	15,69	23,37	22,16	22,66	27,73
Área florestal	20,26	16,73	22,30	21,38	22,03	24,48
Áreas urbanizadas	21,41	17,31	25,98	24,37	24,38	27,32
Cultura permanente	23,01	19,73	24,92	23,64	0,00	27,78
Cultura temporária	22,19	17,44	24,86	23,65	23,53	26,75
Pastagem	21,45	17,42	24,40	23,48	23,60	26,38
Silvicultura	20,94	17,11	22,10	21,43	22,02	26,74

Fonte: Dados obtidos com o USGS (2023) e Mapbiomas, (2024).
Elaboração: Autor, 2024.

Figura 9: Análise temporal da temperatura superficial média em (°C) das classes de uso e cobertura da terra.



Fonte: Dados obtidos com o USGS (2023) e Mapbiomas, (2024).
Elaboração: Autor, 2024.

O aumento da temperatura em áreas urbanizadas pode ser atribuído ao efeito de IC (SALES; SALE; MENDONÇA, 2022), enquanto mudanças na temperatura em áreas de cultivo

refletem práticas agrícolas e mudanças no uso da terra ao longo do tempo. As classes de áreas urbanizadas e área campestre mostram uma tendência consistente de aumento da TS ao longo dos anos, especialmente acentuada após o ano 2000, seus valores de TS são altos em comparação com outras classes de UCT. A classe de águas continentais passa por uma certa variação ao longo dos anos, assim como a classe de área florestal.

As classes de cultura temporária e permanente apresentam uma variação considerável nos dados, com uma tendência geral de aumento da temperatura ao longo dos anos, assim como a classe de pastagem e silvicultura.

Desde 1986, o primeiro ano da série histórica estudada, observa-se que as classes UCT com temperaturas mais elevadas são as relacionadas a atividades humanas, como áreas urbanizadas e cultura temporária. Em 1993, a maioria das classes de uso e cobertura da terra apresenta uma redução nas temperaturas em relação a 1986 devido aos fenômenos climáticos ocorridos no ano, no entanto, as áreas urbanizadas, a cultura temporária continuam sendo as classes com temperaturas mais altas.

Em 2000, há um aumento significativo nas temperaturas, especialmente nas áreas urbanizadas e nas classes relacionadas à agricultura, seguindo a tendência dos anos anteriores. Em 2007, as temperaturas continuam a aumentar, novamente nas mesmas classes de forma expressiva. Em 2014, observa-se uma estabilização ou ligeira diminuição nas temperaturas, porém em 2021 há um aumento significativo nas temperaturas em todas as classes, com destaque para áreas campestres, áreas urbanizadas e culturas agrícolas.

Portanto, observando a tendência dos dados, as classes de UCT que mais contribuem para o aumento de temperatura na APA de Itupararanga ao longo do período analisado são as áreas urbanizadas, as culturas agrícolas, e as áreas campestres que têm sua extensão de área diminuindo, mesmo tendo características naturais. Essas classes estão diretamente relacionadas a atividades humanas e mudanças no UCT, que podem influenciar significativamente o microclima e as temperaturas locais, contribuindo para a formação das IC.

Esse aumento de áreas impermeáveis e de alterações no solo para o cultivo, são fatores importantes no aumento TS pois absorvem e retêm mais calor do que áreas naturais, como vegetação e solo não pavimentado (RAHMAN et al., 2022). Isso resulta em temperaturas mais altas nessas regiões em comparação com áreas circundantes não urbanizadas e de vegetação natural. As áreas urbanizadas absorvem calor durante o dia e liberam lentamente durante a noite no processo conhecido como armazenamento térmico.

A poluição por aerossóis e as variações do albedo da paisagem são influenciadas pelo uso excessivo da terra. Como resultado, a modificação no uso da terra é um dos principais

fatores que podem comprometer o equilíbrio do planeta. A transformação de áreas pantanosas em terras agrícolas resulta em taxas extremas de albedo, levando a uma significativa diminuição dos níveis de ar quente (RAHMAN et al., 2022).

A diminuição da classe como a de águas continentais e o aumento das classes, como as de áreas urbanizadas e culturas agrícolas, estão interligadas por vários fatores que afetam o ciclo hidrológico e o equilíbrio ambiental. O aumento dessas áreas, frequentemente resultam na impermeabilização do solo e ao uso intensivo da terra. Isso reduz a capacidade do solo de absorver a água da chuva, aumentando o escoamento superficial e reduzindo a infiltração no solo.

É necessário considerar outros fatores também decorrentes dessas mudanças como o aumento da poluição e contaminação dos corpos d'água devido ao escoamento de águas pluviais contaminadas, lançamento de resíduos, uso de fertilizantes e pesticidas, alterações nos cursos d'água, como retificação de rios, canalização de córregos e drenagem de áreas úmidas, que podem resultar na redução da área de águas continentais e na fragmentação dos habitats aquáticos, afetando a biodiversidade e a qualidade da água (CASATTI et al., 2006).

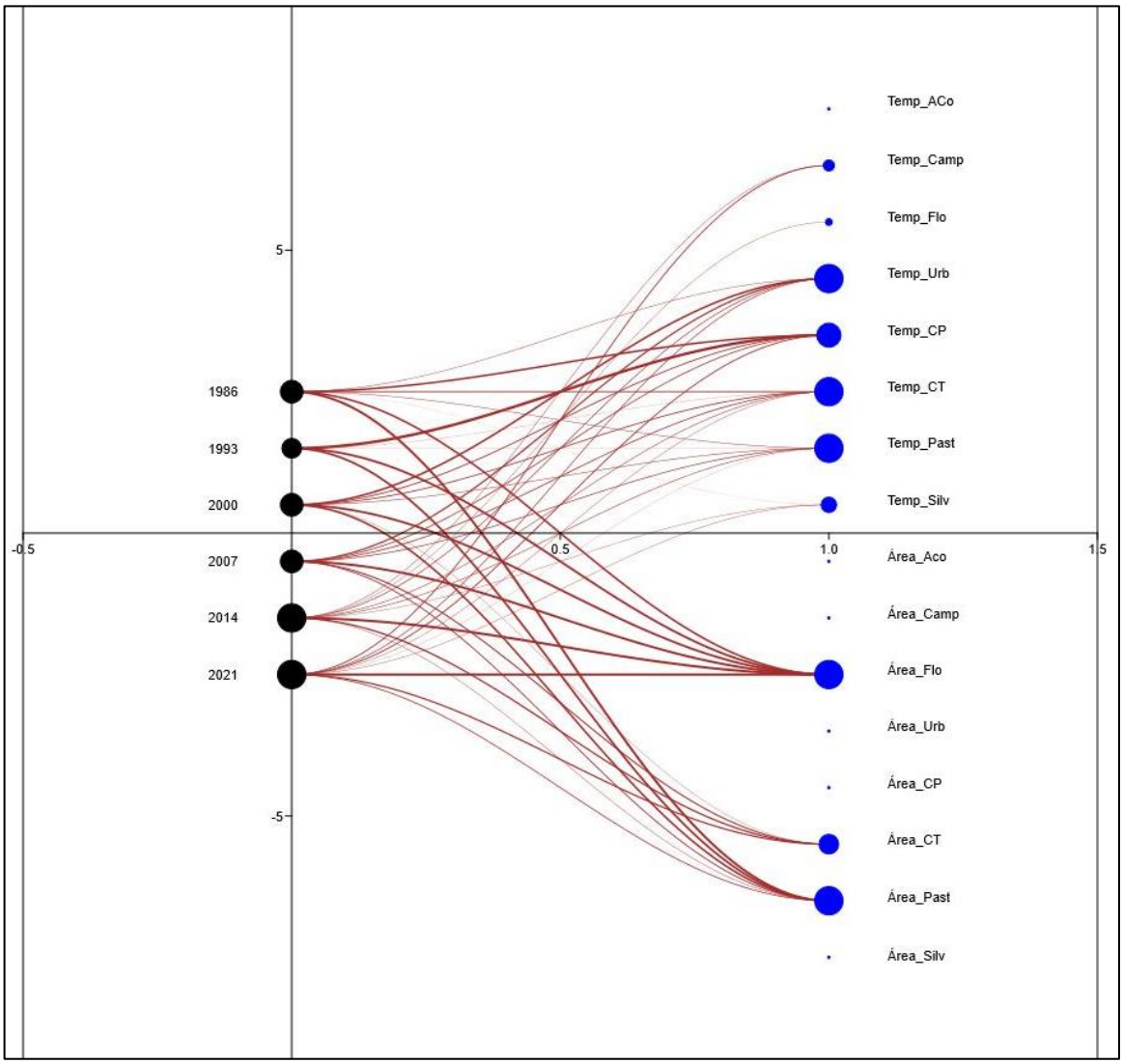
Além disso, há consequentemente um aumento da demanda por água para abastecimento humano, irrigação agrícola e outros usos diversos, influenciando na redução da disponibilidade de água e na manutenção desses ecossistemas aquáticos (ARAÚJO et al., 2014).

Os dados das ilhas de calor sugerem que áreas de pastagem e cultivo temporário registram consistentemente as maiores temperaturas acima da média anual e variações mais expressivas ao longo dos anos, devido às práticas agrícolas intensivas e à exposição direta do solo ao sol. Enquanto isso, áreas urbanizadas também exibem temperaturas elevadas, atribuídas ao fator de impermeabilização do solo e modificação da paisagem natural. Por outro lado, áreas como florestas e corpos d'água mantém temperaturas mais estáveis, devido à regulação natural do ambiente.

Houve uma diminuição na proporção da área dos locais afetados em relação à área total de 1986 a 2007 que pode indicar uma possível redução na extensão das áreas sujeitas a temperaturas elevadas ao longo do tempo. Isso pode ter implicações importantes para a biodiversidade, a produtividade agrícola e a resiliência dos ecossistemas locais frente às mudanças climáticas. Porém em 2014 e em 2021 ou valores voltaram a subir, portanto é essencial monitorar continuamente essas mudanças na distribuição e extensão das áreas com temperatura acima da média anual e entender como elas se relacionam com os padrões de uso da terra, as atividades humanas e os fenômenos climáticos regionais.

A partir das análises estatísticas empregadas, tais como o índice de correlação com o algoritmo *Bipartite Linear* (Figura 10), podemos observar que as variáveis que sofreram as maiores influências nos anos observados foram a Temperatura Urbana, Temperatura de Culturas Temporárias, Temperatura de Pastagem, Área Florestal, Área de Cultura Temporária, e Área de Pastagem.

Figura 10: Índice de correlação com o algoritmo *Bipartite Linear*.

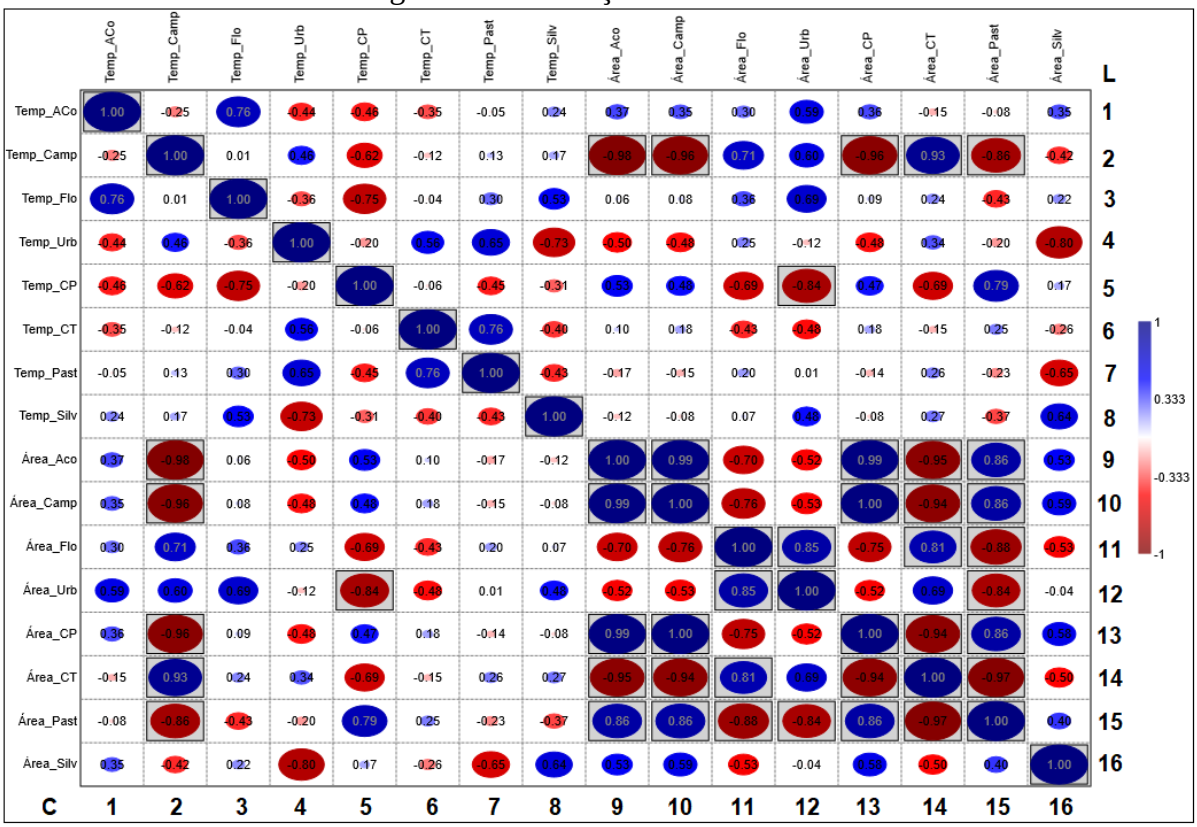


Fonte: Dados obtidos com o *software* PAST 4.09, 2024.
Elaboração: Autor, 2024.
Legenda: Temp_ACo = Temperatura de Águas Continentais; Temp_Camp = Temperatura Campestre; Temp_Flo = Temperatura de Floresta; = Temp_Urb = Temperatura Urbana; Temp_CP = Temperatura de Cultura Permanente; Temp_CT = Temperatura de Cultura Temporária; Temp_Past = Temperatura de Pastagem; Temp_Silv = Temperatura de Silvicultura; Área_Aco Área de Águas Continentais; Área_Camp = Área Campestre; Área_Flo = Área de Floresta; Área_Urb = Área Urbanizada; Área_CP = Área de Cultura Permanente; Área_CT = Área de Cultura Temporária; Área_Past = Área de Pastagem; Área_Silv = Área de Silvicultura.

Para a correlação dos dados, as variáveis selecionadas foram: a temperatura e a área de cada classe de UCT para todos os anos. O cálculo estatístico foi o de correlação Linear r

(*Pearson*) com significância de p <0,05. As correlações mais significativas tanto positivas quanto negativas estão nas caixas destacadas (Figura 11).

Figura 11: Correlação das variáveis.



Fonte: Dados obtidos com o *software* PAST 4.09, 2024.
Elaboração: Autor, 2024.

Legenda: Temp_ACo = Temperatura de Águas Continentais; Temp_Camp = Temperatura Campestre; Temp_Flo = Temperatura de Floresta; = Temp_Urb = Temperatura Urbana; Temp_CP = Temperatura de Cultura Permanente; Temp_CT = Temperatura de Cultura Temporária; Temp_Past = Temperatura de Pastagem; Temp_Silv = Temperatura de Silvicultura; Área_Aco Área de Águas Continentais; Área_Camp = Área Campestre; Área_Flo = Área de Floresta; Área_Urb = Área Urbanizada; Área_CP = Área de Cultura Permanente; Área_CT = Área de Cultura Temporária; Área_Past = Área de Pastagem; Área_Silv = Área de Silvicultura. L = Linhas. C = Colunas.

Tabela 11: Correlações entre as variáveis.

CORRELAÇÕES	LINHAS (L)	COLUNAS (C)	VALOR (r)
Positiva	2 – Temperatura Campestre	14 – Área de Cultura Temporária	0,93
	9 – Área de Águas Continentais	10 – Área Campestre	0,99
	9 – Área de Águas Continentais	13 – Área de Cultura Permanente	0,99
	9 – Área de Águas Continentais	15 – Área de Pastagem	0,86
	10 – Área Campestre	9 – Área de Águas Continentais	0,99
	10 – Área Campestre	13 – Área de Cultura Permanente	1,00
	10 – Área Campestre	15 – Área de Pastagem	0,86
	11 – Área Florestal	12 – Área Urbanizada	0,86

CORRELAÇÕES	LINHAS (L)	COLUNAS (C)	VALOR (r)
	11 – Área Florestal	14 – Área de Cultura Temporária	0,81
	12 – Área Urbanizada	11 – Área Florestal	0,85
	13 – Área de Cultura Permanente	9 – Área de Águas Continentais	0,99
	13 – Área de Cultura Permanente	10 – Área Campestre	1,00
	13 – Área de Cultura Permanente	15 – Área de Pastagem	0,86
	14 – Área de Cultura Temporária	11 – Área Florestal	0,81
	14 – Área de Cultura Temporária	2 – Temperatura Campestre	0,93
	15 – Área de Pastagem	9 – Área de Águas Continentais	0,86
	15 – Área de Pastagem	10 – Área Campestre	0,86
	15 – Área de Pastagem	13 – Área de Cultura Permanente	0,86
Negativa	2 – Temperatura Campestre	9 – Área de Águas Continentais	-0,98
	2 – Temperatura Campestre	10 – Área Campestre	-0,96
	2 – Temperatura Campestre	13 – Área de Cultura Permanente	-0,96
	2 – Temperatura Campestre	15 – Área de Pastagem	-0,86
	5 – Temperatura Cultura Permanente	12 – Área Urbanizada	-0,84
	9 – Área de Águas Continentais	2 – Temperatura Campestre	-0,98
	9 – Área de Águas Continentais	14 – Área de Cultura Temporária	-0,95
	10 – Área Campestre	2 – Temperatura Campestre	-0,96
	10 – Área Campestre	14 – Área de Cultura Temporária	-0,94
	11- Área Florestal	15 – Área de Pastagem	-0,88
	12- Área Urbanizada	5 – Temperatura de Cultura Temporária	-0,84
	12- Área Urbanizada	15 – Área de Pastagem	-0,84
	13 – Área de Cultura Permanente	2 – Temperatura Campestre	-0,96
	13 – Área de Cultura Permanente	14 – Área de Cultura Temporária	-0,94
	14 – Área de Cultura Temporária	9 – Área de Águas Continentais	-0,95
	14 – Área de Cultura Temporária	10 – Área Campestre	-0,94
	14 – Área de Cultura Temporária	13 – Área de Cultura Permanente	-0,94
	14 – Área de Cultura Temporária	15 – Área de Pastagem	-0,97
	15 – Área de Pastagem	2 – Temperatura Campestre	-0,86
	15 – Área de Pastagem	11 – Área Florestal	-0,88
	15 – Área de Pastagem	12 – Área Urbanizada	-0,84
	15 – Área de Pastagem	15 – Área de Pastagem	-0,97

Fonte: Dados obtidos com o *software* PAST 4.09, 2024.
Elaboração: Autor, 2024.

Na linha (L) 2 e coluna (C) 14 é possível observar a única correlação positiva (r = 0,93) influenciada pela área e temperatura, representada pelas variáveis Temperatura Campestre e Área de Cultura Temporária, demonstrando que há uma relação direta relacionada ao aumento da temperatura das áreas campestres à medida que esses locais são substituídos por outros usos, tal como a agricultura, tendo em vista que a APA Itupararanga, de acordo com Silva et al., (2020), possui uma forte vocação agrícola. A forte correlação positiva evidenciada na L9 (Área de Águas Continentais) e C10 (Área Campestre), com r = 0,99, é um indicativo da importância dessas áreas alagadas, e com vegetação característica, para a manutenção dos recursos hídricos e da biodiversidade desses ecossistemas de transição aquático/terrestre. Ainda, a correlação evidenciada na L9 com a C13 (Área de Cultura Permanente), também com r igual a 0,99, infere que esse respectivo uso não impactou diretamente na redução dos corpos d'água da APA de Itupararanga, ou seja, essa redução se deve a outros fatores.

Na correlação respectiva à Área Campestre (L10) e C13 (Área de Cultura Permanente) é possível observar uma correlação linear (r = 1,00), inferindo que a Área Campestre está diminuindo na mesma proporção da Área de Cultura Permanente, sendo um indicativo das transformações ocorridos no período estudado.

Dentre as correlações negativas, na L2 temos a variável de Temperatura Campestre, que possui uma forte correlação negativa com as variáveis da C9 (Área de Águas Continentais) e C10 (Área Campestre), com r igual -0,98 e -0,96, respectivamente, sugerindo que à medida que a Temperatura Campestre aumenta, a área de Águas Continentais e Área Campestre diminui. A Temperatura Campestre ainda apresentou uma forte correlação negativa com a Área de Cultura Permanente (C13) e Área de Pastagem (C15), onde a área das classes de Cultura Permanente e Pastagem vinham diminuindo em todo o período estudado, apontando um pequeno aumento novamente apenas em 2021, enquanto a temperatura de Áreas Campestres aumentou a partir de 2000 e se manteve constante.

A Temperatura de Cultura Permanente (L5) demonstrou uma forte correlação negativa com a Área Urbana, pois ao longo dos anos a temperatura da classe de Cultura Permanente teve bastante variações, caindo em 2007 e se ausentando em 2014, enquanto a Área Urbanizada teve um aumento constante.

A Área Florestal, na L11, possui uma forte correlação positiva com a Área Urbanizada e com a Área de Cultura Temporária, pois apesar de algumas variações da Área Florestal, todas apresentam constância ao longo dos anos. Possui uma correlação negativa com a variável Área de Pastagem, devido principalmente aos últimos 7 anos estudados, onde em 2014 a Área de

Pastagem diminuiu consideravelmente enquanto a Área Florestal aumentou, já em 2021, ocorreu o inverso, pois a Área Florestal diminuiu e a Área de Pastagem aumentou.

A Área Urbanizada possui uma correlação positiva com a Área Florestal, visto que mesmo com algumas variações, a Área Florestal se mantém constante, enquanto a Área Urbanizada se mantém em crescimento. Apresenta uma correlação negativa com a Temperatura de Cultura Permanente, pois ao longo dos anos a temperatura da classe de Cultura Permanente teve bastante variações, caindo em 2007 e se ausentando em 2014, enquanto a Área Urbanizada teve um aumento constante. Também possui uma correlação negativa com a Área de Pastagem, que vinha diminuindo em todo o período estudado, apontando um pequeno aumento novamente apenas em 2021, contra o aumento constante da Área Urbanizada.

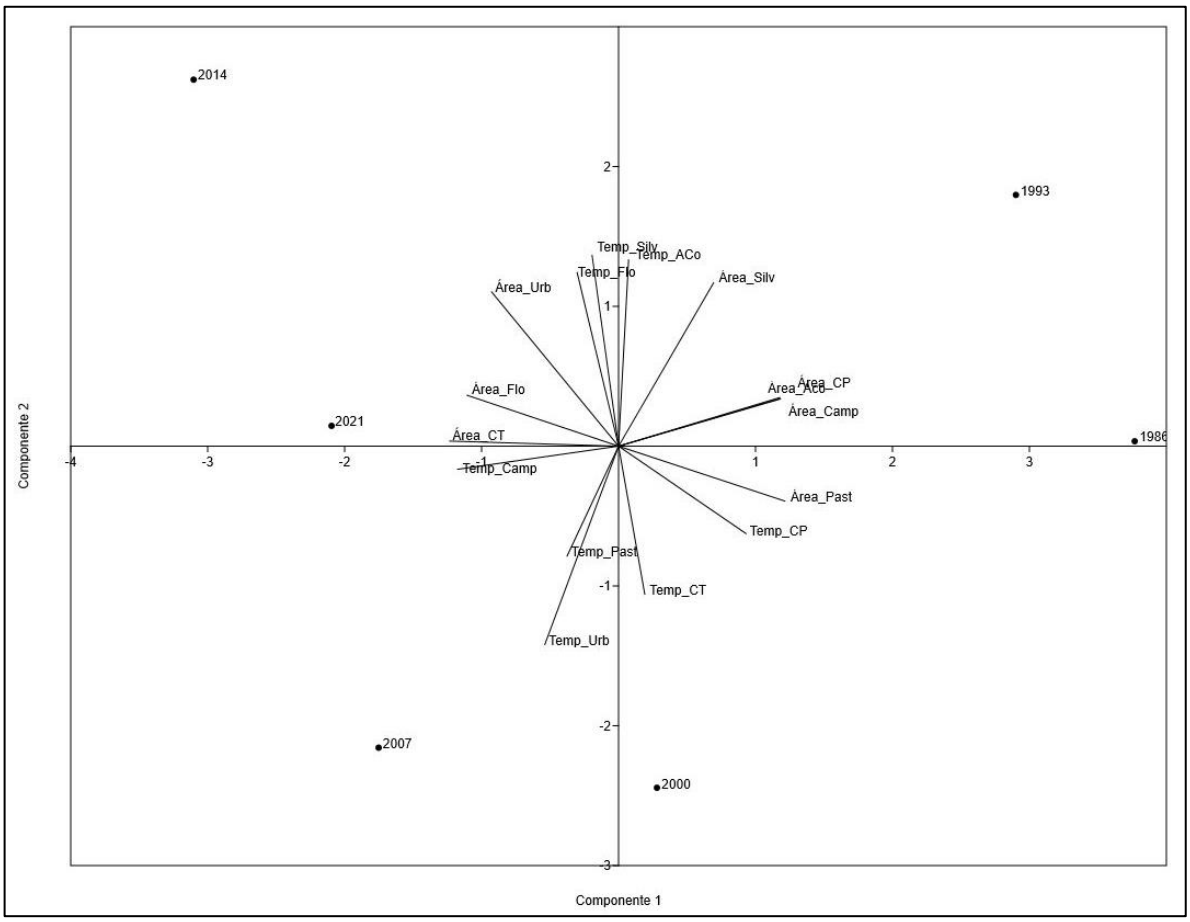
A Área de Cultura Permanente (L13) possui uma forte correlação negativa com a Temperatura Campestre (C2), com r = -0,96, pois os dados mostram que a Área de Cultura Permanente tem tido bastante variações apontando uma diminuição enquanto a Temperatura Campestre tem aumentado. Também possui uma correlação negativa com Área de Cultura Temporária (C14), pois da mesma forma, a classe de Cultura Temporária está em constante crescimento. Ainda se tratando das Culturas Temporárias, estas apresentaram uma forte correlação negativa com as Áreas de Águas Continentais (C9), com r = -0,95, e Campestre (C10), com r igual a -0,94, pois a Área de Cultura Temporária aponta um constante aumento enquanto as áreas de Áreas de Águas Continentais e Campestre apontam uma diminuição. Também possui uma correlação negativa com as Áreas de Cultura Permanente (C13), r = -0,94 e de Pastagem (C15), com r = -0,97, que apesar das variações, demonstram uma diminuição.

Por fim, a Área de Pastagem (L15) possui uma correlação positiva com as Áreas de Águas Continentais, Campestre e de Cultura Permanente, devido a diminuição das mesmas. Já com as variáveis de Temperatura Campestre, Área Florestal, Área Urbanizada e principalmente com a Área de Cultura Temporária, possui uma correlação negativa, visto que estas apontam um aumento expressivo e constância durante o período estudado.

Haja vista a importância do reservatório de abastecimento público da APA Itupararanga e as possíveis influências das transformações antrópicas relacionadas aos usos da terra, podemos observar que a correlação negativa forte (-0,98), indica que à medida que a Temperatura Campestre aumenta, a extensão das Áreas Continentais tende a diminuir. Isso pode ser interpretado como um efeito do aquecimento localizado influenciando a disponibilidade ou distribuição do Reservatório de Itupararanga. Além disso, a Temperatura Campestre também possui uma forte correlação positiva (0,93) com a Área de Cultura Temporária, apontando que

o aumento desse uso do solo tem uma grande influência no aumento de temperatura. O resultado da análise multivariada é apresentado na Figura 12.

Figura 12: Análise Multivariada.



Fonte: Dados obtidos com o *software* PAST 4.09, 2024.
Elaboração: Autor, 2024.

Legenda: Temp_ACo = Temperatura de Águas Continentais; Temp_Camp = Temperatura Campestre; Temp_Flo = Temperatura de Floresta; = Temp_Urb = Temperatura Urbana; Temp_CP = Temperatura de Cultura Permanente; Temp_CT = Temperatura de Cultura Temporária; Temp_Past = Temperatura de Pastagem; Temp_Silv = Temperatura de Silvicultura; Área_Aco Área de Águas Continentais; Área_Camp = Área Campestre; Área_Flo = Área de Floresta; Área_Urb = Área Urbanizada; Área_CP = Área de Cultura Permanente; Área_CT = Área de Cultura Temporária; Área_Past = Área de Pastagem; Área_Silv = Área de Silvicultura.

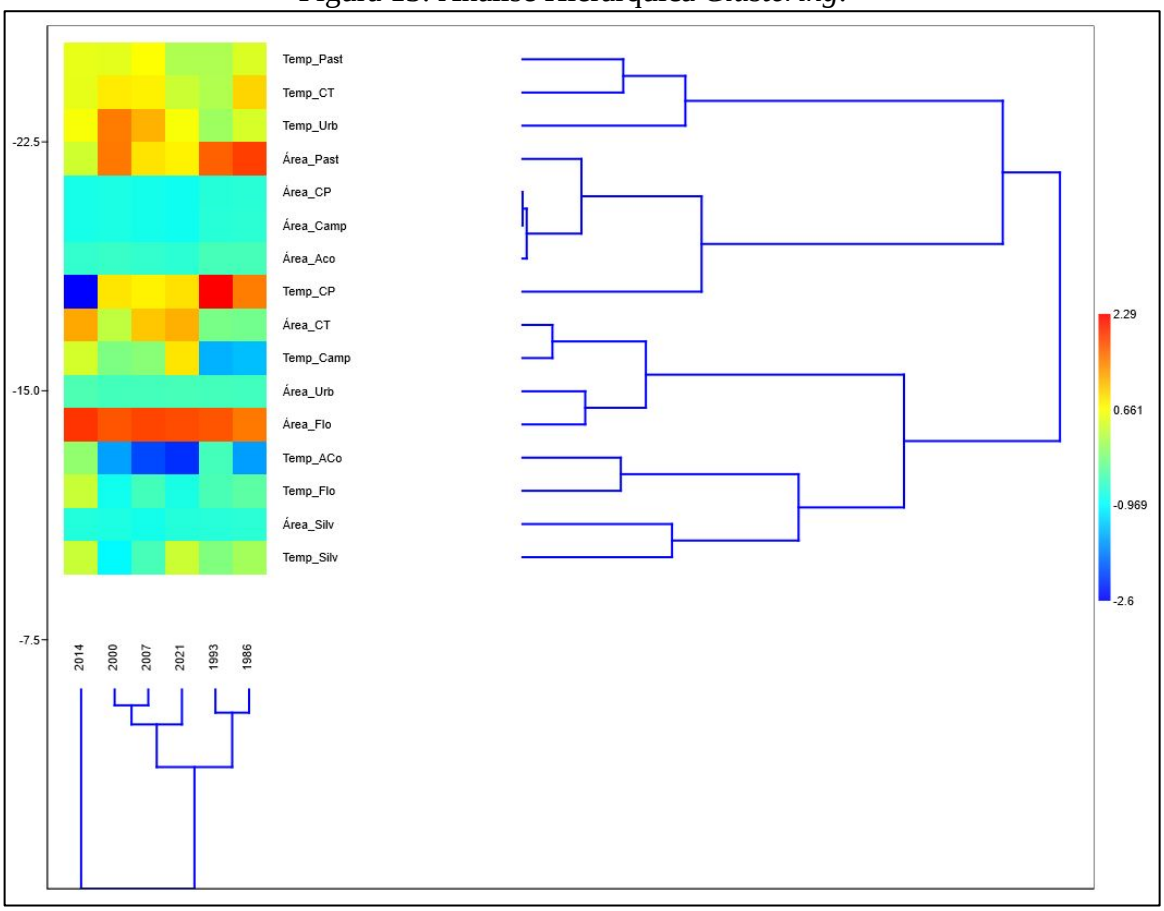
As componentes principais 1 e 2 totalizaram 75,7% das correlações obtidas no estudo representado na

Figura 12. É possível observar os anos mais influenciados pelas variáveis em questão. O eixo do quadrante positivo contendo os anos de 1986 e 1993 mostra que a área de Silvicultura foi a que mais influenciou o ano de 1993, enquanto as áreas de Culturas Permanentes, Áreas Campestres e de Águas Continentais se correlacionam fortemente com o ano de 1986.

Já no ano 2000 as temperaturas das Culturas Permanentes e Temporárias, bem como as áreas de Pastagem tiveram maior influência. O eixo do quadrante negativo evidência que o ano

de 2007 foi fortemente influenciado pela temperatura das Áreas Urbanizadas e pela temperatura da Pastagem. No mesmo cenário de correlação negativa, o ano de 2021 teve uma forte influência da Área Florestal e das Culturas Temporárias. Por fim, o ano de 2014 foi o mais distinto devido ao valor zero referente a Culturas Permanentes, sendo considerado como um *outlier*. Para melhor evidenciar os padrões de agrupamento das variáveis analisadas, é apresentada a análise hierárquica *clustering* (Figura 13).

Figura 13: Análise Hierárquica *Clustering*.



Fonte: Dados obtidos com o *software* PAST 4.09, 2024.
Elaboração: Autor, 2024.
Legenda: Temp_ACo = Temperatura de Águas Continentais; Temp_Camp = Temperatura Campestre; Temp_Flo = Temperatura de Floresta; = Temp_Urb = Temperatura Urbana; Temp_CP = Temperatura de Cultura Permanente; Temp_CT = Temperatura de Cultura Temporária; Temp_Past = Temperatura de Pastagem; Temp_Silv = Temperatura de Silvicultura; Área_Aco Área de Águas Continentais; Área_Camp = Área Campestre; Área_Flo = Área de Floresta; Área_Urb = Área Urbanizada; Área_CP = Área de Cultura Permanente; Área_CT = Área de Cultura Temporária; Área_Past = Área de Pastagem; Área_Silv = Área de Silvicultura.

Considerando a observação de que os anos de 2000, 2007 e 2021 se mostram mais similares entre si e diferentes dos anos de 1986 e 1993, podemos perceber como essa similaridade se reflete nos dados de temperatura e área das diferentes classes de uso do solo na APA de Itupararanga ao longo desses períodos (Figura 13). Entre 1986 e 1993, houve uma predominância significativa de áreas florestais e pastagens na região, com proporções estáveis

e mudanças sutis nas áreas urbanizadas e cultivos temporários. No entanto, a partir de 2000, observa-se um aumento acentuado nas áreas urbanizadas, indicando um crescimento acelerado da urbanização. Esse padrão continua em 2007 e se intensifica em 2021, refletindo uma tendência consistente de expansão urbana ao longo desses anos.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), entre 1970 e 2022, as cidades da APA de Itupararanga experimentaram variações significativas em seu crescimento populacional, refletindo uma tendência geral de urbanização e expansão. Cotia, por exemplo, viu sua população crescer de 30.924 para 274.413 habitantes, enquanto Votorantim passou de 26.932 para 127.923 habitantes no mesmo período. Cidades como Alumínio, com um crescimento mais modesto de 15.252 para 17.301 habitantes, e Mairinque, que aumentou de 18.858 para 50.027 habitantes, também contribuem para essa dinâmica regional.

As áreas campestres e florestais, por outro lado, diminuíram gradualmente em extensão desde 1986, sugerindo uma conversão desses terrenos para outros usos, como urbanização e agricultura intensiva. As culturas permanentes e temporárias, embora tenham mostrado variações significativas, com aumento notável até 2007 e estabilização posterior, também contribuíram para a transformação do cenário de uso da terra na região. Assim, os anos de 2000, 2007 e 2021 compartilham padrões semelhantes de expansão urbana e mudanças significativas no uso da terra, enquanto os anos de 1986 e 1993 representam períodos anteriores com características distintas, marcados por uma paisagem mais dominada por áreas naturais como florestas e pastagens.

Portanto, as análises estatísticas mais detalhadas da APA de Itupararanga revelam padrões complexos de temperatura que têm implicações significativas para a gestão ambiental e o desenvolvimento sustentável da região. O aumento da temperatura em áreas como a Zona de Ocupação Rural e a Zona de Ocupação Consolidada indica uma maior exposição a extremos de calor, potencialmente exacerbados pelo fenômeno das ilhas de calor.

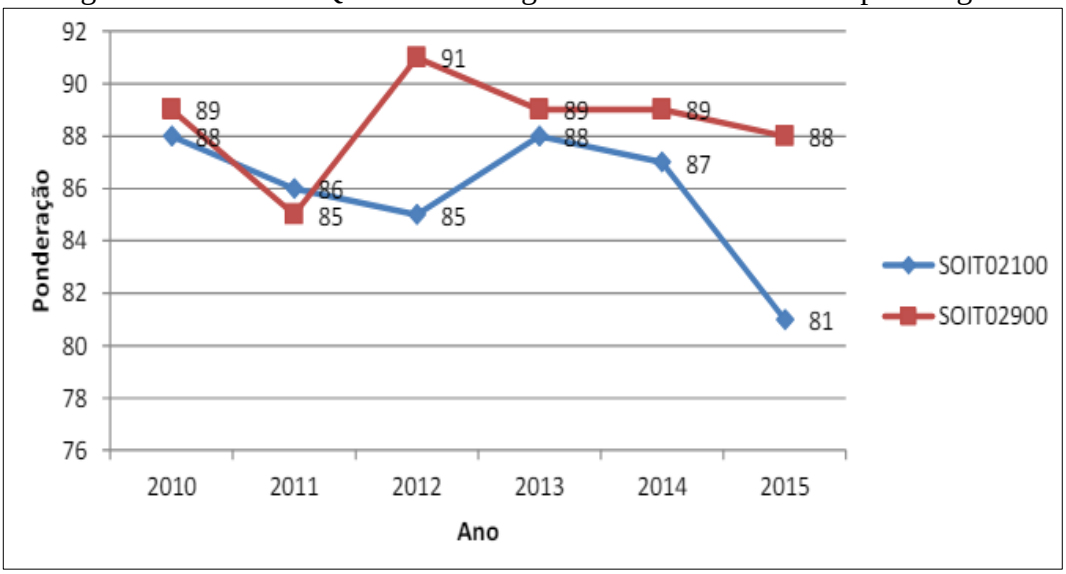
A correlação negativa significativa entre o aumento da Temperatura Campestre e a redução da extensão das Áreas Continentais (-0.98) destaca um impacto direto do aquecimento localizado na paisagem regional. Essa relação sugere que mudanças no uso do solo, como expansões urbanas ou agrícolas, podem alterar drasticamente as condições ambientais locais, afetando não apenas a biodiversidade, mas também a disponibilidade hídrica do Reservatório de Itupararanga, vital para a segurança hídrica da região. Com menos água disponível, a irrigação agrícola se torna mais difícil e cara, comprometendo a produtividade das culturas e a segurança alimentar regional.

A correlação positiva forte entre a Temperatura Campestre e a Área de Cultura Temporária (0.93) ressalta como o aumento do uso agrícola do solo pode contribuir significativamente para o aumento das temperaturas locais. Isso sublinha a importância de práticas agrícolas sustentáveis e da gestão integrada do uso do solo para mitigar os impactos negativos sobre o clima e os recursos naturais.

A adoção de práticas sustentáveis não apenas ajuda a mitigar os efeitos das mudanças climáticas, mas também contribui diretamente para o cumprimento do ODS13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima, ao reduzir as emissões de gases de efeito estufa e promover a adaptação às mudanças climáticas. Também o Plano de Manejo da APA de Itupararanga desempenha um papel crucial na promoção do ODS 6 - Água Limpa e Saneamento adotando medidas de gestão integrada dos recursos hídricos e conservação dos ecossistemas aquáticos, buscando garantir a disponibilidade sustentável da água e proteger a biodiversidade, porém ainda há muitos desafios nesse âmbito.

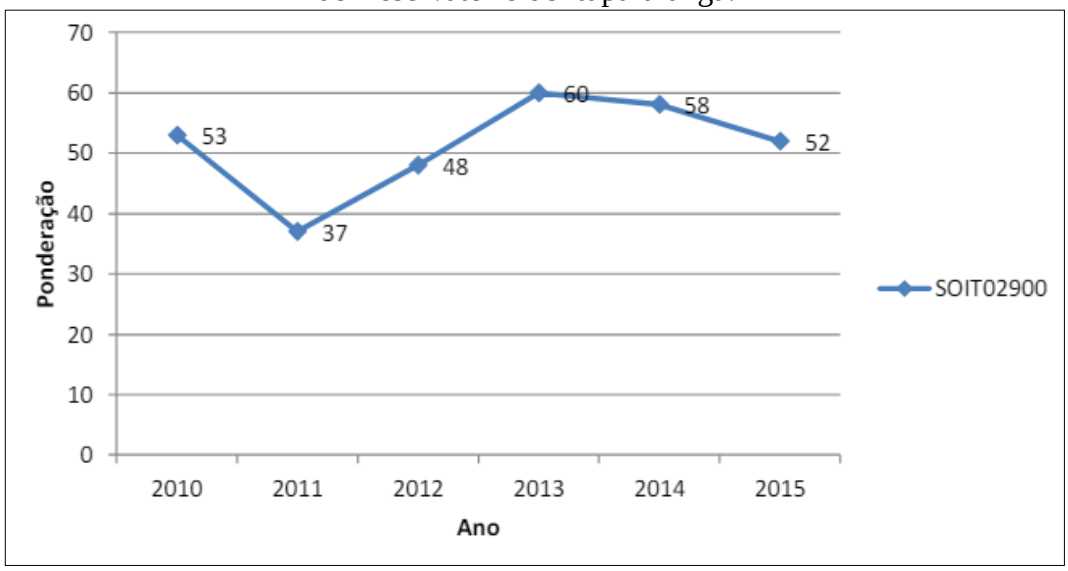
A qualidade ambiental das águas da Represa de Itupararanga está em declínio devido ao uso intensivo de agrotóxicos, fertilizantes químicos devido ao avanço das atividades agrícolas e ao despejo de esgoto doméstico sem tratamento adequado. O crescimento urbano também contribui para a perda de áreas vegetadas, ainda que em menor escala (CHINAQUE, 2017).

Figura 14: Índice de Qualidade de Água do Reservatório de Itupararanga.



Fonte: CHINAQUE, 2017.

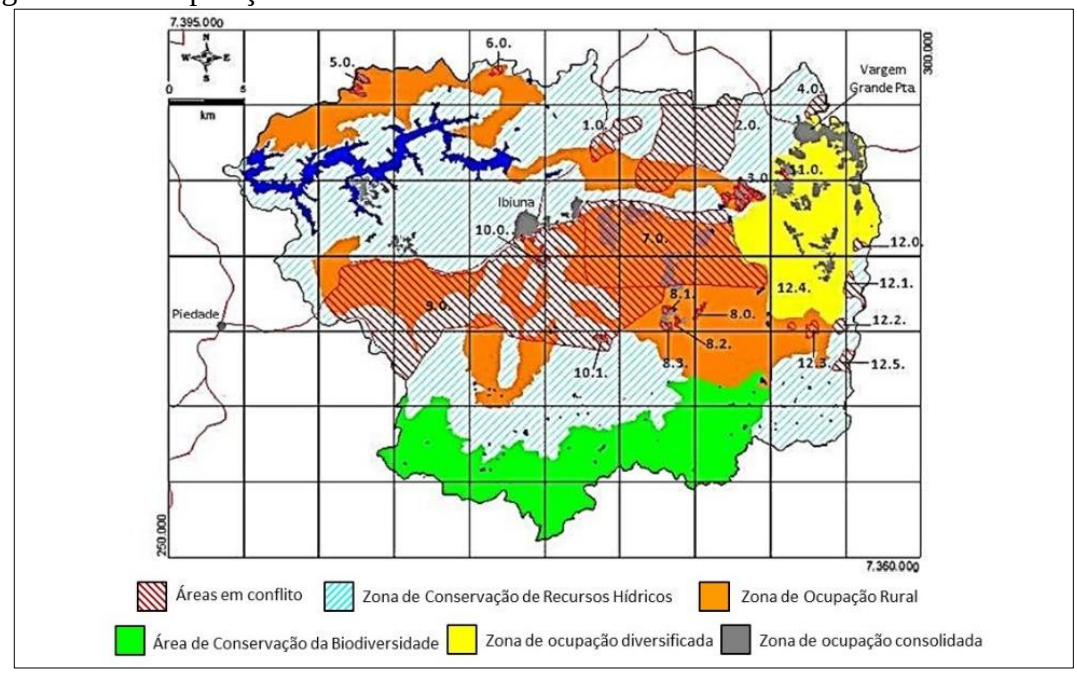
Figura 15: Índice de Qualidade de Água Bruta para fins de abastecimento do Reservatório de Itupararanga.



Fonte: CHINAQUE, 2017.

De acordo com Bernadi et al. (2020), após examinar as interações entre os Planos Diretores Municipais (PDMs) e o Plano de Manejo (PM) na APA de Itupararanga, constatou-se que a coordenação das ferramentas de gestão territorial ainda apresenta desafios significativos.

Figura 16: Sobreposição das áreas de conflitos entre o zoneamento da APA e os PDMs.



Fonte: BERNADI *et al.*, 2020.

A análise revelou que aproximadamente 20% da área da APA e seu respectivo zoneamento estão em conflito com as disposições dos Planos Diretores. A maioria desses

conflitos está associada a restrições de uso mais rigorosas no PM em comparação aos PDMs. Em alguns casos, no entanto, ocorre o oposto, onde os PDMs impõem restrições mais severas do que as estabelecidas pelo PM. Entre todos os municípios examinados, apenas Piedade não apresenta conflitos de zoneamento, enquanto os demais possuem pelo menos uma área de discordância identificada.

Entre agosto de 2008 e agosto de 2018, o padrão de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu (Ibiúna - SP) teve como principal alteração a redução da vegetação nativa e o avanço da agropecuária. O monitoramento do albedo mostrou a variabilidade espaço-temporal dessas modificações e destacou o impacto no comportamento energético da superfície. Essas mudanças, embora moderadas, impactaram o albedo da superfície, evidenciado pelo aumento dos valores médios, máximos e a dispersão das imagens de 2018 em comparação a 2008 (JÚNIOR; LOURENÇO, 2021).

O estudo elaborado por Harkot et.al (2023), identificou diversos conflitos socioambientais nas margens da represa Itupararanga-SP. Estes incluem disputas pelo controle dos recursos naturais relacionadas ao planejamento urbano, questões sociais e jurídicas. Também foram observados conflitos decorrentes dos impactos ambientais e sociais provocados pela ação humana e natural, como a contaminação ambiental, degradação dos ecossistemas e o risco de esgotamento dos recursos naturais.

Além disso, há conflitos relacionados ao uso de conhecimentos ambientais e às percepções de risco na região. Em um contexto mais amplo, esses dados reforçam a necessidade e colaboração entre governos, organizações da sociedade civil e o setor privado para promover um desenvolvimento econômico e social inclusivo e resiliente as mudanças do clima.

6. CONCLUSÃO

Os dados analisados na APA de Itupararanga revelam uma preocupante diminuição das áreas de águas continentais, acompanhada por um aumento das áreas urbanizadas e agrícolas, diretamente relacionado ao fenômeno de elevação térmica local causado pelas ilhas de calor. Entre 1986 e 2021, a pesquisa identificou mudanças significativas, com uma notável expansão urbana nos anos de 2000, 2007 e 2021. Essas transformações têm o potencial de causar impactos negativos substanciais nos ecossistemas locais, afetando a biodiversidade e os recursos hídricos essenciais para a região.

As análises estatísticas revelam uma correlação positiva (r = 0,93) entre as variáveis Temperatura Campestre e Área de Cultura Temporária, demonstrando que há uma relação direta relacionada ao aumento da temperatura das áreas campestres à medida que esses locais são substituídos por outros usos, tal como a agricultura. Também foi encontrada uma forte correlação positiva entre a Áreas de Águas Continentais e as Áreas Campestres, com r igual a 0.99, resultado que traz à luz a importância dos ecossistemas aquáticos de transição, como as áreas alagadas e sua vegetação característica, para a manutenção dos recursos hídricos e da biodiversidade desses ecossistemas. Portanto, neste estudo observou-se uma inter-relação entre a redução dos recursos hídricos representados pelas Águas Continentais e as Áreas Campestres à medida que ambos decresceram no período avaliado.

Dentre as correlações negativas significativas (r = -0,98), destaca-se que o aumento da Temperatura Campestre está associado à redução da extensão das Áreas Continentais. Isso sugere um efeito do aquecimento localizado que pode afetar a disponibilidade hídrica do Reservatório de Itupararanga. Além disso, a Temperatura Campestre mostra uma correlação positiva forte (0,93) com a Área de Cultura Temporária, destacando o impacto significativo do aumento desse uso do solo no aumento da temperatura local.

Por fim, espera-se que os resultados obtidos neste estudo possam contribuir com as políticas de gestão ambiental e planejamento territorial da APA de Itupararanga, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU para promover a conservação dos recursos naturais e à adaptação às mudanças climáticas, visto que nessa unidade de conservação encontra-se o importante Reservatório de Itupararanga, utilizado para abastecimento público de água.

7. REFERÊNCIAS

ALPINO, T., et al. Os impactos das mudanças climáticas na Segurança Alimentar e Nutricional: uma revisão da literatura. **Ciência & Saúde Coletiva,** v. 27, n. 1, p. 273–286, jan. 2022.

AMORIM, M.C.C.T; DUBREUIL, V; CARDOSO, R.S. Modelagem espacial de ilha de calor urbana em Presidente Prudente (SP) – Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, n. 08, p. 29-45, 2015.

ARAÚJO, R. S. G., BEZERRA, B. G. F., & FARIAS, C. H. C. Água e desenvolvimento no semiárido brasileiro: análise das políticas públicas para o abastecimento humano e a irrigação. **Revista de Administração Pública**, 48 (3), 669-692, 2014.

BERNADI, I. et. al. Análise comparativa das ferramentas de gestão: Plano de Manejo da APA Itupararanga e os Planos Diretores Municipais. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 72-87, 2020.

BORETTI, A.; ROSA, L. Reassessing the projections of the World Water Development Report. **NPJ Clean Water.** Ano 2019, vol. 2, p. 15, jul. 2019.

CAPELLARI, A.; CAPELLARI, M. B. A água como bem jurídico, econômico e social. **Cidades.** Ano 2018, vol. 36, p. 1-16, set. 2018.

CASATTI, L., LANGEANI, F., SILVA, A. M., & CASTRO, R. M. C. Stream fish, water and habitat quality in a pasture dominated basin, southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, 66(2b), 681–696, 2006.

CAVALCANTI, I. F. Episódios El Niño/Oscilação Sul durante a década de 1986 a 1996 e suas influências sobre o Brasil. **Climanálise Especial**, 1996.

CHINAQUE, F. **Avaliação da efetividade de gestão das áreas de proteção ambiental: o caso da APA de Itupararanga.** Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos. Sorocaba, p. 98. 2017.

CORDEIRO, M. C. **Ilhas de calor urbanas no nordeste brasileiro: uma avaliação com base em imagens de satélite.** Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Campina Grande – PB, 2016.

DISSANAYAKE et al. Impact of Urban Surface Characteristics and Socio-Economic Variables on the Spatial Variation of Land Surface Temperature in Lagos City, Nigeria. **Sustainability,** 2019, 11, 25.

DUTRA, A. C.; MEDERIROS, G. A. de; GIANELLI, B. F. Avaliação do ciclo de vida como uma ferramenta de análise de impactos ambientais e conceito aplicados em programas educativos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)**, Rio de Janeiro, n. 51, p. 15–27, 2019.

EBI, K. L. et al. Hot weather and heat extremes: Health risks. **The Lancet**, v. 398, n. 10301, p. 698-708, 2021.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P.; SILVA, F. D.; CHAN, B. L. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. **Plano de Manejo da APA de Itupararanga.** São Paulo. 2010. Disponível em: https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/fundacaoflorestal/planos-de-manejo/planos-de-manejo-planos-concluidos/plano-de-manejo-apa-itupararanga/. Acesso em: 10 de maio de 2024.

GOMES, F. D. G; FUZETO, I. M. R; PRATES, R. P. Análise multitemporal do clima urbano em Palmas, estado do Tocantins – Brasil. **Colloquium Exactarum,** v. 12, n2, Abr-Jun. 2020, p. 1 –14.

GUO, L; WANG, L. Peak water: future long-term changes driven by socio-economic development in China. **Environmental Science and Pollution Research,** 2023, 30:1306–1317.

HARKOT, O. A. M. G.; RUIZ, M. S.; SHIBAO, F. Y.; DOS SANTOS, M. R. Conflitos socioambientais relacionados ao uso do solo em torno da Represa Itupararanga, Ibiúna, SP. **Revista de Gestão e Secretariado**, [S. l.], v. 14, n. 8, p. 13273–13294, 2023.

HOOSAIN et al. The Influence of Circular Economy and 4IR Technologies on the Climate–Water–Energy–Food Nexus and the SDGs. **Water**, v. 15, n. 14, p. 787, 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística. **Censo Brasileiro de 2022.** Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.** Geneva: IPCC, 2018.

IPCC. **Mudanças Climáticas 2023: Relatório Síntese. Contribuição dos Grupos de Trabalho I, II e III para o Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.** Equipe Central de Redação, H. Lee e J. Romero (eds.). Genebra, Suíça: IPCC, 2023. 184 pp. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

JÚNIOR, L. P. M.; LOURENÇO, R. W. Impactos das mudanças no uso e cobertura da terra sobre a variabilidade do albedo na bacia hidrográfica do Rio Sorocabuçu (Ibiúna - SP). **Revista Brasileira de Climatologia**, *[S. l.]*, v. 27, p. 443–462, 2021.

KRNÁČOVÁ, Z. et.al. Assessment of Landscape Retention Water Capacity and Hydrological Balance in Traditional Agricultural Landscape (Model Area Liptovská Teplička Settlements, Slovakia). **Water**, vol. 12, p. 3591, dez. 2020.

MANFREDINI, F.N. **Aplicação da legislação ambiental na valoração econômica dos serviços ambientais da Área de Proteção Ambiental (APA) de Itupararanga**. 210f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Estadual Paulista - Instituto de Ciência e Tecnologia Campus de Sorocaba, Sorocaba, 2018.

MARTIN, N. Risk Assessment of Future Climate and Land Use/Land Cover Change Impacts on Water Resources. **Hydrology** 2021a, 8, 38.

MARTIN, N. Watershed-Scale, Probabilistic Risk Assessment of Water Resources Impacts from Climate Change. **Water** 2021b, 13, 40.

MARTINS, A.; ROSA, R. Procedimentos metodológicos para estimativa de variáveis relacionadas ao balanço de energia no sistema terra-atmosfera – uma revisão de literatura. **Caderno Prudentino de Geografia,** Presidente Prudente - SP, n. 41, v. 1, p. 100-119, jan.-jun. 2019.

MIRZAEI, P. Recent challenges in modeling of urban heat island. **Sustainable Cities and Society**, v. 19, p. 200–206, 2015.

MOLAJOU, A. et. al. A new paradigm of water, food, and energy nexus. **Environmental Science and Pollution Research**, vol. 30, p. 107487–107497, fev. 2021.

MOREIRA, E.B.M; NOBREGA, R.S. **Identificação do fenômeno ilhas de calor na área urbana do Recife-PE, através do canal infravermelho termal do satélite landsat 5.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, 2011.

O Projeto. **MapBiomas Brasil**, 2024. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/o-projeto/. Acesso em: 01 de abril de 2024.

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 13 – Ação conta a mudança global do clima. **Nações Unidas Brasil**, 2024. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/13. Acesso em: 01 de abril de 2024.

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 6 – Água Potável e Saneamento. **Nações Unidas Brasil**, 2024. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6. Acesso em: 01 de abril de 2024.

PINHATI, F. S. C; SOUZA, S. A.; VILLELA, W. M. C. **Avaliação de um cenário de ampliação da irrigação na bacia do Rio São Marcos por meio de geoprocessamento e desenvolvimento de ferramenta computacional para cálculo do balanço hídrico na escala de Ottobacias.** XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis – SC, 2017.

RAHMAN, N. et.al. Impact of Urbanization on Urban Heat Island Intensity in Major Districts of Bangladesh Using Remote Sensing and Geo-Spatial Tools. **Climate** 2022, 10, 3.

RAMAKRISHNA, S.; RAJAN, J. Addressing Sustainability Gaps. **Science of The Total Environment,** v. 806, n. 151208, p. 3, fev. 2022,

RIZZO, F. A.; SANTOS, A. P.; SILVA, D. C. C. Técnicas de geoprocessamento aplicadas para análise temporal do microclima na bacia hidrográfica do córrego do Pequiá, Maranhão. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 44, p. e78032, 2024.

ROMERO, C.W.S. et.al. Relação entre as ilhas de calor e uso e ocupação do solo em centros urbanos de pequeno porte utilizando o sensoriamento remoto. **Geociências**, UNESP, São Paulo – SP, v. 39, n. 1, 2020, p. 288-312.

ROJAS M., José Rodrigo. La era de la ebullición global: desafíos y oportunidades para la resiliencia climática en la región Centroamericana. **Ciencias Ambientales**, Heredia, v. 58, n. 2, 19715, June 2024.

ROUSTA, I.; SARIF, O; GUPTA, R.D; et. al. Spatiotemporal Analysis of Land Use/Land Cover and Its Effects on Surface Urban Heat Island Using Landsat Data: A Case Study of Metropolitan City Tehran (1988–2018). **Sustainability** 2018, 10, 4433.

SALES, R.; SALES, D.; MENDONÇA, J.C. Balanço de energia no perímetro urbano de Campos dos Goytacazes, RJ: Um estudo de caso. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.15, n.06, 2022, p. 3093-3105.

SCHILLING, M. F. Some remarks on quick estimation of the correlation-coefficient. **American Statistician**, v. 38, n. 4, p. 330-330, 1984.

SILVA, D. C. C. et al. Análise espacial do custo de reposição de nutrientes do solo em uma bacia hidrográfica. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente,** v. 13, n. 1, p. 189-212, 2020. doi: https://doi.org/10.17765/2176-9l68.2020v13n1p189-212

SILVA, D. C. C.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; SALES, J. C. A.; LOURENÇO, R. W. Identificação de áreas com perda de solo acima do tolerável usando NDVI para o cálculo do fator C da USLE. **Revista Ra'e Ga - Espaço Geográfico em Análise**, v. 42, p. 72-85, 2017.

SILVA, D. C. C.; OLIVEIRA, R. A.; ANDRADE, E. L.; TERAMOTO, E. T.; SIMONETTI, V. C. Análise temporal da temperatura de superfície obtida por sensoriamento remoto. **Holos Environment** (Online), v. 20, p. 186-197, 2020.

SIMONETTI, V. C.; SILVA, D. C. C.; ROSA, A. H. Análise da influência das atividades antrópicas sobre a qualidade da água da APA Itupararanga (SP), Brasil. **Geosul,** v. 34, n. 72, p. 01-27, 2019a. doi: https://doi.org/10.5007/1982-5153.2019v34n72p01.

SIMONETTI, V.C; SILVA, D.C.C; FREITAS, N.P; ROSA, A.H. Análise espacial da fragilidade ambiental a partir do relevo da APA Itupararanga (SP). **Revista Hipótese,** Itapetininga – SP, v. 5, n. 1, 2019b, p. 272-289.

SOUZA, C. et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing,** v. 12, p. 2735, jul. 2020.

STEFFEN, W. et al. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. **Science,** 2015 p. 347.

SWADES, P; Ziaul, S. Detection of land use and land cover change and land surface temperature in English Bazar urban center. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences,** 2017, p. 125-145.

TEIXEIRA, D.; AMORIM, M. Multicriteria Spatial Modeling: Methodological Contribution to the Analysis of Atmospheric and Surface Heat Islands in Presidente Prudente, Brazil. **Climate,** 2022, 10, 56.

TRAN, D. et.al. Characterizing the relationship between land use land cover change and land surface temperature. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing,** v. 124, p. 119-132, fev. 2017.

TRINDADE, P.M.P; SALDANHA, D.J; FILHO, W.P. Utilização do infravermelho termal na análise espaço temporal da temperatura de superfície e ilhas de calor urbanas. **Revista Brasileira de Cartografia,** n. 69/4, Edição Desastres Naturais e Impactos Ambientais, 2017, p. 837-855.

USGS. United States Geological Survey. **Earth Explorer.** 2023. Disponível em: <http://

earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 05 ago. 2023.

VILLA, B.; PETRY, M. T.; MARTINS, J. D.; TONETTO, F.; TOKURA, L. K.; GONÇALVES, A. F.; CERVEIRA, M. P.; SLIM, J. E.; SANTOS, M. S.; BELLÉ, M. G.; JIMENEZ, D.H. Balanço hídrico climatológico: uma revisão. **Research, Society and Development,** v. 11, n. 6, 2022.

WATERS et.al. SEBAL Surface Energy Balance Algorithms for Land: Advanced Training and User's Manual. **The Idaho Department of Water Resources,** 2002.