



Universidade Federal do Amazonas

Faculdade De Tecnologia

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção – PPGE**



FERNANDO DINIZ ABREU SILVA

**ILHA DE CALOR URBANA: DIAGNÓSTICO COMO FERRAMENTA DE
GESTÃO AMBIENTAL URBANA PARA A CIDADE DE COARI (AM)**

**Manaus/AM
2023**

FERNANDO DINIZ ABREU SILVA

**ILHA DE CALOR URBANA: DIAGNÓSTICO COMO FERRAMENTA DE GESTÃO
AMBIENTAL URBANA PARA A CIDADE DE COARI (AM)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Linha de Pesquisa: Tecnologias Emergentes.

Orientador: Prof. Dr. Marcio Antônio Couto Ferreira

**Manaus/AM
2023**

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586i Silva, Fernando Diniz Abreu
Ilha de calor urbana: diagnóstico como ferramenta de gestão ambiental urbana para a cidade de Coari (AM). / Fernando Diniz Abreu Silva . 2023
110 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Marcio Antônio Couto Ferreira
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Ilhas de calor. 2. Microclimática. 3. Conforto térmico. 4. Infraestrutura urbana. 5. Qualidade de vida. I. Ferreira, Marcio Antônio Couto. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

FERNANDO DINIZ ABREU SILVA

**ILHA DE CALOR URBANA: DIAGNÓSTICO COMO FERRAMENTA DE
GESTÃO AMBIENTAL URBANA PARA A CIDADE DE COARI (AM)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Aprovada em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcio Antônio Couto Ferreira – Orientador
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dra. Gabriela de Mattos Veroneze – Examinador
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

Prof. Dr. Dimas José Lasmar – Examinador
Universidade Federal do Amazonas - UFAM

A minha mãe, Denilde Martins Diniz, pela sua dedicação constante, pelo amor incondicional e pelas suas experiências de vida. Obrigada por ter me ensinado como viver com dignidade.

A minha esposa Simone Anselmo dos Santos, alicerce fundamental para essa caminhada, que soube esperar o meu tempo, respeitando meus limites e me fazendo sempre o homem mais feliz do mundo.

Aos meus filhos Luis Fernando Carvalho Diniz e Maria Luisa dos Santos Diniz, sinais concretos que a vida é sempre bela e que ser pai é ter o rosto humano de Deus.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me dar forças nos momentos mais difíceis e por me fazer acreditar que todos os meus sonhos dariam certo.

Aos meus familiares, agradeço pela colaboração e compreensão nas horas de necessária reclusão e pelo amor nos momentos de tensão.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Márcio Antônio Couto Ferreira pela paciência e pelos ensinamentos que me proporcionaram maturidade profissional e belo exemplo de dedicação ao saber.

Aos Professores do Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, que contribuíram brilhantemente com informações teóricas, técnicas e empíricas para o aprofundamento de novos conhecimentos.

Aos Professores integrantes da banca examinadora, pelas sugestões e críticas imprescindíveis para o meu enriquecimento profissional.

Aos colegas do Mestrado em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas - UFAM, pela troca de experiência e convivência amigável.

A todos aqueles que direta e indiretamente vivenciaram o processo de produção deste trabalho, o meu reconhecimento e amizade.

*“Todas as vitórias ocultam uma
abdicação”.*

(Simone de Beauvoir)

RESUMO

Coari, um município situado no estado do Amazonas, região Norte do Brasil, encontra-se entre o Rio Solimões e o Lago Coari-Mamiá. Seu clima é tipicamente equatorial, caracterizado por duas estações bem definidas: um verão quente e um inverno chuvoso. O clima do município é quente e úmido, e as temperaturas, na maior parte do ano, proporcionam percepções de desconforto térmico. A concepção de gradientes horizontais de alterações de temperatura, ou seja, temperaturas mais elevadas no centro em relação à periferia, torna-se evidente. Este cenário desperta o interesse em investigar o comportamento climático local por meio de uma pesquisa de avaliação microclimática. O estudo adota uma metodologia baseada nos princípios da Climatologia Geográfica e em pesquisas sobre clima urbano realizadas no Brasil. Esta abordagem é dividida em duas fases: a primeira etapa envolve a coleta e organização de dados essenciais para a análise, enquanto a segunda fase concentra-se no processamento desses dados com o propósito de mapear as ilhas de calor na área urbana de Coari e identificar medidas de mitigação. Iniciando com um mapeamento minucioso da área urbana, são utilizadas imagens de satélites de alta resolução para identificar áreas verdes, núcleos densamente povoados, subúrbios, áreas com solo exposto e corpos d'água. Posteriormente, imagens do satélite Landsat 8 com sensor de infravermelho térmico são empregadas para avaliar as temperaturas da superfície, proporcionando uma melhor resolução espacial e discriminando as temperaturas em faixas específicas. A identificação das ilhas de calor urbano baseia-se na diferença térmica entre as áreas urbanas e os seus arredores. Além disso, o estudo investiga a infraestrutura urbana em busca de locais protegidos para o desenvolvimento de áreas verdes, com o objetivo de mitigar os efeitos das ilhas de calor. Um foco especial é direcionado às tecnologias de refrigeração urbana. A combinação dessas metodologias, abrangendo análise geoespacial, termal e de infraestrutura urbana, tem como meta a caracterização completa de Coari e a identificação de estratégias eficazes para reduzir os impactos das ilhas de calor, com o intuito de melhorar a qualidade de vida na área urbana.

Palavras-chave: Ilhas de calor; Microclimática; Conforto térmico; Infraestrutura urbana; Qualidade de vida.

Abstract

Coari, a municipality located in the state of Amazonas, Northern Brazil, lies between the Solimões River and Lake Coari-Mamiá. Its climate is typically equatorial, characterized by two well-defined seasons: a hot summer and a rainy winter. The climate of the municipality is hot and humid, and the temperatures, for most of the year, provide perceptions of thermal discomfort. The design of horizontal gradients of temperature changes, i.e. higher temperatures in the centre relative to the periphery, becomes evident. This scenario arouses interest in investigating the local climatic behavior through a microclimatic assessment research. The study adopts a methodology based on the principles of Geographic Climatology and research on urban climate carried out in Brazil. This approach is divided into two phases: the first stage involves the collection and organization of data essential for the analysis, while the second phase focuses on processing this data for the purpose of mapping the heat islands in the urban area of Coari and identifying mitigation measures. Starting with a thorough mapping of the urban area, high-resolution satellite imagery is used to identify green areas, densely populated cores, suburbs, areas with exposed soil, and water bodies. Subsequently, images from the Landsat 8 satellite with a thermal infrared sensor are used to assess surface temperatures, providing better spatial resolution and discriminating temperatures in specific ranges. The identification of urban heat islands is based on the thermal difference between urban areas and their surroundings. Furthermore, the study investigates urban infrastructure in search of protected locations for the development of green areas, with the aim of mitigating the effects of heat islands. A special focus is directed to urban refrigeration technologies. The combination of these methodologies, covering geospatial, thermal and urban infrastructure analysis, aims to completely characterize Coari and identify effective strategies to reduce the impacts of heat islands, with the aim of improving the quality of life in the urban area.

Keywords: Heat islands; Microclimatic; Thermal comfort; Urban infrastructure; Quality of life.

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 - Esquema representativo (Identificação) de fatores e condições que afetam a formação da ilha de calor urbano. | 35 |
| Quadro 2 - Ilha de Calor Urbana de superfície e atmosférica..... | 40 |

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Calor específico de diferentes materiais..... 67

Tabela 2 - Padrão de classificação termal..... 76

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Localização do Município de Coari/AM | 20 |
| Figura 2 - Clima urbano | 23 |
| Figura 3 - Mapa mental: urbanização..... | 29 |
| Figura 4 - Articulação do sistema de clima urbano segundo os canais de percepção subsistemas e produtos. | 33 |
| Figura 5 - Perfil de uma típica ilha de calor urbana | 34 |
| Figura 6 - Representação esquemática da atmosfera urbana, ilustrando a classificação das camadas superior (UBL) e inferior (UCL) | 39 |
| Figura 7 - Ilustração da ilha de calor urbano..... | 41 |
| Figura 8 - Obtenção de imagens por sensoriamento remoto | 44 |
| Figura 9 - Satélite Landsat..... | 48 |
| Figura 10 - Diagrama de procedimento de análise de dados..... | 59 |
| Figura 11 - Mapa de Coari (AM) | 63 |
| Figura 12 - Província Petrolífera de Urucu / Coari. | 64 |
| Figura 13 - Terminal Aquaviário de Coari. | 64 |
| Figura 14 - Zoneamento Urbano de Coari / AM. | 65 |
| Figura 15 - Rua Quinze de novembro, Centro, Coari / AM..... | 65 |
| Figura 16 - Mapa de uso e ocupação do solo de Coari / AM | 66 |
| Figura 17 - Imagem Bruta (Landsat resolução espacial de 30m)..... | 68 |
| Figura 18 - Imagem Fusionada (resolução espacial de 15m)..... | 68 |
| Figura 19 - Mapa de temperatura de superfície - julho / 2022..... | 70 |
| Figura 20 - Mapa de temperatura de superfície - agosto / 2022..... | 70 |
| Figura 21 - Mapa de temperatura de superfície - setembro / 2022..... | 71 |
| Figura 22 - Mapa de temperatura de superfície - outubro / 2022..... | 71 |
| Figura 23 - Mapa de temperatura de superfície - novembro / 2022..... | 72 |
| Figura 24 - Mapa de temperatura de superfície - dezembro / 2022..... | 72 |
| Figura 25 - Mapa de temperatura de superfície - janeiro / 2023..... | 73 |
| Figura 26 - Mapa de temperatura de superfície - fevereiro / 2023..... | 73 |
| Figura 27 - Mapa de temperatura de superfície - março / 2023..... | 74 |
| Figura 28 - Mapa de temperatura de superfície - abril / 2023..... | 74 |
| Figura 29 - Mapa de temperatura de superfície - maio / 2023..... | 75 |

| | |
|---|----|
| Figura 30 - Mapa de temperatura de superfície - junho / 2023. | 75 |
| Figura 31 - Mapa de sobreposição de temperatura de superfície - julho/2022 a junho/2023 . | 76 |
| Figura 32 - Identificação de ilhas de calor na área urbana em mapa termal | 78 |
| Figura 33 - Identificação de ilhas de calor na área urbana | 78 |
| Figura 34 - ICU - Cruzamento da R. Dois de dezembro com a Rua Padre Vitor, Bairro Tauá-Mirim | 79 |
| Figura 35 - ICU - cruzamento da Rua Eduardo Ribeiro com a Rua Dois de dezembro. | 79 |
| Figura 36 - ICU - cruzamento da Rua Dois de dezembro com a Rua Cinco de Dezembro, Centro. | 80 |
| Figura 37 - ICU - cruzamento da Rua Independência com a Rua Canaã, Centro..... | 80 |
| Figura 38 - ICU - cruzamento da Rua Vieira Martins com a Rua Plínio Coelho, Chagas Aguiar. | 81 |
| Figura 39 -ICU - cruzamento da Rua Manoel Marques com a Rua Cap. Pessoa..... | 81 |
| Figura 40 - ICU - cruzamento da Rua Vieira Martins com a Rua Manoel Marques, Chagas Aguiar. | 82 |
| Figura 41 - ICU - cruzamento da Variante do Aeroporto com a R. Dois de novembro, Tauá-Mirim..... | 82 |
| Figura 42 - ICU - Rotatória Hospital Regional de Coari / AM. | 83 |
| Figura 43 - Estrada Coari Mamiá com a Rua N, Bairro União. | 83 |
| Figura 44 - Estrada Coari Mamiá com a Rua C, Bairro União. | 84 |
| Figura 45 - Cruzamento Rua C com a Rua Principal, Bairro União. | 84 |
| Figura 46 - Estrada Coari Mamiá. | 85 |
| Figura 47 - Aeroporto..... | 85 |
| Figura 48 - Corredor verde da Rua Gonçalo de Carvalho, Porto Alegre/RS | 88 |
| Figura 49 - Corredor verde da Rua Marquês de Pombal..... | 88 |
| Figura 50 - Corredor verde - Praça da Bandeira / Praça do Cristo..... | 89 |
| Figura 51 - Corredor verde (Praça da Igreja Matriz / margem do Rio Solimões)..... | 90 |
| Figura 52 - Corredor verde (Praça da Igreja Santo Afonso / Praça do Estudante)..... | 91 |
| Figura 53 - Corredor verde do Centro Cultural da Cidade e a Rua Principal, Bairro da União | 92 |
| Figura 55 - Telhado verde da Loja Fabricário em Porto Alegre / RS | 93 |
| Figura 56 - Telhado verde na Escola Estadual no Rio de Janeiro / RJ..... | 93 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----------------|--|
| ΔT | Delta de Temperatura |
| AM | Amazonas |
| CCU | Camada Cobertura Urbana |
| CLU | Camada Limite Urbana |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CONTRAN | Conselho Nacional de Trânsito |
| EUA | Estados Unidos da América |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| ICU | Ilha de Calor Urbana |
| IHS | Intensidade-Matiz-Saturação |
| NASA | <i>National Aeronautics and Space Administration</i> |
| NDVI | <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> |
| NOOA | <i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| PNT | Política Nacional de Trânsito |
| PROCONVE | Programa de Controle de Emissões Veiculares |
| PROMOT | Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares |
| PRONAR | Programa Nacional de Controle e Qualidade do Ar |
| SCU | Sistema Clima Urbano |
| SIG | Sistema de Informação Geográfica |
| SR | Sensoriamento Remoto |
| TIRS | <i>Thermal Infrared Sensor</i> |
| TM | <i>Thematic Mapper</i> |
| TS | Temperatura de Superfície |
| UBL | <i>Urban Boundary Layer</i> |
| UCL | <i>Urban Canopy Layer</i> |
| USGS | <i>United States Geological Survey</i> |

LISTA SE SÍMBOLOS

| | |
|-----------------------|---------------------|
| % | Porcentagem |
| CH₄ | Metano |
| CO | Monóxido de Carbono |
| CO₂ | Dióxido de Carbono |
| CO² | Gás Carbônico |
| N²O | Óxido Nitroso |
| °C | Grau Centígrado |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1 | CONTEXTUALIZAÇÃO | 17 |
| 1.2 | PROBLEMATICA | 19 |
| 1.3 | OBJETIVOS DA PESQUISA | 21 |
| 1.3.1. | Objetivo Geral..... | 21 |
| 1.3.2. | Objetivos específicos | 21 |
| 1.4 | ESTRUTURA DO TRABALHO | 21 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 22 |
| 2.1 | Clima urbano | 22 |
| 2.1.1 | Clima | 25 |
| 2.1.2 | Processo de urbanização..... | 28 |
| 2.1.3 | Conforto térmico..... | 32 |
| 2.2 | Ilhas de calor urbano | 34 |
| 2.2.1 | Conceituando ilha de calor | 36 |
| 2.2.2 | Tipos de ilhas de calor urbano..... | 37 |
| 2.2.3 | Fenômeno das ilhas de calor..... | 40 |
| 2.3 | Sensoriamento remoto no estudo da temperatura | 43 |
| 2.3.1 | Efeito estufa e as alterações climáticas..... | 45 |
| 2.3.2 | Satélites artificiais..... | 46 |
| 2.4 | Área verde urbana | 49 |
| 2.4.1 | Conceito e definições..... | 49 |
| 2.4.2 | Funções das áreas verdes públicas urbanas | 50 |
| 2.4.3 | Impacto das áreas verdes na redução da temperatura do ar..... | 51 |
| 2.5 | Instrumentos de diretrizes ambientais | 53 |
| 2.5.1 | Agenda 21 | 54 |
| 2.5.2 | Protocolo de Kyoto..... | 55 |
| 2.5.3 | Política Nacional de Trânsito | 56 |
| 2.5.4 | Programa de Controle de Emissões Veiculares - PROCONVE..... | 56 |
| 2.5.5 | Programa Nacional de Controle e Qualidade do Ar – PRONAR..... | 57 |
| 3 | PROCEDIMENTO METODOLÓGICO..... | 58 |
| 3.1 | Natureza da pesquisa | 58 |
| 3.2 | Procedimento de análise de dados | 59 |
| 3.2.1. | Pesquisa bibliográfica e documental..... | 59 |

| | |
|--|------------|
| 3.2.2. Aquisição de imagens | 60 |
| 3.2.3. Identificação das ilhas de calor | 60 |
| 3.2.4. Análise da infraestrutura urbana e identificação de áreas com potencial para novas áreas verdes..... | 61 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 63 |
| 4.1 Caracterização da área de estudo | 63 |
| 4.2 Procedimento de mapeamento de todas as áreas verdes existentes na área urbana do município..... | 66 |
| 4.3 Procedimento de identificação das Ilhas de calor e áreas com maiores variações de temperatura na área urbana..... | 67 |
| 4.3.1 Aquisição de imagens..... | 67 |
| 4.3.2 Fusão de imagens..... | 67 |
| 4.3.3 Temperatura de superfície | 69 |
| 4.3.4 Identificação das áreas com manifestação de Ilhas de Calor Urbano (ICU). | 79 |
| 4.4 Procedimentos de análise da infraestrutura urbana e identificação de áreas com potencial para novas áreas verdes | 87 |
| 5 IMPACTOS ACADÊMICO, ECONÔMICO E SOCIAL | 94 |
| 5.1 Impacto acadêmico..... | 94 |
| 5.2 Impacto social..... | 94 |
| 5.3 Impacto econômico | 96 |
| 6 CONCLUSÃO | 98 |
| REFERÊNCIAS | 100 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Ocorrido durante o século XX, o desenvolvimento urbano modificou, consideravelmente, as características físicas das cidades, ocasionando grande modificação no ambiente natural. Assim, as áreas urbanas perderam o “equilíbrio” ecológico com o meio ambiente (Gomes; Amorim, 2003).

Estudos sobre o clima urbano tem aumentado e tem sido de grande interesse não apenas porque a maioria da população brasileira e mundial vive nas cidades, mas também pelo fato desses ambientes se encontrarem em processo de degradação, e seus efeitos prejudicando de forma considerável na qualidade de vida dos cidadãos.

A Ilha de Calor Urbano (ICU) segundo Teobaldo Neto e Amorin (2019, p. 03), é um fenômeno que tem como resultado mais um entre outros problemas ambientais que ocorrem do procedimento dinâmico de produção do espaço urbano. Países que possuem clima tropical, ela representa uma ameaça ao conforto térmico, a qualidade de vida e até mesmo à saúde da população.

Pela abordagem de Oke (1982, p.7 *apud* Teobaldo Neto; Amorin, 2019, p.3), a ilha de calor tem sido observada em quase todos os assentamentos onde têm sido estudados, devido ser uma anomalia térmica com dimensões horizontais, temporais e verticais. Suas características estão associadas a natureza da cidade através do tamanho, da densidade das construções e do uso do solo, como também com as influências externas através do clima, tempo e estações (Amorim, 2019).

O Planeta Terra é mantido aquecido pela radiação solar, desempenhando um papel fundamental na sustentação da vida, auxiliando nos processos de transpiração, evaporação e fotossíntese. Esses são processos naturais essenciais para o aquecimento que permite a vida em nosso planeta.

O que mantém o Planeta Terra aquecido é a radiação solar, se tornando importante para a manutenção da vida como é de nosso conhecimento, auxiliando no processo da transpiração, evaporação e fotossíntese, sendo esses processos essenciais e naturais para que ocorra esse aquecimento. Em consequência disso, a radiação é considerada como um elemento meteorológico fundamental e seu estudo para o sensoriamento remoto estende-se para que os efeitos de balanço de energia, mudanças

climáticas globais, efeito estufa e para o estudo em questão que são as ilhas de calor urbana (Marin; Assad; Pilau, 2008).

Enquanto o aquecimento ocorre por meios naturais, as ilhas de calor acontecem por questões antrópicas. Por consequência, as modificações das estruturas urbanas através dos anos, motivadas pela migração da população rural para o ambiente urbano procurando melhorar a qualidade de vida, colaboraram para estragar a capacidade de suporte do espaço natural, causando muitos danos e modificando sua estrutura.

Um dos problemas habituais que acontecem está relacionado à utilização de materiais comuns de construção, onde eles absorvem mais radiação do que em áreas arborizadas em zonas rurais menos arborizadas, ocasionando o fenômeno conhecido como Ilha de Calor Urbana (Amorim, 2019).

O crescimento demográfico excessivo nas cidades provocou diversos problemas ambientais e sociais, visto que o aumento da população não foi acompanhado por ações de planejamento através da administração dos órgãos públicos. Visualizam-se dentro da cidade esse reflexo das paisagens, sobretudo na formação das favelas e nas ocupações irregulares.

Em relação ao clima, as cidades se constituem como um espaço com várias possibilidades de estudo, tendo em conta, que o processo de urbanização proporcionou alterações diretas no uso e ocupação do solo, com mudanças nas paisagens naturais por conta de espaços construídos, condensados e com inexistência parcial ou total de áreas vegetais. Dessa maneira, afirma-se que a cidade gera um clima urbano específico, diferenciando-se do clima das áreas rurais e de regiões menos urbanizadas.

Um dos problemas climáticos visualizados no espaço urbano é a formação de ilhas de calor, que se forma através da elevação da temperatura média em diversos pontos da cidade, resultando da interação dos elementos construtivos com a atmosfera (Gartland, 2011).

Estabelece-se, dessa forma, a questão norteadora deste estudo que é existe ilha de calor em Coari-AM? Como forma de responder a esse questionamento, tem-se como propósito desse estudo o exame das condições básicas do espaço urbano, envolvendo as áreas verdes na esperança de amenizar a geração das chamadas ilhas de calor, através do diagnóstico de ferramenta de gestão ambiental para a cidade de Coari / AM. E para contribuir para explicar a problemática e refinar o objetivo geral, tem-se os seguintes objetivos específicos: realizar o mapeamento de todas as áreas verdes existentes

na área urbana no município, fazer um apanhado sobre clima urbano e ilha de calor urbano; e identificar áreas com potencial para áreas verdes.

A contribuição para a ciência, através da viabilidade científica deste trabalho, baseia-se na área dos estudos bioclimáticos e da climatologia urbana realizados sobre Coari, cidade situada no Amazonas, de modo que ele possa fundamentar em material de consulta e referência para urbanistas, estudiosos, e da comunidade universitária.

Partindo desse propósito, procura-se entender como o clima urbano de uma cidade de médio porte é modificado, considerando a importância da dinâmica de transformações que acontecem neste espaço nas últimas décadas. Para tanto, a área de estudo definida para a pesquisa consiste no município de Coari, localizada no Estado do Amazonas. Sendo considerada uma cidade de médio porte, apresentando um desempenho urbano intenso, representada como um polo regional.

1.2 PROBLEMATICA

A falta de áreas verdes em áreas urbanas gera diversos problemas que estão relacionados com a poluição atmosférica, o risco de inundações e alteração nas amplitudes térmicas. A busca por fontes bibliográficas relacionadas a importância por conhecimentos do clima urbano tem aumentado, não somente porque a maioria da população do Brasil e mundial habita as cidades, todavia também pela degradação desses espaços e suas implicações na qualidade de vida (Amorim, 2019).

As pesquisas das ilhas de calor urbanas têm se demonstrado ferramentas importantes para o planejamento do espaço urbano. O universo das distinções das temperaturas intra-urbanas e rurais adjuntas pode apresentar contribuições para diminuir a magnitude das ilhas de calor (Amorim; Cardoso, 2015).

De acordo com Alves (2017), as pesquisas das ilhas de calor urbanas têm indicado uma ferramenta formidável para a gestão do espaço urbano, ou seja, trazem benefícios para cidade e podem impactar diretamente na conservação do Meio Ambiente (florestas, rios, animais) e na melhoria da qualidade de vida da população (Cruz, *et al*, 2007; Moro 1976).

Todavia, segundo salienta Amorim e Cardoso (2015), na maioria das vezes os estudos das pesquisas não são adequadamente empregados pelo poder público, por carência de detalhamento da classificação da temperatura atmosférica ou ilha de calor nos meios intra-urbanos, ou meramente pela ausência de interesse dos governantes.

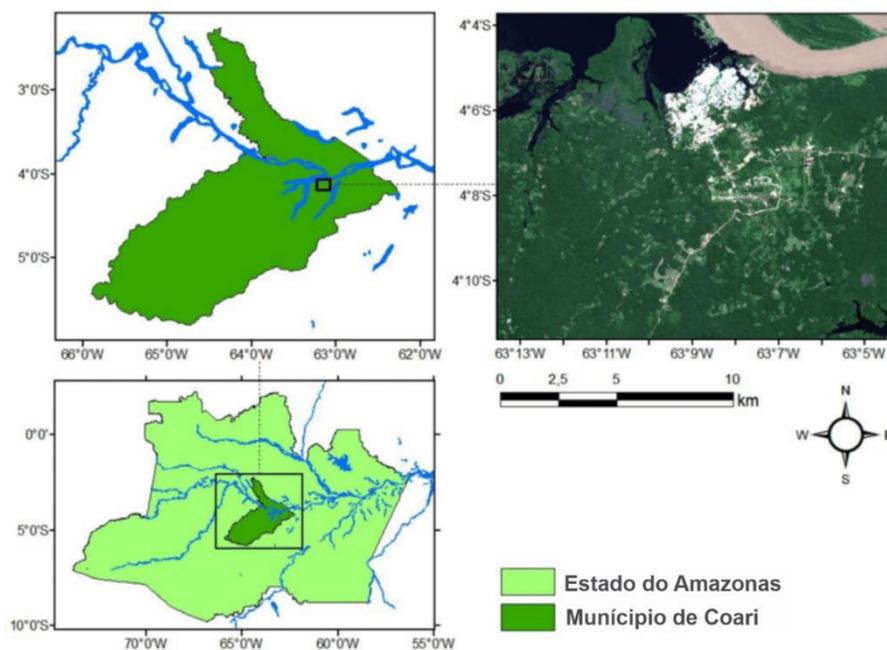
As paisagens naturais passaram por diversas modificações. Entretanto, as implicações do ar afetado no ambiente urbano produzem variações nos elementos climáticos de modo mais ativo, em comparação ao meio rural (Amorim, 2019).

O Município de Coari/AM apresenta características singulares em relação ao seu Meio Ambiente urbano e rural. O município fica localizado na subárea denominada popularmente como Médio Solimões (AB'SABER, 2010), aproximadamente nas coordenadas 4° 45' e 5° 05' de latitude sul e o meridiano de 63° 8' 34" a oeste de Greenwich. O clima, predominante na maior parte do estado, é equatorial quente e úmido. A zona urbana está localizada próxima ao Rio Solimões entre os Lagos de Coari-Mamiá, com uma altitude média de 46 m (IBGE, 2011), ocupa uma área absoluta de 57.922 Km² (IBGE 2021).

Apesar do município estar inserido nesse contexto, a área urbana do município apresenta poucas áreas verdes em relação à zona rural. O clima do município é quente e úmido e as temperaturas por maior parte do ano, as percepções de desconforto térmico e a concepção de gradientes horizontais de alterações de temperatura, ou seja, temperaturas no centro mais altas em relação a periferia, tornam-se evidentes.

Diante desses aspectos, entende-se que um estudo do clima no município de Coari/AM torna-se imprescindível, pois, os dados técnicos, com embasamento científico, poderão assessorar na gestão ambiental e urbano, através de planos de recomposição da paisagem e sua estruturação mais equitativa, de arborização urbana e de reformulação urbanística, evitando-se com isso, a representação de modelos insustentáveis de utilização do solo.

Figura 1 - Localização do Município de Coari/AM



Fonte: Editado do Google Earth (2022) e Google Maps (2022).

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

1.3.1. Objetivo Geral

- Analisar a infraestrutura urbana e espaços com potencial para áreas verdes, a fim de mitigar a formação de ilhas de calor na cidade de Coari-AM.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar o mapeamento de todas as áreas verdes existentes na área urbana no município.
- Identificar ilhas de calor e áreas com maiores variações de temperatura na área urbana.
- Identificar áreas com potencial para áreas verdes.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esse trabalho dissertativo está dividido em seis capítulos, com subdivisões, onde a primeira parte inicia-se com a introdução apresentando as considerações gerais sobre o estudo, a viabilidade da pesquisa, relevância do tema e seus objetivos.

Constitui-se o segundo capítulo pelo referencial teórico, apresentando um estudo circunstanciado sobre clima urbano, as ilhas de calor urbano, áreas verdes urbanas, e os instrumentos de diretrizes ambientais.

A metodologia utilizada é apresentada no terceiro capítulo, além das técnicas de coleta de dados desenvolvidas.

Procura-se no quarto capítulo responder à questão levantada no decorrer do trabalho: Existe ilha de calor em Coari –AM? Será que a vegetação realmente interfere no clima urbano? A análise e descrição dos dados alcançados através das medições das variáveis que constituem a base da resposta a esse questionamento.

No quinto capítulo expõe-se os impactos acadêmicos, econômico e social. A conclusão do trabalho constitui o capítulo sexto. Seguindo-se a esse capítulo são apresentados as referências bibliográficas e os apêndices.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este tópico tem como proposição apresentar o enfoque do tema recebido na literatura publicada possibilitando realizar um diálogo com as concepções de ferramentas de gestão ambiental que possam atenuar as complicações térmicas ocasionadas pelas ilhas de calor no município de Coari. A seguir apresentamos o referencial teórico utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

2.1 CLIMA URBANO

A maioria da população ao redor do mundo se abriga em centros urbanos, onde as interações do homem na paisagem natural vêm causando mudanças significativas nos microclimas. Mudanças estão sendo feitas e retiradas de áreas vegetais, atividades industriais, impermeabilização do solo, dentre outros fatores, causam aumento de temperatura do ar e a diminuição da umidade relativa (Franco *et al.* 2010).

Os centros urbanos são um conjunto de interações entre o homem e a natureza ao seu redor, acarretando um clima próprio para a região, o clima urbano. As ações antrópicas alteram esse meio com a degradação da vegetação nativa, liberação de gases tóxicos e poluentes, impermeabilização do solo, construções de edificações, entre outros (Cavalcante *et al.* 2017).

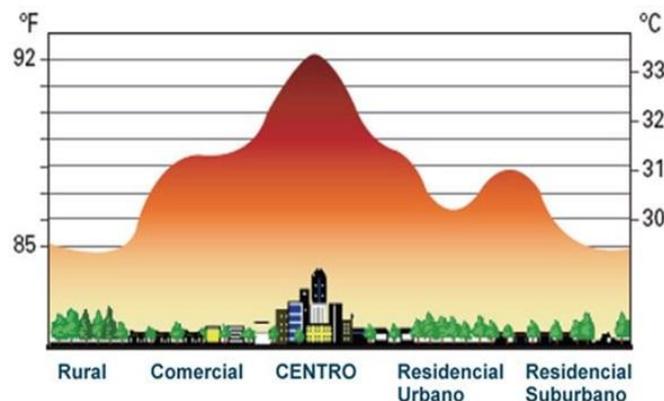
Poucas características físicas dos centros urbanos apresentam efeitos sobre o clima local. Em seu trabalho o autor cita a densidade da área urbana, a orientação e largura das ruas e a altura relativa das edificações, como algumas dessas características, além da utilização de materiais para a cobertura do solo, como concreto e asfalto (Santos, 2011).

A modificação do clima urbano é resultado de condições particulares do meio ambiente urbano, seja pela rugosidade do tecido urbano, ocupação, permeabilidade ou pelas propriedades térmicas dos materiais compostos. É aquele próprio das cidades e áreas urbanas, representadas pelas características da região em seu clima original onde se assenta a cidade e modificadas localmente pela ação do ser humano (Franco *et al.*, 2010).

O clima urbano é originário da interatividade advinda dos fatores urbanos com o clima regional e com o meio físico pré-existente, por conseguinte, as ações antrópicas alteram a paisagem natural, transformando-a em um ambiente altamente

impermeabilizado. No ambiente urbano, o clima não é homogêneo, e isso acontece devido a influência de fatores condicionantes que podem ser os tipos de uso de solo, concentração urbana, índice de áreas verdes e emissão de poluentes, pois condiz com as atividades desenvolvidas naquele local (Ferreira; Estevam; Maia, 2022).

Figura 2 - Clima urbano



Fonte: Blog Escola Educação. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/ilha-de-calor.htm>. Acesso em: 24 jun. 2023 (2018).

As principais características deste tipo de clima consistem em: aumento da temperatura do ar, diminuição da umidade relativa, maior nebulosidade e precipitação, diminuição da velocidade do vento, aumento da turbulência (Borges, 2009).

O clima urbano é resultado da ação antrópica conjugado com os aspectos geoambientais do sítio urbano, insere-se nesse contexto, variando quanto às dimensões do espaço geográfico / atmosférico e quanto ao dinamismo das atividades desenvolvidas pelo homem nas cidades (Monteiro; Mendonça, 2011).

Os elementos e fatores do clima urbano, denominados de componentes bioclimáticos considerados no desenho urbano são predominantemente os mesmos do clima em geral, que, no seu conjunto, recebe influências das mudanças ocorridas no meio ambiente, devido ao processo de urbanização dos lugares.

Nas mesmas condições estão inseridos os componentes não bioclimáticos ou atributos urbanos, isto é, as características da forma urbana (densidade de construção, porosidade e rugosidade, ocupação do solo, tamanho, permeabilidade do solo, orientação, e propriedades termodinâmicas dos materiais constituintes) (Vianna, 2018).

Monteiro e Mendonça (2011), consideram como fatores condicionantes do clima urbano a radiação solar, as características e peculiaridades da forma urbana (constituídas pelos elementos morfológicos da cidade) e as áreas verdes.

Houng (1998), aponta como cinco grandes influências do clima urbano: a diferença de materiais no meio ambiente urbano; a maior rugosidade aerodinâmica das áreas construídas, em contraste com a do campo; a grande quantidade de energia calorífica lançada na atmosfera da cidade, oriunda dos sistemas de calefação e refrigeração das fábricas e dos automóveis; os problemas resultantes das precipitações; e a qualidade do ar.

Romero (2013), afirma que os seguintes elementos devem ser considerados no clima: temperatura, ventos, umidade, radiação e chuvas, seguindo princípios gerais,

Independente do tipo de clima nas regiões tropicais existem alguns princípios gerais que devem ser considerados quando se incorpora a preocupação bioclimática ao desenho urbano. Estes princípios estão organizados para controlar os elementos climáticos que exercem grande influência no equilíbrio térmico entre o homem e o ambiente, quer dizer, a radiação e a ventilação, e para auxiliar este controle estão também informações e princípios para um fator climático local: a vegetação (Romero, 2013, p.87-88).

Ainda, segundo Romero (2013, p.86),

[...] o desenho urbano, busca definir as condições ambientais, do meio natural e construído que melhor satisfaçam às exigências do conforto térmico do homem, enfocando, assim, o desenho urbano dentro do conceito orientado pela concepção arquitetural da bioclimatologia, considerando-se que essa concepção ...é antes de tudo uma interação de vários elementos climáticos, do lugar, de uma cultura, com a finalidade de criar ou recriar ambientes urbanos.

A importância de se ter uma visão ambiental nos processos econômicos, técnicos, político e de desenho, pois os mesmos dão forma a cidade, dando uma visão aos processos naturais que acontecem no meio urbano, e que em muito dos casos, não são avaliados (Houng, 1998).

A cidade (de acordo) segundo Franco (2000), é um local agregador dos problemas que são vindos das áreas rurais, com a seriedade de oferecer soluções para esses problemas. Em resumo, é uma concepção de desenho urbano na qual a representação de urbanismo e natureza estejam associados.

A necessidade de sempre se buscar o desenvolvimento sustentável e de se considerarem os processos naturais, visto que essa sustentabilidade está relacionada diretamente com as mudanças radicais ligadas a questões que incluem a pobreza, a poluição, os estilos de vida, a tecnologia, além de salientar a relevância da participação democrática de todos (Franco, 2000).

As alterações que acontecem no clima urbano possuem seus efeitos notados pela população pois desorganizam a vida da cidade e deterioram a qualidade de vida dos

seus habitantes, onde as sensações térmicas mais elevadas podem influir psicologicamente, fisiologicamente, além das atividades econômicas, aumentando a mobilidade e mortalidade e a violência urbana.

2.1.1 Clima

Hann (1982), *apud* Silva e Ferreira (2023, p.7), classificava o clima, de forma categórica, como sendo a representação de eventos meteorológicos que constituem a condição média da atmosfera por cima de um local específico da superfície da terra (Silva; Assunção, 2004).

Contra-pondo-se, ao conceito anterior os autores por outro lado, Cunha e Vecchia (2007), assumiram posição discordante da definição anterior que, para eles, envolvia considerável grau de subjetividade, uma vez que os aspectos meteorológicos se relacionam mutuamente, no tempo e no espaço, principalmente por sua variabilidade, tangibilidade e realidade.

Nessa perspectiva a climatologia dinâmica, na qualidade de modalidade diferenciada de análise do clima, orientada ao tratamento dos aspectos climáticos de forma integralizada, dada a inviabilidade de que sejam avaliados de forma desagregada, já que a ideia maior é alcançar o entendimento da realidade.

Falar em climatologia dinâmica, significa considerar que tanto a investigação quanto a análise do clima são desenvolvidos a partir da variabilidade do clima, reprisada em períodos uniformes, caso das estações do ano, ou não, em face de episódios atípicos, na atmosfera e seu relacionamento com outros planos como a biosfera, a hidrosfera e a antroposfera, definido como holorritmo, plenitude ou integralidade dos ritmos (Sette; Tarifa, 2002).

Nessa conjuntura, levando-se em conta a habitual limitação das dimensões dos espaços urbanos, na comparação com às áreas rurais, acabam por representar pouca preponderância em escala global.

Complementarmente em um grande número de análises climáticas, lançam mão de informações fornecidas por estações meteorológicas standardizadas, constituídas de determinados aspectos técnicos de instalação, entre eles, a obrigatoriedade de que seja acomodado em espaço desembaraçado de obstáculos naturais ou de edificações produzidas pelo homem (Inmet, 2011).

Consequentemente, em grande parte dos estudos sobre o clima até então desenvolvidos, é pouco significativa a avaliação das repercussões resultantes do desenvolvimento das áreas urbanas.

Fruto das inúmeras interações necessárias a realização das mudanças que as áreas materiais e as atribuições características dos espaços das cidades desencadeiam nos balanços de energia, massa e movimento, em relação aos quais os estudos precisam ser enfrentados de maneira interdisciplinar, em um espaço ou região intitulada climatologia urbana (Andrade, 2005).

As consequências mais evidentes da atuação do clima das cidades se fazem perceptíveis pela coletividade, sobretudo, pelos protestos relacionados ao desconforto térmico, das condições do ar e das repercussões negativas provocadas pelas chuvas em excesso, entre outros aspectos.

As mudanças são fruto da devastação da cobertura vegetal primordial ocorrida, em grande parte, pela intensificação do fluxo de pessoas e veículos, pela impenetrabilidade do solo, alterações no relevo através da prática sistemática de nivelamentos resultantes da aposição de materiais, encanamento de cursos d'água, aglomeração de construções, crescimento vertical da cidade, aparelhamento urbano com equipamentos como praças, casas, parques e indústrias, entre outros, assim como da incomensurável dispersão de inúmeros elementos poluentes na atmosfera (Amorim, 2011).

As temperaturas de grande magnitude, bem como as variações abruptas tornam-se cada vez mais circunstâncias reiteradas no Brasil e no mundo. Segundo manifestação da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (2016), o ano de 2015 bateu recorde histórico de calor, com a constatação de que os valores médios de temperatura da Terra foram os mais altos já consignados em toda a série histórica de aferição iniciada em 1880. O *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) foi responsável pelas avaliações autônomas que corroboraram tal constatação reforçada, ainda, por medições da temperatura global que registram crescimento contínuo, há mais de 15 anos, desde 2001, realizadas pela NASA.

O clima tropical predomina em parte considerável dos centros urbanos brasileiros, reconhecidos por suas altas temperaturas, em parte preponderante do ano. As práticas usuais de organização e utilização do espaço urbano agravam, sobremaneira, as condições naturais para a permanência do homem nesse ambiente, amplificando as temperaturas a patamares capazes de originar o evento denominado

Ilhas de Calor Urbana (ICU), característico, entre outros aspectos, de um problema ambiental que exige todo cuidado e atenção da comunidade científica e daqueles que projetam as cidades, por todo risco que oferece ao meio ambiente urbano, assim como para sua coletividade (Amorim, 2011).

A Climatologia trata do estudo científico do clima, verificando os parâmetros de comportamento da atmosfera em suas correlações com as atividades humanas e com as superfícies do planeta por um longo tempo.

Segundo Conti, (2001), muitas foram as definições de clima, ao longo do último meio século. Porém, para se chegar às concepções metodológicas atuais, as várias teorias desenvolvidas foram classificadas em duas correntes de pensamento: a Separatista ou clássica e a Dinâmica.

A climatologia clássica descreve o clima como sendo o conjunto dos fenômenos atmosféricos que constituem a condição média da atmosfera em cada lugar da terra. Esta definição sugere a ideia de uma atmosfera estática, essencialmente descritiva, na qual a conexão entre os elementos e fatores climáticos é desconsiderada e a distância do trato da realidade, apresentando assim, um caráter pouco prático e insuficiente para as investigações climatológicas (Cunha; Vecchia, 2007).

Através dos estudos da meteorologia é que nasce a climatologia, a qual investiga a atmosfera e seus fenômenos, preocupando-se com a medição e registro destes fenômenos, com o intuito de indicar as condições físicas que foram produzidas (Barros; Zavatini, 2009).

Embora a climatologia tenha surgido de uma concepção conferida pela meteorologia essas duas ciências contrapõem-se em bases conceituais como o conceito de tempo e clima, para a meteorologia o tempo seria o total dos valores que, em dado momento e em determinado lugar, caracterizam o estado atmosférico, ao mesmo tempo em que na climatologia, o tempo seria uma combinação efêmera, de curta duração dos fenômenos atmosféricos (Barros; Zavatini, 2009).

Sob uma concepção geografia, o estudo do clima possui uma conotação antropocêntrica, dispondo de uma singularidade em relação a meteorologia, buscando estabelecer uma relação sociedade-natureza por englobar as diferentes esferas terrestres aspirando uma compreensão da organização do espaço, dispondo no estudo do clima um vetor de grande relevância nas análises espaciais.

Julius Hann define clima apontando que o clima é o conjunto de fenômenos meteorológicos que constituem o estado médio da atmosfera em um ponto da superfície

terrestre, no entanto sob a opinião de Max Sorre define o clima como um ambiente atmosférico formado pelos estados atmosféricos sobre um lugar em seu segmento habitual (Sant’Anna Neto, 2003).

Os estudos climáticos realizados no Brasil, atualmente, seguem as propostas da climatologia dinâmica decorrente das concepções climáticas de Max Sorre, a partir do padrão do ritmo e sucessão dos tipos de tempo que Carlos Augusto Figueredo Monteiro desenvolveu, como também utilizando o modelo geossistêmico que Bertrand desenvolveu para análises integradas entre os diversos campos que atua a Geografia Física.

2.1.2 Processo de urbanização

A urbanização no Brasil se intensificou de forma mais acentuada foi a partir da década de 1950 e teve grande crescimento com o advento da indústria nacional, serviu como atrativo para que se estabelecesse um grande contingente populacional nas cidades, resultado da migração buscando uma melhor condição de vida e de trabalho (Santos, 2023).

O aumento da população urbana em relação a população rural tem o nome de urbanização. De acordo com esse conceito, a urbanização ocorre quando o aumento da população urbana for superior ao aumento da população rural (Costa, 2003).

O Brasil, na segunda metade do século XX tornou-se um país urbano, ou seja, mais de 50% da população foi residir nas cidades. Na década de 1950, a evolução da urbanização no Brasil ficou cada vez mais rápido. Isso aconteceu, principalmente, a consolidação do processo da industrialização brasileiro que ocorreu a partir de 1956, tornando-se o principal motivo entre vários de outros, da “política desenvolvimentista” que ocorreu no governo Juscelino Kubitschek (Martins Júnior; Oliveira Neto, 2016).

Jatobá (2011, p.141) aduz que:

Urbanização e meio ambiente têm uma relação direta. A urbanização, por implicar a concentração de pessoas e atividades produtivas sobre um espaço restrito, gera, necessariamente, impactos degradadores do meio ambiente com efeitos sinérgicos e persistentes. Embora outras atividades, como a agricultura, a pecuária, a mineração e a geração de energia, provoquem igualmente grandes impactos negativos sobre o meio ambiente, a urbanização, por gerar de forma concentrada seus impactos ambientais e difundi-los além dos limites urbanos, merece uma análise especial.

A urbanização é um fenômeno que impacta o meio ambiente, em especial as condições climáticas, quando as superfícies do solo são substituídas por diferentes

formas de ocupação do solo, alterando as condições naturais do ambiente local. Existem vários estudos que abordam a questão do clima urbano e constatam que a urbanização e as atividades antropogênicas consequentes desse processo, respondem pela formação de microclimas na cidade (Sorre, 2006; Corrêa, 2008; Modna: Vecchia, 2003).

Figura 3 - Mapa mental: urbanização



Fonte: Blog Escola Educação. Disponível em:

<https://brasilescola.uol.com.br/brasil/urbanizacao.htm>. Acesso em: 24 jun. 2023 (2020).

O desenvolvimento populacional ocorre proporcionalmente ao crescimento das áreas edificadas para atender a procura básica do conjunto de pessoas ingressadas em espaços reservados para habitação, comércio, serviços e indústrias. Esse fato aconteceu a partir do século XX, quando os resultados das atividades industriais procederam na atmosfera, causando modificações no ambiente e nos elementos meteorológicos (Feitosa, 2010).

A decomposição ambiental e a baixa na qualidade de vida nas cidades vêm se agravando à medida que a urbanização se intensifica. Assim, o estudo do clima urbano tem atraído a atenção de vários ramos das ciências, intensificando a urbanização e

alterando significativamente os parâmetros climáticos. Essas alterações climáticas se modificam de acordo com cada cidade, dependendo do uso do solo, como acontece o crescimento urbano e dos aspectos geocológicos do lugar (Leão, 2008).

O clima é um dos elementos do ambiente natural que é altamente modificado. O grande número de veículos e indústrias que lançam toneladas de poluentes encontrados na atmosfera, como o dióxido de carbono (CO₂); os prédios que mudam a aparência superficialmente, dificultam e impedem a circulação dos ventos; o asfalto e os calçamentos que alteram o albedo da superfície, acumulando calor; a responsabilidade da diminuição das áreas verdes pelo sombreamento e pela retenção de poluentes, além da manutenção de ambientes com temperatura do ar, amena. Esses fatores são alguns dos geradores de mudanças climáticas (Conceição; Damasceno, 2007).

O aumento da temperatura do ar que ocorre em grandes centros urbanos está também associado à concentração de veículos e indústrias, que potencializam a produção artificial de calor. A radiação infravermelha é transmitida da superfície para o espaço fica presa na camada de poluição, comuns nestes centros provocando um efeito estufa local (Corrêa, P.; Corrêa, J.; Andrade, 2012).

A urbanização altera as características morfológicas e estruturais tanto na zona rural como também na zona urbana. Apresenta-se alguns aspectos que são modificados: a paisagem fica alterada como também na cobertura das superfícies urbanas; densidade populacional aumentada; atividades econômicas; mobilidade urbana; geração de lixo, entre outros (Ahmed *et al.*, 2020).

Além disso influenciam diretamente nos parâmetros climáticos locais, dentre eles a temperatura máxima, temperatura mínima, precipitação e evaporação (Maheshwari *et al.*, 2020).

A temperatura do ar tende a aumentar nos centros das cidades comparando as áreas rurais ou suburbanas circundantes. Este fenômeno é chamado ilha de calor urbana (ICU) e está relacionado principalmente pela alta quantidade de edifícios e da estrutura Urbana (Oke, 2006).

Um problema muito preocupante é a modificação da cobertura do solo, influenciado pela interferência humana, acarretando as mudanças climáticas, decorrente do cenário urbano, aumentando a temperatura do ar e ressaltando os efeitos do fenômeno da ICU (Santos, 2023).

O aumento do albedo urbano é um esquema que favorece a mitigação dos efeitos da ilha de calor urbano (Morini *et al.* 2018).

O aumento da presença de edificações e materiais de construção comparada com a área verde possui significativa modificação associada diretamente à urbanização, alterando as características térmicas das superfícies das cidades. A alta capacidade de absorver e re-irradiar calor através das superfícies impermeáveis acontecem decorrente do aumento da temperatura do ambiente ocasionado pelo desenvolvimento da urbanização, permitindo que se formem ilhas de calor (Castelo Branco, 2009).

Vargas *et al.* (2020), em estudo na Região Metropolitana da cidade do México destacam que, as áreas urbanizadas apresentaram aumentos significativos na ordem de 3 a 4°C durante os últimos cem anos, tanto nas temperaturas máximas quanto nas mínimas. O estudo também relatou uma mudança no regime de precipitação, relatando um aumento de aproximadamente 40% durante o último século.

Em países de baixa renda, a vulnerabilidade da população é maior, decorrente da extensão de desmatamento ocasionando maiores áreas de alto risco e territórios mais propensos à inundações (Few; Matthies, 2007).

Shahmohamadi *et al.* (2011), apontam três estratégias para amenizar os impactos da ilha de calor urbana na saúde humana: diminuição da poluição do ar, conseguindo transporte adequado, lançando uma menor quantidade de gases poluentes; paisagens planejadas para moderação das temperaturas elevadas e aumentar o albedo dos materiais empregados na construção.

O processo de formação que acontece nas grandes cidades por ser uma característica moderna, não representa uma forma de desenvolvimento. A urbanização quando ocorre sem planejamento, de forma desordenada, acarreta a chamada macrocefalia urbana, quando as cidades, através do grande número de pessoas que chegam do campo, não conseguem assimilar.

Desta maneira, a grande preocupação de muitos países é melhorar a condição de vida de seus habitantes, como também conter o processo de urbanização, mantendo as pessoas no campo. Se no meio rural as terras forem bem distribuídas, ou seja, não ficarem nas mãos de poucas pessoas, as pessoas abandonam o campo.

2.1.3 Conforto térmico

O conforto térmico humano em espaços exteriores é o resultado de contribuições positivas dadas através dos espaços urbanos favorecendo a saúde e o bem-estar (Georgi; Dimitriou, 2010).

O conforto térmico conceituado pelos padrões da *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Ashrae*, (1992), é definido como: “Condição da mente que expressa satisfação com o meio térmico em que a pessoa está inserida.”

O conforto térmico pode ser definido em áreas que a seção térmica seja agradável para os seres humanos, com a presença de maior quantitativo das áreas verdes e corredores de ventos para a ventilação dos miolos urbanos para obter um conforto climático mais agradável para àqueles que principalmente sofrem de problemas respiratórios e cardíacos (Amorim, 2010).

O conforto térmico através das variáveis ambientais é determinado por: umidade, temperatura, radiação solar incidente e velocidade do ar tem enorme relevância para a determinação das distintas faixas de conforto (Frota; Schiffer, 2001).

A diversidade de fatores ambientais, bem como, as particularidades individuais, de cunho orgânico, são suficientes para compreender a dificuldade de estabelecer parâmetros definidores do conforto térmico (Silva, 2008).

Para se avaliar se o ambiente está termicamente confortável existe duas maneiras: a objetiva, através dos mais diversos índices de conforto térmico e a subjetiva, através da avaliação da percepção pessoal. “A maioria dos métodos utilizados para analisar os índices de conforto térmico da população brasileira está baseada nas preferências térmicas da população de latitudes médias” (Souza; Nery, 2013, p. 65).

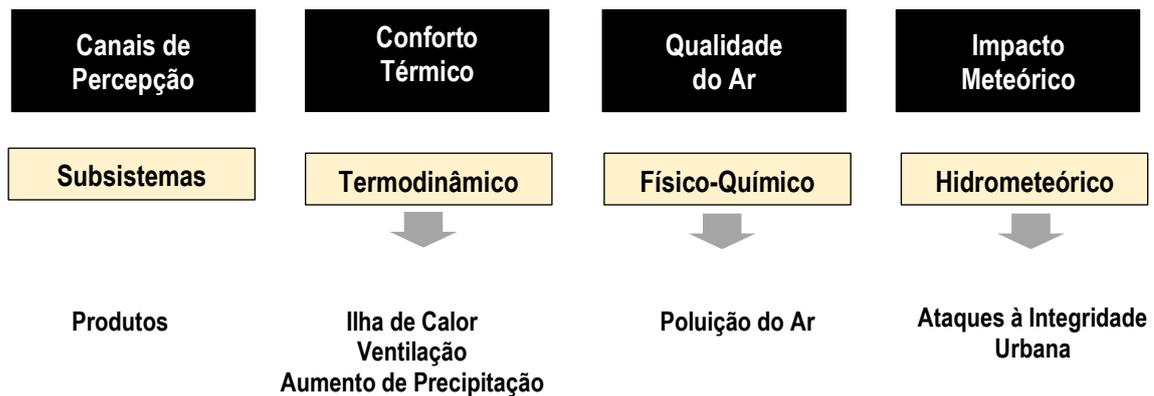
A partir da análise feita para o conforto térmico compreendendo a variável de cada indivíduo de acordo com as vestimentas e as características fisiológicas de cada indivíduo essas variantes são: idade, raça, sexo, hábitos alimentares e atividade exercida (Souza; Nery, 2013).

Portanto para que haja conforto térmico nas áreas onde ocorre as ilhas de calor, é necessária que tenham medidas para aumentar o albedo das áreas urbanas como o sombreamento e replantio de árvores em áreas de solo exposto ou medidas ambientais palpáveis para cada dinâmica nos sítios urbanos, a troca de materiais que retém mais

calor por materiais mais claros que reflitam com mais eficiência a radiação solar (Bezerra *et al.*, 2021).

O conforto térmico é influenciado pelas condições ambientais tais como arborização, gramíneas, rios e circulação de ar, entretanto os centros urbanos não apresentam essas características pelo uso indevido do solo. Os materiais que foram utilizadas para a construção dos sítios urbanos não tiveram um planejamento prévio frente às modificações que poderiam vir a desencadear no clima das cidades e suas consequências acerca da qualidade de vida das pessoas (Gomes; Caracristi, 2021).

Figura 4 - Articulação do sistema de clima urbano segundo os canais de percepção subsistemas e produtos.



Fonte: Adaptado de Monteiro (2009).

Economizar energia, segundo Baltar, Kaehler e Pereira, (2006), proporciona conforto térmico no ambiente. Reduzir o consumo e racionalizar energia dos recursos naturais, nos dias atuais, são de responsabilidade dos projetistas, que através do desinteresse, como também pela falta de conhecimento de técnicas naturais de conforto térmico, não projetam edificações com energia eficiente.

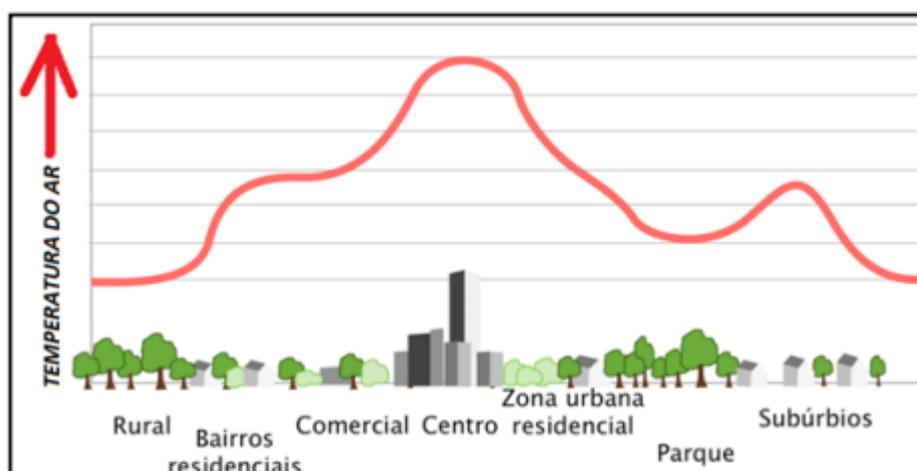
O processo de arborização nas cidades é visto como essencial na melhoria do conforto térmico, tendo em vista que as áreas arborizadas se aproximam das situações ambientais normais em relação ao meio urbano. Nos centros urbanos as áreas que detêm arborização e gramíneas possuem um conforto térmico maior que em áreas que não há esses elementos naturais, as áreas verdes presentes nos sítios urbanos podem receber o nome como ilhas de frescor (Gomes; Amorim, 2003).

2.2 ILHAS DE CALOR URBANO

Na maioria das vezes, a ilha de calor urbano se desenvolve a partir de quando os ventos de escala sinótica são fracos (os fortes ventos misturam o ar da cidade e das áreas rurais, diminuindo o contraste de temperatura). O aquecimento relativo da cidade, em algumas áreas metropolitanas, comparando com suas cercanias, pode proporcionar uma circulação convectiva do ar: o ar quente que sobe sobre o centro da cidade, é trocado por um ar mais denso e frio, correspondente as zonas rurais. Através da acumulação de aerossóis, devido a coluna de ar ascendente, forma sobre a cidade uma nuvem de poeira (poluentes), podendo tornar muitas das vezes mais concentrados sobre a área urbana do que nas áreas rurais.

Com a elevação de temperatura de uma área urbana é que ocorre o fenômeno climático chamada ilha de calor, como também quando comparada a zona rural ou a uma área urbana mais ventilada ou em áreas verdes mais relevantes. Nas grandes cidades isso acontece quando a temperatura é superior as áreas periféricas, equivalente literalmente a “ilhas”. A distribuição espacial e temporal do campo de temperatura máxima que apresenta sobre a cidade é denominada ilha de calor ou ilha de calor urbana (ICU), apontando uma distribuição de isotermas, lembrando as curvas de nível da topografia de uma ilha, por esse motivo a origem do nome ilha de calor (Naime, 2016).

Figura 5 - Perfil de uma típica ilha de calor urbana



Fonte: Adaptado do esquema de Oke (2010).

A ilha de calor tem sido notada em quase todos os assentamentos estudados por ser uma anomalia térmica com dimensões temporais, horizontais e verticais. As características da ilha de calor estão relacionadas com a natureza da cidade através do

tamanho, do uso do solo, da densidade de construções, como também com as influências externas através das estações, tempo e clima (Oke, 1978).

As ilhas de calor acontecem predominantemente na área urbana devido as propriedades físicas dos materiais usados na construção civil para as edificações, que vão influenciar na reflectância relacionada ao albedo (Bias; Baptista, 2003).

A Ilha de calor trata-se de uma irregularidade característica do clima urbano e possui dimensão espacial, variabilidade temporal e perfil vertical (Lucena, 2013).

Os fatores formadores e que influenciam na constituição das ilhas de calor são: a localização geográfica, relevo, distância de corpos hídricos, altitude, orientação de vertentes, sazonalidade, condições sinóticas, vegetação, tamanho das cidades, suas formas e funções, conforme sintetiza o Quadro 1 (Oke, 1978 *apud* Teobaldo Neto, 2019).

Quadro 1 - Esquema representativo (Identificação) de fatores e condições que afetam a formação da ilha de calor urbano.

| ILHA DE CALOR URBANO | | | |
|---|---|---|--|
| FORMA E FUNÇÃO: | LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA: | VARIABILIDADE: | CONDIÇÕES SINÓTICAS: |
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tamanho ▪ Uso de água ▪ Energia ▪ Poluição ▪ Materiais ▪ Geometria | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Clima ▪ Relevo ▪ Corpos hídricos ▪ Vegetação próxima | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sazonal ▪ Diuturna | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vento ▪ Precipitação Pluvial ▪ Nebulosidade ▪ Sistemas atmosféricos |

Fonte: Oke (1978 *apud* Teobaldo Neto, 2019).

Em relação a sazonalidade, Amorim (2019), argumenta que não há um consenso claro sobre as variações da ilha de calor nas estações do ano, há pesquisas que apontam maior intensidade no inverno como também aquelas que a maior intensidade acontece no verão, no inverno a causa pode ser o aumento da frequência de inversões térmicas e liberação de calor antropogênico intensificado, no verão devido a maior insolação.

Não existe somente um único fator para que ocorra a ilha de calor, e sim, da interação de alterações diversas na superfície da urbe colocadas pelo homem. O balanço de energia altera a as superfícies naturais por pavimentadas e construções, e os produtos da urbanização acelerada e muitas das vezes desordenadas. Essa energia seria usada para evaporar a umidade presente na superfície em um calor latente, produzindo um resfriamento da atmosfera local, absorvida pela superfície urbana (Leão, 2008).

Enfim, as modificações causadas pelas construções urbanas no balanço de energia solar têm provocado a formação de ilhas de calor, alterado o conforto térmico, especialmente em áreas onde a vegetação foi totalmente substituída pelas unidades arquitetônicas, pavimentações, e diminuição das áreas verdes nessa urbe.

2.2.1. Conceituando ilha de calor

Dentre vários fenômenos que ocorrem tipicamente em cenários urbanos, podemos citar a Ilha de Calor como importante identificador do comportamento do clima e conseqüentemente da qualidade de vida da cidade. A Ilha de Calor Urbana pode ser definida como o aumento de temperatura em determinados pontos de uma cidade em função de vários outros fatores como a concentração de prédios que impedem a ventilação natural, a falta de arborização, a mudança nas características da superfície do solo (Gartland, 2011).

Compreendida como um desequilíbrio ou irregularidade térmica a ilha de calor, detentora de proporções horizontais, verticais e temporais, é perceptível em quase todas as localidades onde têm sido pesquisadas. Suas especificidades guardam relação com as características da cidade como suas dimensões, encorpamento ou densidão das construções, e a forma como vem sendo utilizado solo, além das interferências externas como o clima, as condições climáticas e as estações do ano (Oke, 1982).

Uma das formas através das quais é possível interpretar Ilha de Calor Urbana é o aumento de temperatura em pontos específicos de uma cidade motivada por inúmeros outros fatores como é o caso da concentração de prédios que se configuram como obstáculos a ventilação natural, a supressão ou escassez de arborização, as transformações de traços ou atributos da superfície do solo (Mendonça, 2015).

Segundo Oke (1988), o aspecto de destaque sobre a ilha de calor atmosférica é sua força ou potência, configurada na dissemelhança entre o maior extremo da temperatura urbana e o menor extremo da temperatura rural, simultaneamente.

As ilhas de calor podem ser descritas como bolhas de ar quente localizadas nos limites territoriais das cidades, resultantes do potencial característico dos materiais identificados na superfície para conservar e espelhar a energia do sol e da produção do calor antropogênico. Sucodem das distinções identificadas na apuração da energia entre a área urbana e a área rural, assim como das distinções verificadas dentro da própria cidade (Amorim; Dubreuil, 2017).

Considerado todo esse contexto, os enfoques de maior relevância para a geração das ilhas de calor urbanas advêm do balanço de energia, resultante dos aspectos naturais e urbanos. Elementos naturais como as variedades de tempo, o relevo e as variações de superfície (com e sem vegetação), além das causas urbanas, as particularidades dos espaços edificados e as ocupações humanas são os pontos de maior destaque em relação ao presente tema.

2.2.2 Tipos de ilhas de calor urbano

Segundo Arnfield (2003), e Oke (1978), a atmosférica inferior, a atmosférica superior e a superfície são as espécies de ilhas de calor urbana descritas pela bibliografia.

A radiação difundida pelos objetos da superfície terrestre, guardam estreita relação com as ilhas de calor urbano de superfície, passíveis de representação em valores de temperatura com base na conversão dos valores de radiância das imagens adquiridas através de sensores remotos, no intervalo espectral infravermelho termal, acoplados a satélites, como é o caso do satélite Landsat 8.

Verticalmente falando são constituídas duas camadas distintas a saber: a *Urban Canopy Layer* (UCL) (inferior) e *Urban Boundary Layer* (UBL) (superior). A UCL localiza-se entre o solo (a superfície) e o nível médio dos telhados e coberturas. Tal camada resulta de circunstâncias que se manifestam na microescala, dotadas de um hermetismo próprio, em razão da multiplicidade das movimentações na superfície (Oke, 1978).

O conjunto de técnicas e de obras que tem por objetivo oferecer a uma cidade as condições de infraestrutura, planejamento, organização administrativa e embelezamento com base nos princípios do urbanismo é responsável pela formação da referida camada de calor que, a partir de sua interferência, no plano vertical, responde pela *Urban Boundary Layer* (UBL) (Camada Limite Urbana). Diz respeito a camada que se encontra sobre a UCL. Suas proporções se modificam ou se alternam no tempo e no espaço, assumindo maior turbidez durante o dia e maior concreta no decorrer da noite (Oke, 1978).

Em relação ao corte vertical da atmosfera urbana, há um cenário favorável para mistura, considerando sua altura variável, a depender do potencial da superfície para gerar o deslocamento do ar. No decorrer da noite existe a possibilidade de alcançar

menos de 100m, visto que a superfície é resfriada mais rapidamente que a atmosfera e, ao longo do dia tende a alcançar de 1 a 2 km, pois as correntes convectivas possuem um maior nível de intensidade (Amorim, 2000).

Oke (1978, p.265), em mais contribuição, indica como pressupostos mais relevantes em relação a ilha e calor urbano, na perspectiva da *Urban Boundary Layer* que:

Entrada de ar quente resultante da ilha de calor na camada de cobertura urbana; Calor antropogênico dos telhados e da aglomeração; Queda do fluxo de calor sensível da camada estável de cobertura pela convecção de penetração; Convergência do fluxo radiativo de ondas curtas no ar poluído.

Como elucida Lombardo (1985, p. 26), ainda que se destaque como fator de grande visibilidade o desconforto térmico não é a causa única da deterioração das ilhas de calor urbano, posto que:

A ilha de calor pode modificar as correntes de vento na cidade, mas essa implicação deve ser analisada também com o tipo de tempo, a posição orográfica, a estrutura das construções e o sítio urbano. As cidades, em época de calmaria, recebem ventos da periferia em direção ao centro, aumentando, assim, a possibilidade de concentração de poluentes no ar [...]. Pode, também, causar um aumento de precipitação nas áreas urbanas. O efeito da rugosidade das construções, o ar quente ascendente e o aumento dos núcleos de condensação devido à concentração de aerossóis, podem provocar um aumento da quantidade de precipitação de 5 a 10%, registrando-se também a elevação da incidência de granizos.

Consideradas as inúmeras decorrências desfavoráveis e teoricamente nocivas ao conforto térmico, como também, ao bem-estar ou higidez da coletividade, o referido evento é potencialmente conveniente para certa parcela da comunidade científica, favorável a inserção do assunto no contexto das políticas públicas, bem como do projeto de urbanização, sobretudo nos centros urbanos de temperatura quente.

Existem três tipos de ilhas de calor conhecidos, um tipo mensurado por meio de satélites e outros dois tipos a partir da temperatura do ar registrada em superfície.

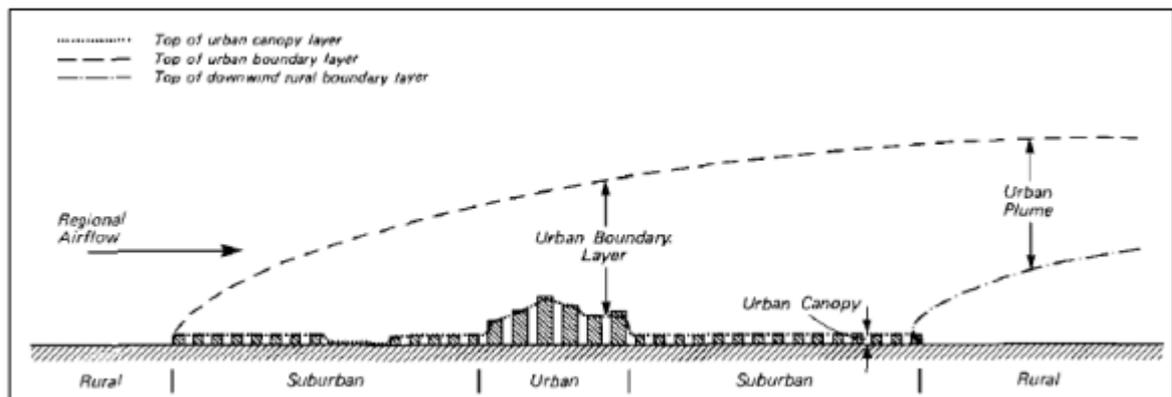
A Ilha de calor de superfície é um dos três tipos reconhecidos pela literatura, é mensurada por meio do sensoriamento remoto, os sensores atuam na faixa espectral termal e conseguem estimar a temperatura em superfície por meio da energia refletida ou emitida de edificações, vegetações, pavimentação e corpos d'água (Teolbaldo Neto, 2019).

A Ilha de calor atmosférica é classificada em dois tipos, a camada inferior e a superior, devido ser mensurada a partir da temperatura do ar e se estender verticalmente a partir do solo (Oke, 1978 *apud* Teolbaldo Neto, 2019).

Oke (2010) diferencia as duas camadas que compõe a atmosfera urbana que são resultado das alterações na paisagem pelo ser humano, a primeira é a inferior denominada “*Urban Canopy Layer*” (UCL), um conceito de microescala que se refere a circulação que se estabelece próximo às construções, determinado pela geometria da cidade e materiais usados na construção dos prédios, seu limite superior é impreciso já que depende muito das características da superfície urbana, em áreas densamente construídas chega na altura dos telhados ou até próximo a eles, sua profundidade depende bastante da velocidade do vento que consegue penetrar.

A camada superior denominada “*Urban Boundary Layer*” (UBL) é um conceito de escala local ou mesoescala, basicamente é a parte da atmosfera que tem as características afetadas devido à presença logo abaixo de uma área urbana, seu limite inferior é a fronteira com a UCL, seu tamanho varia de acordo com o dia e com o tamanho da cidade. Em função do vento pode se estender extrapolando os limites da cidade criando uma nova fronteira acima da superfície rural, a chamada pluma urbana, conforme a Figura 5 (Clarke, 1969 *apud* Oke, 2010).

Figura 6 - Representação esquemática da atmosfera urbana, ilustrando a classificação das camadas superior (UBL) e inferior (UCL)



Fonte: Oke (2010).

Encontramos na literatura dois tipos diferentes de ICUs, no tocante a intensidade, forma e a localização do seu núcleo: ilhas de calor atmosférica e ilhas de calor de superfície. Dessa forma, as ilhas de calor de superfície evidenciam o aquecimento relativo as superfícies urbanas, enquanto a ilha de calor atmosférica é formada nas camadas apresentadas a seguir (Voogt; Oke, 2003),

Camada Cobertura Urbana (CCU): essa camada se encontra próxima as superfícies da cidade, e se estende verticalmente desde o solo até a influência do

edifício que se encontra mais alto, compreendendo a camada de ar em que as pessoas vivem.

- Camada Limite Urbana (CLU): situada acima do dossel, desenvolvendo um domo de ar aquecido sobre a cidade, podendo sua forma ser modificada pelo vento.

As diferenças encontradas entre as ilhas de calor atmosférica e de superfície encontram-se relacionadas no Quadro 2. Essas diferenças estão fundamentadas na intensidade, desenvolvimento temporal, na representação e método de identificação.

Quadro 2 - Ilha de Calor Urbana de superfície e atmosférica

| CARACTERÍSTICAS | ICU SUPERFÍCIE | ICU ATMOSFÉRICA |
|--|---|--|
| Desenvolvimento Temporal | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Presente em todas as horas do dia e da noite. ▪ Mais intensa durante o dia e no verão. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pode ser pequena ou inexistente durante o dia. ▪ Mais intensa durante a noite e no inverno. |
| Intensidade (Condição mais intensa) | Maior variação espacial e temporal: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dia: 10 a 15°C ▪ Noite: 5 a 10°C | Menor variação: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dia: -1 a 3°C ▪ Noite: 7 a 12°C |
| Método de Identificação | Medição indireta: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sensoriamento remoto | Medição direta: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Estação meteorológica fixa ▪ Transectos em rede de estações móveis. |
| Representação Típica | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Imagem termal. | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mapa isotérmico ▪ Gráfico de temperatura |

Fonte: EPA (2008, p.2).

Dessa forma, a contribuição dos principais fatores que formam as ilhas de calor urbanas procede do balanço de energia, consequência dos aspectos naturais e urbanos. Destacam-se como fatores naturais os tipos de relevo, o tempo e a presença / ausência de superfícies que possuem vegetação e dos fatores urbanos, atividades humanas e as características dos espaços que são construídos.

2.2.3 Fenômeno das ilhas de calor

Caracterizada pela diminuição, paulatina, da temperatura ambiente, na proporção em que se estabelece o distanciamento dos centros urbanos em direção ao seu entorno, as chamadas Ilhas de Calor Urbanos são objeto de grande interesse por parte dos estudiosos do clima.

Na qualidade de evento caracterizado por considerável variabilidade térmica, as Ilhas de Calor respondem pelo registro de temperaturas da superfície do ar urbano superior àquela dos espaços de suas adjacências. Esse fenômeno varia em termos de padrão de localização, dentro das próprias cidades, como também em relação a distinção de temperatura entre as cidades e as zonas rurais que as circundam (Weng; Yang, 2004).

Uma das consequências mais estudadas do clima urbano é o fenômeno intitulado Ilha de calor urbana, como resultado da diminuição gradativa da temperatura à medida que sai do centro para a periferia da área urbana (Figura 7).

Figura 7 - Ilustração da ilha de calor urbano



Fonte: Disponível em: <http://www.google.com.br/imagens>. Acesso em: 20 maio 2023.

Para Oke (2006), as variações de calor registradas dentro das cidades são elementos motivadores da formação das Ilhas de Calor, com a conseqüente mudança no clima local. Apesar disso, há circunstâncias nas quais as variações de calor extrapolam o espaço dos centros urbanos, atingindo o espaço rural.

As elevadas variações de temperatura se verificam, nas cidades, na comparação com as alternâncias de temperatura do ambiente rural, resultam da intitulada oscilação ou variação climática de ordem antropogênica, levando a ocorrência das Ilhas de Calor. Segundo os já mencionados autores é uma anomalia térmica, fruto do mecanismo de desenvolvimento urbano, em relação à mudança da superfície, essencialmente em relação aos materiais que a constituem, e da atmosfera local que favorece o acesso do curso de radiação solar (Camargo *et al.*, 2007).

Da mesma forma que os demais eventos de natureza climática, o desequilíbrio térmico resultante das Ilha de Calor se processa em diferentes níveis de intensidade. As oscilações, nos planos espacial e temporal, se manifestam tanto dentro do perímetro urbano quanto na zona rural. Mais do que os problemas ligados ao alto padrão de temperatura, as edificações também são, potencialmente, obstáculos a circulação de ar, tornando mais difíceis as trocas de calor com o ambiente rural (Coltri *et al.*, 2007).

A queda no padrão de velocidade do vento resulta da redução da altura das áreas urbanas. Tal evento se conecta com o potencial das construções e edifícios para promoverem a alteração da velocidade e da direção do vento, podendo gerar resultados negativos para a população das cidades (Alcoforado *et al.*, 2005).

No rol das mudanças climáticas, a temperatura é o elemento de maior preponderância no que diz respeito a formação do clima das cidades. As áreas construídas, agregadas às atividades humanas e às mudanças na atmosfera das cidades, geram eventos diferenciados como é o caso das Ilhas de Calor e das Ilhas de Frescor, enquanto zonas nas quais são identificadas acentuadas diferenças de temperatura, na comparação com seu entorno limítrofe (Dumke, 2007).

A modificação climática de ordem antropogênica é o conhecido fenômeno de ilha de calor. Considerada como uma anomalia, a ilha de calor é resultante do processo de crescimento urbano, no que se refere a alteração da superfície, essencialmente no que se refere aos materiais que a constituem, e da atmosfera local que beneficia a absorção do fluxo de radiação solar (Camargo *et al.*, 2007).

Isso proporciona um aumento considerável da “irradiação de calor para a atmosfera [nas regiões centrais] em comparação com as zonas periféricas ou rurais”, onde não se processa uma ocupação tão intensa do solo (Teza; Baptista, 2005, p. 3911).

Diferentes escalas advindas de anomalia térmica é proveniente da ilha de calor, sobretudo a espacial, levando em conta que a variação espacial simultânea da temperatura é possível ocorrer tanto na zona urbana e rural do município quanto na intraurbana. Sem impedimento, como todo fenômeno ambiental, ainda é apresentada uma variação (evolução) temporal, o qual será o método investigativo do presente trabalho, tendo por base a série de dados levantados por sensores remotos (Coltri *et al.*, 2007).

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA TEMPERATURA

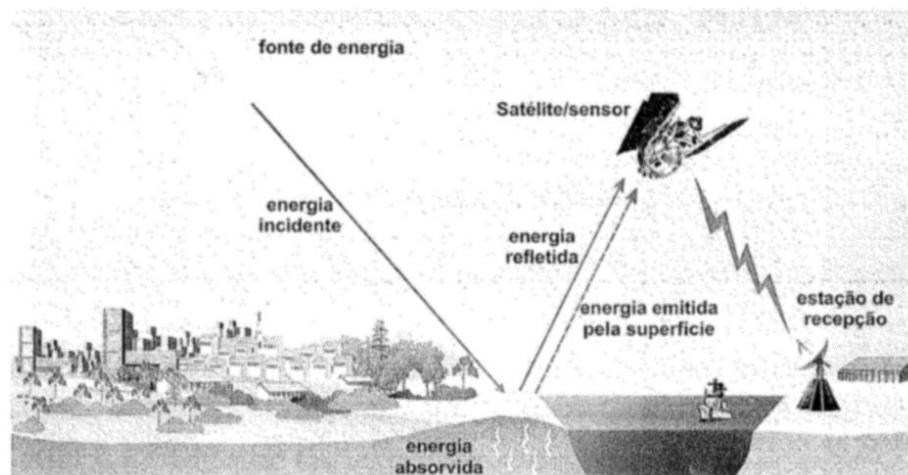
A partir da década de 1970, a ausência de uma rede de estações meteorológicas para que pudesse fornecer dados de áreas extensas, associada a dificuldade de acesso aos dados de temperatura do ar, fez com que o sensoriamento remoto passasse a ser bastante usado na identificação e na análise do fenômeno da ilha de calor. Com base em dados provenientes de estações meteorológicas, partiu-se do contínuo e sinóptico (Florenzano, 2002).

Afirma-se que o Sensoriamento Remoto (SR) é que trata da aquisição dos dados de um objeto ou cena por um sensor que se encontra distante dos alvos. Imagens de satélites, fotografias aéreas e radares tem-se como exemplo de produtos gerados a partir de dispositivos remotamente sensoriados, onde a energia reproduzida por esses instrumentos mostra interações essenciais entre os sensores e os alvos (propriedades bio-físico-química da atmosfera, dos alvos etc.), que devem ser moldadas para a correta remoção de informações obtidas por meio de dados de sensoriamento remoto (Freire; Pacheco, 2004; Jensen, 2009).

Os satélites têm o potencial de fornecer dados de sensoriamento remoto oferecendo informações detalhadas sobre as propriedades da superfície terrestre e parâmetros a nível local ou em escala regional, fornecendo imagens de porções do espectro eletromagnético além da região visível. Essa característica autoriza o aprofundamento da extração de informações sobre a superfície terrestre, principalmente aqueles de maior sensibilidade à região do infravermelho, através de estudos envolvendo a cobertura da vegetação (Ferreira, L.; Ferreira, N.; Ferreira, M., 2008).

Florenzano (2002), aduz que sensoriamento remoto é a tecnologia que autoriza obter imagens da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia emitida pela superfície. Refere-se o sensoriamento a obtenção dos dados, e o remoto que significa distante, e é utilizado porque a obtenção dos dados é feita à distância, ou seja, sem o contato físico entre a superfície da terra e o sensor como ilustra a Figura 8.

Figura 8 - Obtenção de imagens por sensoriamento remoto



Fonte: Florenzano (2002, p.9).

Observa-se na Figura 8 que a iluminação do Sol na superfície terrestre. Através da energia vinda do Sol, espelhada pela superfície em direção ao sensor é registrada por este.

A aplicação do SR através de suas diversas possibilidades, compreendemos que é mais amplamente utilizada nos estudos da Terra, a qual é referente ao monitoramento e análise da cobertura vegetal (Marcussi *et al.*, 2010).

Os estudos da ilha de calor são compreendidos entre o intervalo de 8 a 14 μ m do espectro eletromagnético através do sensoriamento remoto e é fundamentado no princípio em que todo objeto e superfície onde sua temperatura é acima de zero absoluto (0 K), transmite energia eletromagnética. Alguns sensores remotos podem detectar a radiação em ondas longas emitidas na faixa do infravermelho termal, considerada por ser detectada nessa faixa a radiação emitida pelos objetos, que variam esses valores em função da temperatura (Steinke, E.; Steinke, V.; Saito, 2004).

As características dos sensores e o que estipula a Lei de Plank, no qual “quanto maior a temperatura de um dado comportamento de onda, maior será a quantidade de energia emitida por um corpo negro”, é possível aumentar a temperatura de um local ou objeto através da transformação dos níveis de cinza das imagens termais em valores de temperatura aparente, respaldando-se na aplicação de um algoritmo (Bias; Baptista; Lombardo, 2003, p. 1742).

Os primeiros estudos das propriedades térmicas superficiais segundo Jensen (2007) foram realizados em escala regional e valeram-se de satélites de baixa resolução espacial. Entretanto, nas últimas duas décadas averiguaram uma enorme evolução do sensoriamento remoto, consubstanciado através da evolução dos sistemas orbitais,

principalmente no que diz respeito à resolução espacial ou espectral, como também na acessibilidade das imagens.

Um maior emprego de dados obtidos em estudos sobre as características térmicas superficiais, foi possibilitado por essa evolução tecnológica por sensores remotos diferentes, como por exemplo, os sensores TM e ETM+, os dois pertencentes aos satélites da série *Landsat*.

2.3.1 Efeito estufa e as alterações climáticas

A causa do efeito estufa é um encadeamento de gases que detêm parte do calor enviado pela Terra, proporcionando a ocorrência de vida no planeta devido ele tornar a Terra mais quente. São chamados de gases de efeito estufa e são compostos, principalmente por metano (CH_4), gás carbônico (CO_2), vapor d'água, óxido nitroso (N_2O), dentre outros. Se não fosse esse fenômeno natural, o planeta se tornaria muito frio, impossibilitando a sobrevivência de diversas espécies.

As ilhas de calor estão conectadas com o aumento da emissão de gases do efeito estufa, devido o aumento do consumo de energia, principalmente com a finalidade de refrigeração. As empresas que fornecem energia a partir de combustíveis fósseis, intensificam as mudanças do clima devido a liberação de compostos voláteis. As construções e obras desenfreadas são outros causadores direto das ilhas de calor, fizessem um adequado planejamento ambiental.

De acordo com Magalhães Filho (2006), o efeito estufa é causado pelo gás carbônico, metano e o vapor d'água, além de outros gases, presente na atmosfera terrestre. Sabe-se que o equilíbrio entre a energia solar e da energia que irradia de volta para o espaço depende da temperatura da terra.

Concebe-se que a energia que entra da atmosfera é integrada pelas partículas, pelas nuvens, ou ela reflete de volta ao espaço. A superfície terrestre absorve a outra metade, que são os oceanos e continentes, que por sua vez é aquecida.

A energia das superfícies irradiadas sob a forma de certos comprimentos de onda que constituem à radiação infravermelha propagada pela terra. Acontece que os gases que se apresentam na atmosfera e o vapor d'água absorvem alguns comprimentos de onda desse tipo de radiação. O calor absorvido é enviado de volta à superfície terrestre. Por conta desse fenômeno natural é que mantém a temperatura da terra em 30°C mais quente, se não tivesse a presença do efeito estufa.

Por conseguinte, as concentrações de gás carbônico e de outros gases semelhantes faz com que o efeito estufa se acentue, armazenando uma maior quantidade de calor na atmosfera do planeta (Magalhães Filho, 2006).

Todas as formas de oscilações climáticas podem ser vistas como alterações climáticas, a despeito de que sua natureza estatística ou causas físicas, analisando as diversas escalas temporais de curtos, médios e longos prazos, e em escalas espaciais, como local, regional e global.

Entende-se que essas categorias de inconstâncias, em que as ocorrências se enquadram nas definições de tendência, flutuação, descontinuidade, oscilação, vacilação, variação, variabilidade climática e periodicidade (Santos, 2011).

A esse respeito, Tarifa (2011), observa que há mudança climática (em nível regional ou de macro escala) quando se registra variação em um dos atributos principais do clima (como a temperatura ou chuva) em mais de 30 anos consecutivos. A oscilação climática, por sua vez, ocorre quando a variação é observada em um período menor de tempo

Assim, nota-se que mesmo não sabendo ao certo qual a proporção dos impactos causados pela humanidade ao clima, as atenções devem ser voltadas para esse assunto, pois essas mudanças climáticas ocorrem em diferentes países culminando na necessidade de implantar estratégias nacionais apropriadas a situação cultural, política e econômica, visando atingir uma visão global do problema.

2.3.2 Satélites artificiais

É perceptível a importância que os satélites vêm aumentando a cada dia. Tudo o que ocorre no mundo, a Internet, as ligações telefônicas, o monitoramento dos ambientes terrestres usados através das imagens na previsão do tempo são alguns dos exemplos e benefícios que podem se adquirir pela utilização de um satélite.

A utilização das imagens de satélite é uma ferramenta que auxilia na identificação das ilhas de calor, por meio da relação entre a radiação eletromagnética irradiada e a refletiva dos alvos, onde é possível extrair e identificar parâmetros que influenciam diretamente na temperatura da área observada, artifício este que já vem sendo empregado em vários estudos tais como Gallo *et al.* (1995), Chen *et al.* (2006), Peng *et al.* (2012), entre outros.

Com a criação e o lançamento de vários satélites, nas últimas décadas, muitos dos estudos de clima urbano têm sido executados com base no sensoriamento remoto. O uso de tais técnicas tem colaborado para dar popularidade aos estudos das ilhas de calor e anomalias térmicas.

As geotecnologias são compreendidas como uma área do conhecimento geográfico possibilitando a investigação espacial de alvos da superfície terrestre para a identificação das ilhas de calor (Barbosa; Vecchia, 2009).

O sensoriamento remoto é um procedimento fundamental para imagear a superfície terrestre. Os conceitos em relação ao sensoriamento remoto estão ligados ao processamento da interação entre a radiação eletromagnética, apontada como peça fundamental nas técnicas de sensoriamento remoto e nos objetos que se pretende retirar mais alguma informação (Ponzoni; Shimabukuro; Kuplich, 2012).

Com a desigualdade de satélites lançados nas últimas décadas, parte das pesquisas de clima urbano tem base no sensoriamento remoto. O uso de tais técnicas colaborou para dar notoriedade aos estudos das ilhas de calor e anomalias térmicas (Barbosa; Vecchia, 2009).

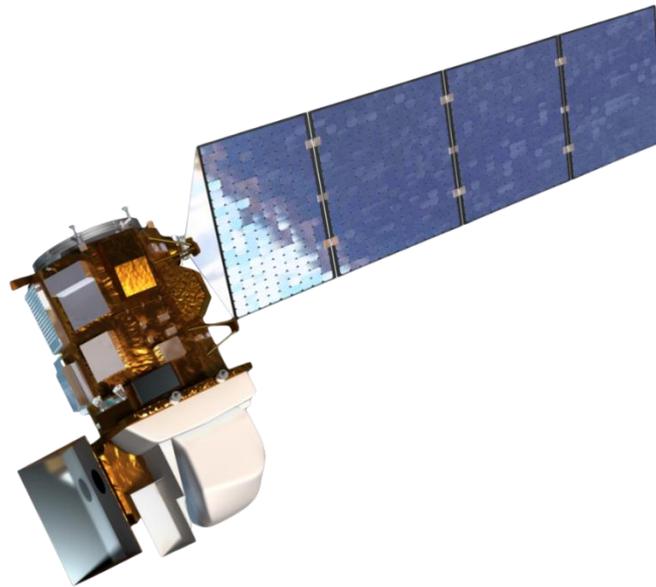
Através das imagens de satélites entende-se o fenômeno das ilhas de calor, e faz-se necessário lembrar a Lei de Plank, onde recomenda que: “A emitância espectral de um corpo negro é uma função de sua temperatura e da frequência da radiação, podendo ser expressa matematicamente [...]” (Vianello; Alves, 2012, p.158).

Bias, Batista e Lombardo (2003, ressaltam que a captação dos fótons emitidos por um determinado objeto proporciona a avaliação de sua temperatura.

No Brasil, as pesquisas sobre ilhas de calor, tendo por base o sensoriamento remoto, iniciaram-se com os trabalhos de Lombardo (1985), que se valeu das imagens do satélite *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) para atinar a temperatura térmica e do *Landsat* para mapear os usos do solo da metrópole Paulista.

O satélite *Landsat* é o mais utilizado nas pesquisas para o estudo do campo térmico climático urbano no Brasil, isso em virtude da fácil acessibilidade às imagens que são distribuídas gratuitamente.

Figura 9 - Satélite Landsat.



Fonte: NASA. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/article/landsat-data-continuity-mission/>. Acesso em: 20 out. 2023 (2023).

A série *Landsat* iniciou-se na década de 1960, desenvolvida pela Agência Espacial Americana - *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), com no intuito de observar e identificar os recursos naturais terrestres (EMBRAPA - Monitoramento por Satélite, 2013).

A série *Landsat* do satélite *Landsat 5* começou a funcionar em 01.03.1984 e desativado oficialmente em 05.06.2013. As informações do *Landsat* eram recolhidas através de um mapeador temático tendo resolução espacial de 30 metros e o satélite se encontrava a 705km acima da Terra. A importância dos satélites da série *Landsat 5 TM* foi o fato dele ter sido projetado com um período de duração de 3 anos, mas ficou operando por mais de 29 anos, passando a ser reconhecido pelo *Guinness Book of Records* como o mais antigo equipamento da órbita para observação remota da história (Aeromapa S/A, 2013).

O sensoriamento remoto feito através dos satélites *Landsat* se tornou um marco importante tanto para o Brasil como para o mundo, sobre o qual foram feitas inúmeras pesquisas tendo como foco a pesquisa ambiental surgida por conta desses satélites. Já são mais de quarenta anos de imagens espaciais adquiridas, onde as mesmas são disponibilizadas gratuitamente no Brasil, podendo serem utilizadas livremente em pesquisa, como sobre as ilhas de calor urbana (Pereira *et al.* 2005).

O geoprocessamento, o sensoriamento remoto e os estudos ambientais formam parceria há muito tempo nas pesquisas de cunho ambiental e estas pesquisas só tendem

a se desenvolver, em termos de qualidade e inovação (Florenzano, 2002).

2.4 ÁREA VERDE URBANA

A estruturação urbanística é geradora de acentuadas repercussões no clima local, dado o fato de motivar o aumento da temperatura do ar e, por consequência, o desconforto térmico, provocando a queda da qualidade de vida da coletividade (Romero, 2016).

O crescimento das cidades e, por conseguinte, de seu contingente populacional, renova os elementos físicos e químicos presentes na atmosfera, modificando as condições naturais preexistentes, formando o clima do espaço urbano (Lima; Pinheiro; Mendonça, 2016).

Santana *et al.* (2014) acompanham o pensamento dos autores anteriormente citados uma vez que também compreendem que a temperatura urbana sofre as maiores consequências das mudanças do clima.

2.4.1 Conceito e definições

O verde das cidades é visto em infinidade de discussões e trabalhos através de uma revisão de conceitos acerca de tais elementos. Dessa maneira, os problemas existentes são destacados com relação aos termos técnicos diferentes que são aplicados na definição das áreas verdes urbanas, tais como: arborização urbana, sistemas de lazer, espaço livre, praças e parques urbanos, área verde *etc.*

O significado produzido por Richter (1981 *apud* Geraldo, 1997, p. 40), propõe a classificação para os espaços livres e o verde urbano, como veremos a seguir:

Jardins de representação e decoração; Ligados à ornamentação, de reduzida importância com relação à interação com o meio e sem função recreacional. São jardins à volta de prédios públicos, igrejas etc.; Parques de vizinhança: Praças, playground, apresentam função recreacional, podendo abrigar alguns tipos de equipamentos; Parques de bairro: São áreas ligadas à recreação, com equipamentos recreacionais, esportivos dentre outros, que requerem maiores espaços do que os parques de vizinhança; Parques setoriais ou distritais: Áreas ligadas à recreação com equipamentos que permitam que tal atividade se desenvolva; Áreas para proteção da natureza: Destinadas à conservação, podendo possuir algum equipamento recreacional para uso pouco intensivo; Áreas de função ornamental: Áreas que não possuem caráter conservacionista nem recreacionista, são canteiros de avenidas e rotatórias; Áreas de uso especial: Jardins zoológicos e botânicos; Áreas para esportes; Ruas de pedestres: Calçadas.

Llardent (1982, p. 151) conceitua as seguintes expressões:

Sistemas de espaços livres: Conjunto de espaços urbanos ao ar livre destinados ao pedestre para o descanso, o passeio, a prática esportiva e, em geral, o recreio e entretenimento em sua hora de ócio. Espaço livre: Quaisquer das distintas áreas verdes que formam o sistema de espaços livres. Zonas verdes, espaços verdes, áreas verdes, equipamento verde: Qualquer espaço livre no qual predominam as áreas plantadas de vegetação, correspondendo, em geral, o que se conhece como parques, jardins ou praças.

Concluimos essa parte conceitual das áreas verdes públicas urbanas através de Lima *et al.* (1994, p.23) com os termos desenvolvidos a seguir:

Espaço livre: Trata-se do conceito mais abrangente, integrando os demais e contrapondo-se ao espaço construído em áreas urbanas.

Área verde: Onde há o predomínio de vegetação arbórea, englobando as praças, os jardins públicos e os parques urbanos. Os canteiros centrais de avenidas e os trevos e rotatórias de vias públicas que exercem apenas funções estéticas e ecológicas, devem, também, conceituar-se como área verde.

Entretanto, as árvores que acompanham o leito das vias públicas não devem ser consideradas como tal, pois as calçadas são impermeabilizadas.

Parque urbano: É uma área verde, com função ecológica, estética e de lazer, no entanto com uma extensão maior que as praças e jardins públicos.

Praça: É um espaço livre público cuja principal função é o lazer. Pode não ser uma área verde, quando não tem vegetação e encontra-se impermeabilizada.

Arborização urbana: Diz respeito aos elementos vegetais de porte arbóreo dentro da cidade. Nesse enfoque, as árvores plantadas em calçadas fazem parte da arborização urbana, porém não integram o sistema de áreas verdes.

As áreas verdes são potencialmente benéficas ao ambiente das cidades, através de seu elemento básico e formador que é a vegetação. Uma vez incorporada ao arranjo urbano, adquire a capacidade de conceber benefícios aos indicadores ambientais, em relação a temperatura do ar e de sua umidade relativa, níveis de ruído, ventilação, dióxido de carbono (CO₂) e concentração de monóxido de carbono (CO), entre outros aspectos (Barbosa, 2005).

2.4.2 Funções das áreas verdes públicas urbanas

Em constante transformação, a sociedade, tem verificado feições diferentes às áreas verdes urbanas de uso público através do tempo. Diante de inúmeras vantagens das áreas verdes, considera-se três principais (Guzzo, 1999, p.1-2): estética, ecológica e social.

Os contributos ecológicos acontecem à medida que esses elementos naturais que compõem esses espaços, diminuam, devido aos impactos decorrentes da industrialização. O papel de integração entre os espaços construídos e os destinos à

circulação é onde estão pautadas a função estética. Quanto a função social, ela está diretamente relacionada a oferta de espaços para o lazer da população (Llarden, 1982).

Lamas (2010, p.106, destacando a vegetação no meio urbano, poderá que:

Do canteiro à árvore, ao jardim de bairro ou grande parque urbano, as estruturas verdes constituem também elementos identificáveis na estrutura urbana; caracterizam a imagem da cidade; têm a individualidade própria; desempenham funções precisas; são elementos de composição e do desenho urbano; servem para organizar, definir e conter espaços.

A relevância dos espaços livres na grande massa de edifícios segundo Sitte (1992), são essenciais para a saúde que encontra repouso nessas paisagens naturais que se encontram no meio da cidade. As áreas verdes executam um papel destacado no mosaico urbano, porque instituem um espaço no sistema urbano cujas condições ecológicas mais se unem as condições normais da natureza.

Espaços constituídos do sistema de áreas verdes pertencentes a uma cidade, desempenham, em função do seu volume, densidade, distribuição e tamanho, inúmeros benefícios na sua cercania. Com destaque ao meio urbano, estas áreas possibilitam um aprimoramento da qualidade de vida garantindo áreas destinadas ao lazer, preservação ambiental e paisagismo (Park,1973).

São de extrema importância as áreas verdes urbanas para a qualidade de vida. Elas agem conjuntamente sobre o lado mental e físico do homem, atenuando o calor do sol e absorvendo os ruídos; no plano psicológico, diminui o sentimento de opressão em relação as grandes edificações; constitui-se como um filtro efetivo para as partículas sólidas em suspensas no ar, contribuindo para o aprimoramento e a formação do senso estético. Para que essas áreas verdes desempenhem plenamente o seu papel, a arborização precisa ser aprimorada e ter um melhor planejamento.

2.4.3 Impacto das áreas verdes na redução da temperatura do ar

O processo de urbanização é o principal responsável na interferência da qualidade de vida dos moradores de uma cidade em função das consequências geradas devido às demandas por infraestrutura, moradia, transporte, saúde, entre outros. Essas mudanças têm relação com a qualidade do ar, por provocar alterações, principalmente, na umidade relativa e temperatura do ambiente (Rocha; Souza, 2009).

As árvores simbolizam um componente essencial para propiciar uma adaptação ambiental conforme às exigências de conforto. É de grande importância a vegetação para que se tenha uma melhor qualidade de vida, visto que a função da melhoria e da

estabilidade microclimática, em razão da redução da insolação direta e de outros benefícios (Milano; Dalcin, 2000).

Alguns dos efeitos ocasionados pela ausência de vegetação em áreas urbanas é a ocorrência do fenômeno climático conhecido como ilhas de calor, que é a elevação da temperatura nos centros urbanos em relação ao meio rural (Pinheiro; Souza, 2017).

Estudos diversos qualificam os fatores que influenciam as alterações climáticas no meio urbano, destacam-se dentre estes a vegetação, água e superfícies permeáveis, áreas verdes e corpo d'água, morfologia urbana e superfícies urbanas impermeáveis (Alchapar *et al.* 2017).

O espaço verde relatado por Bowler *et al.* (2010), através de seus parques e árvores podem resfriar o meio urbano, pelo menos na escala local. O estudo relata que em média um parque urbano é cerca 1°C mais frio em relação aos locais não vegetados. O estudo também observou a eficácia do sombreamento por árvores na amortização térmica e constatou que áreas de vegetação rasteira tem um papel preponderante para o resfriamento do microclima devido a evapotranspiração.

A interferência da vegetação no clima das cidades tem sido referida como benefícios para a mitigação da temperatura e a conservação da umidade do ar nos municípios. A qualificação dos parâmetros da umidade relativa do ar, da temperatura e da análise de gases poluidores é um instrumento de trabalho muito significativa, que poderá ajudar os municípios a avançarem e planejar suas áreas de convívio público para que as mesmas tenham uma maior participação nas atividades ao ar livre (Silveira; Pereira, 2011).

A manutenção da temperatura e umidade segundo Holbrook (2010), acontecem devido ao auxílio dos vegetais, pois através de suas folhagens, evaporam grandes volumes de água, onde cerca de 97% da quantidade é absorvida pelas raízes como também pelo processo de transpiração.

Fatores abióticos como a intensidade luminosa, a umidade relativa do ar, a temperatura, a precipitação e circulação do ar, poderão ser afetadas devido as condições do meio urbano, como é o caso devido o concreto das construções, a falta de vegetação e o asfalto (Cabral, 2013).

As áreas verdes presentes nesses ambientes urbanos trazem uma significativa melhoria e estabilidade microclimática, pois é liberado grandes volumes de vapor de água na atmosfera, propicia sombra, dentre outros benefícios que as árvores possibilitam na qualidade de vida dos habitantes das cidades que são incontestáveis.

2.5 INSTRUMENTOS DE DIRETRIZES AMBIENTAIS

O desenvolvimento industrial e econômico ocorrido em grande parte dos países ocidentais aconteceu no século passado, provando a exploração de recursos naturais vitais de maneira descontrolada, provocando o agravamento das condições ambientais de forma rápida. Registra-se esse modelo autodestrutivo que está sendo copiado por vários países que desejam o mesmo crescimento, como é o caso do Brasil, China e da Índia (Santos, 2023).

Através dessas mudanças ambientais aceleradas, que estão sendo divulgadas desde os anos 90, as consequências no ambiente e no clima são imprevisíveis, trazendo grande preocupação as comunidades científicas e governamentais em relação as limitações e até mesmo as restrições no processo evolutivo e no comprometimento da vida da espécie humana (Costa, 2003).

Atualmente esbarramos com decisões mais intensivas, de órgãos, entidades, institutos e governos buscando através de pesquisas basear suas decisões de crescimento, buscando que estas estejam adaptadas com soluções ambientais de maneira a impactar menos no cenário ambiental instalado.

Regulação urbana através de instrumentos como o Plano Diretor, definido pela Constituição como o “instrumento básico” da política urbana (art. 182, § 1º) e a Lei de Uso e Ocupação do Solo, responsabilidade de cada município que a população seja superior a 200.000 habitantes, elaborados com o propósito de orientar o crescimento da cidade tendo em conta os parâmetros urbanísticos como a localização de atividades, restrição a construção, forma de ocupação do solo, dentre outros (Brasil, 1988).

Uma vez que a regulação urbana define expandir os limites possíveis para as construções, entende-se que eles também definirão a paisagem urbana como também a qualidade de vida. Porém, a elaboração desses documentos tem uma influência muito forte nas questões econômicas e políticas, priorizando um desenvolvimento urbano de qualidade.

Em se tratando do âmbito nacional, as últimas resoluções apontadas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente apontam para o desenvolvimento de programas de manutenção e inspeção dos veículos automotores como o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT), Programa de Controle de Emissões Veiculares (PROCONVE), e Inspeção Veicular. A inclusão do plano de controle de poluição fica subordinado ao sistema estadual de registro e do

licenciamento do veículo integrando a implementação dos programas de segurança do veículo e da inspeção, tendo como objetivo, manter a qualidade ambiental com a diminuição das emissões de poluentes por veículo automotor.

2.5.1 Agenda 21

Originária da ECO 92, Rio de Janeiro, a Agenda 21 é um documento que coloca a importância de cada país se comprometer a refletir, global e localmente, sobre a forma pela qual governos, empresas, organizações não-governamentais e todos os setores da sociedade poderiam cooperar no estudo de soluções para os problemas socioambientais (Brasil, 1992).

Desenvolvida individualmente por cada país, que aceitou incorporá-la em seus planos políticos, a agenda se constitui num poderoso instrumento de reconversão da sociedade industrial rumo a um novo padrão de comportamento, que exige a reinterpretação do conceito de progresso, contemplando maior harmonia e equilíbrio entre o todo e as partes, promovendo a qualidade, não apenas a quantidade do crescimento (Oliveira, 2011).

No Brasil as discussões são coordenadas pela Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional. As ações prioritárias da Agenda 21 brasileira são os programas de inclusão social (com o acesso de toda a população à educação, saúde e distribuição de renda), a sustentabilidade urbana e rural, a preservação dos recursos naturais e minerais e a ética política para o planejamento rumo ao desenvolvimento sustentável. Mas o mais importante ponto dessas ações prioritárias, segundo este estudo, é o planejamento de sistemas de produção e consumo sustentáveis contra a cultura do desperdício (Brasil, 1992).

A Agenda 21 é um plano de ação para ser adotado global, nacional e localmente, por organizações do sistema das Nações Unidas, governos e pela sociedade civil, em todas as áreas em que a ação humana impacta o meio ambiente (Malheiros; Phlippi Jr; Coutinho, 2008).

A importância que tal documento alcançou evidencia-se pela repercussão midiática que a Rio-92 teve na época de sua elaboração. Pode-se encontrar em diferentes obras que abordam a problemática do meio ambiente recorrente menção à Rio-92 como sendo o maior evento pró-sustentabilidade já realizado pela Organização das Nações Unidas (ONU). Junto à Carta da Terra, cuja elaboração também foi iniciada

durante o referido evento, a Agenda 21 é reconhecida pelos estudiosos acima citados como um dos documentos mais relevantes para pensar, discutir criticamente e mudar os rumos da relação que temos com os recursos naturais (Barbieri, 2014).

Por representar um documento de comprometimento internacional, a Agenda 21 exige um esforço conjunto dos governos de todo o mundo para ações que envolvam desenvolvimento e meio ambiente, sendo um plano de ação estratégico, em escala planetária.

2.5.2 Protocolo de Kyoto

Entrando em vigor em fevereiro de 2005, partindo de uma negociação que se iniciou em 1997, o protocolo é um acordo internacional através de compromissos rígidos na redução da emissão dos gases que proporcionam o efeito estufa, considerados pela maioria das investigações científicas a causa do aquecimento global.

Um calendário proposto pelos países desenvolvidos, comprometeu-se a reduzir as emissões de gases que poluem o meio ambiente, pelo menos em 5,2% até 2012, em relação aos níveis de 1990. Esses planos teriam que colocar em prática através dos países signatários no intuito de reduzir a emissão desses gases entre os anos de 2008 e 2012. Essas reduções incluíam várias atividades econômicas através das seguintes ações:

- Reconstruir os setores de energia e transportes;
- Proporcionar o uso de fontes energéticas renováveis;
- Suprimir mecanismos financeiros e de mercado inapropriados aos fins da Convenção;
- Delimitar as emissões de metano no gerenciamento de resíduos e dos sistemas energéticos;
- Salvar florestas e outros sumidouros de carbono.

Estima-se que, implementado com sucesso, o protocolo consiga uma redução da temperatura global até 2100 equivalente a 1,4°C e 5,8°C. Porém, existem comunidades científicas que afirmam, decididamente, que a redução de 5,2% em se tratando dos níveis de 1990, era insuficiente para mitigar o aquecimento global.

2.5.3 Política Nacional de Trânsito

O primeiro país a adotar uma legislação destinada a reduzir as emissões veiculares na América do Sul foi o Brasil. Em 1976, o Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) estabeleceu, através da Resolução n.º 507, a gestão das emissões de gases e vapores do cárter.

A Política Nacional de Trânsito (PNT), lançada em 2004 pelo Governo Federal, prevê a implantação da Inspeção Técnica Veicular como uma de suas metas assegurando também a mobilidade, acessibilidade, segurança e qualidade ambiental, a priorização de políticas que privilegiem o transporte coletivo, a redução da emissão dos poluentes e ruídos, através da fiscalização e o controle da frota com a qualificação dos espaços públicos.

2.5.4 Programa de Controle de Emissões Veiculares - PROCONVE

Por meio da Resolução Conama nº 18 (Brasil, 1986), foi criado no país o Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores. A emissão de poluentes, através de seus limites máximos, foi fixada através de um cronograma específico para três distintas categorias de veículos automotores, dentre eles:

- Veículo Leve de Passageiros (automóveis);
- Veículo Leve Comercial (vans, pick-ups, utilitários etc.); e
- Veículo Pesado (caminhões e ônibus).

Tais programas têm como o mesmo processo de certificação, que consiste nas seguintes etapas:

- Homologação de Protótipo: comprovação, junto ao fabricante, que são atendidas as exigências que asseguram a baixa dispersão dos índices de emissão dos veículos;
- Controle de Produção/ Importação: é o acompanhamento estatístico das linhas de produção/importação, para assegurar a conformidade com o projeto homologado bem como uma baixa dispersão dos índices de emissão dos veículos.
- Controle Pós-Vendas: é o mecanismo que busca induzir os proprietários e reparadores a seguirem rigorosamente os procedimentos de manutenção

preventiva, indicados pelos fabricantes. São os chamados Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M.

2.5.5 Programa Nacional de Controle e Qualidade do Ar – PRONAR

Diante de tais iniciativas - PROCONVE, PROMOT – percebeu-se a necessidade da constituição de um programa nacional que avaliasse as fontes fixas de poluição atmosférica e que criasse dispositivos de caráter normativo para estabelecimento e ações de monitoramento atmosférico. Com isso, por meio da Resolução CONAMA 05/89 foi criado o Programa Nacional de Controle e Qualidade do Ar (PRONAR), com objetivo de orientar e controlar a poluição atmosférica no país.

O programa estabeleceu limites de emissão, por tipos de fonte e poluentes, preservando os padrões de qualidade do ar como atuação complementar para controlar as metas de curto, médio e longo prazo.

O primeiro instrumento legal resultante do PRONAR foi a Resolução do Conama de nº 03, de 28 de junho de 1990, que instituiu os novos padrões nacionais de qualidade do ar substituindo os fixados pela Portaria Minter n.º 231/76, estendendo o número de medidas regulamentadoras de quatro para sete, inserindo os padrões secundários da qualidade do ar, que são mais restritivos que os primários, integrando seu atendimento com uma meta de longo prazo.

O Controle de Poluição do ar, através de seus programas estaduais não foram desenvolvidos e executados como foi esperado, e algumas das metas de médio prazo também não foram atingidas. Ao longo do tempo o programa se perdeu de seus objetivos e atualmente, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) pretende retomá-lo.

3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A presente seção possui os procedimentos metodológicos utilizados para o alcance dos objetivos propostos.

3.1 NATUREZA DA PESQUISA

A base teórica e metodológica desta pesquisa é fundamentada na teoria do Sistema Clima Urbano (SCU) desenvolvida por Monteiro em 1976. Essa teoria concebe o clima urbano como um sistema que engloba uma série de processos que interagem entre si, conectando o clima local com a cidade. Esses processos, quando combinados, formam um sistema único que tem como objetivo analisar os efeitos e as causas do clima em uma determinada área na superfície terrestre e relacioná-los à urbanização, sem a necessidade de estabelecer uma condição específica entre eles.

O Sistema Clima Urbano (SCU) abrange diversos elementos que enfatizam a influência da vida urbana em seu funcionamento. Poluição do ar, alagamentos, inundações e ilhas de calor são manifestações intrínsecas ao clima urbano. Ao analisar esses aspectos, é fundamental dar prioridade à percepção humana, uma vez que as pessoas são o referencial para avaliar os valores e os problemas relacionados às características geográficas.

Dentro desse sistema, o Conforto Térmico (um subsistema termodinâmico) se manifesta por meio de fatores como temperatura, ventilação e umidade, que desempenham um papel significativo na qualidade de vida urbana, afetando todos os habitantes da cidade. A Qualidade do Ar (um subsistema Físico-Químico) é considerada uma das questões mais críticas, especialmente quando comparada a outros tipos de poluição, devido à sua influência decisiva na definição da qualidade do ambiente urbano.

Por fim, os Meteoros de Impacto (um subsistema Hídrico) englobam todas as formas de entrega, tornados e tempestades, variando em intensidade e alcance. Essas características climáticas podem causar perturbações ou desorganizar os fluxos que ocorrem no ambiente urbano. (Monteiro, 1975, p. 124-126).

Através dos objetivos propostos para o presente estudo dissertativo, opta-se por fazer uma pesquisa com métodos quantitativos, ao explicar as variações e características do clima específico de Coari baseada nos seus dados climatológicos.

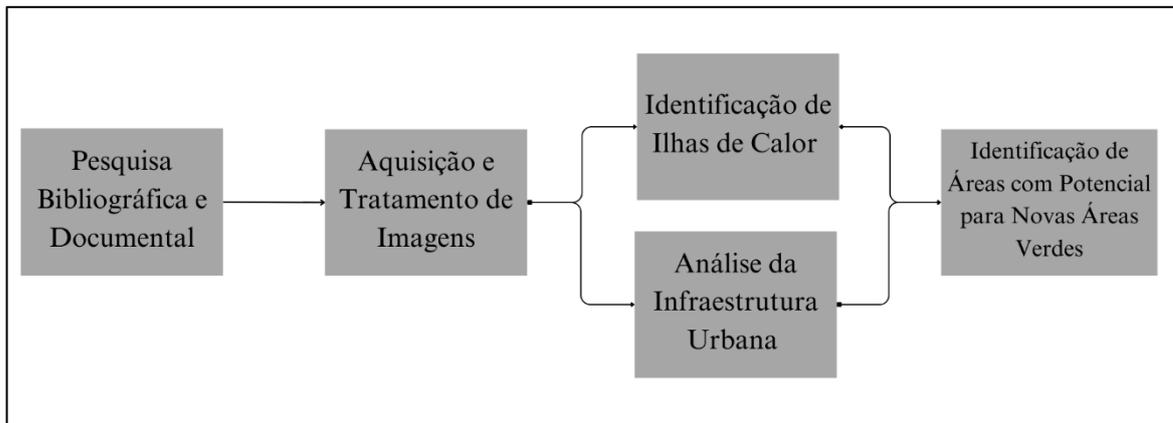
A metodologia desta pesquisa é orientada pelos princípios da Climatologia Geográfica e dos estudos sobre clima urbano realizados no Brasil. Ela se desdobra em duas etapas: a primeira fase consiste na coleta e organização dos dados necessários para análise, enquanto a segunda fase envolve o processamento desses dados com o objetivo de mapear as ilhas de calor na área urbana de Coari e identificar medidas mitigadoras.

Além disso, fez-se uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de estabelecer um referencial em relação à produção de artigos que abordam a temática. Esses artigos empregaram testes e analisaram as variações climáticas, com foco especial na identificação de tendências e no estudo das ilhas de calor urbanas.

3.2 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DE DADOS

Para a elaboração do presente estudo adota-se os seguintes passos metodológicos: pesquisa bibliográfica e documental, aquisição e tratamento de imagens, identificação de ilhas de calor e análise da infraestrutura urbana e identificação de áreas com potencial para novas áreas verdes.

Figura 10 - Diagrama de procedimento de análise de dados



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

3.2.1. Pesquisa bibliográfica e documental

Através de pesquisas que abrangem teses, monografias, relatórios de pesquisa e outros documentos relevantes produzidos na área de interesse deste estudo, estes trabalhos são submetidos a uma análise crítica, considerando aspectos teóricos e comparativos, e estabelecendo conexões entre o objeto de estudo e os conceitos

relacionado ao planejamento urbano e à climatologia urbana.

3.2.2. Aquisição de imagens

As imagens do satélite Landsat 8 usadas nesta pesquisa são obtidas no site do Serviço Geológico Americano (USGS), referentes à órbita/ponto 233/063, abrangendo o período de junho de 2022 a julho de 2023. Estas imagens, estão no nível de processamento 1 (ortorretificadas), no formato geotiff, com resolução radiométrica de 16 bits e projeção cartográfica UTM, utilizando o Datum Sirgas 2000.

Para o processamento digital das imagens e a consolidação dos dados, emprega-se o programa QGIS 3.16. Além disso, utilizando dados de apoio, incluindo um arquivo vetorial em formato Shapefile que delimita a área urbana da cidade de Coari, informações sobre as variações climáticas no dia da aquisição das imagens fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o arquivo de metadados das imagens Landsat 8.

As imagens utilizadas abrangem a região do visível e do infravermelho próximo/médio do sensor OLI (Operational Land Imager) e empregadas na criação de uma composição colorida para avaliar a presença de nuvens na área de interesse. Além disso, utiliza-se a imagem da banda 10 do sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor), que opera na região do infravermelho termal com um intervalo de comprimento de onda de 10,6 μm a 11,9 μm , para estimar a temperatura da superfície.

3.2.3. Identificação das ilhas de calor

Para a avaliação de Ilhas de Calor Urbana, a temperatura da superfície estimada através da banda termal das imagens de satélite hoje em dia é a melhor opção para análise espacial de grandes áreas (Barros, 2016).

Nessa etapa do projeto, a temperatura da superfície medida via satélite é utilizada para analisar os fenômenos relativos à temperatura do ar na baixa atmosfera, visto que esta tem relação estreita com a radiação de onda longa emitida pela superfície.

Com base nessa metodologia, é realizada a transformação dos dados matriciais da temperatura da superfície medida via satélite em camadas vetoriais segundo uma simples classificação dos valores, que, num sistema de informações geográficas, se possa sobrepor outras camadas de informações como índice de vegetação.

O cálculo para determinação da Ilha de Calor Urbana - IUC é realizado com base no estudo de Barros (2016), que realiza esse cálculo através das diferenças das temperaturas da superfície dos centros urbanos em relação aos seus arredores rurais, de modo a determinar o valor do delta de temperatura (ΔT). Para o município de Coari/AM, a região do entorno da área urbana é tomada como parâmetro para o cálculo do delta de temperatura.

Utilizadas imagens do mapeador temático Landsat-8, adquiridas através de download livre da base de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). As imagens passam por uma etapa de tratamento que incluiu composição das bandas, realce em falsa cor, correção geométrica, mosaico e recorte da área de estudo através do software QGIS 3.16.

3.2.4. Análise da infraestrutura urbana e identificação de áreas com potencial para novas áreas verdes

Para analisar as áreas verdes, é necessário um procedimento lógico de planejamento ambiental, em que na primeira fase é a determinação de objetivos e metas que norteiem as ações a serem implantadas, elucidando as colocações e destino dessas áreas (Souza, 1990; Cavalheiro, 1995). Faz-se necessário determinar os dados relevantes sobre a situação do meio ambiente; as possibilidades ou restrições às áreas verdes; e as atuações do ser humano que comprometem ou são comprometidas pelo meio.

O procedimento de análise e identificação de novas áreas verdes é realizado a partir dos resultados obtidos no mapeamento das áreas verdes existentes na área urbana; no estudo de Ilhas de Calor identificadas na área urbana; no potencial ecológico das áreas verdes existentes e na conectividade das áreas.

Para a análise e identificação das áreas verdes são utilizados os seguintes critérios:

- Áreas nas regiões encontradas Ilhas de Calor Urbanas e com maiores variações de temperatura;
- Espaços públicos sem utilização;
- Áreas próximas de locais considerados prioritários, como Praças, Escolas, Hospitais, Parques, Avenidas, Rios, Unidades de Conservação, outros Remanescentes florestais;
- Áreas que apresentem potencial de restauração, resiliência e conectividade com outras áreas verdes já existentes;
- Áreas que possam servir de corredores ecológicos (canteiros de avenidas, de estradas, parques).

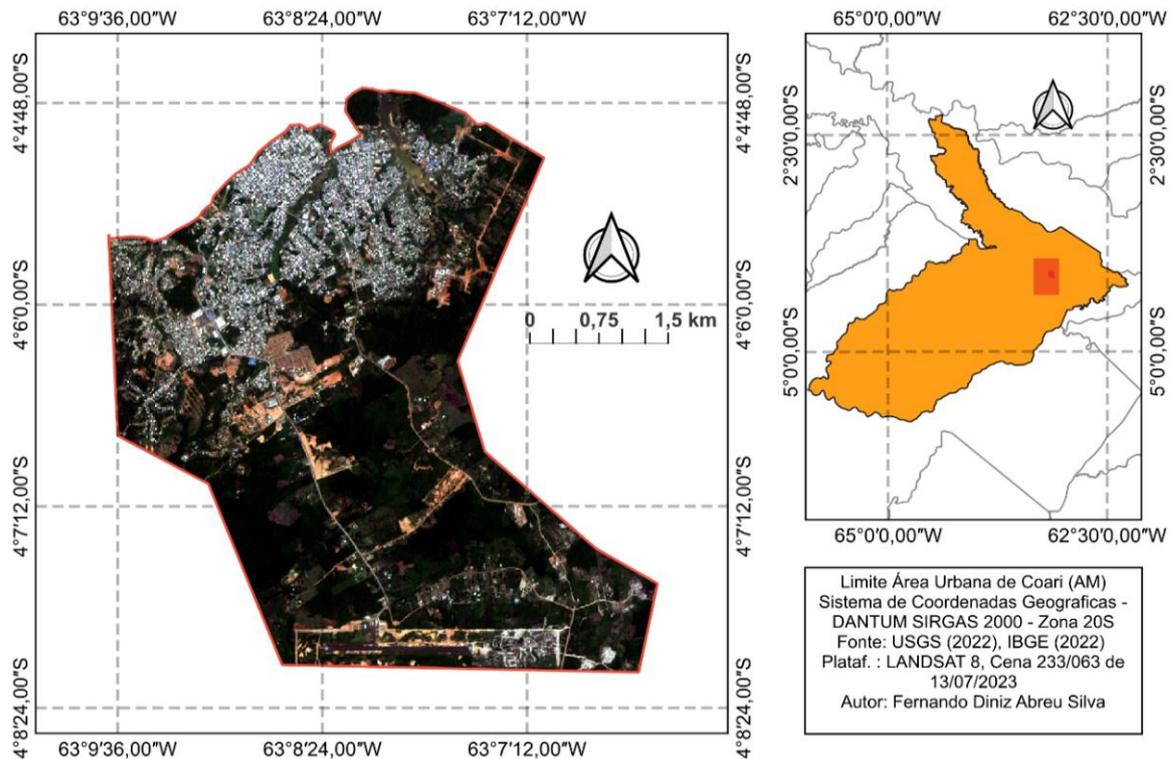
A análise é realizada com auxílio do Programa QGIS 3.16, através de métricas de análise de paisagem e sobreposição de mapas. As áreas identificadas são apresentadas em mapas com sobreposição aos mapas de áreas verdes já existentes. São elaborados mapas com alternativas de implantação de áreas verdes de acordo com o grau de importância e viabilidade encontrada na análise dos resultados encontrados nos procedimentos anteriores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Coari, localizado no estado do Amazonas, possui características singulares em seu Meio Ambiente urbano e rural. Situado na subárea conhecida como Médio Solimões, suas coordenadas aproximadas são 4° 45' e 5° 05' de latitude sul e 63° 8' 34" de longitude oeste de Greenwich, com altitude de 46 metros. A hidrografia é marcada pelos principais corpos d'água, como o Rio Solimões, Lago Coari, Lago Mamiá, Lago Aruã e Rio Urucu, além de outros canais menores.

Figura 11 - Mapa de Coari (AM)



Fonte: IBGE (2023b).

Coari foi oficialmente criada em 1932, desvinculando-se da cidade de Tefé. Em 1983, foi descoberta uma reserva de petróleo e gás natural em seu território, e em 1986 ocorreu a primeira extração de petróleo. Em 2009, foram inaugurados o Polo de Exploração de Petróleo da Bacia do Rio Urucu e o Terminal Aquaviário de Coari. Embora a exploração petrolífera tenha causado desmatamento em uma grande área, a Petrobras adotou ações e programas para mitigar o impacto ambiental.

Figura 12 - Província Petrolífera de Urucu / Coari.



Fonte: Reprodução/Agência Petrobras.

Atualmente possui o segundo maior Produto Interno Bruto (PIB) do Amazonas, graças à extração de petróleo e gás da base petrolífera de Urucu. Essa região está aproximadamente no centro geográfico do estado, na floresta amazônica, com um clima equatorial quente e úmido, classificado como Ami segundo a classificação de Köppen, com precipitação pluvial anual acima de 2.000 mm e médias anuais de temperatura do ar e umidade relativa de 27°C e 84%, respectivamente.

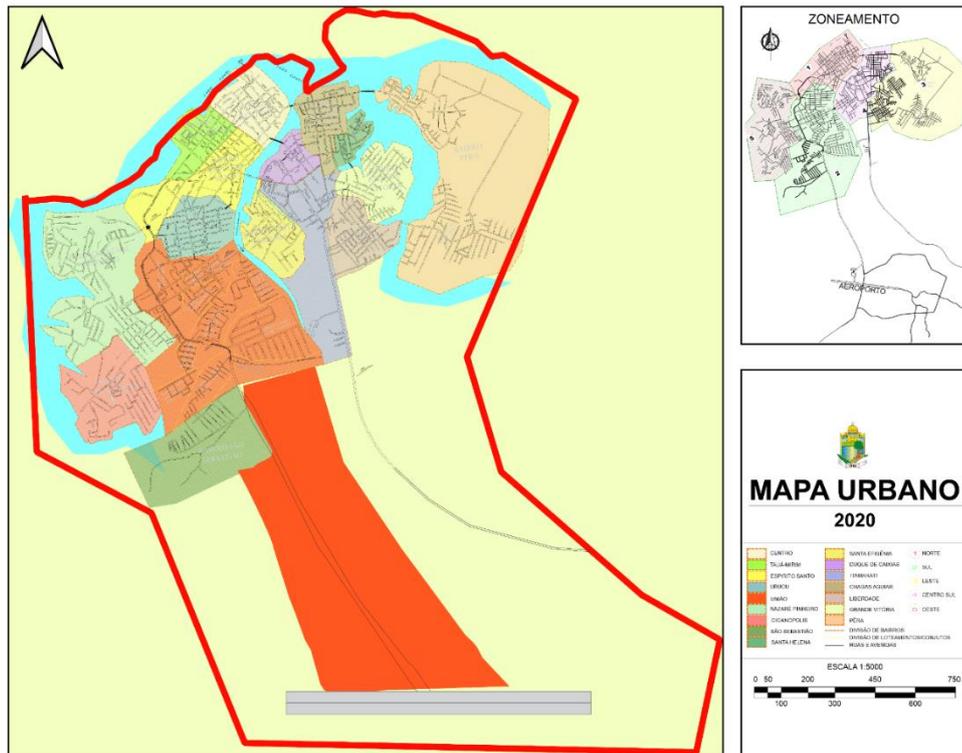
Figura 13 - Terminal Aquaviário de Coari.



Fonte: Reprodução/Agência Petrobras

Devido à sua beleza natural, Coari recebeu o título de “Rainha do Solimões” e é considerada uma das cidades com maiores perspectivas de desenvolvimento no Estado do Amazonas.

Figura 14 - Zoneamento Urbano de Coari / AM.



Fonte: Prefeitura de Municipal de Coari (AM).

Conforme ilustrado na Figura 14, a cidade de Coari é dividida em 16 bairros. Os bairros do Pêra, Nazaré Pinheiro, Ciganópolis e São Sebastião devido à presença de corpos hídricos, apresentam uma vegetação de riacho que arboriza a região e influência na demanda de umidade. Os bairros mais próximos ao Centro, como Tauá-Mirim, Espírito Santo, Chagas Aguiar, são mais densamente urbanizados.

Figura 15 - Rua Quinze de novembro, Centro, Coari / AM.

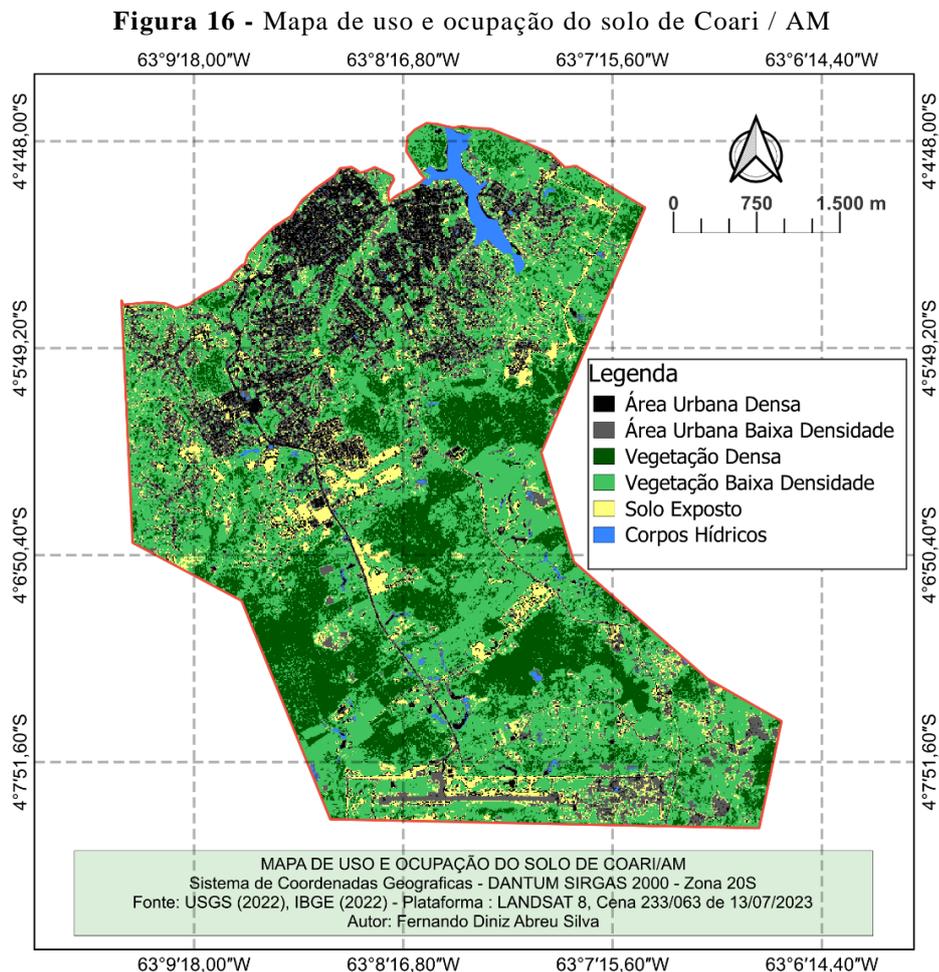


Fonte: Acervo do pesquisador (2023).

4.2 PROCEDIMENTO DE MAPEAMENTO DE TODAS AS ÁREAS VERDES EXISTENTES NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO

Nesse contexto, efetua-se o levantamento de todas as regiões de vegetação presente no perímetro urbano da cidade de Coari. Essa análise é conduzida manualmente, utilizando o *software* QGIS 3.24, junto a imagens de alta resolução espacial obtidas a partir de satélites. O nível de detalhamento alcançado nesse mapeamento corresponde a uma escala de 1:1000. Para a realização desse trabalho, utiliza-se imagens georreferenciadas fornecidas pela *Digital Globe (Google)*, que possuem uma resolução espacial de 50 cm.

A identificação das áreas verdes da cidade é realizada através de fotointerpretação, e embasada em uma chave de identificação contendo os seguintes elementos da paisagem a serem mapeados: regiões densamente urbanizadas, áreas urbanas com baixa densidade populacional, áreas de vegetação densa, áreas de vegetação com baixa densidade, áreas de solo exposto e corpos hídricos.



Fonte: Base Cartográfica e USGS (IBGE, 2023b).

4.3 PROCEDIMENTO DE IDENTIFICAÇÃO DAS ILHAS DE CALOR E ÁREAS COM MAIORES VARIAÇÕES DE TEMPERATURA NA ÁREA URBANA

4.3.1 Aquisição de imagens

Para esta etapa é necessário coletar imagens orbitais de forma gratuita, obtidas por meio do *site United States Geological Survey (USGS)*, disponibilizadas pelo satélite Landsat 8 com o sensor *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*.

Seleciona-se as imagens livres de cobertura de nuvens (Tabela 1).

Tabela 1 - Calor específico de diferentes materiais.

| Data da Imagem | Órbita/Ponto |
|-----------------------|---------------------|
| 13/07/2022 | 233/063 |
| 11/08/2022 | 233/063 |
| 21/09/2022 | 233/063 |
| 14/10/2022 | 233/063 |
| 24/11/2022 | 233/063 |
| 26/12/2022 | 233/063 |
| 13/01/2023 | 233/063 |
| 12/02/2023 | 233/063 |
| 23/03/2023 | 233/063 |
| 24/04/2023 | 233/063 |
| 19/05/2023 | 233/063 |
| 27/06/2023 | 233/063 |

Fonte: United States Geological Survey (USGS).

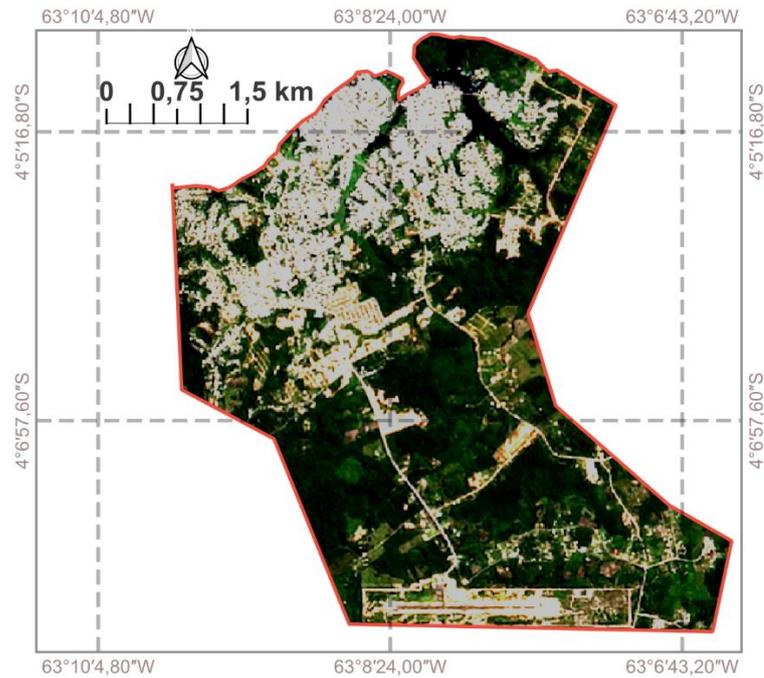
4.3.2 Fusão de imagens

A técnica de fusão de imagens foi aplicada a todas as datas de captura, obtidas através do satélite Landsat 8, com o objetivo de integrar a banda de maior resolução espacial, conhecida como banda 8, pancromática (resolução espacial de 15m), com as demais bandas de menor resolução, da banda 2 até a 7 (resolução espacial de 30m). Para realizar a fusão das imagens, o método Intensidade-Matiz-Saturação (IHS) é amplamente empregado devido à sua eficiência e facilidade de implementação (Tu; Su; Shyu; Huang, 2001).

Devido à área urbana em questão ser de médio porte, a combinação da banda

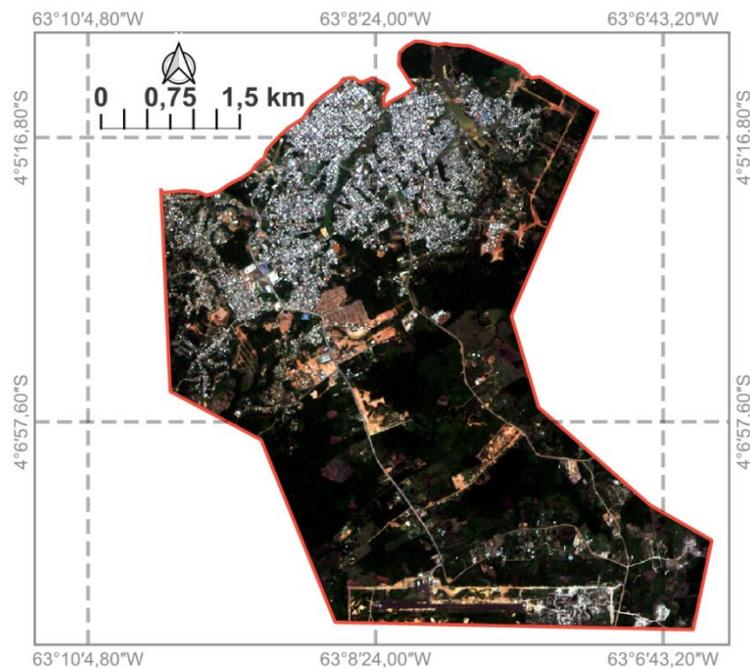
pancromática com as bandas de menor resolução é essencial, pois ela combina as características de ambas em uma nova imagem, permitindo uma visualização e interpretação mais precisa da região de estudo (Figura 14). O *software* QGIS 3.16 *Hannover* foi utilizado para a geração das imagens resultantes da fusão.

Figura 17 - Imagem Bruta (Landsat resolução espacial de 30m)



Fonte: *United States Geological Survey (USGS)*

Figura 18 - Imagem Fusionada (resolução espacial de 15m)



Fonte: *United States Geological Survey (USGS)*

4.3.3 Temperatura de superfície

São geradas as imagens de temperatura de superfície (TS), onde, utiliza-se a banda 10 (termal), do satélite Landsat-8, sensor TIRS, que apresenta a resolução espacial de 30 metros. Para a geração das imagens de temperatura, utilizasse a ferramenta calculadora rastrear, ferramenta implementada no Sistema de Informação Geográfica (SIG), inserindo a Equação 1, proposta pelo USGS (2023) onde, com base nos metadados contidos no conjunto de imagem, realiza-se a conversão de níveis de cinza para radiância:

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL \quad (1)$$

Onde:

$L\lambda$ = Radiância Espectral no topo da atmosfera em Watts/ (m²*sr*µm)

ML = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda 10 (3.3420E-04)

Q_{cal} = Valor quantizado calibrado pelo pixel em DN (banda 10)

AL = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda 10 (0.10000)

Após gerada a imagem de radiância, converte-se este resultado para imagem de temperatura de superfície (TS), porém a imagem resultante desta conversão apresenta seus dados em temperatura Kelvin, de acordo com Coelho e Correa (2013), há a necessidade de implementação na Equação 2, proposta por USGS (2015), subtraindo 273,15 de seu resultado, para a obtenção de imagem de temperatura em grau Celsius, assim:

$$TS = K2 \ln (K1 L\lambda + 1) - 273,15 \quad (2)$$

Onde:

T_s = Temperatura de superfície, em grau Celsius (°C)

$K1$ = Constante de calibração 1 (774.89)

$K2$ = Constante de calibração 2 (1.321.08)

$L\lambda$ = Radiância espectral em Watts/ (m²*sr*µm)

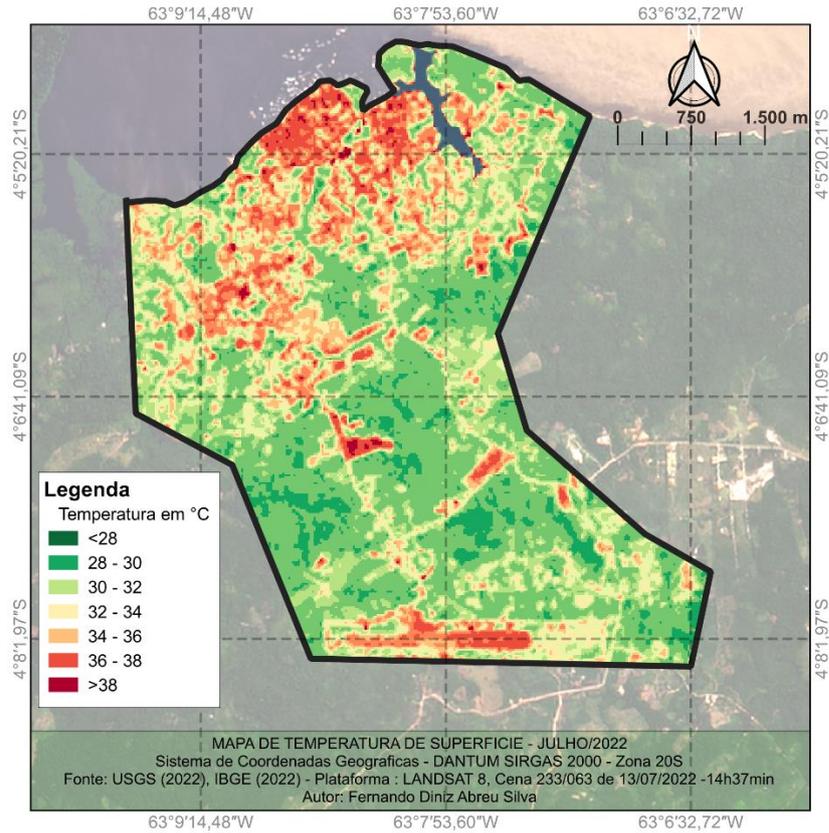
Porém, utilizada a fórmula simplificada juntando a Equação 1 e 2, o resultado vemos abaixo:

$$TC = (1321.08 / \ln (774.89 / (3.3420E-04 * \text{"banda10.tif"} + 0.10000) + 1)) - 273.15$$

O passo seguinte é reclassificar o resultado obtido em 07 faixas de temperatura, a saber: < 28°C, 28° - 30°C, 30° - 32°C, 32° - 34°C, 34° - 36°C, 36° - 38°C e > 38°C.

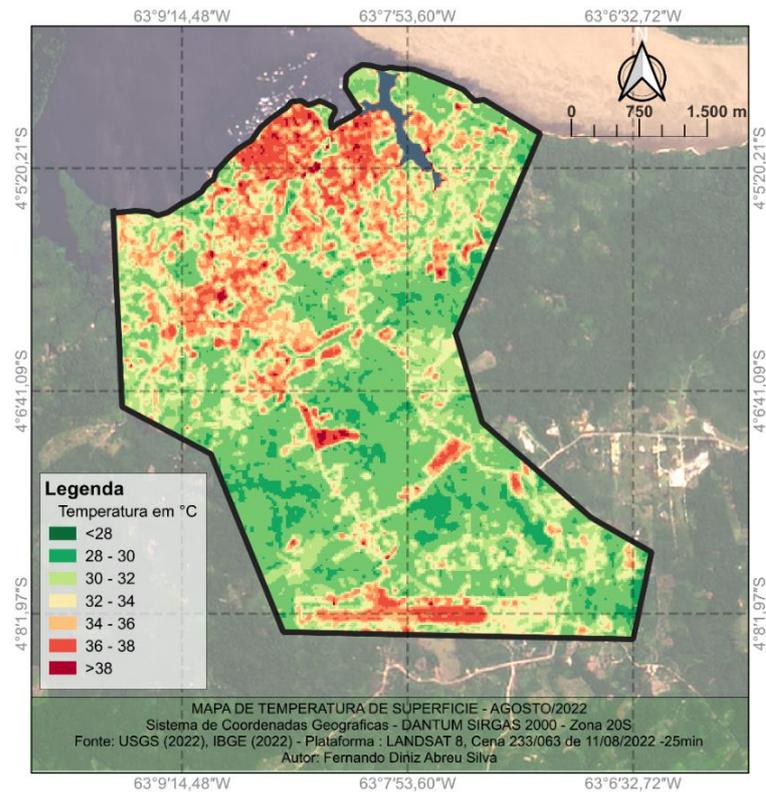
Assim, obtêm-se imagens de temperatura de superfície conforme datas descritas na tabela 1 por um período de 12 (doze) meses.

Figura 19 - Mapa de temperatura de superfície - julho / 2022.



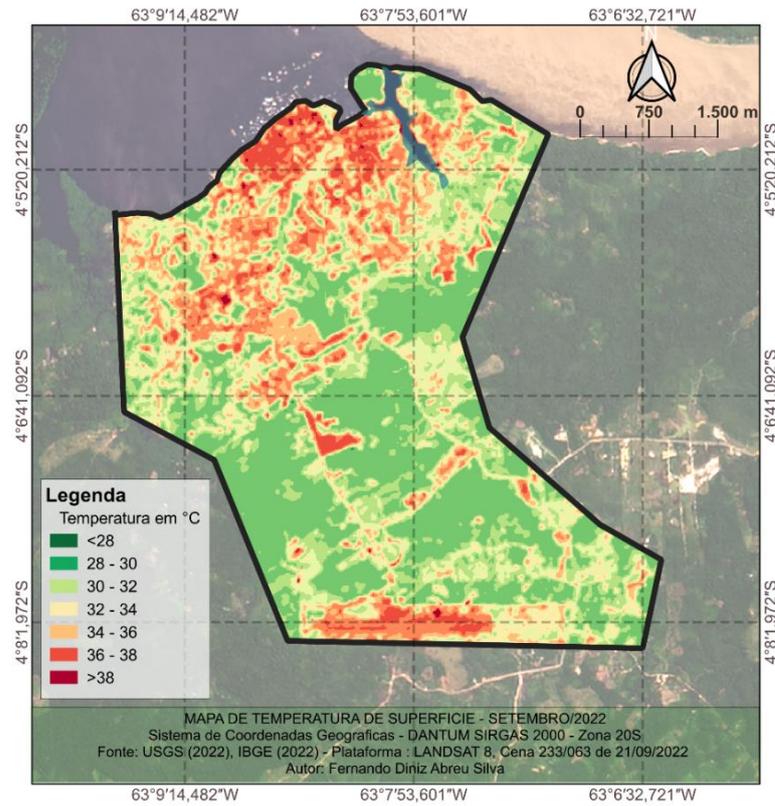
Fonte: USGS (2022); IBGE (2022); Plataforma LANDSAT 8.

Figura 20 - Mapa de temperatura de superfície - agosto / 2022.



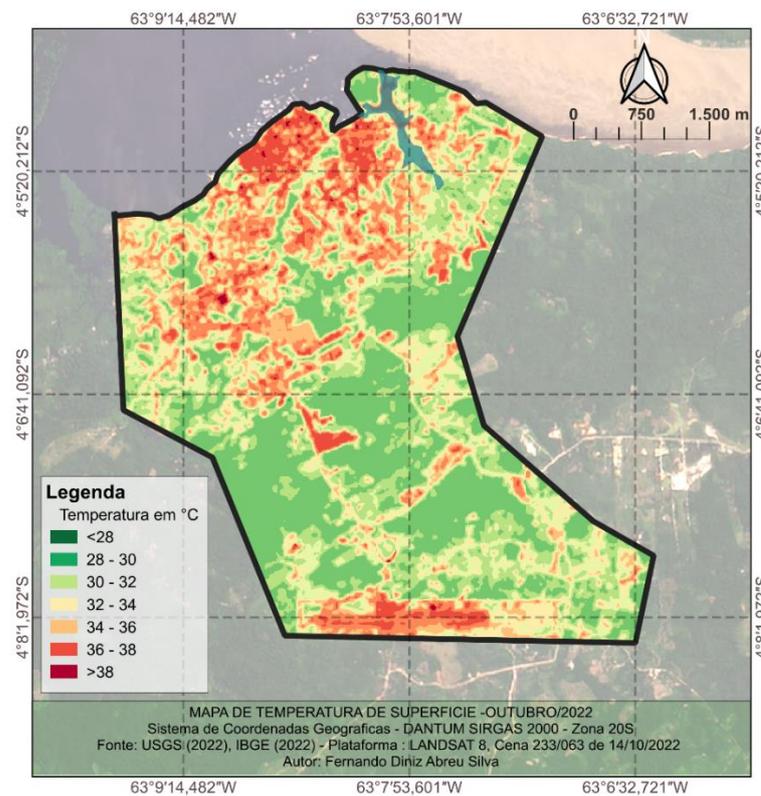
Fonte: USGS (2023); IBGE (2022); Plataforma LANDSAT 8.

Figura 21 - Mapa de temperatura de superfície - setembro / 2022.



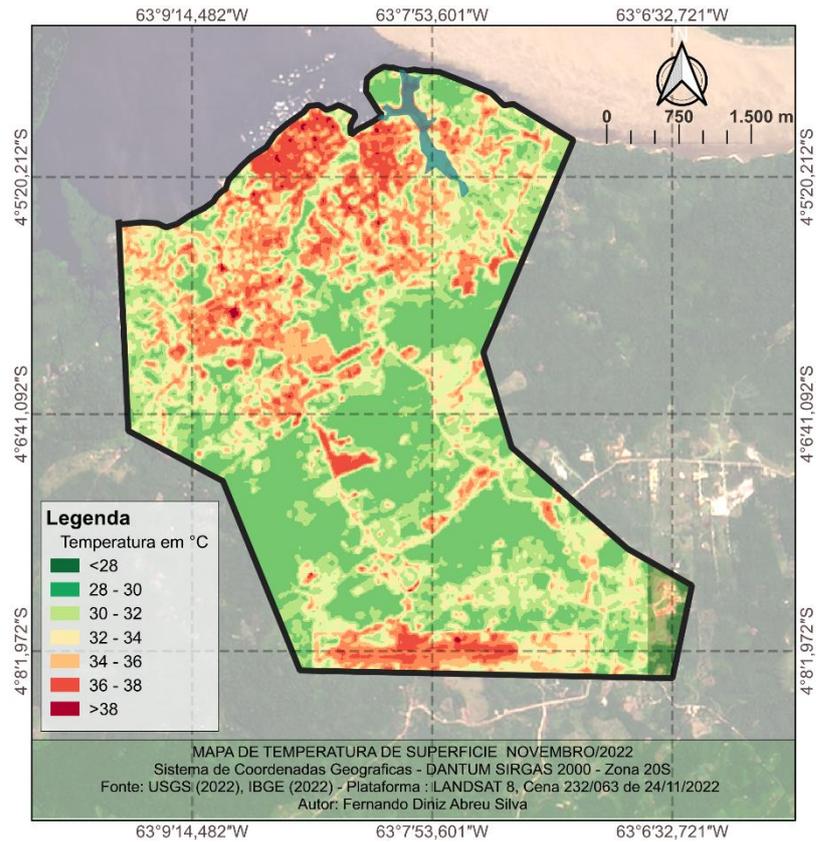
Fonte: USGS (2023); IBGE (2022); Plataforma LANDSAT 8.

Figura 22 - Mapa de temperatura de superfície - outubro / 2022.



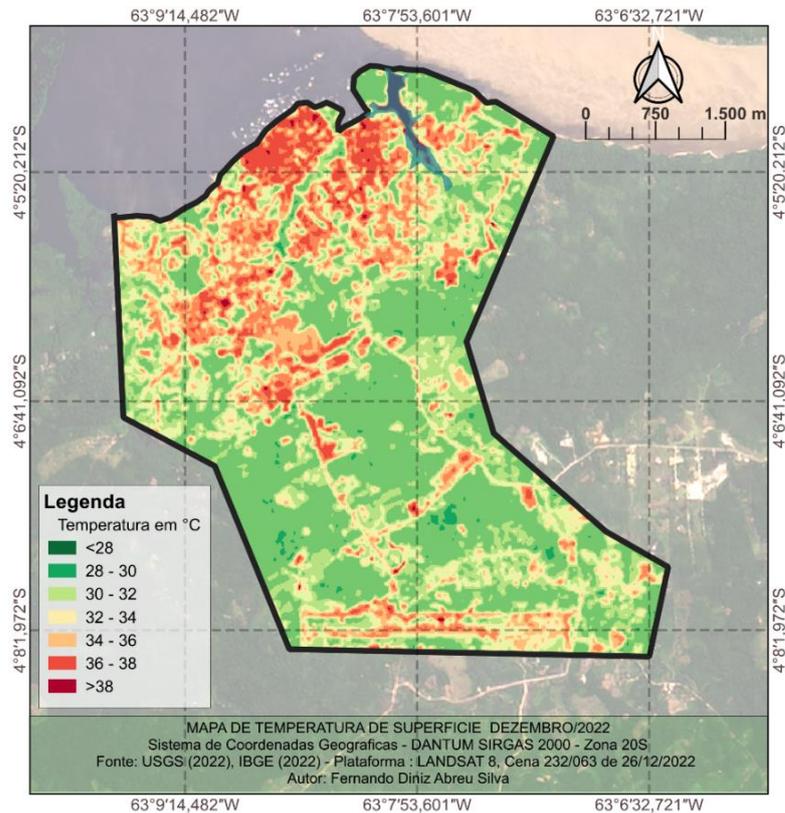
Fonte: USGS (2023); IBGE (2022); Plataforma LANDSAT 8.

Figura 23 - Mapa de temperatura de superfície - novembro / 2022.



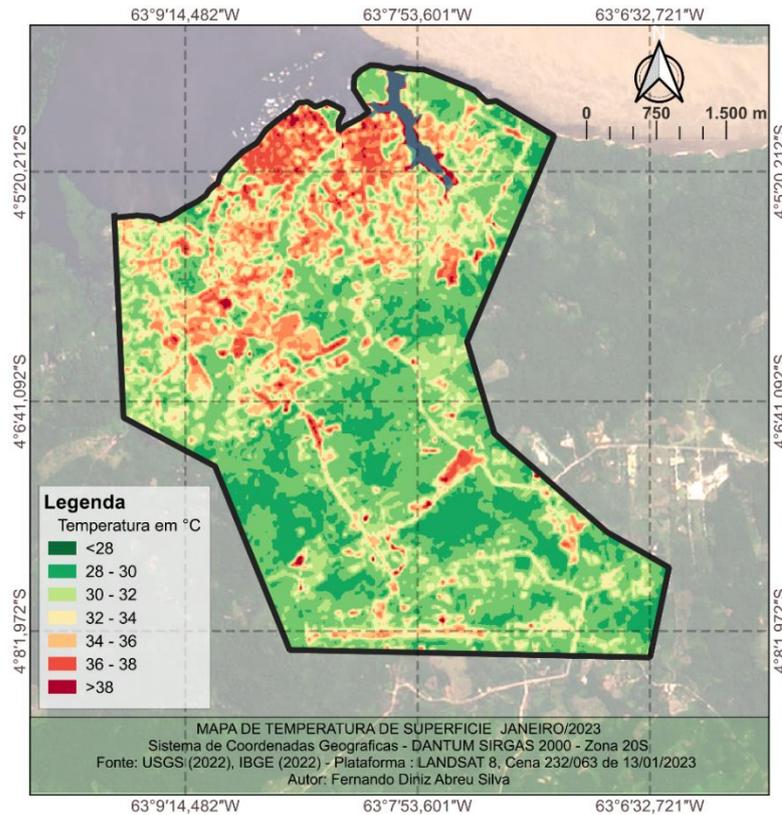
Fonte: USGS (2023); IBGE (2022); Plataforma LANDSAT 8.

Figura 24 - Mapa de temperatura de superfície - dezembro / 2022.



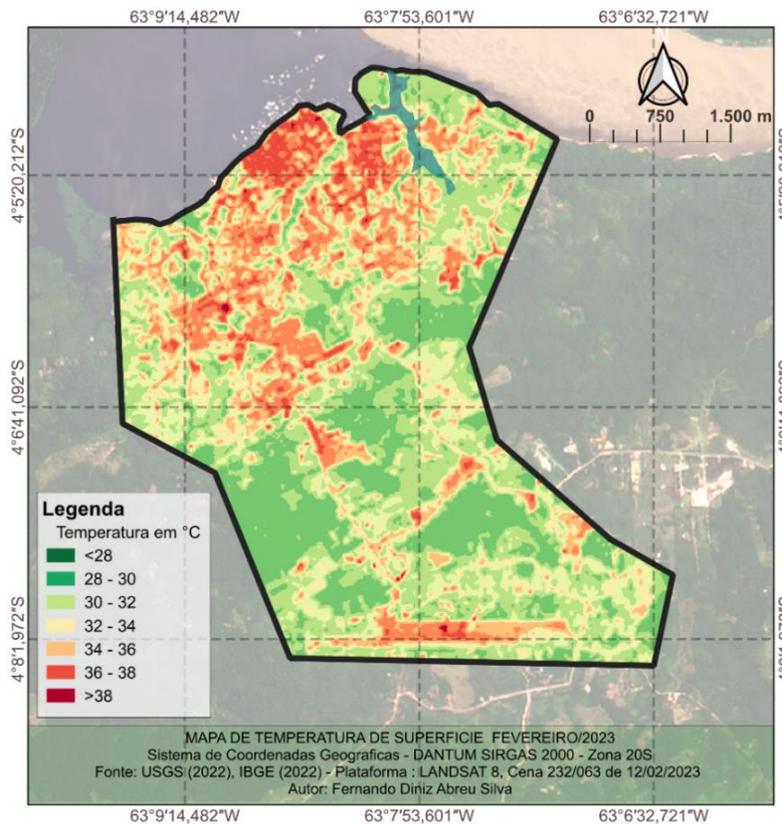
Fonte: USGS (2023); IBGE (2022); Plataforma LANDSAT 8.

Figura 25 - Mapa de temperatura de superfície - janeiro / 2023.



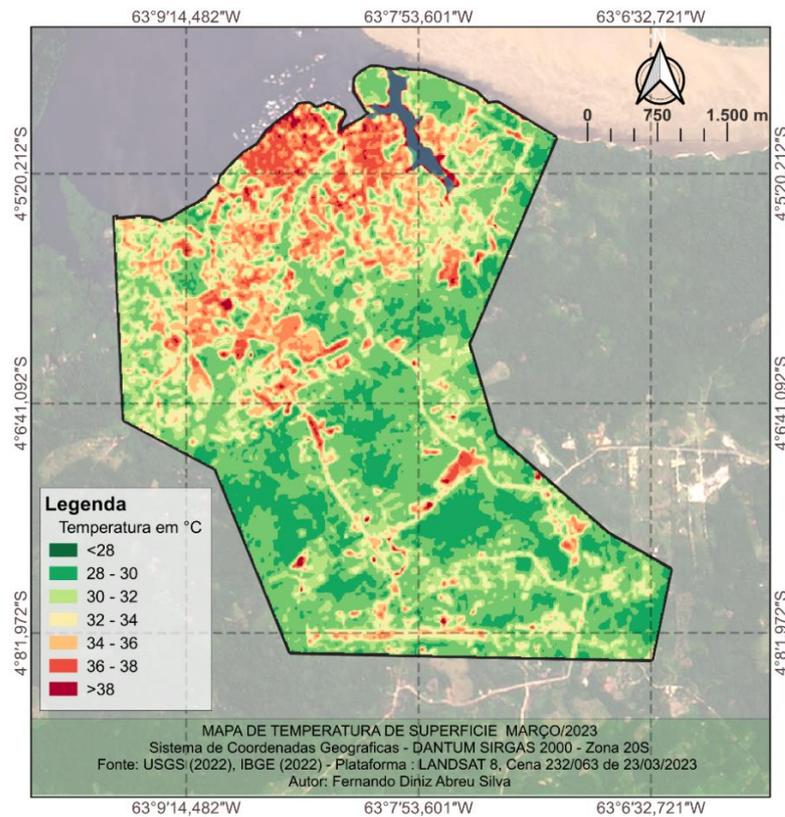
Fonte: USGS (2023); IBGE (2022); Plataforma LANDSAT 8.

Figura 26 - Mapa de temperatura de superfície - fevereiro / 2023.



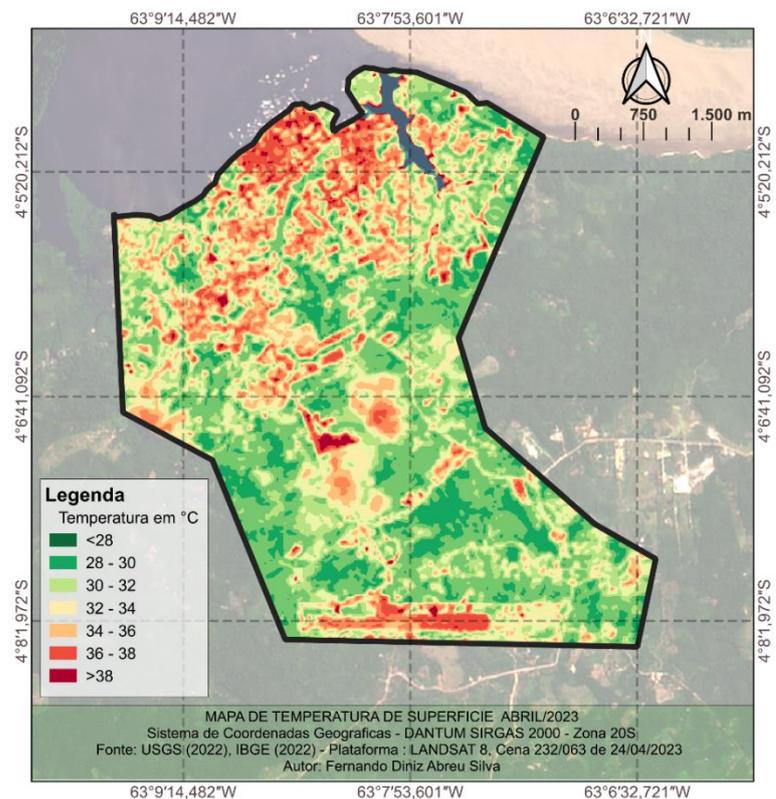
Fonte: USGS (2023); IBGE (2022); Plataforma LANDSAT 8.

Figura 27 - Mapa de temperatura de superfície - março / 2023.



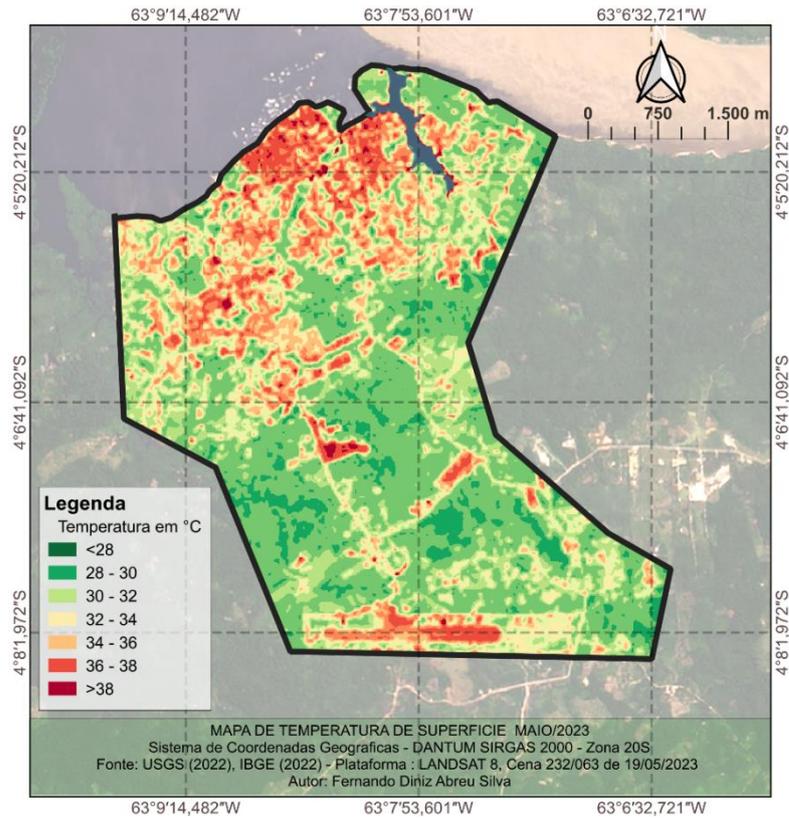
Fonte: USGS (2023); IBGE (2022); Plataforma LANDSAT 8.

Figura 28 - Mapa de temperatura de superfície - abril / 2023.



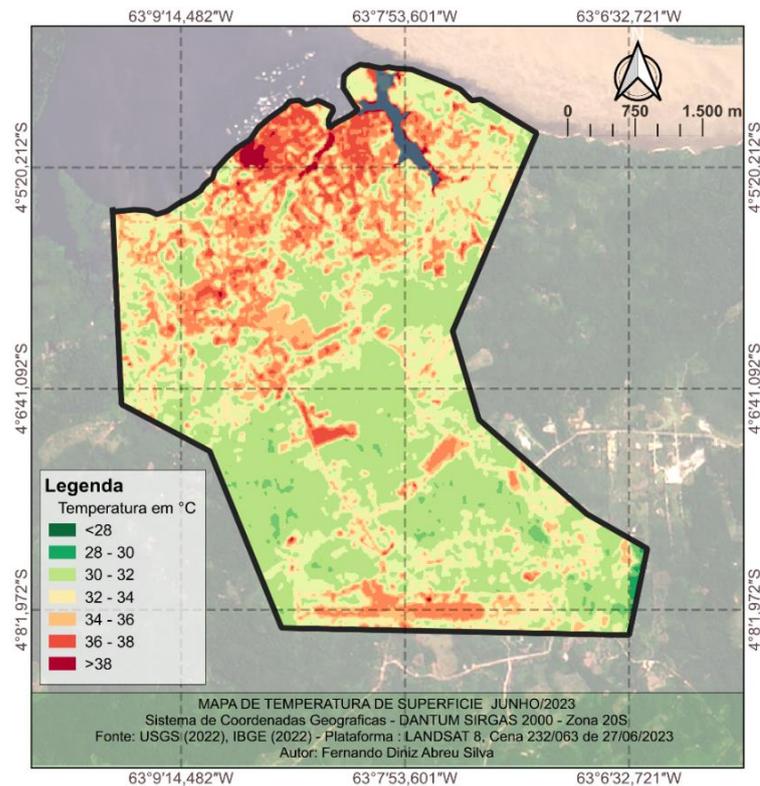
Fonte: USGS (2023); IBGE (2022); Plataforma LANDSAT 8.

Figura 29 - Mapa de temperatura de superfície - maio / 2023.



Fonte: USGS (2023); IBGE (2022); Plataforma LANDSAT 8.

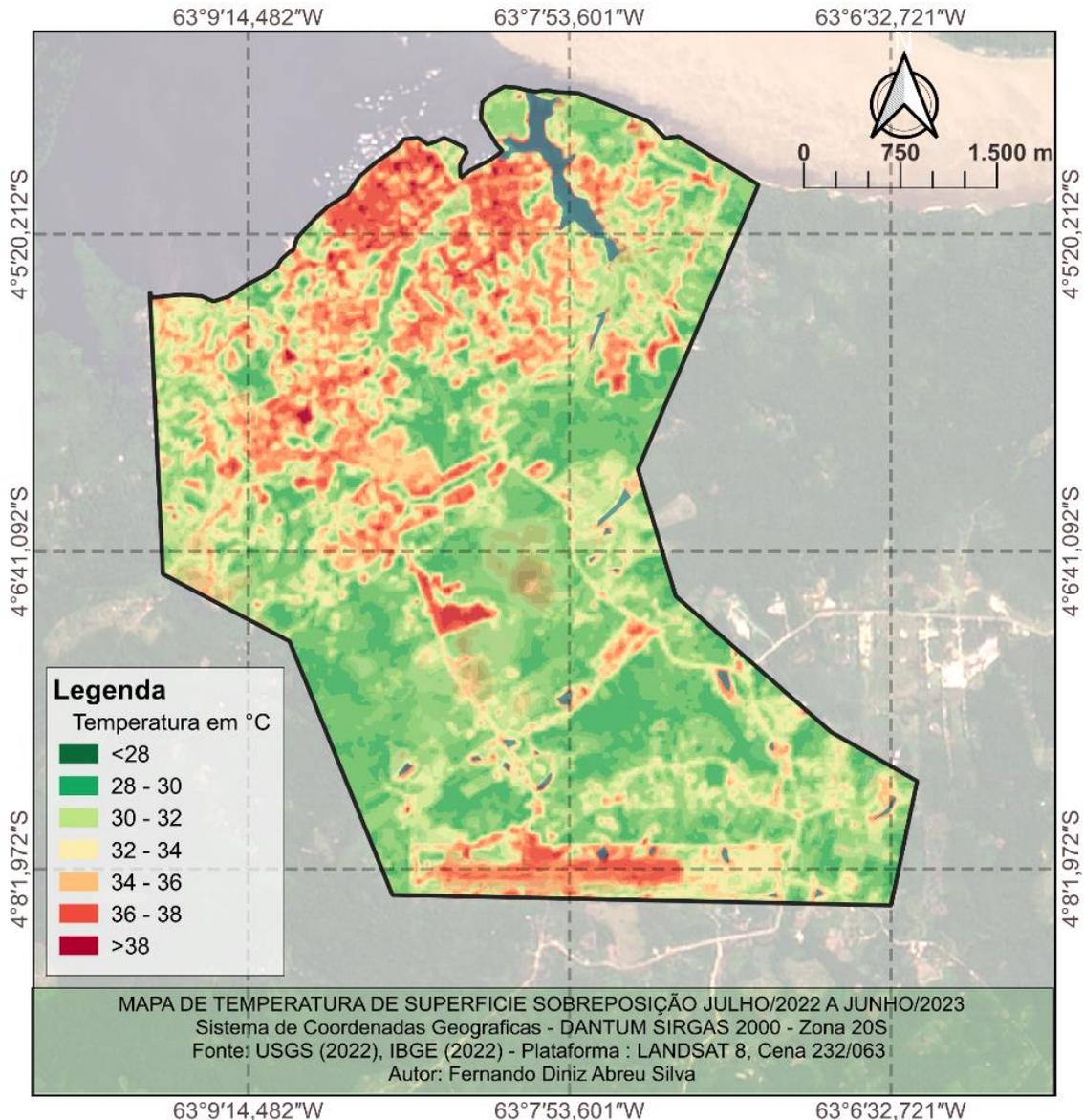
Figura 30 - Mapa de temperatura de superfície - junho / 2023.



Fonte: USGS (2023); IBGE (2022); Plataforma LANDSAT 8

Assim, realiza-se a análise comparando as imagens obtidas nos 12 meses de estudo, através de sobreposição de mapas.

Figura 31 - Mapa de sobreposição de temperatura de superfície - julho/2022 a junho/2023



Fonte: USGS (2023); IBGE (2022); Plataforma LANDSAT 8.

O cálculo para determinação da Ilha de Calor Urbana (ICU) é adquirido com base no estudo de Barros e Lombardo (2016), que realizara esse cálculo através de diferenças das temperaturas da superfície dos centros urbanos em relação aos seus arredores, de modo a determinar o valor do delta de temperatura (ΔT).

Tabela 2 - Padrão de classificação termal

| Padrão de Classificação Termal | |
|--------------------------------|------------------------------|
| Ilha de Calor | $\Delta T > 8^\circ\text{C}$ |

Fonte: Barros e Lombardo (2016)

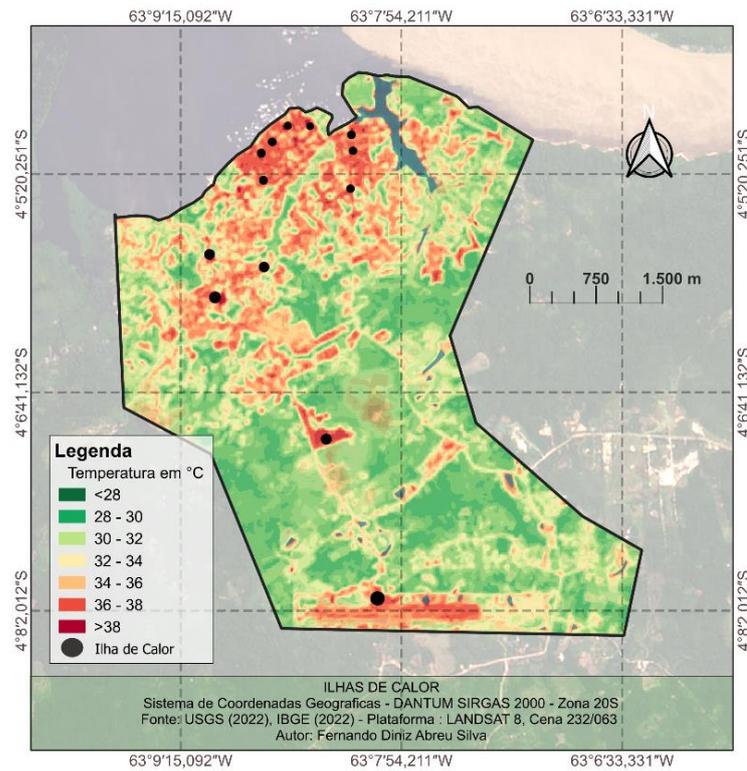
Conforme ilustrado no Mapa de Sensação Térmica da Superfície da Área Urbana do município de Coari/AM (Figura 31), é possível observar que nas zonas periféricas, os valores de sensação térmica variam de 28 a 30°C, inclusive com algumas regiões apresentando valores abaixo de 28°C. Em contraste, nas áreas mais centralizadas e urbanizadas, os valores de sensação térmica situam-se entre 34°C e ultrapassam os 38°C. Isso resulta em uma diferença de até 10°C entre a região central urbanizada e a periférica do município de Coari, evidenciando a presença de ilhas de calor urbano, como destacado nas Figuras 32 e 33.

É evidente que as temperaturas mais elevadas se concentram na região central do distrito comercial da cidade, enquanto as temperaturas mais baixas são observadas nas zonas periféricas. Vale salientar que entre as áreas periféricas, aquelas situadas ao sul exibem os menores índices de temperatura aparente, ou seja, valores variando entre 28 e 30°C.

No entanto, na área urbana, é notável a predominância de temperaturas aparentes na faixa de 30 a 36°C e, em algumas localizações, valores ainda mais altos, atingindo até 38°C. Importa destacar a extensa área de temperaturas aparentes elevadas (30 a 38°C) que se estende próxima ao centro comercial da cidade, começando no lado leste no bairro Tauá-Mirin e intensificando-se nos bairros Espírito Santo e Oeste, notadamente no bairro Chagas Aguiar.

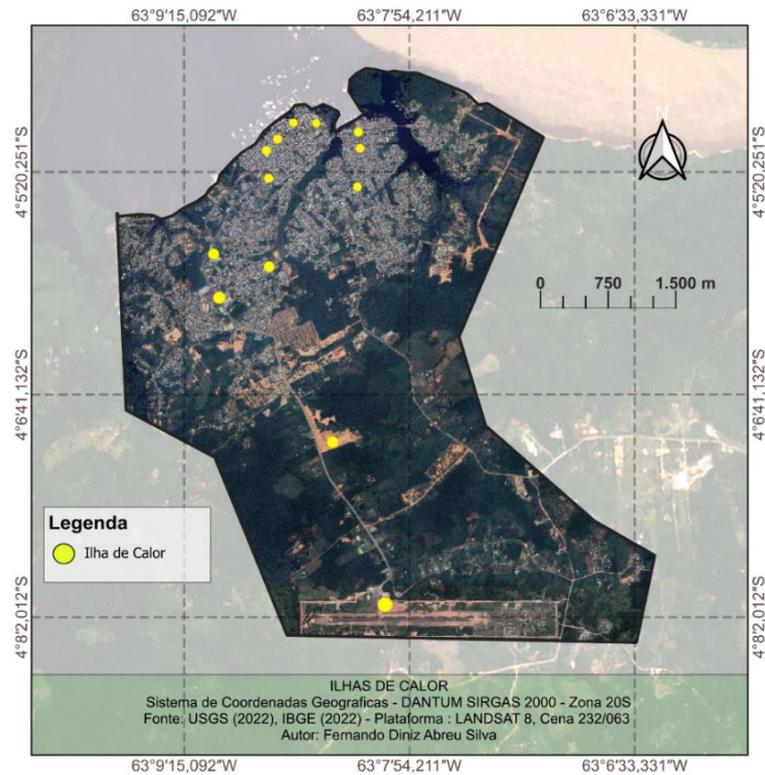
Considerando a resolução térmica da imagem capturada pelo Landsat 8 (15 metros), mesmo com a presença de fragmentos nos valores de temperatura mais elevados, é possível inferir que esta seja uma área característica de ilha de calor, principalmente devido à continuidade dos locais com tais temperaturas mais altas. Essas temperaturas mais elevadas decorrem da intensa atividade urbana nessas áreas, uma vez que os bairros do Centro, Tauá-Mirin, Espírito Santo e Chagas Aguiar são notáveis por suas construções densas, pavimentação asfáltica e atividades comerciais abundantes, além da escassa presença de corpos d'água e áreas verdes. Esses fatores, de fato, contribuem para a persistência das temperaturas elevadas nessa região.

Figura 32 - Identificação de ilhas de calor na área urbana em mapa termal



Fonte: USGS (2023); IBGE (2022); Plataforma LANDSAT 8.

Figura 33 - Identificação de ilhas de calor na área urbana

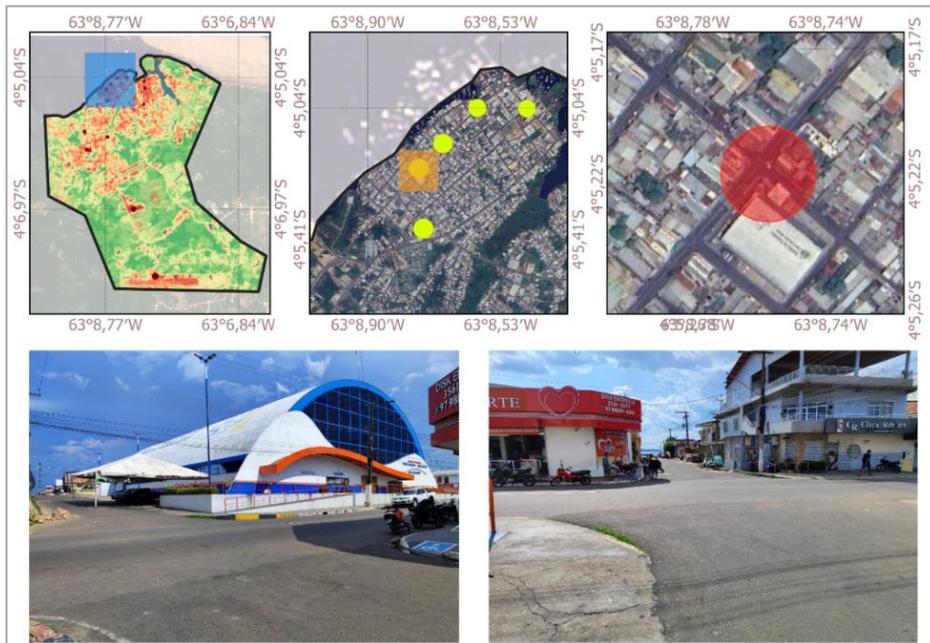


Fonte: USGS (2023); IBGE (2022); Plataforma LANDSAT 8.

4.3.4 Identificação das áreas com manifestação de Ilhas de Calor Urbano (ICU).

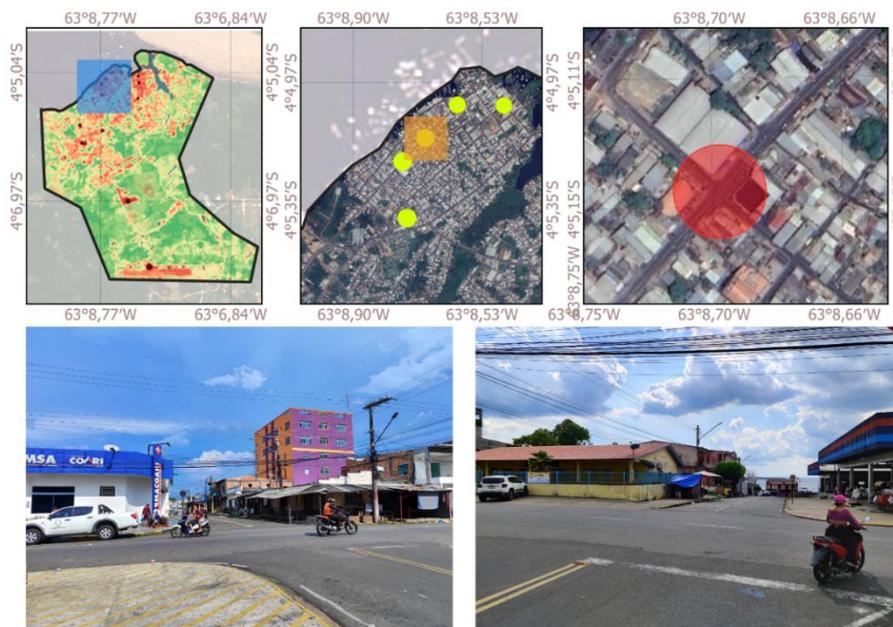
Prosseguindo com o procedimento, a próxima etapa consisti na realização de uma meticulosa identificação direta das zonas onde se torna evidente a manifestação das ilhas de calor urbanas. Para esse propósito específico, executa-se a remoção seletiva das áreas que exibem as temperaturas superficiais mais elevadas, como pode ser observado na figura 33, a partir da imagem abrangente da região.

Figura 34 - ICU - Cruzamento da R. Dois de dezembro com a Rua Padre Vitor, Bairro Tauá-Mirim



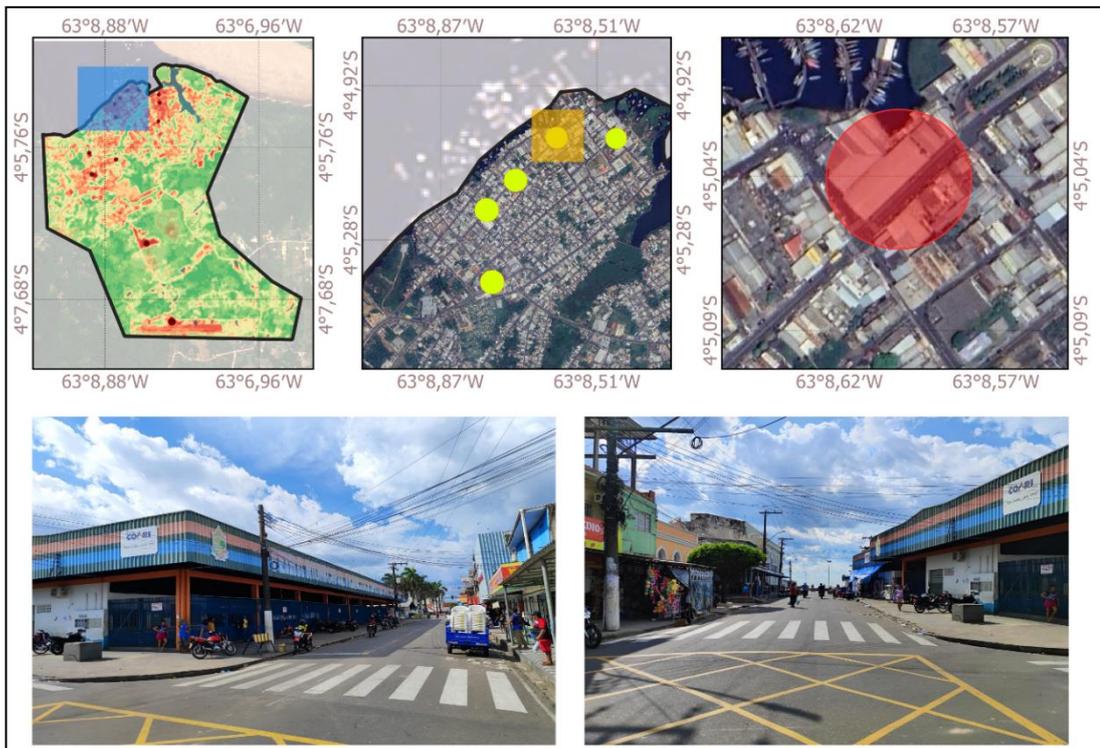
Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

Figura 35 - ICU - cruzamento da Rua Eduardo Ribeiro com a Rua Dois de dezembro.



Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

Figura 36 - ICU - cruzamento da Rua Dois de dezembro com a Rua Cinco de Dezembro, Centro.



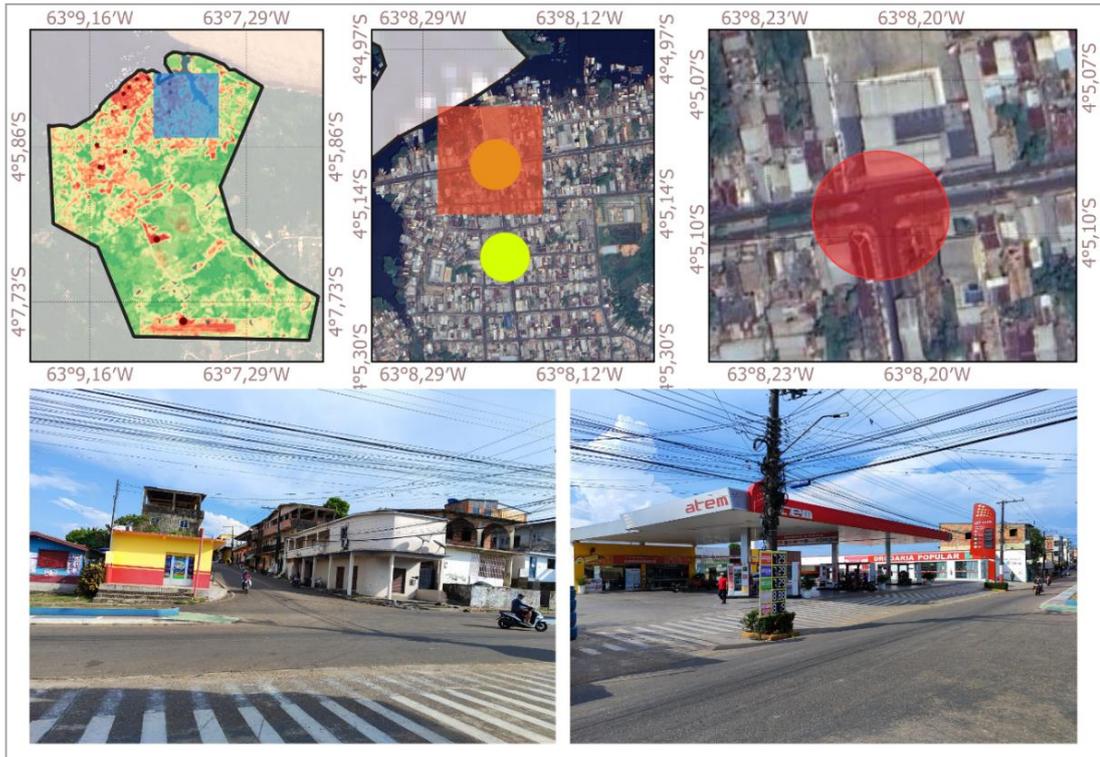
Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

Figura 37 - ICU - cruzamento da Rua Independência com a Rua Canaã, Centro.



Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

Figura 38 - ICU - cruzamento da Rua Vieira Martins com a Rua Plínio Coelho, Chagas Aguiar.



Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

Figura 39 - ICU - cruzamento da Rua Manoel Marques com a Rua Cap. Pessoa.



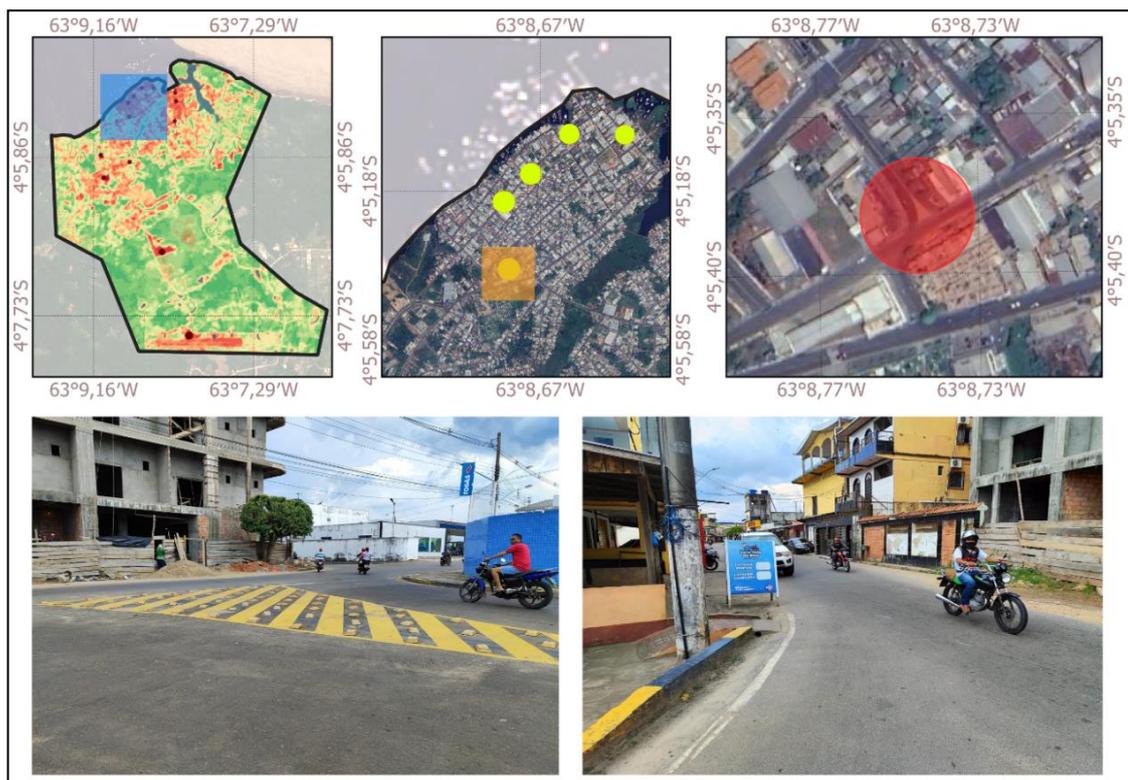
Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

Figura 40 - ICU - cruzamento da Rua Vieira Martins com a Rua Manoel Marques, Chagas Aguiar.



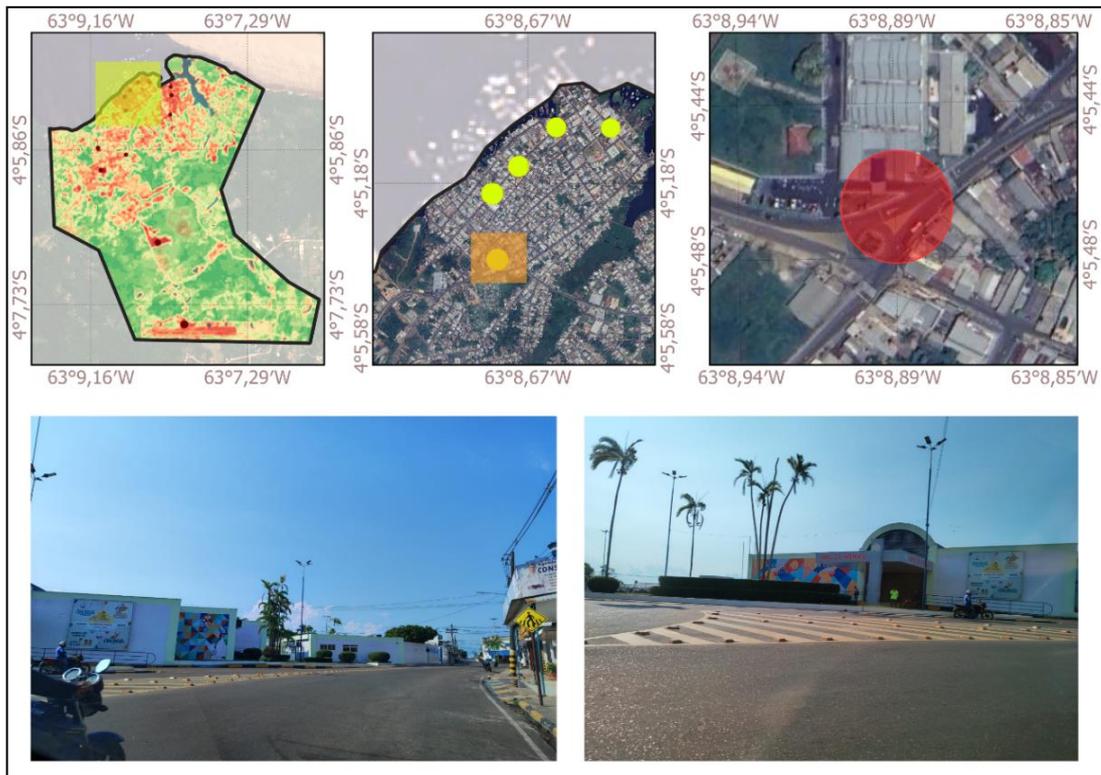
Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

Figura 41 - ICU - cruzamento da Variante do Aeroporto com a R. Dois de novembro, Tauá-Mirim.



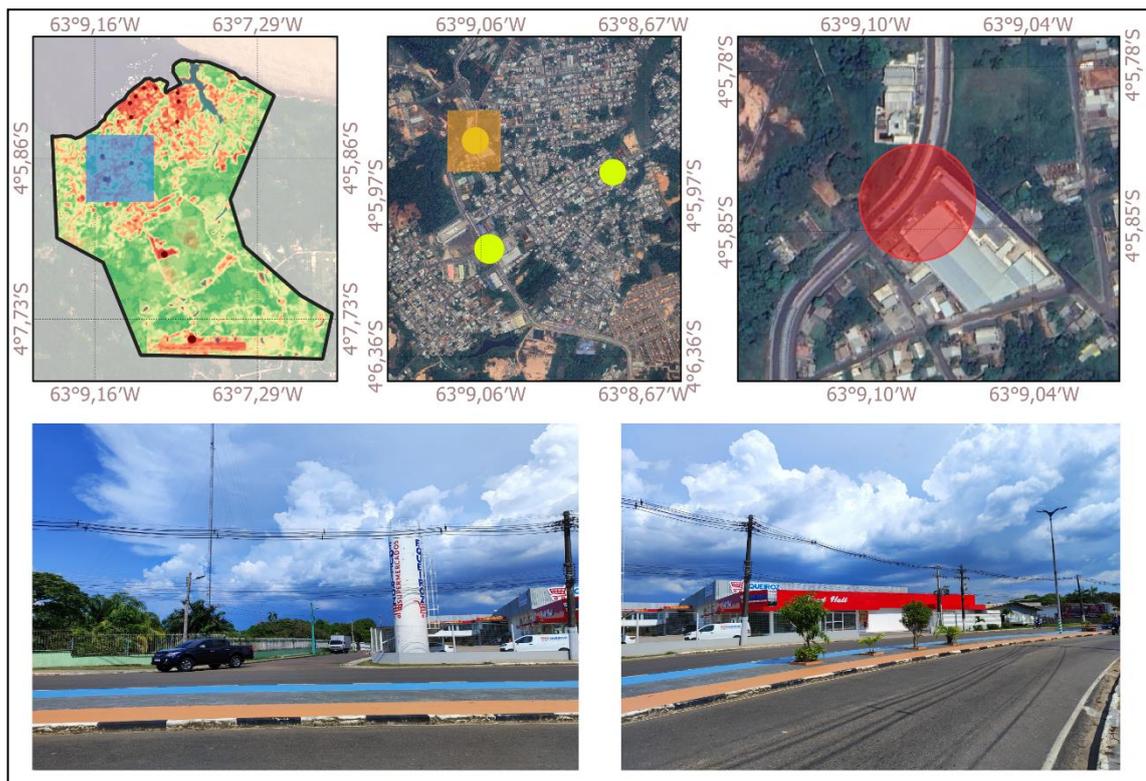
Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

Figura 42 - ICU - Rotatória Hospital Regional de Coari / AM.



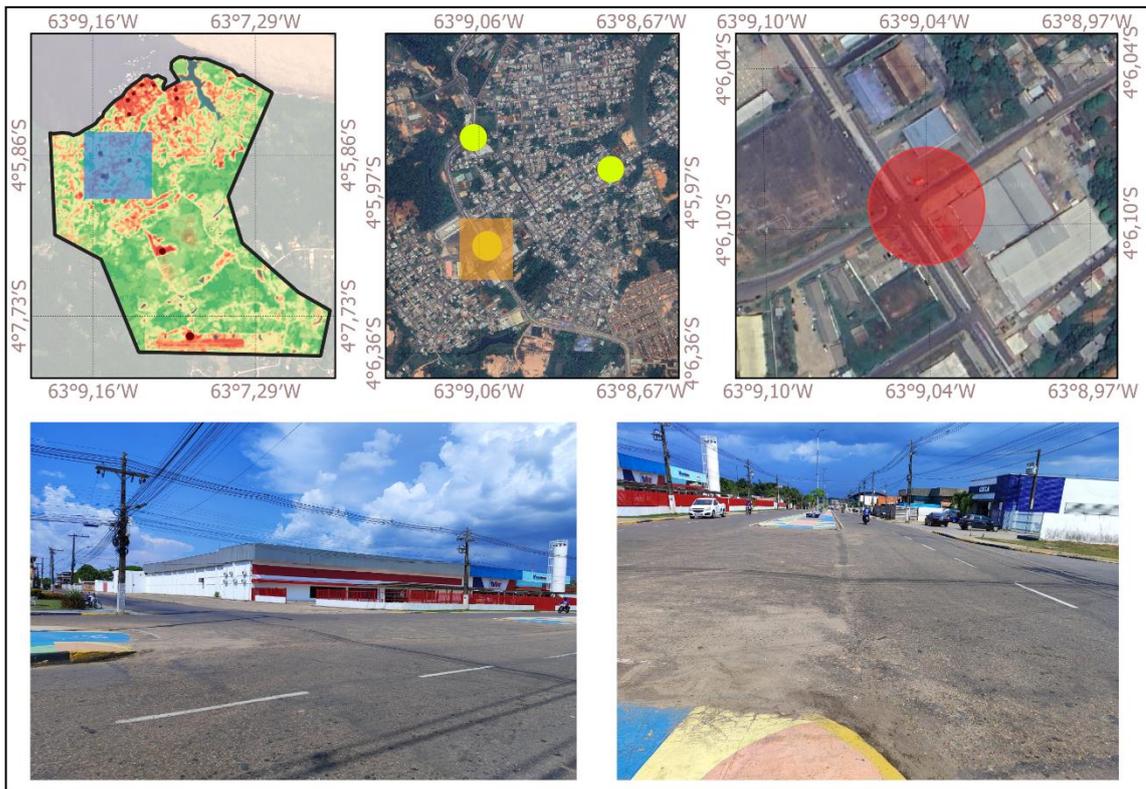
Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

Figura 43 - Estrada Coari Mamiá com a Rua N, Bairro União.



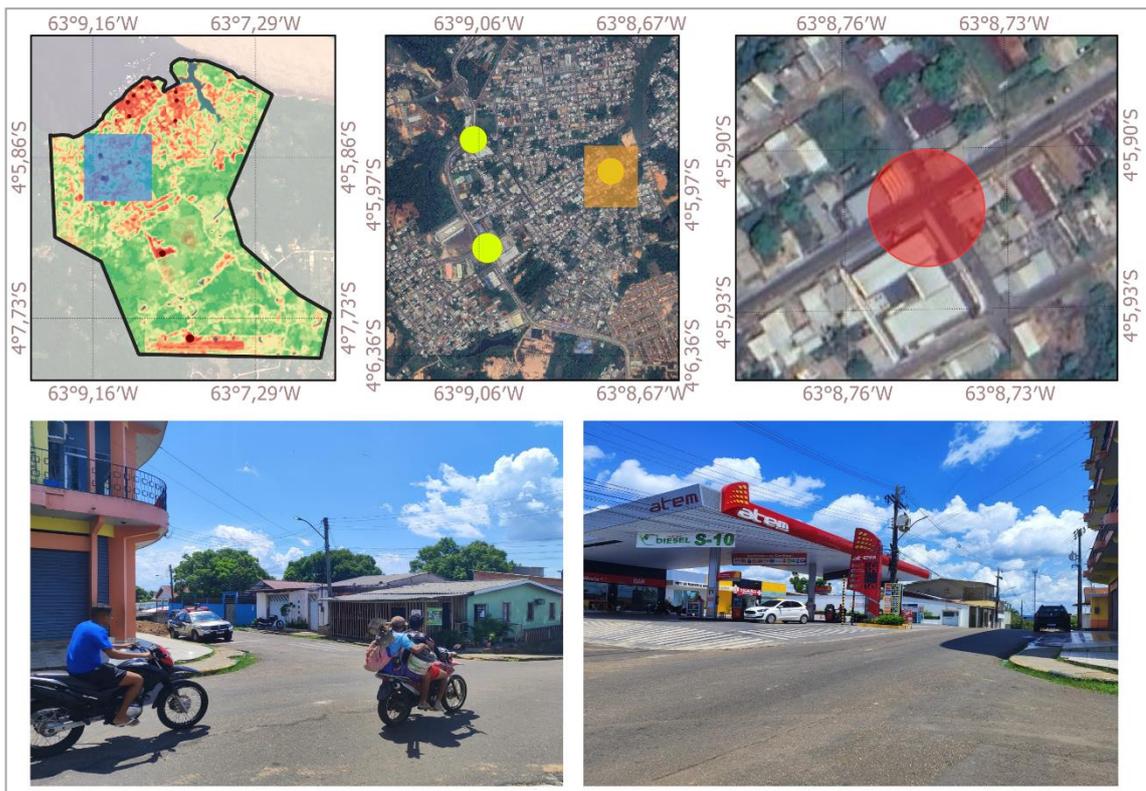
Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

Figura 44 - Estrada Coari Mamiá com a Rua C, Bairro União.



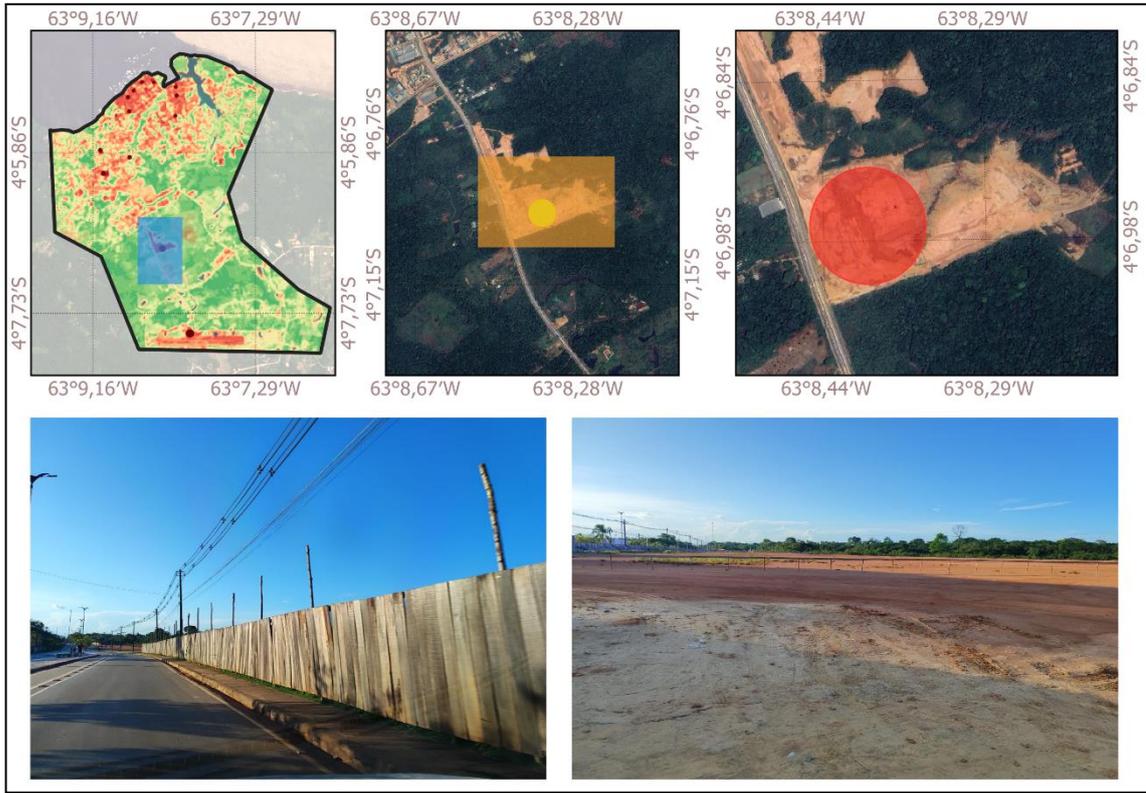
Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

Figura 45 - Cruzamento Rua C com a Rua Principal, Bairro União.



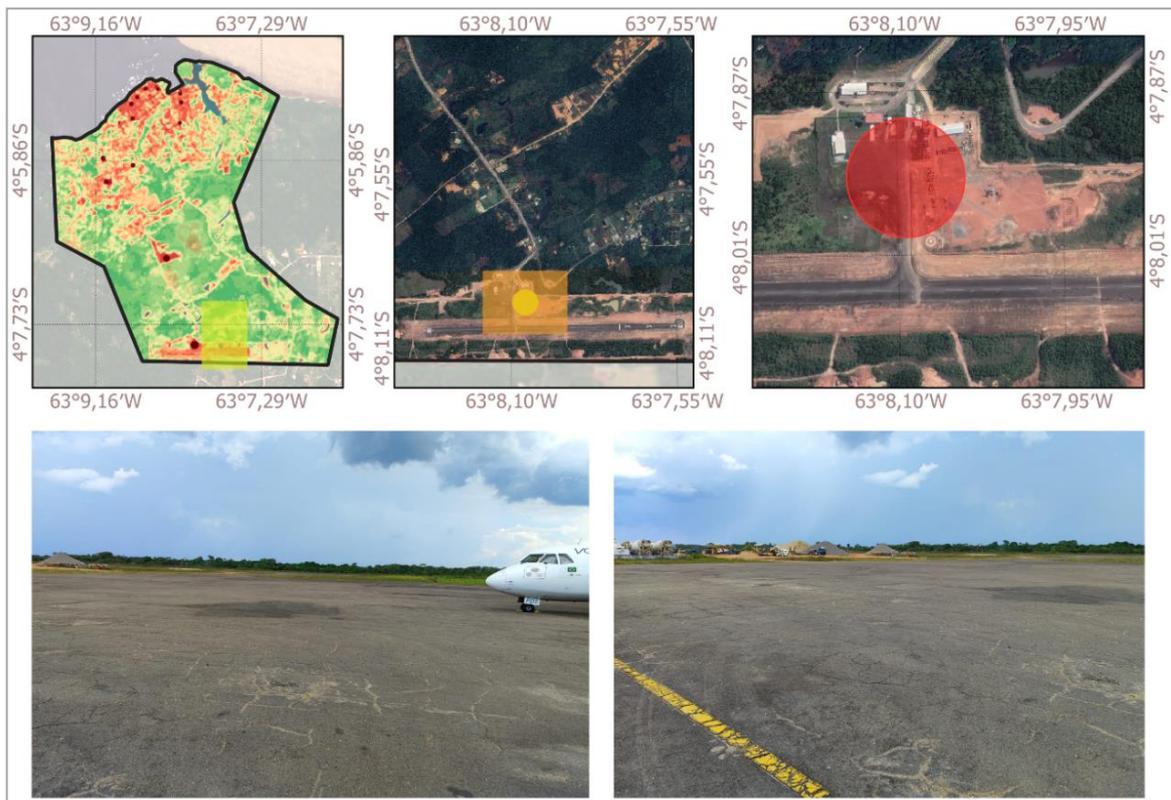
Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

Figura 46 - Estrada Coari Mamiá.



Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

Figura 47 - Aeroporto.



Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

As figuras 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 e 45 oferecem uma visualização clara de locais que estão imersos em uma intensa atividade urbana, uma vez que nessas áreas em particular, é nitidamente visível a presença de construções densamente agrupadas, uma extensa rede de pavimentação asfáltica que se estende ao longo da paisagem e uma profusão vibrante de empreendimentos comerciais em pleno vigor e atividade. Além disso, é essencial destacar que a ocorrência de áreas verdes é relativamente escassa na mencionada região, o que contribui significativamente para a proeminência e acentuação desses elementos distintivos que caracterizam a paisagem urbana.

Na figura 46, é possível observar claramente a manifestação de uma ilha de calor que se manifesta de maneira proeminente em uma área periférica do município de Coari. Nessa localidade em específico, a elevada temperatura registrada pode ser atribuída a um conjunto de fatores, notadamente o desmatamento extenso de uma considerável porção de floresta e a execução de uma obra de construção de um complexo esportivo no mesmo espaço geográfico.

A presença de uma ilha de calor nesse contexto é resultado da interação complexa entre o desmatamento, que reduz a capacidade de regulação térmica natural da vegetação, e as atividades de construção, que podem gerar calor adicional devido às operações em curso. Portanto, a combinação desses fatores contribui para o aumento significativo da temperatura na área, sendo esse fenômeno evidenciado de maneira notável nas imagens apresentadas nas figuras.

Na figura 47, é possível discernir com clareza a ocorrência visível de uma ilha de calor em uma zona periférica do município de Coari. Nesse cenário específico, a elevação acentuada da temperatura local pode ser diretamente atribuída a um conjunto de fatores influentes, tendo em vista que a localização em questão é justamente onde se encontra a pista do aeroporto da cidade. É importante ressaltar que essa infraestrutura aeroportuária abrange uma vasta extensão territorial, a qual se encontra amplamente impermeabilizada e sofreu um processo considerável de desmatamento.

A presença notável da ilha de calor nesta região é intrinsecamente ligada à interação complexa entre a impermeabilização do solo, resultante das estruturas aeroportuárias, e a perda de cobertura vegetal, uma vez que o desmatamento afeta negativamente a capacidade de regulação térmica natural. Conseqüentemente, essa combinação de fatores culmina em um aumento significativo das temperaturas locais, cuja manifestação é claramente destacada nas imagens retratadas nas figuras

fornecidas.

4.4 Procedimentos de análise da infraestrutura urbana e identificação de áreas com potencial para novas áreas verdes

De acordo com Gartland (2011), as estratégias fundamentais para combater os impactos das ilhas de calor, tais como a instalação de coberturas com propriedades de resfriamento, pavimentos que reduzem a absorção de calor e o aumento da vegetação arbórea, encontram desafios consideráveis em sua aplicação generalizada na indústria da construção. Nos Estados Unidos, é notável que menos de 10% das edificações possuam coberturas com tecnologias de resfriamento. Quanto aos pavimentos de baixa temperatura, exceto no caso do concreto, sua adoção é praticamente inexistente, e o concreto abrange menos de um quarto das áreas pavimentadas. Embora a incorporação de árvores e vegetação tenha alcançado certo êxito, permanece uma lacuna estimada de 634,4 milhões de árvores urbanas nos Estados Unidos da América (EUA).

Nesse sentido, para delinear as áreas com potencial para promover o crescimento de novos espaços verdes, é necessário adotar um processo lógico de planejamento ambiental. A coleta de informações pertinentes sobre o estado do ecossistema desempenhou um papel crucial, bem como a análise das possibilidades e limitações associadas aos espaços verdes, além da avaliação das atividades humanas que impactam ou são impactadas pelo entorno ambiental adjacente, coexistindo com áreas de vegetação significativas (Figura 49).

A observação revela que o núcleo comercial e suas imediações se destacam por suas construções densas, pavimentação asfáltica e uma ampla gama de atividades comerciais. Essa área concentra a maioria dos pontos de ilhas de calor. Apesar da densidade e da depleção de recursos naturais resultantes da expansão da malha urbana no município de Coari, ainda há notáveis áreas de vegetação (Figura 49). Coari preserva bolsões de ambientes naturais de naturezas diversas em suas áreas internas (fragmentos florestais) e nas margens do rio Solimões e do lago de Coari. Nota-se que ocorrem interrupções substanciais na continuidade entre esses fragmentos, no entanto, identificam-se áreas com potencial para estabelecer uma rede de corredores verdes.

Figura 48 - Corredor verde da Rua Gonçalves de Carvalho, Porto Alegre/RS



Fonte: Disponível em: <https://geracaourbanapoa.wordpress.com/2014/04/11/corredores-ecologicos/>. Acesso em: 01 set. 2023.

As áreas de infraestrutura urbana são minuciosamente localizadas, priorizando aquelas que ostentam notável vegetação, em particular árvores, ou exibem potencial para o desenvolvimento de flora. São considerados como espaços verdes as praças, parques e porções de ecossistemas remanescentes situados tanto em espaços públicos quanto privados.

Figura 49 - Corredor verde da Rua Marquês de Pombal



Fonte: Disponível em: <https://geracaourbanapoa.wordpress.com/2014/04/11/corredores-ecologicos/>. Acesso em: 1º set. 2023.

Uma vez que o mapeamento da infraestrutura urbana foi concluído, (segue) procedeu-se à identificação das vias aptas a estabelecer conexões, utilizando como base a análise de mapas com apresentam manifestação de Ilhas de Calor.

A Figura 50 ilustra a presença de três manifestações de ilhas de calor na rua 02 de agosto, localizada na região comercial da cidade de Coari. Essas ilhas de calor estão situadas entre a Praça do Cristo e a Praça da Bandeira, no qual pode-se estabelecer uma conexão entre essas praças através da via (rua 02 de agosto) por meio de um corredor verde.

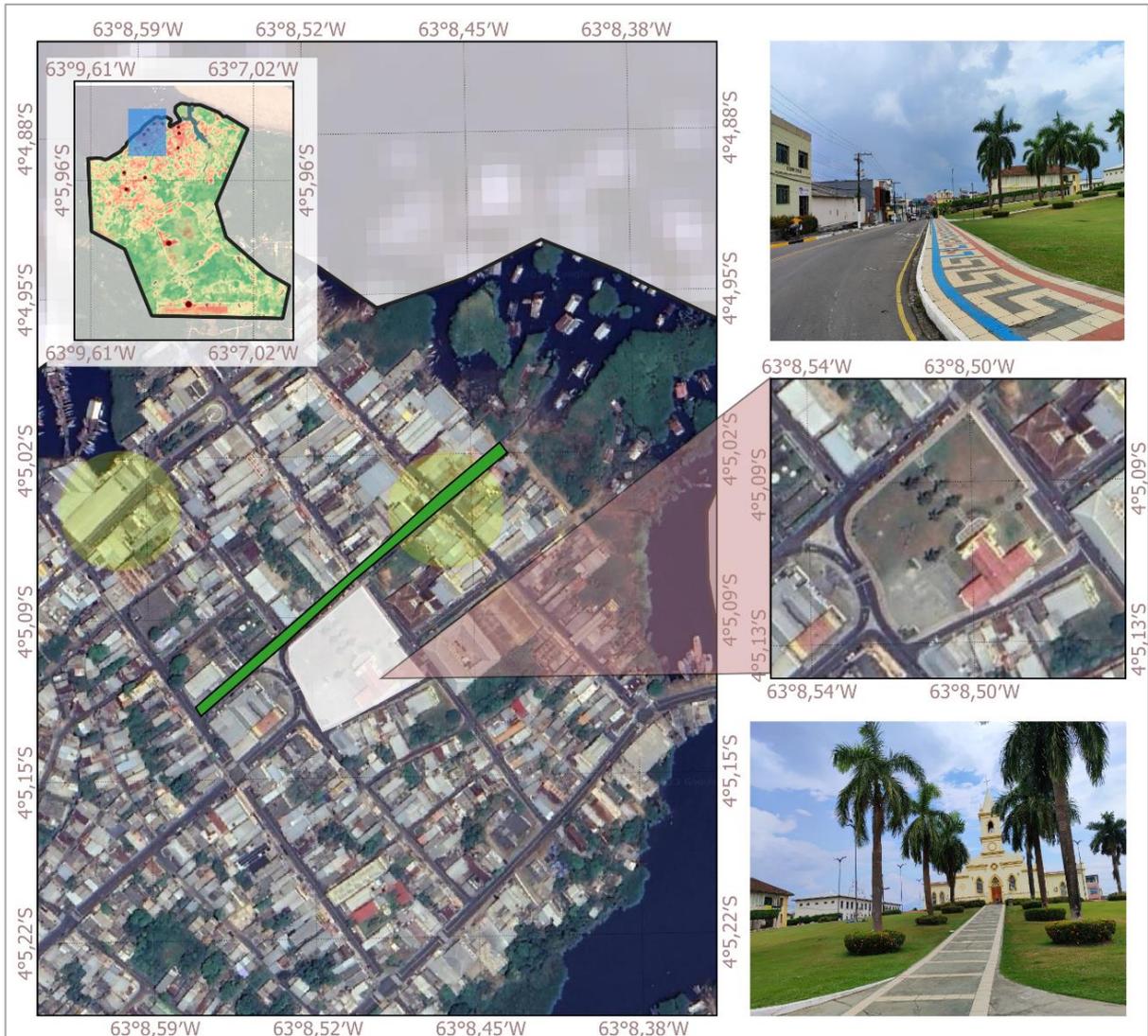
Figura 50 - Corredor verde - Praça da Bandeira / Praça do Cristo



Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

A Figura 51 ilustra a presença de uma manifestação de ilhas no cruzamento entre a rua Independência e a rua Canaã, localizada no centro comercial da cidade. Essa manifestação de ilha de calor está situada entre a Praça da Igreja Matriz e a margem do rio Solimões, no qual pode-se estabelecer uma conexão entre essa praça e a margem do rio por meio de um corredor verde.

Figura 51 - Corredor verde (Praça da Igreja Matriz / margem do Rio Solimões)



Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

A Figura 52 ilustra a presença de três manifestação de ilhas de calor no bairro Chagas Aguiar (região adjacente ao centro comercial). Essas manifestações ilha de calor ao longo e próximo da rua Vieira Martins, no qual pode-se estabelecer uma conexão entres as praças que estão localizadas na margem dessa rua (Praça do Estudante e praça da Igreja Santo Afonso) e a extensão total da rua por meio de um corredor verde.

Figura 52 - Corredor verde (Praça da Igreja Santo Afonso / Praça do Estudante)



Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

A Figura 53 ilustra a presença de duas manifestações de ilhas de calor no bairro da União, uma região mais distante do centro comercial do município, mas que possui grande faixa territorial impermeável e densas construções (Centro Cultural da Cidade, Rede de Lojas e Supermercado e Posto de Combustível). Pode-se estabelecer uma conexão entre o Centro Cultural da Cidade (cruzamento da Av. do Aeroporto) e a Rua Principal do bairro da União, por meio de um corredor verde.

Figura 53 - Corredor verde do Centro Cultural da Cidade e a Rua Principal, Bairro da União



Fonte: Acervo do pesquisador; USGS (2023); IBGE (2023).

Para complementar as medidas de redução das ilhas de calor, é imprescindível incorporar no planejamento urbano das cidades, especialmente nas edificações comerciais que estão entre as principais contribuintes para as ilhas de calor, a adoção de tecnologias como telhados verdes, ecotelhados, coberturas vivas ou coberturas verdes. Essas estruturas se caracterizam pela aplicação de vegetação sobre as construções, contando com sistemas adequados de impermeabilização e drenagem.

Figura 54 - Telhado verde da Loja Fabricário em Porto Alegre / RS



Fonte: Disponível em: <http://www.ecotelhado.com.br>. Acesso em: 1º set. 2023.

Os telhados verdes são configurações que envolvem a instalação de vegetação, substrato para retenção de água e sustentação vegetal, e um sistema de drenagem para remover o excesso de água. Eles representam uma mudança paradigmática no design, permitindo a utilização de materiais locais e trazendo vantagens termoacústicas, aumento da umidade do ar, atenuação das altas temperaturas e purificação do ar, filtrando partículas e gases prejudiciais à saúde humana (Krebs, 2005).

Figura 55 - Telhado verde na Escola Estadual no Rio de Janeiro / RJ



Fonte: Disponível em: revistacasa Jardim.globo.com Acesso em: 1º set. 2023.

5 IMPACTOS ACADÊMICO, ECONÔMICO E SOCIAL

5.1 IMPACTO ACADÊMICO

O objetivo é realizar uma valiosa contribuição para a área de pesquisa que se concentra na Análise Microclimática de Sistemas Urbanos, visando fortalecer e aprimorar as metodologias empregadas para a investigação e, conseqüentemente, o aprofundamento no entendimento dos complexos processos que dão origem ao clima urbano.

Por meio desse esforço, busca-se ampliar o conhecimento existente, proporcionando insights cruciais que enriquecerão a compreensão dos fatores que moldam e influenciam as condições climáticas nas zonas urbanas. Pretende-se estabelecer bases sólidas para a expansão do campo de estudo, avançando na direção de soluções mais eficazes e abrangentes para os desafios relacionados ao microclima urbano.

A investigação orienta-se pela análise meticulosa de diversos componentes que compõem o ambiente urbano, a fim de identificar correlações e padrões que possam lançar luz sobre os mecanismos subjacentes ao comportamento climático local. A coleta de dados é conduzida com rigor científico, empregando uma variedade de ferramentas e técnicas de medição para garantir a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos.

Além disso, espera-se que os insights gerados por essa pesquisa, contribuam para a formulação de estratégias urbanas mais informadas e sustentáveis, que levem em consideração não apenas a infraestrutura física, mas também as influências climáticas. Ao fortalecer as metodologias de análise microclimática, estamos comprometidos em trazer avanços significativos para o campo, promovendo um entendimento mais abrangente e aprofundado das dinâmicas que moldam o clima nas áreas urbanas.

5.2 IMPACTO SOCIAL

A análise dos impactos sociais na região de Coari é de extrema relevância, uma vez que as mudanças no ambiente urbano e nas condições climáticas afetam diretamente a qualidade de vida e o bem-estar da população local. A compreensão

desses impactos permite o desenvolvimento de estratégias de adaptação e mitigação, bem como a promoção de políticas públicas que visam a proteção dos cidadãos. Assim, podemos destacar os seguintes pontos-chave:

- **Saúde da População:** O aumento das temperaturas, especialmente nas áreas de ilhas de calor urbano, pode contribuir para problemas de saúde, como insolação, desidratação e exaustão devido ao estresse térmico. Além disso, temperaturas mais altas podem agravar condições médicas pré-existentes, como doenças cardiovasculares e respiratórias. Isso coloca um ônus adicional no sistema de saúde local, exigindo maior capacidade de resposta para lidar com emergências de saúde relacionadas ao clima. É importante destacar que grupos mais vulneráveis, como idosos, crianças e pessoas com condições de saúde preexistentes, estão em maior risco, e a atenção médica adequada a esses grupos se torna crucial.
- **Qualidade do Ar:** O aumento da temperatura e as ilhas de calor podem influenciar negativamente a qualidade do ar, aumentando a concentração de substâncias químicas, como ozônio e partículas finas. Isso pode levar a problemas de gripes, alergias e outras questões de saúde entre a população, especialmente aqueles com predisposição a doenças respiratórias. A poluição do ar representa um desafio significativo para a saúde pública, e a redução das emissões de poluentes deve ser uma prioridade nas políticas de mitigação.
- **Conforto Térmico:** As altas temperaturas nas áreas urbanas podem afetar o conforto térmico das pessoas, tornando o ambiente menos habitável e contribuindo para o desconforto durante as atividades diárias. Isso pode prejudicar a qualidade de vida da população, tornando as áreas urbanas menos acessíveis para atividades ao ar livre, o que tem impacto direto no bem-estar social.
- **Desigualdades Socioeconômicas:** Os impactos das ilhas de calor e das mudanças climáticas nem sempre são distribuídos igualmente pela população. Comunidades de baixa renda e grupos vulneráveis podem sofrer desproporcionalmente com as altas temperaturas, uma vez que muitas vezes têm menos acesso a habitações bem ventiladas e áreas

verdes. O planejamento urbano deve ser sensível a essas desigualdades e buscar soluções que beneficiem igualmente todos os estratos sociais.

- **Acessibilidade a Áreas Verdes:** A disponibilidade de áreas verdes é essencial para proporcionar pausa do calor e melhorar a qualidade de vida. A identificação de locais com potencial para o desenvolvimento de novas áreas verdes, como corredores verdes, pode beneficiar a população, proporcionando espaços de lazer, diversão e contato com a natureza. A promoção de áreas verdes acessíveis a todos os cidadãos é uma estratégia importante para atenuar os impactos do calor nas áreas urbanas.

Deste modo, a análise dos impactos sociais destaca a necessidade de considerar as questões sociais em conjunto com as estratégias de adaptação e mitigação das ilhas de calor e das mudanças climáticas em Coari. O planejamento urbano deve levar em conta a equidade, a saúde e o bem-estar da população, garantindo que todos os setores da sociedade possam lidar de maneira eficaz com os desafios ambientais que a cidade enfrenta. A colaboração entre autoridades locais, comunidades e especialistas é fundamental para abordar esses desafios de maneira abrangente e sustentável.

5.3 IMPACTO ECONÔMICO

Os resultados obtidos a partir deste estudo se tornem um valioso recurso para o aprimoramento da gestão administrativa do município de Coari, localizado no Estado do Amazonas. Além disso, acreditamos firmemente que esses resultados têm o potencial de enriquecer significativamente o processo de planejamento urbano, desempenhando um papel fundamental na prevenção de possíveis cenários que poderiam culminar em sérios problemas ambientais, decorrentes da utilização ineficaz do solo.

Ao fornecer insights detalhados sobre as características climáticas e a percepção de conforto em diferentes áreas de Coari, esperamos capacitar os gestores municipais com informações sólidas e embasadas cientificamente. Essas informações podem, por sua vez, orientar decisões estratégicas relacionadas ao desenvolvimento urbano e à ocupação do solo, a fim de criar uma cidade mais resiliente, sustentável e harmoniosa com o meio ambiente.

Ao considerar a grande importância do planejamento urbano eficiente,

vislumbramos uma oportunidade única de evitar situações adversas que possam surgir devido a práticas inadequadas de uso do solo. Com base nas recomendações derivadas deste estudo, o município de Coari pode se empenhar em implementar políticas e diretrizes que promovam um desenvolvimento equilibrado, reduzindo o risco de problemas ambientais de grande envergadura.

Nossa aspiração última é que os resultados desta pesquisa não apenas informem, mas também inspirem ações concretas, catalisando uma mudança positiva e sustentável em Coari. Ao unir a pesquisa científica à administração municipal, podemos criar um ambiente urbano mais saudável, seguro e vibrante, que beneficie tanto os cidadãos atuais quanto as gerações futuras.

6 CONCLUSÃO

O estudo detalhado da cidade de Coari, localizado no coração da região amazônica, fornece uma visão profunda das características geográficas e ambientais que moldam seu perfil único. Coari, situada às margens do Rio Solimões, possui uma rica hidrografia que inclui o Lago Coari, o Lago Mamiá, o Lago Aruã e o Rio Urucu, além de uma série de canais menores. Essa rica geografia e influência desempenha um papel fundamental na dinâmica ambiental da cidade.

A história de Coari é marcada pela descoberta de vastas reservas de petróleo e gás natural em sua região. A exploração desses recursos naturais trouxe desenvolvimento econômico, mas também causou desmatamento em larga escala. No entanto, é notável que a Petrobras tenha implementado ações e programas para minimizar os impactos ambientais, demonstrando um compromisso com a preservação ambiental.

O crescimento econômico impulsionado pela exploração de recursos naturais levou Coari a ser o segundo município com maior Produto Interno Bruto (PIB) do Amazonas. Essa transformação econômica contribuiu para o desenvolvimento da cidade, mas também desencadeou desafios urbanos, incluindo o surgimento de ilhas de calor urbano.

O estudo prevê claramente as áreas da cidade onde as ilhas de calor são mais proeminentes, geralmente associadas às áreas densamente urbanizadas, onde as temperaturas são mais elevadas em comparação com as áreas periféricas, que possuem mais vegetação e corpos d'água.

Uma parte essencial da pesquisa concentra-se na identificação de áreas verdes na cidade e na exploração do potencial dessas áreas para combater as ilhas de calor urbanas. Corredores verdes potenciais foram identificados, que poderiam conectar as áreas verdes existentes, promovendo uma redução das temperaturas e melhorando a qualidade de vida dos residentes.

Além disso, o estudo enfatiza a importância das tecnologias de telhados verdes e coberturas vivas na mitigação do impacto das ilhas de calor nas edificações comerciais. Essas soluções não apenas auxiliam no controle térmico, mas também são significativas para a sustentabilidade ambiental, melhorando a qualidade do ar e a estética urbana.

Em resumo, o estudo oferece uma visão abrangente da cidade de Coari,

explorando sua geografia, história, desafios ambientais e urbanos, bem como oportunidades para a promoção de um ambiente urbano mais saudável e sustentável. As nossas observações apontam para a necessidade de equilibrar o crescimento econômico com a conservação ambiental, garantindo um futuro mais promissor para a cidade e seus habitantes.

Para estudos futuros, é altamente interessante aprofundar a investigação sobre a ocorrência de ilhas de calor urbano em cidades de pequeno porte. A compreensão mais aprofundada dessa fenomenologia pode desempenhar um papel crucial no planejamento urbano dessas áreas. Com um conhecimento sólido da dinâmica da paisagem urbana, os planejadores urbanos podem desenvolver projetos que visam atenuar os efeitos das ilhas de calor, resultando na redução do desconforto térmico experimentado pela população local. Até mesmo pequenas variações de temperatura podem ter impactos significativos na saúde da população, e, portanto, uma investigação aprofundada nesse contexto é de grande relevância para melhorar a qualidade de vida nas cidades de pequeno porte e garantir um ambiente urbano mais sustentável.

REFERÊNCIAS

- AEROMAPA S/A. **Cartografia, informática e projetos**. Disponível em: Disponível em: <http://www.aeromapa.com.br/pt/noticia/44-landsat-5-e-desativado-apos-mais-de-29-anos-em-orbita>. Acesso em: 31 maio 2023.
- AHMED, Hassan Audu; SINGH, Sudhir Kumar; KUMAR, Mukesh; MAINA, Mustapha Saleh; DZWAIRO, Rimuka; LAL, Deepak. Impact of urbanization and land cover change on urban climate: case study of Nigeria. **Urban Climate**, [s.l.], v.32, p.100600, 2020.
- ALCHAPAR, Noelia L.; PEZZUTO, Cláudia Cotrim; CORREA, Erica Norma; LABAKI, Lucila C. The impact of different cooling strategies on urban air temperatures: the cases of Campinas, Brazil and Mendoza, Argentina. **Theoretical and Applied Climatology**, [s.l.], v.130, n.1-2, p.35–50, 2017.
- ALCOFORADO, Maria João; LOPES, Antonio; ANDRADE, Henrique; VASCONCELOS, João. **Orientações climáticas para o ordenamento em Lisboa**. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, 2005.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIRCONDITIONING ENGINEERS - ASHRAE. **ASHRAE Standard 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, GA.: ASHRAE, 1992.
- AMORIM, M. C. C. T. Climatologia e gestão do espaço urbano. **Mercator**, Fortaleza, v.9, n.1, p.71-90, jan. 2011.
- AMORIM, M. C. C. T.; DUBREUIL, V. Intensity of Urban Heat Islands in tropical and temperate climates. **Climate**, [s.l.], v.5, n.4, p.91-104, 2017.
- AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Climatologia e gestão do espaço urbano. **Mercator**, Fortaleza, v.9, n.1, p.71-90, 2010.
- AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Ilhas de calor superficiais: frequência da intensidade e variabilidade espacial em cidade de clima tropical continental. **GEO UERJ**, Rio de Janeiro, n.34, v.1, p.1-18, 2019.
- ANDRADE, H. O clima urbano: natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finisterra**, Lisboa, v.50, n.80, p.67-91, 2005.
- ARNFIELD, A. J. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. **International Journal of Climatology**, [s.l.], v. 23, n. 01, p. 1-26, 2003.
- BALTAR, Marta Garcia; KAEHLER, José Wagner Maciel; PEREIRA, Luís Alberto. **Indústria da construção civil e eficiência energética**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.
- BARBIERI, José Carlos. **Desenvolvimento e meio ambiente**: as estratégias de mudanças da Agenda 21. 15.ed. Petrópolis: Vozes, 2014.

BARBOSA, R. V. R. **Áreas verdes e qualidade térmica em ambientes urbanos: estudo em microclimas de Maceió (AL)**. 2005. 135f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

BARBOSA, Ricardo Victor Rodrigues; VECCHIA, Francisco Arthur da Silva. Estudos de Ilha de Calor Urbana por meio de Imagens do Landsat 7 Etm+: Estudo de Caso em São Carlos (SP). *Revista Minerva – Pesquisa e Tecnologia*, v. 6, n. 3, p.273-278, set./dez. 2009.

BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*. Tradução de Luís Antero Reto. 3.ed. São Paulo: Edições 70, 2016.

BARROS, Hugo Rogério; LOMBARDO, Magda Adelaide. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo/SP. *GeoUSP – Espaço e Tempo*, São Paulo, v.20, n.1, p.160-177, 2016

BARROS, Juliana R; ZAVATINI, João A. Bases conceituais em climatologia Geográfica. *Mercator - Revista de Geografia da UFC*, Fortaleza, v.8, n.16, p.255-261, Oct. 2009.

BEZERRA, Letícia Gabriele da Silva; SARAIVA, Ana Luiza Bezerra da Costa; GRIGIO, Alfredo Marcelo; ARAUJO, Amanda Mota. Índice de calor humano em áreas de convivência urbana na cidade de Mossoró/RN. In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica. 14, 2021, João Pessoa. *Anais [...]*. João Pessoa (PB): SBCG, 2021. p. 316 -330.

BIAS, Edílson De Souza; BAPTISTA, Gustavo Macedo De Mello; LOMBARDO, Magda Adelaide. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados landsat e ikonos. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003, Belo Horizonte. *Anais [...]*. Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 1741-1748.

BORGES, Marcus Gonçalves Euclides. **Influência do ambiente construído no microclima urbano: estudo de caso no campus da Universidade Federal de Santa Catarina**. 2009. 154f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

BOWLER, Diana E., BUYUNG-ALI, L., KNIGHT, Teri M., PULLIN, A.S. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, [s.l.], v.97, n.3, p.147-155, 2010.

BRASIL. (Constituição 1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 1988.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conferência das Nações Unidas sobre o meio Ambiente e Desenvolvimento. **Agenda 21**. 1992. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/se/agen21/ag21global>. Acesso em: 30 maio 2023.

BRASIL. **Protocolo de Quioto à Convenção sobre a Mudança do Clima**. 2005. Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil. Disponível em: <https://livroaberto.ibict.br/bitstream/1/855/2/Protocolo%20de%20Quioto.pdf>. Acesso em: 30 maio 2023.

CABRAL, P. I. D. Arborização urbana: problemas e benefícios. *Revista Especialize IPOG*, Goiania, v. 1, n. 6, p. 01-15, 2013.

CAMARGO, Flávio Fortes; PEREIRA, Gabriel; MORAES, Elisabete Caria; OLIVEIRA, Luis Gonçalves Longo de; ADAMI, Marcos. Análise multitemporal da evolução urbana e sua influência na modificação do campo térmico na Região Metropolitana de São Paulo para os anos de 1985, 1993 e 2003. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: INPE, 2007. p. 5127-5134.

CASTELO BRANCO, Lorena Milieb Burgos. **Microclima Urbanos no Plano Piloto de Brasília**: o caso da Superquadra 108 Sul. 2009. 139f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

CAVALCANTE, Rivelino Martins; AGUIAR, Larissa Moraes; SILVA, Marcus Vinicius; GANDU, Adilson Wagner; ROCHA, Camille Arraes. Caracterização de cânions urbanos e seus efeitos climáticos em área com intenso processo de verticalização na cidade de Fortaleza, Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.10, n.04, 1046-1058, maio 2017.

CHEN, Xiao-Ling; ZHAO, Hong-Mei; LI, Ping-Xiang; YIN, Zhi-Yong. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing of Environment**, v. 104, n. 2, p. 133–146, 2006.

COELHO, André Luís Nascentes; CORREA, Wesley de Souza Campos. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013.

COLTRI, Priscila Pereira; VELASCO, Giuliana Del Nero; POLIZEL, Jefferson Lordello; DEMETRIO, Valdemar Antônio; FERREIRA, Nelson Jesus. Ilhas de calor da estação de inverno da área urbana do município de Piracicaba, SP. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13, 2007. São José dos Campos. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2007. p.5151-5157.

CONCEIÇÃO, R. L.; DAMASCENO, E. O. **Variações termo higrométricas e sua relação com o uso do solo durante a estação seca na cidade de Belém, Pará**. 2007. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Pará, Belém, 2007.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO – CONTRAN. **Resolução n.º 507**, 30 de outubro de 1976. Estabelece requisitos de controle de emissão de gases do cárter de motores veiculares, movido à gasolina.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n.º 16**, de 6 de maio de 1986. Disponível em: <http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/manuais/ambiente/RESOLUcaO%20CONAMA%2018%20de%206%20de%20maio%20de%201986.pdf>. Acesso em: 30 maio 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução n.º 5**, de 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR. Disponível em: https://www.suape.pe.gov.br/images/publicacoes/resolucao/Resolu%C3%83%C2%A7%C3%83%C2%A3o_CONAMA_005.1989.pdf. Acesso em: 30 maio 2023.

CONTI, José Bueno. Geografia e climatologia. **GEOUSP Espaço e Tempo**, São Paulo, v.5, n.1, p.91-95, 2001.

CORRÊA, Leda Vilhena. **Avaliação do efeito amenizador climático de algumas áreas verdes do espaço urbano de Belém-PA**. 2008. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Pará, Belém, 2008.

CORRÊA, Polari B.; CORRÊA, Jéssica A. de J.; ANDRADE, Sílvia C. de P. Análise da temperatura do ar de superfície da área urbana de Santarém através de imagens termais do Landsat 5. **Revista Geonorte**, [s.l.], v.2, n.4, p.714-722, 2012.

COSTA, Angelina Dias Leão. **Análise bioclimática e investigação do conforto térmico em ambientes externos**: uma experiência no bairro de Petrópolis em Natal/RN. 2003. 197f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

CUNHA, Davi Gasparini Fernandes; VECCHIA, Francisco. As abordagens clássicas e dinâmica de clima: uma revisão bibliográfica aplicada ao tema da compreensão da realidade climática. **Ciência e Natura**, [s.l.], v.29, n.1, p.137-149, 2007.

CUNHA, John E. de B.L; RUFINO, IANA A.A.; SILVA, BERNARDO B da; CHAVES, Iêda de B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.16, n.5, p.539-548, 2012.

DELLAGNELO, Eloise Helena Livramento; SILVA, Rosimeri Carvalho da. Análise de conteúdo e sua aplicação em pesquisa na administração. In: VIEIRA, Marcelo Milano Falcão; ZOVAIN, Deborah Moraes (Orgs.). **Pesquisa qualitativa em administração**: teoria e prática. São Paulo: FGV, 2005. p.97-118.

DENZIL, Norman K.; LINCOLN, Yvonna S. (Orgs.). **O planejamento da pesquisa qualitativa**: teorias e abordagens. Tradução de Sandra Regina Netz. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

DUMKE, Eliane Müller Seraphim. **Clima urbano / conforto térmico e condições de vida na cidade**: uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da Região Metropolitana de Curitiba (AURMC). 2007. 418 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Sistemas orbitais de monitoramento e gestão territorial**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Reducing Urban Heat Islands**: Compendium of Strategies - Heat Island Reduction Activities. 2008. Disponível online em: <http://www.epa.gov/heatisland>. Acesso em: 20 maio 2023.

ESCOLA EDUCAÇÃO. **Microclima urbano**: o que é, resumo, causas e consequências. [Blog]. 2018. Disponível em: <https://escolaeducacao.com.br/microclima-urbano/>. Acesso em: 19 maio 2023.

FEARNSIDE, Philip M. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. **Ecology and Society**, [s.l.], v.13, n.1, p.23, 2008.

FEITOSA, Sônia Maria Ribeiro. **Alterações climáticas em Teresina-PI decorrentes da urbanização e supressão de áreas verdes**. 2010. 112f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2010.

FERREIRA, Bárbara Carlos; ESTEVAM, André Luiz Dantas; MAIA, Diego Corrêa. Clima urbano, ilhas de calor e conforto térmico nos bairros do Cabula e Pernambués no centro urbano de Salvador (BA). **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v.15, n.6, p.2768-2780, 2022.

FERREIRA, Larete Guimarães; FERREIRA, Nilson Clementino; FERREIRA, Manuel Eduardo. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**. Maringá, v.30, n.4, p 379-390, 2008.

FEW, Roger; MATTHIES, Franziska. **Flood hazards & health: responding to present and future risks**. London: Routledge, 2007.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FRANCO, Fernanda Miguel; NOGUEIRA, Marta Cristina Albuquerque; ROSSETI, Karyna Carvalho; NOGUEIRA, José de Souza. Clima urbano: um estudo de caso para clima tropical continental. **CLIMEP – Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v.5, n.1, p.81-89, jun. 2010.

FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. **Planejamento ambiental para a cidade sustentável**. São Paulo: Annablume, 2000.

FREIRE, Neison; PACHECO, Admilson. **Desertificação: mapeamento e análise**. Recife: UFPE, 2009.

GALLO, Kevin P.; TARPLEY, J. D.; MCNAB, A. L.; KARL, T. R. Assessment of urban heat islands: a satellite perspective. **Atmospheric Research**, v. 37, n. 1–3, p. 37–43, 1995.

GARTLAND, Lisa. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Tradução Silva Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

GEORGI, Julia N.; DIMITRIOU, Dimos. The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities: Case study of Chania, Greece. **Building and Environment**, [s.l.], v.45, n.6, p.1401-1414, June 2010.

GERALDO, João Carlos. **A evolução dos espaços livres públicos de Barueri Brotas e Dois Córregos / SP**. 1997. 207f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997

GOMES, Marcos Antônio Silvestre; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente (SP). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v.4, n.10, p.94-106, Set. 2003.

GOMES, Yara Batista; CARACRISTI, Isorlanda. Aspectos socioambientais e (des) conforto térmico em pequenas cidades do semiárido do nordeste cearense. In: Simpósio Brasileiro de

Climatologia Geográfica. 14, 2021, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa (PB): SBCG, 2021. p. 196 -206.

GUILHERME, Adriano Pereira; MOTA, Andréa Baima dos Santos; MOTA, Deniz dos Santos; MACHADO, Nadja Gomes; BIUDES, Marcelo Sacardi. Uso de índice de vegetação para caracterizar a mudança no uso do solo em Coari/AM. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v.28, n.2, p.301-310, 2016.

GUZZO, Percci. **Estudos dos espaços livres de uso público e da cobertura vegetal em área urbana da cidade de Ribeirão Preto / SP**. 1999. 106f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

HOLBEN, Brent N.; TUCKER, Compton J.; FAN, Cheng-Jeng. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, [s.l.], v.46, n.5, p.651-656, 1980.

HOLBROOK, N. M. Water and plant cells. In: TAIZ, L.; ZEIGER, E. (eds.). **Plant Physiology**. 5. ed. Sunderland: Sinauer Associates, Inc., 2010. p. 67-84.

HOUNG, Michael. **Naturaleza y ciudad**. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cartas e mapas**. 2023b. Diponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-municipais/31452-colecao-de-mapas-municipais.html>. Acesso em: 20 jun. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades**: 2022. Censo demográfico. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 jun. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Coari / Amazonas**:cidades. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/coari/panorama>. Acesso em: 31 maio 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais climatológicas**. 2011. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=> Acesso em: 18 jan. 2023.

JATOBÁ, Sérgio Ulisses Silva. Urbanização, meio ambiente e vulnerabilidade social. **IPEA – Boletim Reguinal, Urbano e Ambiental**, p.141-148, Jun. 2011.

JENSEN, John R. **Remote sensing of the environment**: an earth resource perspective. 2. ed. Upper Saddle River (NJ): Prentice Hall, 2007.

JENSEN, John R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução de José Carlos Neves Epiphany et al. São José dos Campos. SP: Prentice Hall, 2009.

KENNEDY, Robert E.; ANDRÉFOUËT, Serge; COHEN, Warren B.; GÓMEZ, Cristina; GRIFFITHS, Patrick; HAIS, Martin; HEALEY, Sean P.; HELMER, Eileen H.; HOSTERT, Patrick; LYONS Mitchell B.; MEIGS, Garrett W.; et al. Bringing an ecological view of change to Landsat-based remote sensing. **Ecological Environment**, [s.l.], v.12, n.6, p.339-346, 2014.

- KREBS, Lisandra Fachinello. **Coberturas vivas extensivas**: análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e serra gaúcha. 2005. 181f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia) - Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- LAMAS, José M. Ressano Garcia. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. 7.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gubenkian. Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica, 2010.
- LEÃO, Marcia Silva. **Diagnóstico climático e estudo das variações termo higrométricas do município de Sete Lagoas – MG**. 2008. 175f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- LIMA, Ana Maria Liner Pereira; CAVALHEIRO, Felisberto; NUCCI, João Carlos; SOUSA, Maria Alicede L.B.; FIALHO, Nilva de Ol. DEL PICCHIA, Paulo Celso D. Problemas de utilização na conceituação de termos como espaços livres, áreas verdes e correlatos. In: Congresso Brasileiro de Arborização Urbana, 2, 1994. São Luiz/MA. **Anais [...]**. São Luiz: Imprensa EMATER/MA, 1994. p. 539-553.
- LIMA, Nathan Rodrigues de; PINHEIRO, Gabriela Marques; MENDONÇA, Francisco. Clima urbano no Brasil: análise e contribuição da metodologia de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro. **Revista Geonorte**, Manaus, v.3, n.9, p.626-638, 2016.
- LLARDENT, L. R. A. Zonas verdes y espacios libres en la ciudad. Madrid: Closas - Orcoyen, 1982
- LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985,
- LUCENA, Andrews José de. Notas conceituais e metodológicas em clima urbano e ilhas de calor. **Revista Continentes** (UFRRJ), Rio de Janeiro, v.2, n.2, p.28-59, 2013.
- MAGALHÃES FILHO, Luiz Claudio de Almeida. **Ilha de calor urbana, metodologia para mensuração**: Belo Horizonte, uma análise exploratória. 2006. 333f. Tese (Doutorado em Geografia) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais - PUC Minas, Belo Horizonte 2006.
- MAHESHWARI, Basant; PINTO, Uthpala; AKBAR, S.; FAHEY, P. Is urbanisation also the culprit of climate change? – Evidence from Australian cities. **Urban Climate**, v. 31, p. 100581, Mar. 2020.
- MALHEIROS, Tadeu Fabrício; PHILIPPI JR, Arlindo; COUTINHO, Sonia Maria Viggiani. Agenda 21 nacional e indicadores de desenvolvimento sustentável: contexto brasileiro. **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v.17, n.1, p. 720, 2008.
- MARCUSSI, Aline Braga; BUENO, Célia Regina Paes; MIQUELONI, Daniela Popim; ARRAES, Christiano Luna. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. **Revista Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v.11, n.35, p.41-53, 2010.

MARIN, Fábio Ricardo; ASSAD, Eduardo Delgado; PILAU, Felipe Gustavo. **Clima e ambiente**: introdução a climatologia para ciências ambientais. Campinas, SP: Embrapa Informática Agropecuária, 2008.

MARTINS JUNIOR, Carlos; OLIVEIRA NETO, Antônio Firmino de. Representações do “caos urbano”. As reformas nas cidades brasileiras da belle époque. **História & Perspectivas**, [s.l.], v. 29, n.55, p. 313-340, 2016.

MENDONÇA, F. O estudo do SCU no Brasil: aplicações e avanços. In: MONTEIRO, C. A. F.; SANTANNA NETO, J. L.; MENDONÇA, F.; ZAVATTINI, J. A. (Org.). **A construção da climatologia geográfica no Brasil**. Campinas-SP: Alínea, 2015. p. 155-166.

MERRIAM, Sharan. **Qualitative research**: a guide to design and implementation. 3rd ed. San Francisco: John Willey & Sons Inc., 2009.

MILANO, Miguel S.; DALCIN, Eduardo C. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: Light, 2000.

MODNA, D.; VECCHIA, F. Calor e áreas verdes: um estudo preliminar do clima de São Carlos, SP. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 7, 2003. Paraná. **Anais [...]**. Curitiba: Universidade Católica de Curitiba, 2003.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo. **Teoria e clima urbano**: um projeto e seus caminhos. São Paulo: Contexto, 2009.

MONTEIRO, Carlos Augusto de Figueiredo; MENDONÇA, Francisco (Orgs). **Clima urbano**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2011.

MORINI, Elena; TOUCHAEI, Ali Gholizade; ROSSI, Federico, COTANA, Franco; AKBARI, Hashem. Evaluation of albedo enhancement to mitigate impacts of urban heat island in Rome (Italy) using WRF meteorological model. **Urban Climate**, [s.l.], v. 24, p. 551–566, 2018.

MOURÃO, Gersa Maria Neves. Colonización reciente y asentamientos rurales en el sureste de Roraima, Amazonia Brasileña: entre la política y la naturaleza. 2004. 480 f. Tese (Doutorado) - Universidad de Valladolid, Espanha. 2004.

NAIME, Roberto. **Ilha de calor**. [Portal Ecodebate]. 2016. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2016/04/20/ilha-de-calor-artigo-de-roberto-naime/#:~:text=%5BEcoDebate%5D%20Ilha%20de%20calor%20%C3%A9,com%20%C3%A1reas%20verdes%20mais%20relevantes>. Acesso em: 19 maio 2023.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION - NASA. **NOAA Analyses Reveal Record-Shattering Global Warm Temperatures in 2015**. Disponível em: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-noaa-analyses-reveal-record-shattering-global-warmtemperatures-in-2015>. Acesso em: 18 jan. 2023.

NETO, Aristóteles Teobaldo; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. **Ilha de calor urbana: uma análise episódica no tempo quente e seco na cidade de Cuiabá MT**. [S.L:s.n], 2019. Disponível em: <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal16/Procesosambientales/Climatologia/28.pdf>. Acesso em: 26 Jul. 2023.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2nd ed. London: Methuem & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1988.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2nd ed. London: Methuem & Ltd. A. Halsted Press Book; New York: John Wiley & Sons, 1978.

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. World Meteorological Organization. 2006. (CD-Rom).

OKE, T. R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat island. **Atmosphere**, [s.l.], v.14, n.4, p.268-277, Nov. 2010.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, [s.l.], v.108, n. 455, p. 1-24, jan. 1982.

OKE, T. R. Towards better scientific communication in urban climate. **Theatrical and Applied Climatology**, [s.l.], v.84, p.179-190, 2006.

OLIVEIRA, Leandro Dias. **A geopolítica do desenvolvimento sustentável: um estudo sobre a Conferência do Rio de Janeiro (Rio-92)**. 2011. 283f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, SP, 2011.

PARK, Robert Ezra. A cidade: sugestões para a investigação do comportamento humano no meio ambiente. SIMMEL, Georg; PARK, Robert E.; WEBER, Max; WIRTH, Louis; LAUWE, P.H. Chombart de. **O fenômeno urbano**. Tradução de Sérgio Magalhães Santeiro. 2.ed. Rio de Janeiro: Zahar, 1973. p. 25-66.

PENG, Shushi; PIAO, Shilong; CIAIS, Philippe; FRIEDLINGSTEIN, Pierre; OTTLE, Catherine; BRÉON, François-Marie; NAN, Huijuan; ZHOU, Liming; MYNENI, Rariga B. Surface urban heat island across 419 global big cities. **Environmental Science and Technology**, v. 46, n. 2, p. 696–703, 2012.

PEREIRA, Madalena Niero; GONÇALVES, Claudia Durand Alves Borba; SOUZA, Íris de Marcelhas e; GARCIA, Sheila; PORTELA, Alessandra das Graças; ALMEIDA, Cláudia Maria de; ROSEMBACK, Roberta; FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Uso de imagens de satélite como subsídio ao estudo do processo de urbanização**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005.

PINHEIRO, Clebio Rodrigues; SOUZA, Danilo Diego de. A importância da arborização nas cidades e sua influência no microclima. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v.6, n.1, p.67-82, 2017.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir; KUPLICH, Tatiana Mora. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 2.ed. São José dos Campos: Parêntese, 2012.

ROCHA, Luciani Maria Vieira; SOUZA, L. C. L. Desenho urbano, clima e saúde em São José do Rio Preto. In: Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, 2009, Maringá/PR, **Anais [...]**. Maringá/PR: SIMPGEU 2009.

ROMERO, Cristhy Willt da Silva. **Uso e ocupação do solo em áreas com ilhas de calor na cidade de Ilha Solteira/SP**. 2016. F.144. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. Brasília: UnB, 2013.

SANT'ANNA NETO, João Lima. A gênese da climatologia no Brasil: o despertar de uma ciência. **Geografia**, Rio Claro, SP, v.26, n.1, p.5-27, jan./abr. 2003.

SANTANA, Eduardo Freire; BATISTA, Leonardo Vidal; SILVA, Richarde Marques da; SANTOS, Celso Augusto Guimarães. Multispectral image unsupervised segmentation using watershed transformation and cross-entropy minimization in different land use. **GIScience & Remote Sensing**, [s.l.], v.51, p.613-629, 2014.

SANTOS, Milton. **A urbanização brasileira**. 5. ed. São Paulo: Edusp, 2023.

SANTOS, Taciana Oliveira dos. **Identificação de ilhas de calor em Recife-PE por meio de sensoriamento remoto e dados meteorológicos de superfície**. 2011. 54f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

SETTE, D. M.; TARIFA, J. R. O El Niño 97/98, ritmo e repercussão na gênese dos climas no Mato Grosso (Brasil). **Geo. USP - Espaço e Tempo**, São Paulo, v.6, n.1, p.51-67, 2002.

SHAHMOHAMADI, P.; CHE-ANI, A.I.; ETESSAM, I.; MAULUD, K.N.A.; TAWIL, N.M. Healthy environment : the need to mitigate urban heat island effects on human health. **Procedia Engineering**, [s.l.], v. 20, p. 61–70, 2011.

SILVA, E. M. da; ASSUNÇÃO, W. L. O clima na cidade de Uberlândia (MG). sociedade e natureza. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 16, n. 30, p.91-107, jun. 2004.

SILVA, N. R. **Avaliação do conforto térmico**. 2008. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Segurança do Trabalho) - Universidade Santa Cecília, Santos, 2008.

SILVEIRA, Marcos Henrique D.; PEREIRA, Lucilene R. Influência da arborização urbana no microclima de duas áreas na região central de Rondonópolis – MT. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.7, n.13; p.1158-1165, 2011.

SITTE, Camilo. **A construção das cidades segundo seus princípios artísticos**. Tradução Ricardo Ferreira Henrique. 4.ed. São Paulo: Ática, 1992.

SORRE, Max. Objeto e método da climatologia. Tradução de José Bueno Conti. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v.18, p. 89-94, 2006.

SOUSA, Rafaela. **Urbanização**. [Blog Brasil Escola]. 2023. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/urbanizacao.htm#:~:text=%2D%20O%20processo%20de%20urbaniza%C3%A7%C3%A3o%20refere,dirigir%2Dse%20aos%20centros%20urbanos>. Acesso em: 19 maio 2023.

SOUZA, Débora Moreira de; NERY, Jonas Teixeira. O conforto térmico na perspectiva da climatologia geográfica. **Geografia**, Londrina, v.21, n.2, p.65–83, 2013.

SOUZA, José Raul de; SANTOS, Simone Cabral Marinho dos. Análise de conteúdo em pesquisa qualitativa: modo de pensar e de fazer. **Pesquisa e Debate em Educação**, Juiz de Fora, UFJF, v.10, n.2, p.1396-1416, 2020.

STEINKE, Ercília Torres; STEINKE, Valdir Adilson; SAITO, Carlo Hiro. Avaliação da estimativa da temperatura de superfície a partir de imagens de satélite Landsat TM 5 voltada para a gestão de bacias hidrográficas. In: SAITO, Carlo Hiro (Org.). **Desenvolvimento tecnológico e metodológico para mediação entre usuários e comitês de bacia hidrográfica**. Brasília: Departamento de Ecologia da Universidade de Brasília, 2004. p. 41-64.

TARIFA, José Roberto. Alterações climáticas resultantes da ocupação agrícola no Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.8, p.15-28, 2011.

TEOBALDO NETO, Aristóteles. **A geografia do risco e da vulnerabilidade ao calor em espaços urbanos da zona tropical: o caso Cuiabá/MT**. 2019. 327f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Presidente Prudente. 2019.

TEZA, Clausio Tavares Viana; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 8 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 12, 2005, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: INPE, 2005. p. 3911-3918.

TU, TeMing; SU, Shun-Chi; SHYU, Hsuen Chyun; HUANG, Ping S. Efficient intensity-hue-saturation-based image fusion with saturation compensation. **Optical Engineering, Redondo Beach**, [s.l.], v.40, n.5, p.720-8, 2001.

TUCKER, Compton J., Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v.8, p.325-348, 1985.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS. **Serviço de Levantamento Geológico Americano. Aquisição de imagens orbitais digitais gratuitas do satélite Landsat-8 EUA**. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov>. Acesso em: 31 ago. 2023.

VARGAS, Nuria; MAGAÑA, Victor. Climatic risk in the Mexico city metropolitan area due to urbanization. **Urban Climate**, [s.l.], v.33, n.3, p.100644, 2020.

VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em administração**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

VIANELLO, Rubem Leite; ALVES, Adil Rainier. **Meteorologia básica e aplicações**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2012.

VIANNA, Ellen Oliveira. **O campo térmico urbano: ilhas de calor em Brasília - DF**. 2018. 267 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. Thermal remote sensing of urban climates. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v.86, n.3, p.370-384, 2003.

WENG, Qihao; YANG, Shihong. Managing the adverse thermal effects of urban development in a densely populated Chinese city. **Journal of Environmental Management**. Oxford, v.70, n.2, p.145-156, 2004.