

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
Campus Universitário — Trindade
CEP 88.040-900 — Florianópolis — Santa Catarina
FONE (48) 3721-9286 — FAX: (48) 3721-9751

Marina Borges Landucha

**ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE COMO
INDICADORES DO CLIMA URBANO DE FLORIANÓPOLIS – SC**

Florianópolis – SC

Julho de 2023

Marina Borges Landucha

nome do discente

**ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE COMO
INDICADORES DO CLIMA URBANO DE FLORIANÓPOLIS – SC**

título do trabalho

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de “Bacharel em Geografia” pela Universidade Federal de Santa Catarina e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Geografia.

Florianópolis, 10 de Julho de 2023.



Documento assinado digitalmente
Danilo Piccoli Neto
Data: 13/07/2023 12:54:21-0300
CPF: ***.489.428-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Subcoordenador do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
Lindberg Nascimento Junior
Data: 11/07/2023 23:19:07-0300
CPF: ***.596.139-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Lindberg Nascimento Júnior

nome e assinatura orientador(a)

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Roberto Fabris Goerl
Data: 11/07/2023 21:54:48-0300
CPF: ***.006.639-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Roberto Fabris Göerl

nome e assinatura membro 1

Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
CAMILA RIBOLI RAMPAZZO
Data: 11/07/2023 12:31:48-0300
CPF: ***.805.698-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Camila Riboli Rampazzo

nome e assinatura membro 2

externo

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS

DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS

Campus Universitário — Trindade
CEP 88.040-900 — Florianópolis — Santa Catarina
FONE (48) 3721-9286 — FAX: (48) 3721-9751

Marina Borges Landucha

**ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE COMO
INDICADORES DO CLIMA URBANO DE FLORIANÓPOLIS – SC**

Trabalho Conclusão do Curso de
Graduação em Geografia do
Departamento de Geociências,
Centro de Filosofia e Ciências
Humanas da Universidade Federal
de Santa Catarina como requisito
para a obtenção do título de Bacharel
em Geografia

Orientador: Prof. Dr. Lindberg
Nascimento Júnior.

Florianópolis – SC

Julho de 2023

AGRADECIMENTOS

Quero começar agradecendo a Geografia, **por me tornar uma pessoa melhor**. Eu sempre falo isso para quando me perguntam porque eu escolhi este curso, por circunstâncias da vida eu nunca tive a oportunidade de trabalhar na área, mas certamente esse curso contribuiu muito para eu me tornar quem eu sou hoje, uma pessoa muito melhor do que aquela Marina lá de 2014. Aquela entrou achando que seria professora, que sempre amou a Geografia física e achava que não iria se sair bem nas disciplinas de humanas. Completamente enganada! Por um tempo isso até foi uma realidade, depois do terceiro semestre acabei pedindo transferência para o curso de Geologia (pois amava a parte dos estudos físicos), chegando lá a ficha caiu, que sentido faz aprender tudo isso e não considerar a humanidade, sem pensar no homem? Então, voltei sem pensar muito. Fiz um novo vestibular e em 2018 estava na Geografia novamente, com um olhar muito diferente e me encontrando também nas disciplinas de humanas.

Esse período todo dentro da universidade não foi fácil, a rotina cansativa do dia a dia, trabalho nos sábados, domingos e feriados e até de madrugada por um tempo. Sem tempo pra muita coisa. E quanto mais eu trabalhava em outras áreas, mais longe da Geografia eu ficava, mais difícil ficou chegar até aqui e entregar esse trabalho de conclusão de curso. Ele ficou praticamente parado por uns três anos pelo menos.

Então chega a hora do meu segundo grande agradecimento, que é ao meu orientador Lindberg, sem ele eu certamente não teria conseguido. Palavras não são suficientes para expressar a gratidão por todo o apoio recebido desse querido professor, ele realmente me pegou pela mão e me mostrou o caminho.

Agradeço minha família e amigos pelo apoio em todos os dias, para tudo. Ao meu companheiro da vida Evandro, sempre me incentivando a ser melhor, a fazer mais e me mostrando que sou boa em muitas coisas, mas nem tanto na cozinha e nos esportes.

E por fim, agradeço a mim mesma por não ter desistido e ter conseguido com muito esforço (depois de 9 anos), chegar até aqui e concluir minha formação nessa grande universidade pública e que me deu essa oportunidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – O sistema Clima Urbano	13
Figura 2 - Sub-sistema temodinâmico do Sistema Clima Urbano.....	15
Figura 3 -Procedimento para geração de mapas de NDVI	26
Figura 4 - Procedimento para geração de mapas de TSA.....	27
Figura 5 - Localização Florianópolis.....	29
Figura 6 - Precipitação e Temperatura média em Florianópolis	31
Figura 7 -Carta hipsométrica (a) e clinográfica (b) para Florianópolis – SC	32
Figura 8 -Orientação das vertentes (a) e Mapeamento das classes de uso e cobertura da terra da Ilha de Santa Catarina (b).....	34
Figura 9 - Área urbana edificada (a) e zoneamento dos bairros (b) para Florianópolis – SC.....	38
Figura 10 - Resultados para NDVI em Florianópolis (2015 – 2020)	41
Figura 11 - Comparativo de NDVI para 2015 e 2020 em Florianópolis	42
Figura 12 - Enfoque áreas impactadas pela urbanização.....	43
Figura 13 – Resultados para TST em Florianópolis (2015 – 2020)	44
Figura 14 - Comparativo de TST para 2015 e 2020 em Florianópolis	46
Figura 15 - Variação da temperatura da superfície dos alvos entre 2015 e 2020 para Florianópolis.....	47

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese das áreas e porcentagem das classes de uso e cobertura da Terra na Ilha de Santa Catarina em 2013.	35
Quadro 2 - População total por distrito (1960 – 2000)	39
Quadro 3 - Densidade distrital bruta em Florianópolis (1980 – 2000).....	40

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVOS	10
1.1.1.	Objetivo Geral	10
1.1.2.	Objetivos Específicos	10
1.	O ESTUDO GEOGRÁFICO DO CLIMA URBANO	11
1.1	Análise no Sistema Clima Urbano	14
1.2	Indicadores orbitais do clima urbano	19
1.3	Os estudos de clima urbano com indicadores orbitais.....	22
2.	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	25
3.	O CLIMA URBANO DE FLORIANÓPOLIS	28
3.1	O sítio urbano de Florianópolis	31
3.2	A Urbanização de Florianópolis	36
3.3	Indicadores orbitais do clima urbano	40
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
5.	REFERÊNCIAS.....	50
I.	ANEXO	55
II.	ANEXO	56

LANDUCHA, Marina Borges. **Índice de vegetação e temperatura da superfície como indicadores do clima urbano de Florianópolis – SC**. Trabalho Conclusão do Curso em Geografia. Departamento de Geociências. Universidade Federal de Santa Catarina. 2022.

O processo de urbanização brasileira trouxe uma série de alterações nos sistemas ambientais e na vida humana. Dentre eles, as modificações na qualidade ambiental das cidades são as mais significativas, e não à toa integram o conjunto de fenômenos do clima urbano. Pode-se considerar que este tema tem sido debatido tanto como problema de pesquisa pela comunidade científica, ou no escopo dos processos de planejamento urbano e regional. Por isso, interesse é contribuir com essas questões, sobretudo, considerando a compreensão de indicadores do clima urbano de Florianópolis dada a relevância que a problemática tem oferecido nos anos mais recentes. Neste âmbito, o trabalho destaca como as técnicas de sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizadas para estudos dessa natureza, e que suas possibilidades devem contribuir para avanços importantes na interpretação de padrões espaço-temporais do clima urbano, para além das ferramentas clássicas já utilizadas nestes estudos. Assim, a metodologia consistiu na elaboração de produtos oriundos de técnicas de geoprocessamento, com interesse maior no mapeamento da cobertura vegetal a partir de índices de vegetação diferencial normalizada (NDVI) e de estimativas da temperatura da superfície dos alvos (termografia) utilizando imagens do satélite Landsat 8, no período de 2015 a 2020. Os resultados apresentam diferenças importantes na área de estudo, e principalmente as similaridades do espaço em relação aos indicadores analisados. A relação entre a diminuição nos índices de vegetação e o aumento da temperatura da superfície mostra que a qualidade ambiental em Florianópolis vem sendo diminuída ao longo do tempo, sendo o efeito paralelo mais evidente. A importância da preservação e do aumento da cobertura vegetal nas áreas urbanas como estratégia para mitigar os efeitos do aquecimento urbano torna-se então uma possibilidade urgente para garantir a melhoria da qualidade ambiental, e a geração de um clima urbano menos danoso às populações e ecossistemas.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Cartografia climática; Qualidade ambiental; Ilhas de calor Urbana.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano não priorizou a garantia e manutenção da qualidade ambiental nas cidades. Sobretudo as questões climáticas (AMORIM, 2000).

Essa afirmação, apesar de marcante e relevante, não é nova, e representa o conjunto de problemas ambientais observados nas cidades, sobretudo as brasileiras. Neste caso, devido a intensificação da industrialização e da modernização do campo principalmente a partir do século XX, as cidades no Brasil foram submetidas a um ritmo de crescimento bastante acelerado, cunhado fundamentalmente pelas determinações de um desenvolvimento urbano desigual, disperso, segregado e ambientalmente degradado.

As contradições existentes neste processo trouxeram uma série de implicações para as áreas urbanas, como, por exemplo, a poluição do ambiente atmosférico, as ilhas de calor, chuvas ácidas, chuvas extremas, inundações, entre outras situações que se qualificam-se em adversidades e excepcionalidades, que rebatem diretamente na qualidade ambiental e de vida urbana. Para Monteiro (1976), todos esses processos se qualificam no conjunto de fenômenos oriundos do Clima Urbano.

A preocupação com o clima urbano também é antiga, mas atualmente vem tomando mais disseminação nos estudos acadêmicos e técnicos, sobretudo aqueles que se dedicam aos impactos da morfologia urbana, dos riscos de desastres, das mudanças climáticas, da justiça ambiental e da qualidade ambiental urbana. Em Florianópolis essas questões não foram e nem têm sido tratadas de forma diferente.

No contexto da zona costeira brasileira e de um sítio urbano situado em ambiente insular, a cidade de Florianópolis, é um dos exemplos mais bem representativos de como a urbanização no Brasil, que historicamente pautada por instrumentos de planejamento urbano, constituiu um clima urbano que revela, além da precariedade da atmosfera e dos sistemas ambientais, também as condições sociais desiguais e níveis diferenciados de vulnerabilidade aos desastres.

Na busca de contribuir com este debate, o trabalho contempla uma avaliação do clima urbano de Florianópolis, partindo do reconhecimento dos padrões espaço-temporais da vegetação e temperatura de superfície dos alvos na cidade. Em suma, o interesse é definir como técnicas de sensoriamento remoto podem auxiliar na identificação e análise do clima urbano de Florianópolis, qualificando-o a partir do contexto insular do município e de sua estrutura urbana altamente dispersa.

Destaca-se que as geotecnologias, de forma geral, têm sido amplamente utilizadas para estudos da qualidade ambiental, e que suas possibilidades devem contribuir para avanços importantes na interpretação de padrões espaço-temporais do clima urbano, para além das ferramentas clássicas já utilizadas para análise do clima urbano.

Neste sentido, o trabalho foi dividido em quatro partes. Na primeira apresenta-se o uma revisão da literatura sobre o tema do clima urbano, com enfoque primordial nos indicadores geoambientais.

Em seguida são apresentados os procedimentos metodológicos que organizaram a investigação e a elaboração de produtos cartográficos que devem auxiliar na análise do clima urbano, que por sua vez, é contemplada na terceira parte. O trabalho é finalizado com as considerações finais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Realizar uma avaliação do clima urbano de Florianópolis, partindo do reconhecimento dos padrões espaço-temporais da vegetação e temperatura de superfície dos alvos na cidade.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Contribuir com a análise do clima urbano de Florianópolis;
- Caracterizar Florianópolis em relação aos indicadores geoambientais;
- Elaborar produtos cartográficos relacionados ao NDVI e LST a partir do sensoriamento remoto.

1. O ESTUDO GEOGRÁFICO DO CLIMA URBANO

As cidades, de maneira global, são espaços construídos a partir da sedentarização de grupos humanos, que foram submetidos a uma série de modificações no sítio original ao longo do tempo.

Segundo Moreira (2001), esse tipo de desenvolvimento foi fundamental para entender a origem dos problemas ambientais mais graves da contemporaneidade, que em razão das atividades humanas, principalmente, a partir da revolução industrial, começaram a produzir de forma acelerada e conseqüentemente alterar o ambiente em escala global.

Inicialmente, o interesse pelo tema se deu por partes dos pesquisadores e estudiosos preocupados com os impactos na saúde e mortandades na cidade, e foi direcionado com interesse em problematizar o sentido de que a cidade é cada vez mais a morada do ser humano, e também o lugar de mais efetiva interação entre humano-natureza (MONTEIRO, 2003).

Para Sant'Anna Neto (2011) essa concepção revelou que as cidades ao mesmo tempo em que criaram oportunidades civilizatórias, também foram transformadas na principal armadilha ambiental do mundo contemporâneo. O sentido é que sob o modelo atual de urbanização, as cidades, tem obedecido muito mais a lógica capitalista de produção do espaço urbano, e originam-se como espaços segregados, fragmentados e ambientalmente degradados.

A título de exemplificação, esse processo é iniciado com a remoção da vegetação original, seguido pela construção de ruas, casas, prédios, calçadas, asfaltos, e todo tipo de infraestrutura necessária à vida urbana. A partir daí, e junto com outros processos sociais e econômicos, junto com a transformação do sítio urbano que auxilia na geração de um clima local altamente alterado, e define espaços desiguais e vulneráveis muito próprio (SANT'ANNA NETO, 2011).

O resultado é observado nas modificações das trocas padrões de energia entre a superfície e a atmosfera, e portanto, de todos os componentes climáticos, que por isso, deve-se manifestar por outra série de fenômenos alterados e que impactam os ecossistemas e modo de vida urbano (MONTEIRO, 1976; AMORIM, 2000).

Classicamente, segundo Monteiro (1976), o clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização. Na mesma

perspectiva, Lombardo (1985) trata do clima urbano como um sistema que abrange o clima de um espaço terrestre, onde a urbanização é o resultado das ações do ser humano aliadas aos aspectos geoambientais do espaço urbano.

Entender o clima urbano como um sistema tem oferecido grandes interpretações de como se dá a interação entre elementos da superfície e da atmosfera. E sem dúvida a perspectiva desenvolvida que visa sua análise e transformação são bem relevantes.

Por exemplo, para Lombardo (1985) aspectos geoambientais são considerados como o conjunto de atributos locais que envolvem a vegetação, topografia, orientação das vertentes, ambiente construído, áreas verdes, corpos d'água, morfologia urbana, entre outras unidades de grandeza que afetam ou influenciam de alguma maneira a configuração e dinâmica dos elementos climáticos na cidade.

Na perspectiva de Monteiro (1976), o clima urbano pode ser analisado a partir do momento em que cidade gera um clima próprio (núcleo) (Figura 1), ou seja, um clima que é resultado da interação entre os fatores envolvidos em escala local (insumo), e da dinâmica climática específica no contexto de sua região (ambiente).

A partir daí o ajustamento adaptativo da energia e dos fluxos ambientais devem manifestar-se (produção) em outros diversos fenômenos do clima urbano: ilha de calor, precipitação, poluição (níveis de resolução), que associados aos impactos que devem produzir na percepção humana (conforto térmico, qualidade do ar e impacto meteórico), devem garantir também uma série de efeitos paralelos a qualidade ambiental (desempenho humano, saúde, desorganização urbana, etc).

Enquanto sistema, o Clima Urbano além de ser um fenômeno que altera as características da atmosfera, também apresenta possibilidades de transformação (auto-regulação). Neste caso é a ação planejada, desenvolvida a partir do planejamento urbano e da elaboração de planos diretores que integram o clima urbano como elemento de debate, que pode constituir climas urbanos menos hostis à população e aos sistemas ecológicos. Neste caso, a transformação passa desde processos que contemplam a consciência social, pesquisa básica, da definição de metas e soluções, até a vontade política do

poder público e das decisões em criar enfiamentos para ao problema (MONTEIRO, 1976).

Figura 1 – O sistema Clima Urbano



Fonte: Monteiro (1975) adaptado por Nascimento Jr e Rocha (2023).

Tanto para Monteiro (1976), quanto para Lombardo (1985) o clima urbano seria um indicador da qualidade ambiental, e segundo Mendonça (2002), essa perspectiva garante que estes estudos sejam detalhados a nível do tempo meteorológico e do clima, devendo compor os diagnósticos para o planejamento urbano, visando o conforto térmico e o aumento qualidade ambiental urbana (MENDONÇA, 2002).

No que se refere especialmente, a qualidade ambiental, para Minake e Amorin (2007), o conceito pertence a outro conceito maior e mais complexo, o da qualidade de vida. A partir deste, que a qualidade ambiental é avaliada como um conjunto de elementos que determinam as condições de habitação, em termos humanos, sociais, ecológico-ambientais, econômicos e de infraestrutura.

A partir dessa concepção, é possível considerar que o estudo geográfico do clima urbano denota uma interface integrada com o conjunto de relações econômicas, sociais e políticas que interferem diretamente nas questões que envolvem a qualidade de vida (ANTUNES, 2005). E o sentido é de que os problemas encontrados nas cidades afetam diretamente a qualidade de vida nos espaços urbanos, e o clima urbano deve ser entendido como um dos aspectos

a serem considerados para sua avaliação (MONTEIRO, 1976; MINAKE; AMORIN, 2007),

Não à toa, os parâmetros de análise da qualidade ambiental são característicos de espaços urbanos e a busca por seu desenvolvimento prioriza a qualidade natural dos habitats e da vida em todos os seus aspectos e dimensões, portanto, deve estabelecer reorientações e mudanças em leis do zoneamento e a criação de instrumentos de planejamento urbano que visem o uso adequado e sustentáveis dos recursos ambientais na cidade (ANTUNES, 2005).

A título de exemplificação, se a ocupação urbana não ocorre de maneira adequada, não há manutenção dos sistemas ecológicos. Causando dano à qualidade ambiental nas áreas urbanas, conseqüentemente o clima urbano será hostil e limitará negativamente a qualidade de vida. Razão disto torna-se de grande relevância estudos climáticos a fim de encontrar alternativas que possam reduzir ou minimizar os efeitos da degradação ambiental.

E para além do debate da qualidade ambiental, o tema do clima urbano é por isso uma das principais fontes de questões no que tange ao planejamento e o futuro das cidades, sobretudo, considerando as implicações das mudanças climáticas e os aspectos que impactam diretamente a segurança e a proteção das populações e ecossistemas.

Sua importante aderência a instrumentos de planejamento urbano e ordenamento territorial tem sido uma das grandes contribuições da ciência geográfica para esses temas. E por isso, vale avançar na apresentação das estratégias de análise oferecidas por Monteiro (1976).

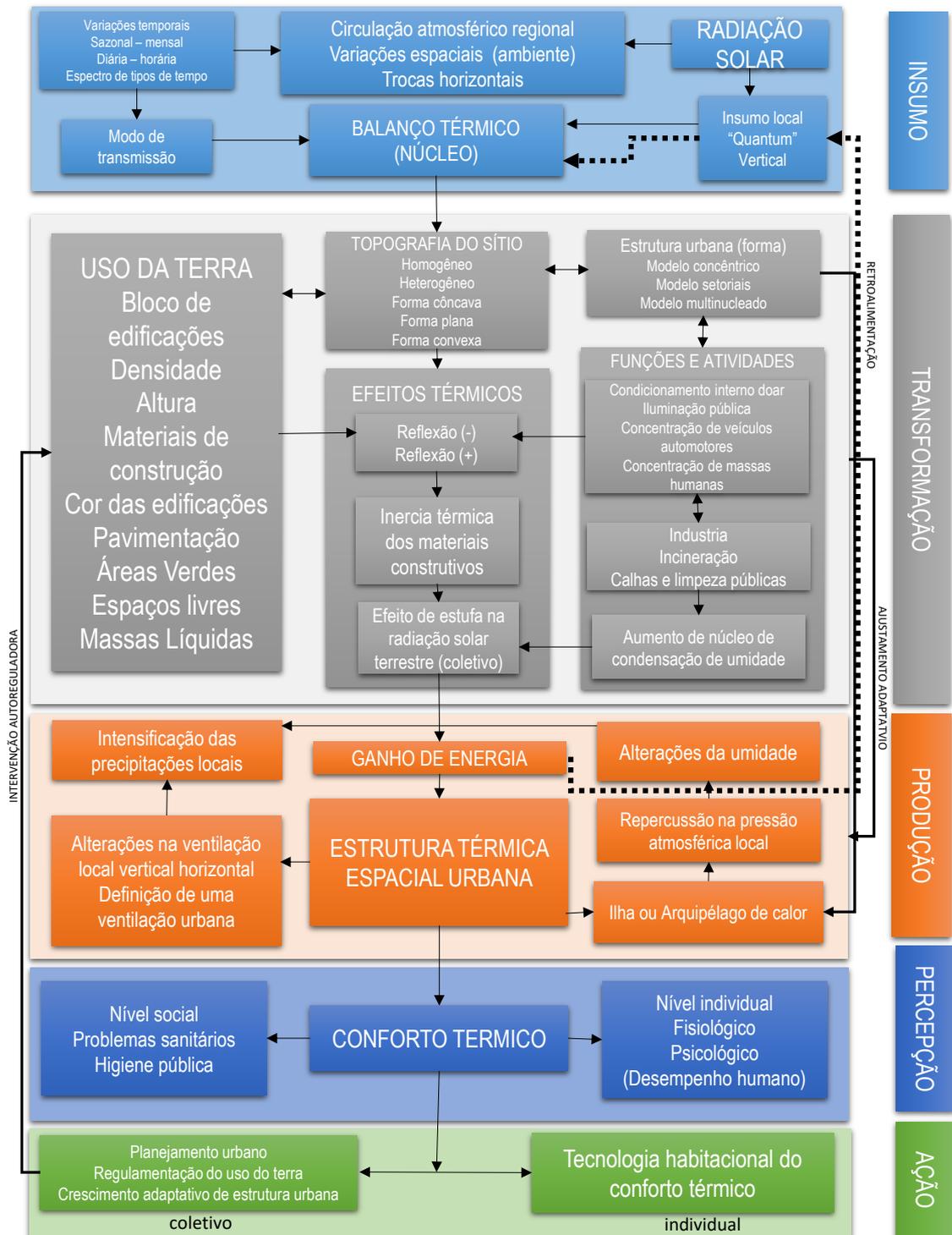
1.1 Análise no Sistema Clima Urbano

Conforme apresentado anteriormente, segundo Monteiro (2003) no Sistema Clima Urbano é possível investigar alterações climáticas de acordo com seus subsistemas (Termodinâmico, Físico-Químico e Hidrometeorológico), e seus respectivos canais de percepção, conforto térmico, da qualidade do ar e dos impactos pluviais.

O Subsistema termodinâmico, especialmente, implica a coparticipação entre natureza e homem e caracteriza-se como o insumo do sistema, que se

transforma na cidade e produz o balanço de energia. Vincula-se ao uso da terra, à forma e função urbanas, ao jogo integrado entre atmosfera e homem. Seus produtos são as ilhas de calor, os padrões de ventilação por diferenças de pressão e as precipitações restritas a áreas do centro (TEIXEIRA, 2019, p. 35); (Figura 2).

Figura 2 - Sub-sistema termodinâmico do Sistema Clima Urbano.



Fonte: Monteiro (2003). Adaptado pela autora.

Seu funcionamento, ocorre inicialmente com a radiação solar, elemento climático de insumo principal, e a partir deste, as interações que devem acontecer com o balanço térmico - transformação da energia radiante em energia térmica, em seguida inibição de fluxos de calor latente, para intensificação do calor sensível. Essa dinâmica, obedece aos ciclos da radiação (horários, diários, semanais, e assim por diante), e deve ser articulada às condições dos diferentes tipos de tempo e condições sinóticas associadas.

A transformação da radiação solar, no interior do SCU, passa pelos atributos geoambientais (uso da terra, topografia, estrutura, funções e atividades urbanas), em correspondências com efeitos térmicos de maior ou menor reflexão segundo a natureza, composição e distribuição destes. Os efeitos paralelos (produção) podem ser observados no ganho de energia térmica, definida espacialmente pela ordem espacial urbana e da produção de fenômenos do tipo ilha de calor (a depender da forma da cidade – dispersa, concentrada, nucleada, etc.), em seguida, com repercussões na pressão atmosférica local, somado às alterações na umidade e intensificação das precipitações e modificações nos padrões de ventilação.

O impacto oriundo dessa transformação é percebido na dimensão do conforto térmico, que no nível individual devem atingir o desempenho humano (em termos psicológicos e fisiológicos), e no nível social ou coletivo, com os problemas sanitários e de higienização pública. As estratégias de transformação passam por mudanças nas tecnologias para conforto (material construtivo que diminui a inercia térmica), planejamento urbano (políticas de regulamentação do uso da terra e crescimento urbano).

Dentre todos os fenômenos apresentados, sem dúvida, o da Ilha de Calor, enquadradas no canal de conforto térmico, é um dos mais relevantes atualmente para os estudos de clima urbano e fundamentais do SCU.

Segundo Camargo (2007), o fenômeno de ilha de calor é consequência do processo de crescimento urbano, sendo mais bem explicado, pelas modificações das trocas de energia em função dos tipos e da cobertura do solo, que favorecem alterações no fluxo radiante solar, aumentando o fluxo de calor sensível.

De acordo com Oke (1987, *apud* SANTOS, 2011) a alta concentração de fontes de calor sensível nas cidades corresponde às propriedades térmicas dos materiais utilizados nas construções e edificações. Neste sentido, esses materiais conduzem o calor de forma mais rápida do que o solo e a vegetação original, por isso diminui o fluxo de calor latente, intensificando o contraste de temperatura entre as áreas da cidade.

A partir de Oke (1987), Santos (2011) sistematiza esses argumentos, considerando como as principais causas da formação das ilhas de calor:

- Aumento da entrada de radiação de onda longa, devido à absorção da mesma que sai e é reemitida pelos poluentes da atmosfera urbana;
- As menores perdas da radiação de onda longa nas ruas e canyons urbanos, devido à redução do fator de visada do céu pelos prédios e edifícios;
- A maior absorção da radiação de onda curta pela superfície urbana, devido ao efeito do albedo das construções;
- Grande estocagem de calor durante o dia, devido às propriedades térmicas dos materiais urbanos e grande emissão de radiação durante a noite;
- Adição de calor antropogênico na área urbana, devido à utilização de aquecedores e refrigeradores, transportes e operações industriais;
- Menor evaporação, devido à retirada da vegetação e à diminuição de superfícies líquidas, o que diminui o fluxo de calor latente ou evapotranspiração e aumenta o fluxo de calor sensível.

Segundo Teixeira (2019, p. 59) as manifestações do fenômeno da ilha de calor potencializam o calor e o desconforto térmico às populações, e desencadeiam uma série de problemas de saúde, exigindo maior aporte de energia para refrigeração dos ambientes internos, e de certa forma, também não tem sido uma estratégia amplamente acessível para grande parte dos grupos sociais.

Segundo Amorim *et al.* (2009), classicamente as ilhas de calor são medidas a partir de variações térmicas do ar entre áreas urbanas e rurais, e também pela diferenciação da temperatura do ar intraurbana, expressa pelo uso e ocupação da terra. Neste caso, o padrão espacial da ilha de calor comprova que áreas mais densamente construídas e com pouca cobertura vegetal possuem temperatura do ar mais elevadas do que áreas de baixa densidade construtiva, providas de cobertura vegetal e feições rurais.

Nesta perspectiva, Brandão (2009) apresenta que a intensidade da ilha de calor é um dos elementos que atende os critérios quantitativos (indicação de valores entre diferentes áreas e setores na cidade, ou em relação as áreas vizinhas) para avaliar as condições de sua configuração, estrutura e variabilidade. Para a autora, a ilha de calor apresenta dependência direta com as condições micro e mesoclimáticas de cada cidade.

Gartland (2010) ajuda a explicar esse processo, quando descreve que os materiais urbanos como o asfalto, a impermeabilização excessiva da superfície e a consequente diminuição das superfícies permeáveis favorecem o armazenamento de calor pelas suas propriedades térmicas como a condutividade e capacidade calorífica dos objetos. De outra maneira, as superfícies representativas da área rural apresentam respostas térmicas relativas à presença de cobertura vegetal (rasteira ou arbórea) e não apresentam alta densidade construtiva. A cobertura vegetal possui maior capacidade térmica, demandando mais tempo para se aquecer, e além disso, são mais evaporativas e transportam o calor para a atmosfera sem adição de calor à atmosfera na forma de calor latente (GARTLAND, 2010).

Em síntese, parte dos estudos dedicados a análise da ilha de calor sugere que seja identificado o impacto da urbanização nas condições ambientais e na estruturação do clima urbano, e conforme Monteiro (2003), essa abordagem pode ser desenvolvida a partir de certos indicadores, como:

- Temperatura: a temperatura média é geralmente mais elevada nas áreas urbanas do que nas áreas rurais circundantes, devido à concentração de materiais de construção e ao grande número de fontes de calor.
- Umidade: a umidade do ar nas áreas urbanas pode ser influenciada pela quantidade de superfícies impermeáveis, que reduzem a evaporação e aumentam o escoamento superficial.
- Precipitação: a precipitação pode ser afetada pela urbanização, com as áreas urbanas apresentando maior precipitação devido à formação de ilhas de calor.
- Vento: o vento é influenciado pela forma da cidade, com as áreas urbanas apresentando maior turbulência devido aos edifícios e outros obstáculos.

- Poluição do ar: a poluição do ar é um indicador importante do clima urbano, com áreas urbanas geralmente apresentando níveis mais elevados de poluição em comparação com áreas rurais.
- Ruído: o ruído é um fator importante do clima urbano, com áreas urbanas apresentando níveis mais elevados de ruído devido ao tráfego, atividades industriais e outros fatores.
- Radiação solar: a radiação solar pode ser afetada pela urbanização, com as áreas urbanas apresentando menor disponibilidade de radiação solar devido à presença de edifícios e outros obstáculos.

A análise do clima urbano a partir destes indicadores contempla a utilização de algumas técnicas convencionais como: coleta de dados meteorológicos (através de estações meteorológicas) e transectos móveis, pontos fixos entre outros. Mais também incorpora técnicas de sensoriamento remoto (análise de dados geoespaciais) e modelagem numérica (através de modelos computacionais).

Nesse contexto, a utilização de índice de vegetação e da temperatura da superfície do solo, também chamado de termografias de superfície, tem sido os produtos obtidos por sensoriamento remoto mais utilizados para estudos do clima urbano e de ilhas de calor.

1.2 Indicadores orbitais do clima urbano

Apesar das geotecnologias serem utilizadas há tempos nos estudos ambientais, somente mais recentemente, sua aplicação tornou-se mais popularizada ao clima urbano, particularmente no Brasil. De um lado, isso foi promovido pela difusão de produtos orbitais de forma gratuita para qualquer lugar do planeta. Segundo Coelho e Correa (2013), essa é uma das grandes vantagens do uso de sensoriamento remoto, e junto com ele o acesso aos softwares e as imagens de satélites.

Por outro lado, a divulgação das técnicas de geoprocessamento, e sobretudo, da funcionalidade e velocidade na obtenção de resultados de

pesquisas com essas técnicas, sem dúvidas também foram cruciais para ampliação dos seus usos cada vez mais diversos e com múltiplas finalidades.

Para Novo (2000), outra grande vantagem das imagens de satélite é que elas possibilitam que sejam coletadas informações sobre objetos sem contato físico direto, os sensores são utilizados para coletar a energia emitida pelo objeto, então ela é convertida em sinal que é registrado e apresentado de forma que seja possível extrair informações.

Sobre esse aspecto, Nascimento (2011) e de Rosa (2001) ajuda a entender que o sensoriamento remoto é a “[...] a forma de obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo”. Os autores explicam que os sensores captam os comprimentos de onda e registram em valores radiométricos, que associados a cada pixel da imagem são interpretados em tons de cinza, essas ondas são enviadas a partir das diferentes quantidades de energia que os objetos emitem ou refletem.

No clima urbano um dos primeiros produtos orbitais a serem utilizados foi a termografia de superfície, obtida pelo modelo Land Surface Temperature (LST), ou temperatura da superfície da terra.

Trata-se do produto orbital para temperatura medida a partir da cobertura do solo. Trata-se de um componente importante no balanço de energia da Terra, ligada à divisão entre os fluxos de calor sensível e latente. O LST é muito utilizado a partir da derivação de imagens de satélite possibilitando a análise da superfície terrestre (gerando estimativas dos valores), através dessa análise se pode compreender um pouco mais sobre as áreas urbanas como o microclima e a cobertura vegetal (ERMIDA, 2020).

Ermida (2020) afirma que as imagens de satélite Landsat são ideais para estudos LST em pequenas escalas, pois possuem alta resolução. A plataforma online GEE (*Google Earth Engine*) armazena uma grande quantidade de dados Landsat, o que acaba ajudando na derivação LST de imagens Landsat, até pela disponibilidade e gratuidade.

Ermida (2020) disponibilizou um código para derivar LST no GEE, foi o código que usamos neste estudo para obter os dados da área observada e trazer os resultados da pesquisa, na citação abaixo Ermida resume a construção do código, com os seguintes argumentos:

[...] os valores de LST são estimados usando o algoritmo SMW desenvolvido pela CM-SAF. Para cada Landsat, os coeficientes do algoritmo foram derivados usando o mesmo banco de dados de calibração, garantindo assim a consistência entre os satélites. Todas as entradas para o algoritmo são obtidas do catálogo GEE, ou seja, o conteúdo de vapor d'água dos dados de reanálise NCEP/NCAR e a emissividade do conjunto de dados ASTER GEDv3 com uma correção baseada em NDVI para a dinâmica da vegetação. Um exercício de validação com LST *in situ* obtido de 12 estações indicou uma precisão geral de 0,5 °C, -0,1 °C e 0,2 °C e RMSE geral de 2,0 °C, 2,1 °C e 2,1 °C para Landsat 5, 7 e 8, respectivamente (Ermida, 2020, p. 17.)

Outro produto também muito utilizado nos estudos ambientais, e que tem também tem tomado certo destaque nos estudos do clima urbano são os associados aos índices de vegetação, que em linhas gerais, são produtos utilizados para identificar a cobertura vegetal da superfície.

Segundo Moreira (2003), os índices de vegetação indicam as respostas espectrais da superfície terrestre. Esses índices são importantes ao clima urbano, uma vez que, as áreas que possuem ilhas de calor na maioria das vezes são regiões que contam com pouca ou nenhuma vegetação. Neste sentido, a compreensão da dinâmica da vegetação pode indicar a áreas com maior e menor densidade, e que afetam o controle das temperaturas locais e também a umidade do ar.

Isso por que a cobertura vegetal tende a estabilizar os elementos do clima e reduzir as amplitudes térmicas pois por meio dos processos de evapotranspiração age como indutor de umidade na atmosfera, auxiliando assim na manutenção do calor latente. Por isso, é comum também observar que as presenças da vegetação nas cidades podem gerar um resfriamento localizado, fenômeno conhecido como Ilha de Frescor Urbana (GARTLAND, 2010).

Em geral, o indicador orbital de vegetação mais utilizado nos trabalhos de clima urbano é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI), que basicamente é o índice explicativo do estado da vegetação e indica a produção primária (produção de clorofila) e umidade local por meio de um indicador numérico obtido por sensoriamento remoto.

A análise é feita a partir da identificação das cores baseadas nos comprimentos de onda das imagens de satélite, de acordo com a luz do sol

refletida pelas plantas nas bandas espectrais do visível (vermelho) e do infravermelho próximo - mais sensíveis à resposta espectral da vegetação.

Em suma, atualmente, uma diversidade de estudos tem utilizado as técnicas com produtos orbitais, os resultados são de grande contribuição no estudo do clima urbano, bem como para o planejamento urbano e para a implementação de estratégias de mitigação dos efeitos do calor nas áreas urbanas, como o aumento de áreas verdes e a adoção de materiais de construção mais eficientes em termos de energia.

Neste trabalho, o enfoque dado ao sensoriamento remoto foi valorizado visando atender uma análise que permite a extração de dados da temperatura da superfície dos alvos (também chamada de termografia de superfície), e de índices de vegetação como indicadores orbitais do clima urbano. Vejamos alguns exemplos.

1.3 Os estudos de clima urbano com indicadores orbitais

Tejas *et al.* (2017) utilizou NDVI para estudar a variação da temperatura de superfície ao longo de um período de 26 anos na cidade de Porto Velho-RO. Os resultados revelaram um aumento significativo na temperatura de superfície, atribuído principalmente à expansão urbana, ao aumento da densidade populacional e às mudanças no uso do solo (como o aumento da área construída e a diminuição da vegetação). Também foi identificado a formação de ilhas de calor urbanas, essas ilhas de calor foram associadas à presença de construções e pavimentações que absorvem e retêm o calor, bem como à falta de áreas verdes.

Borges e Batista (2020) analisam a relação entre o índice de vegetação e a temperatura da superfície terrestre, focando na formação de ilhas de calor nas áreas urbanas de Londrina e Maringá, no estado do Paraná. O estudo utiliza imagens de satélite e dados de temperatura para calcular o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a temperatura de superfície. Os resultados da pesquisa mostraram que Londrina apresentou um NDVI mais baixo, e temperaturas de superfície mais altas em comparação com Maringá, indicando uma menor quantidade de vegetação e maior formação de ilhas de calor. A pesquisa ressalta a importância da vegetação na regulação térmica das cidades

e destaca a necessidade de políticas de planejamento urbano que promovam o aumento da cobertura vegetal.

Pinheiro e Silva (2019) em sua pesquisa analisam a relação entre a temperatura de superfície e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na área urbana do município do Crato-CE. Os resultados da pesquisa revelaram uma correlação negativa entre a temperatura de superfície e o NDVI na zona urbana do município do Crato. Isso significa que áreas com maior cobertura vegetal apresentaram temperaturas de superfície mais baixas, enquanto áreas com menor cobertura vegetal (com concreto e asfalto), apresentaram temperaturas mais altas. Os autores destacam a importância do sensoriamento remoto e geoprocessamento no entendimento e estudo do clima urbano.

Pessi *et al.* (2019) aborda a utilização do NDVI como uma ferramenta para o planejamento urbano em municípios. É explorada a relação entre o NDVI e a temperatura da superfície terrestre como uma forma de compreender o impacto da cobertura vegetal na temperatura urbana. Foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto para o cálculo do NDVI e de temperatura da superfície terrestre na cidade de Rondonópolis-MT, utilizando técnicas estatísticas e de análise espacial, eles examinaram a correlação entre essas variáveis e identificaram padrões significativos, que indicaram uma forte relação entre o NDVI e a temperatura da superfície terrestre, áreas com maior cobertura vegetal apresentaram temperaturas mais baixas em comparação com áreas com menor vegetação. A pesquisa conclui que o NDVI pode ser uma ferramenta útil no planejamento urbano, seus resultados podem embasar políticas públicas voltadas para a promoção da vegetação urbana e a mitigação dos impactos ambientais.

Silva e Ribeiro (2023) em seus estudos analisaram a relação entre a temperatura superficial terrestre (TST) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) nos bairros da área urbana de Arapiraca-AL a partir do sensoriamento remoto. Foram realizadas análises estatísticas zonais para identificar possíveis padrões e relações entre a TST e o NDVI, que permitiram identificar áreas onde a temperatura superficial terrestre estava mais elevada e onde o índice de vegetação era mais alto. Os resultados mostraram uma

correlação entre a TST e o NDVI, ou seja, à medida que o índice de vegetação aumentava, a temperatura superficial terrestre diminuía.

Lima e Amorim (2011) apontam que a vegetação tem papel fundamental no clima das cidades, seu conforto térmico e qualidade ambiental. Essa consideração é de extrema importância para a apresentação dos resultados da pesquisa, já que os resultados serão obtidos a partir de indicadores da vegetação.

Teixeira (2019) estudou o clima urbano de cidades localizadas no Oeste paulista e utilizou além dos atributos geoambientais e urbanos, também as termografias de superfície e do NDVI. A autora relacionou esses produtos com a disponibilidade hídrica na cidade, e fez a magnitude e intensidade das ilhas de calor observadas nas cidades.

Em sua tese de dissertação Mendonça (2002) estudou o clima urbano de Florianópolis, usando como critérios fatores geoecológicos e de urbanização, identificando a formação de um "arquipélago" e não de uma ilha de calor contínua, em suas considerações atribuiu ao caráter multinucleado da urbanização do município.

Nesta pesquisa, pretende-se compreender a relação entre a temperatura da superfície e a concentração urbana no município por meio de uma análise espaço-temporal dos produtos gerados. Com isso, poderemos identificar possíveis áreas que se caracterizam como ilhas de calor.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Dentre os procedimentos adotados na metodologia nesta pesquisa, destaca-se: levantamento de informações bibliográficas, aquisição de dados orbitais e dados cartográficos vetoriais da área de estudo. O período escolhido foram períodos anuais de 2015 a 2020.

Inicialmente foi abordada a questão do estudo geográfico do clima urbano, trazendo referências do sistema clima urbano e estudos da área como as obras de Monteiro (2003). Sobre a análise do clima urbano destacam-se obras que discutem o fenômeno de ilhas de calor, conforme Mendonça (2002).

Além disso, foi considerado nos levantamentos bibliográficos o sensoriamento remoto como técnica de análise do clima urbano. Bem como sobre índices de NDVI e Temperatura da Superfície, com o objetivo de construir produtos orbitais, para que a partir deles seja feita a análise dos indicadores do clima. Também foram analisados estudos que utilizam o NDVI e Temperatura da superfície para analisar o clima urbano para contribuir para melhor compreensão dos resultados desta pesquisa.

Foi caracterizada a área de estudo como sendo o município de Florianópolis, então foram levantados aspectos geoambientais do espaço urbano que afetam ou influenciam de alguma maneira a configuração e dinâmica dos elementos climáticos no clima urbano. Justifica-se esse critério tendo em vista que a malha urbana de Florianópolis é muito dispersa, e implica em uma representação espacial que sugere prejuízos para uma análise mais aderente ao clima urbano. Esse princípio foi adotado também por Mendonça (2002).

A obtenção e processamento das imagens foi feito através de dois softwares. O *Google Earth Engine* para obter as imagens e realizar os cálculos através de códigos, compostos por fórmulas e algoritmos. E o QGIS para processar, analisar e representar os produtos gerados. Ambos os softwares são totalmente gratuitos e estão disponíveis na web.

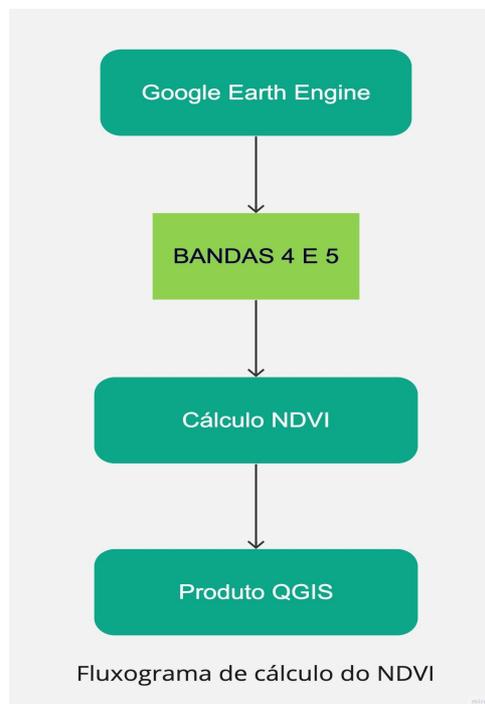
No *Google Earth Engine* foi utilizado um script que calcula o NDVI a partir de uma função chamada "*normalized Difference*" que utiliza as bandas 'B5' (infravermelho próximo) e 'B4' (vermelho) da coleção de imagens do satélite Landsat 08, com escala de 30 metros. O cálculo é feito através do modelo

$$\text{NDVI} = (\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V})$$

em que: IVP é a reflectância no infravermelho próximo e pV é a reflectância no vermelho.

A aplicação do modelo faz com que os valores radiométricos evidenciem o contraste entre do estado indicando a produção primária (produção de clorofila) associando a umidade local. O produto final é uma imagem que apresenta um gradiente numérico que oscila entre valores de +1 e -1, representando o estado de alta e baixa produção primária (MOCANU, 2020). O esboço do procedimento é apresentado na Figura 3.

Figura 3 -Procedimento para geração de mapas de NDVI



Org. Autora

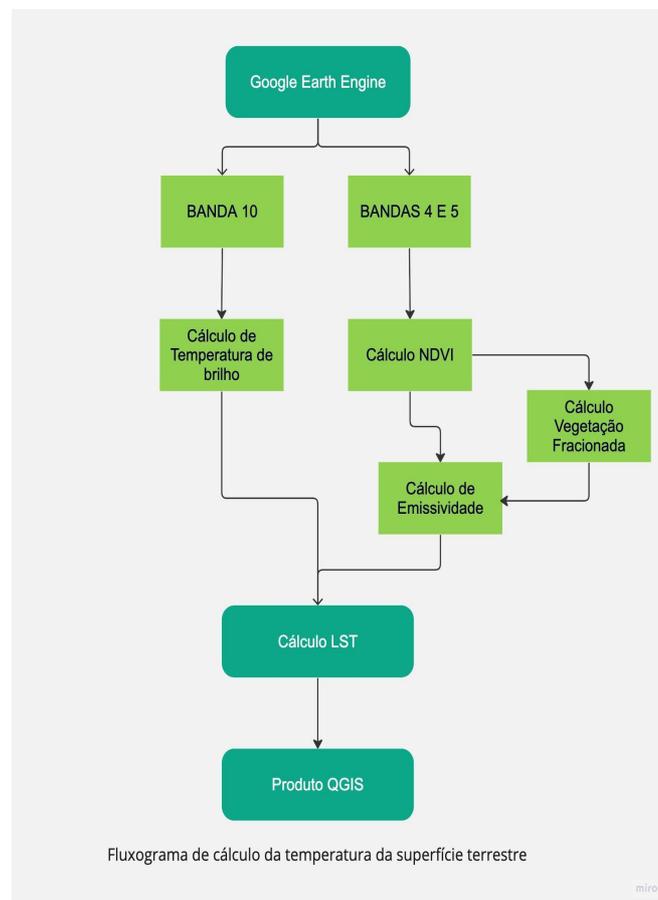
No *script* do *Google Earth Engine* foi definida a área de estudo (município de Florianópolis), filtrado a cobertura de nuvens para até 10%, definido o período (anual, sempre do dia 01/01 até 31/12), então processadas as imagens do período de 2015 a 2020.

Depois da coleta, as imagens foram importadas para o software Qgis®, onde foram feitos os tratamentos para gerar os produtos sínteses. Inicialmente

foi recortada a máscara com os limites do município de Florianópolis, depois foi feito um processo de recategorização, classificando os intervalos (de 0.20 un) através do recurso “reclass” do software, para que em todos os mapas apresentassem o mesmo padrão de intervalo e cores de classes correspondente. Para isso, também foi definida uma escala gradual de cores para o mapa, com valores próximos a +1 na cor verde, transitando para o amarelo para valores medianos e vermelho para valores próximos a -1

No Google Earth Engine foi utilizado um script para obter a temperatura da superfície terrestre. Esse script é baseado em um conjunto de índices multiespectrais. Foi utilizada a coleção de imagens do satélite Landsat 08, com escala de 30 metros. Os índices contidos no script são o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), já mencionado anteriormente; Vegetação fracionada (FV); emissividade (EM); Temperatura de brilho (BT), através da banda térmica B10. O período definido foi anual, sempre do dia 01/01 até 31/12, então processadas as imagens do ano de 2015 a 2020 (Figura 4)

Figura 4 - Procedimento para geração de mapas de TSA



Org. Autora

Depois de salvar essas imagens, elas foram importadas para o software Qgis, onde foram feitos os tratamentos para gerar os produtos. Inicialmente foi recortada a máscara com os limites do município de Florianópolis, depois foi feito um processo de recategorização, classificando os intervalos (a cada 2°C, de 12 °C à 28°C) através do recurso “*reclass*” do software, para que em todos os mapas o intervalo fosse exatamente o mesmo e a escala de cores correspondente, então definida uma escala com degrade de cores para o mapa, com valores próximos a 12 °C na cor azul, transitando linearmente para tons entre o verde e amarelo para valores medianos e vermelho para valores próximos a 28 °C

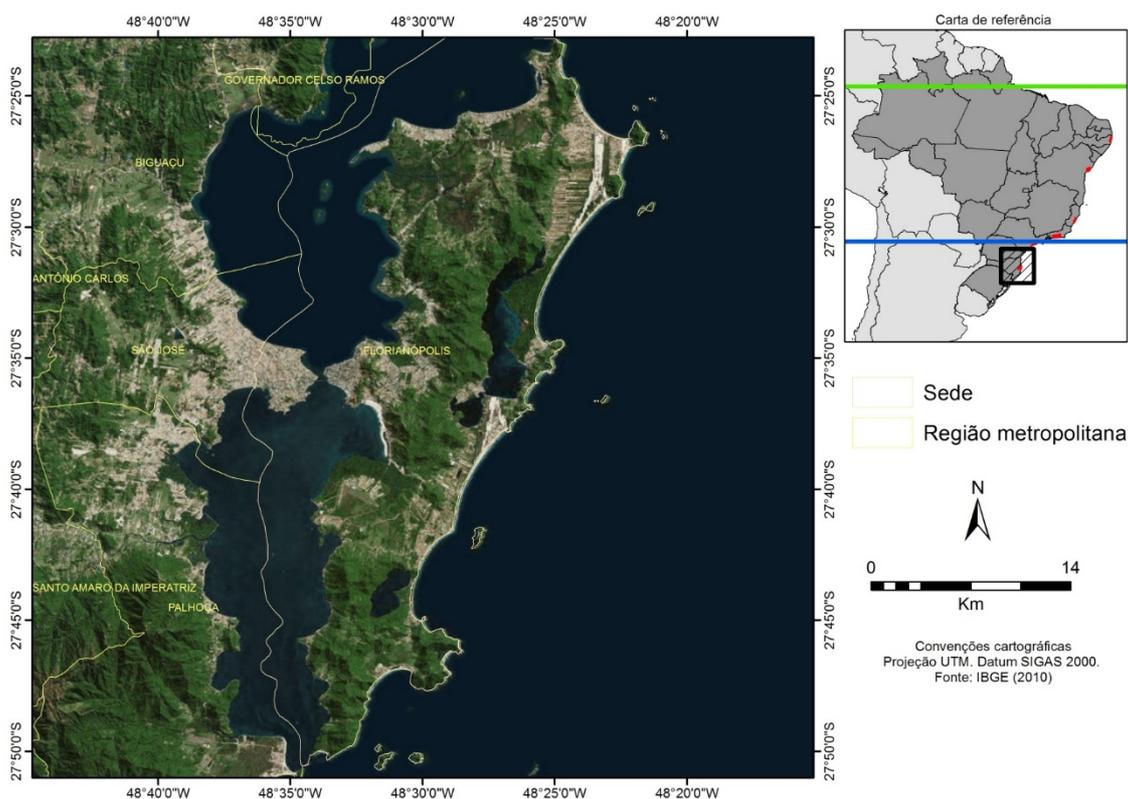
Para auxiliar na caracterização do sítio urbano em seus aspectos geoambientais, extraíram-se dados de declividade, orientação das vertentes e hipsometria com bases nos dados disponíveis na plataforma TOPODATA, com base na divisão territorial do município.

Todos os processamentos foram desenvolvidos em Sistemas de Informações Geográficas, utilizando o software QGis®.

3. O CLIMA URBANO DE FLORIANÓPOLIS

O município de Florianópolis está localizado no sul do Brasil, no estado de Santa Catarina, entre os paralelos 27°21' e 27°50' de latitude sul e entre os meridianos 48°20' e 48°35' de longitude oeste (Figura 5).

Figura 5 - Localização Florianópolis



Org. Autora

Está situado na porção leste do estado, sendo banhada pelo Oceano Atlântico. A extensão territorial é de 674,844 km² (entre ilha e continente), sua população estimada é de 516.524 pessoas (IBGE, 2021). A morfologia da ilha de Santa Catarina também é um fator relevante, pois sua formação é longitudinal, com maior extensão na porção norte-sul, com cerca de 54 km de comprimento.

O município é composto por um pequeno setor continental, e outro setor insular, referente a Ilha de Santa Catarina, que são separados pela Baía de Florianópolis, e interligados através de um estreito de cerca de 500 m de largura, onde foram construídas as pontes, Hercílio Luz (1926), a Ponte Colombo Salles (1975) e a Ponte Pedro Ivo Campos (1991).

Esse aspecto confere um clima tipicamente subtropical por estar ao sul dos trópicos, apresentar certa diferença estacional nos padrões térmicos, devido aos níveis de insolação (radiação solar incidente), e a precipitação ser constante durante todo ano, mesmo nos menos chuvosos (junho e agosto) apresentam

índices relativamente importantes, sendo superiores à evapotranspiração (exceto em agosto que é levemente mais baixa).

Essa condição é influenciada também pela zona costeira, que em função da maritimidade há forte e constante concentração de núcleos de condensação nas camadas inferiores, que contribui para a configuração do regime pluviométrico e controle das temperaturas durante quase todo ano. Situação que também mantém a umidade relativa do ar alta, entre 60% a 80%. A predominância da formação vegetal (litorânea e ombrófila densa) está em concordância com o caráter úmido da região.

Os ventos predominantes do quadrante norte (37% do regime) e nordeste (10%), apresentam velocidade média de 3.5 m/s. Os mais velozes são originados no quadrante sudeste (17%) e Sul (16%), com velocidade média de 10 m/s. E de forma geral, obedece à dinâmica e domínio de sistemas atmosféricos de diferentes gêneses: massas quentes e úmidas - Massa Tropical Atlântica (mTa) que dinamizam os ventos de norte e nordeste; e massas frias, Massa Polar Atlântica (mPa), responsável pela configuração de ventos sul.

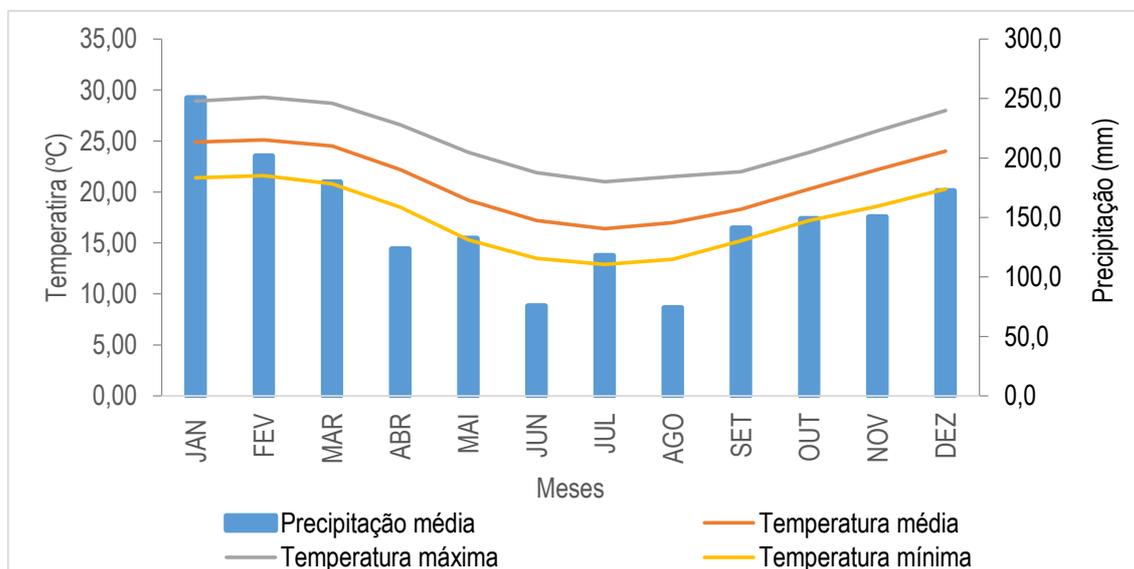
A Frente Polar Atlântica - FPA, é o sistema responsável pela produção das chuvas (encontro da MTA+MPA). Quando em frontogênese a FPA pode provocar bruscas mudanças de tempo, como rajadas de vento de até 80 km/hr, forte amplitude térmica (maiores que 7°C), aquecimento rápido, além de sistemas associados: linha de instabilidade, complexos convectivos de mesoescola, etc.

Por estar associada a ocorrência de eventos extremos e instabilidades atmosféricas em qualquer período do ano, a FPA também pode assumir as trajetórias e propagação de acordo com a posição do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), que tende manter tipos de tempo estáveis, com temperatura elevada (mTa), e ao domínio do Anticiclone Migratório Polar (AMP), quando há retorno de estabilidade atmosférica, mas com redução da umidade e da temperatura, e calmaria (mPa). A influência da mPa tende desaparecer ou ser incorporada no movimento do ASAS. Instala-se o primeiro tipo de tempo – reiniciando dos ciclos sinóticos.

Neste sentido, as chuvas, em média, podem ser de 1493,12 mm/anuais, distribuídas entre 35% no verão (janeiro a março), 25% na primavera (setembro a dezembro), 20% no outono (abril a junho), e 19% no inverno (de julho a

setembro). O mês menos chuvoso é junho, com 75,7mm de precipitação média, e o mês mais chuvoso é janeiro, com 250,6 mm de precipitação média (Figura 6).

Figura 6 - Precipitação e Temperatura média em Florianópolis



Org. Autora

Com relação a temperatura, no período invernal (julho, agosto e setembro), pode oscilar em média entre 15°C e 18°C, e os registros de eventos extremos apresentam valores mínimos de 1,5°C a 3,3°C, principalmente em julho e agosto. No verão (janeiro, fevereiro e março), as temperaturas oscilam entre 24°C e 26°C, e eventos extremos ocorrem sobretudo em dezembro e janeiro, com temperaturas em torno de 37°C até 38,8°C em média (Figura 6).

A caracterização climática apresentada é referenciada na tese de MENDONÇA (2002). Caracterizada a área de estudo a partir de aspectos geográficos e climáticos, é preciso agora analisar seus aspectos geomorfológicos, bem como o uso e a ocupação do solo, podendo então obter critérios relevantes que associados aos produtos gerados contribuirão para a análise dos resultados da pesquisa.

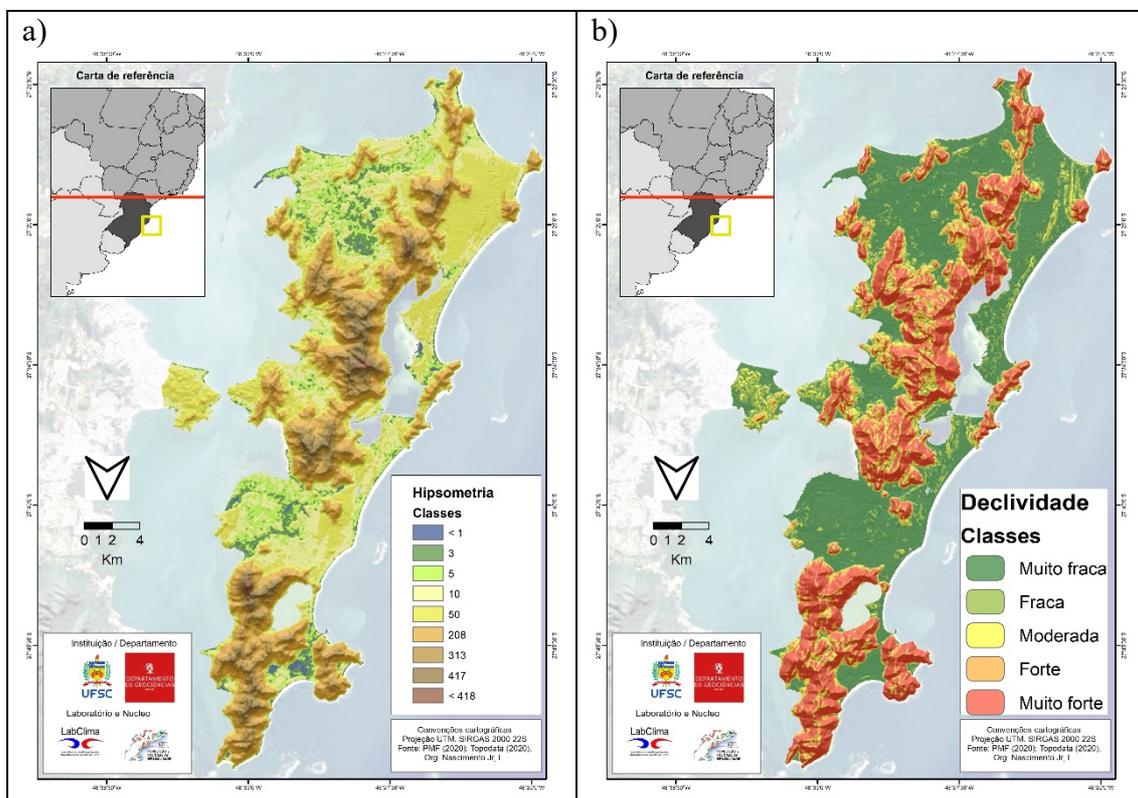
3.1 O sítio urbano de Florianópolis

Em grande parte, o município apresenta rochas do Embasamento Cristalino e pela Cobertura Sedimentar Quaternária, que são classificadas como

unidades geomorfológicas Serras do Leste Catarinense e Planícies Costeiras, respectivamente (ROSA e HERRMANN, 1986).

Os maciços rochosos ocorrem em forma de cristas e atravessam a Ilha de Santa Catarina em toda sua extensão, podem ser percebidas nos setores centro-norte e sul. No setor centro-norte que se estende até o extremo norte da ilha, o morro da Costa da Lagoa é o mais alto com 492 metros. Já no setor sul o ponto culminante é o Morro do Ribeirão com 532 metros de altitude. Entre as dorsais encontra-se a planície do Rio Tavares, ou Planície Entremares, coberta por sedimentos quaternários inconsolidados (CRUZ, 1998) (Figura 7).

Figura 7 -Carta hipsométrica (a) e clinográfica (b) para Florianópolis – SC



Fonte: Labclima (2020)

Entre as elevações rochosas ocorrem as planícies costeiras onde, segundo Herrmann (1999), pode identificar três unidades geo-ambientais classificadas como: planície marinha, aluvial e rampas colúvio-aluvionares. A Planície Costeira foi por muito tempo utilizada para fins de agricultura, mas esse uso foi quase todo substituído pela ocupação urbana.

A planície marinha é mais plana com altitudes de até 5 metros e ainda guardam evidências de cordões de restinga e terraços marinhos ao longo da costa. Na planície aluvial os terraços apresentam altitudes entre 5 a 10 metros e as rampas colúvio-aluvionares têm altura em torno de 10 a 20 metros, sendo constituídas por depósitos nos sopés das vertentes e aluviões sub-atuais (HERRMANN, 1999).

O processo de sedimentação marinha deu origem à Lagoa da Conceição com 19,71 km de água salobra; à Lagoa do Peri com 5,12 km de água doce; além de outras como a Lagoa Pequena (0,15 km) e da Chica no Campeche, a Lagoinha do Leste no Pântano do Sul e a Lagoinha em Ponta das Canas.

Sobre as planícies na costa leste, onde os ventos dominantes são mais intensos e canalizados, ocorrem dunas, dispostas em lençóis, em grandes corredores. Destacam-se na Ilha os Campos de Ingleses e Santinho a nordeste e o da Lagoa da Conceição que se estende até o Campeche, no centro-sudeste.

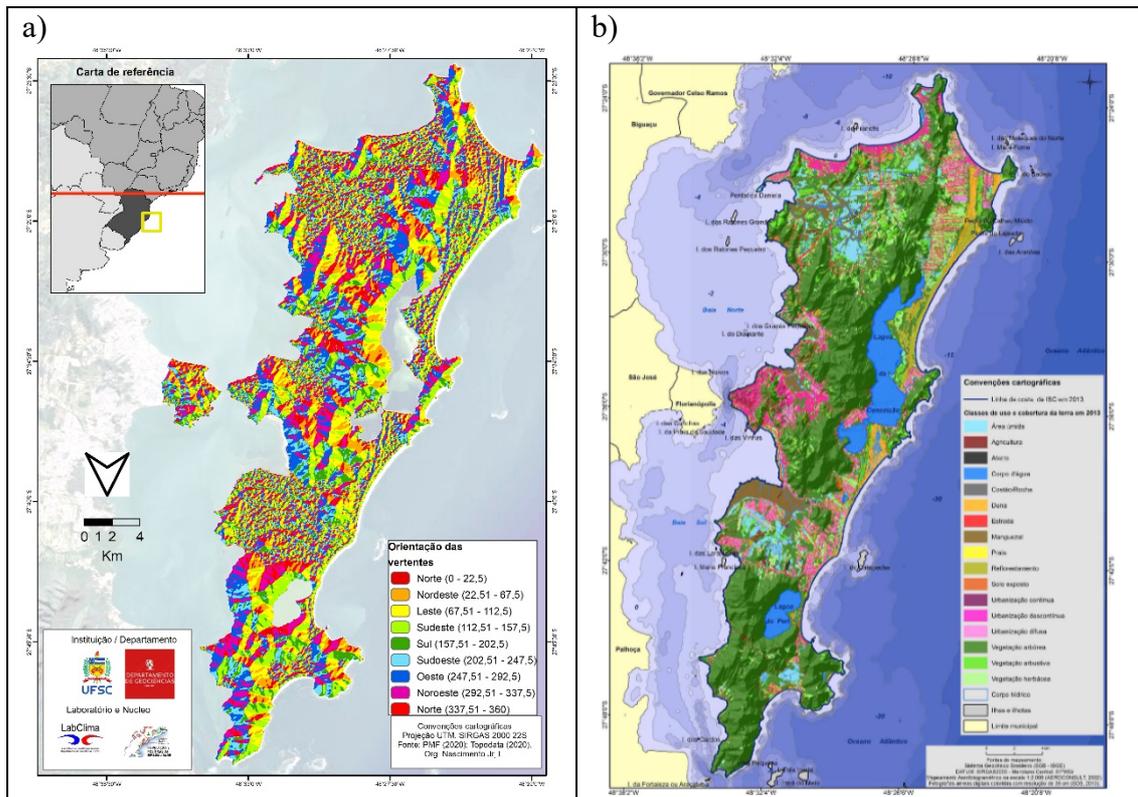
Sobre as vertentes, são dominantes as orientadas à leste. Nas vertentes dos maciços centrais (divisores de água) fica bem evidente a configuração leste/norte-noroeste, podendo afetar as temperaturas, a evaporação, a umidade e a circulação do ar (Figura 8-a).

De acordo com Mendonça (2002), as vertentes são como obstáculos, que interferem na incidência direta da insolação em Florianópolis, impactando a compartimentação morfológica dos elementos do clima, com isso gerando variedades de topoclimas e microclimas. O estudo de Pereira e Nascimento (2022) sugerem que o relevo, admitido pelas variações de altitude e orientação da encosta, é um dos principais fatores que condicionam as chuvas na região de Florianópolis.

A cobertura vegetal está diretamente associada ao relevo, sobre as encostas dos morros predominava a Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) e sobre as planícies, formações pioneiras como vegetação de praia, dunas e mangues (KLEIN, 1980).

Originalmente a ilha tinha 90% da cobertura por vegetação. Sendo 74% por Mata Atlântica, 9% por manguezais, 7% pela vegetação de praia (duna e restinga), 4% por dunas sem vegetação e 6% pelas lagoas (CARUSO, 1990).

Figura 8 -Orientação das vertentes (a) e Mapeamento das classes de uso e cobertura da terra da Ilha de Santa Catarina (b)



Fonte: Labclima (2020) (a) - Neves *et al.* (2017) (b)

Atualmente podem ser observadas apenas algumas áreas com remanescentes da vegetação original, o desmatamento e a expansão urbana já descaracterizaram muito essas áreas. A mata atlântica presente na ilha encontra-se em diferentes estágios de regeneração, em grande parte protegidas pelas unidades de conservação.

Nos estudos de Neves *et al.* (2017) os padrões de uso da terra foram divididos em 17 classes, incluindo agricultura, aterro sanitário, pântano, corpo d'água, costa rochosa, dunas, estradas, manguezais, praia, reflorestamento, solo exposto, urbanização difusa, urbanização descontínua, urbanização contínua, vegetação herbácea, vegetação arbustiva e vegetação arbórea. É possível observar as classes e suas áreas (Quadro 1).

Os resultados obtidos pelos autores mostram a predominância de classes de vegetação com 44,24% (arbórea, arbustiva e herbácea) e áreas urbanas com 12,55% da área, sendo divididas em categorias contínuas, descontínuas e difusas. As áreas contínuas são áreas onde a urbanização está presente de forma contínua e compacta, com alta densidade de construção e poucos ou nenhum espaço aberto (localizadas na região central da ilha).

Quadro 1 - Síntese das áreas e porcentagem das classes de uso e cobertura da Terra na Ilha de Santa Catarina em 2013.

Uso	Area (km ²)	Hectares (ha)	Porcentagem (%)
Vegetação arbórea	186,70	18.669,82	44,24
Urbanização difusa	40,32	4.031,68	9,55
Vegetação arbustiva	38,18	3.817,54	9,05
Vegetação herbácea	37,20	3.720,27	8,82
Corpo d'água	29,07	2.907,15	6,89
Área úmida	24,84	2.483,68	5,89
Manguezal	17,23	1.722,61	4,08
Urbanização descontínua	11,39	1.139,30	2,70
Estrada	9,53	952,82	2,26
Reflorestamento	8,80	879,68	2,08
Duna	6,92	692,02	1,64
Solo exposto	5,25	524,62	1,24
Praia	1,96	195,51	0,46
Costão/Rocha	1,48	148,24	0,35
Agricultura	1,33	132,98	0,32
Urbanização contínua	1,28	127,59	0,30
Aterro	0,52	52,35	0,12
Total	421,98	42.197,86	100

Fonte: Neves (2017)

Áreas urbanizadas descontínuas, são áreas onde a urbanização está presente de forma fragmentada e dispersa, com baixa densidade de construção e alguns espaços abertos (localizadas na região central e norte da ilha). Por fim as áreas urbanas difusas, são áreas em que a urbanização está presente de forma dispersa e de baixa densidade, com uma mistura de usos do solo urbano e rural (localizadas em vários pontos da ilha de Santa Catarina, principalmente em regiões onde o relevo é plano e nas bordas dos morros).

Conforme zoneamento da Lei Complementar nº482/2014 que instituiu o Plano Diretor de Urbanismo do Município de Florianópolis, as Áreas de Preservação Permanente (APP) representam 51,45% da área composta por vegetação, onde é vedado o parcelamento do solo, essas áreas não são edificáveis e é proibido a supressão da vegetação.

A formação geomorfológica da ilha parecer indicar significativamente relação com uso e ocupação do solo. Mas para entender esse processo, é mais adequado associar a formação de Florianópolis, a partir da ocupação da Ilha de Santa Catarina e do processo de urbanização no município.

3.2 A Urbanização de Florianópolis

A partir da chegada dos primeiros imigrantes açorianos, iniciou-se o processo de desmatamento na Ilha. Utilizando a madeira para construção de moradias e utilizando o solo para agricultura (CARUSO, 1990). Pode-se dizer que deste momento em diante, foi iniciado o processo de urbanização da zona costeira catarinense.

A cidade resumia-se a região central e continental, por conta da questão de o transporte ser exclusivamente marítimo, após a construção da ponte Hercílio Luz em 1926 a dinâmica começa a ser alterada, com a possibilidade do novo modelo de transporte e comunicação com o continente. Com a criação do primeiro plano diretor, em 1950 e a instalação de diversos órgãos do Estado, o crescimento urbano passou a ser mais acelerado (CAMPOS, 2009).

Destaca-se, contudo, que já em 1960, neste contexto regional, somente Florianópolis apresentava população urbana superior à rural e a partir daí desenvolvimento da rede viária foi o fator predominante no processo de urbanização da região, pois as novas rodovias privilegiavam o fluxo de transporte entre os centros urbanos. Isso fomentou o surgimento de uma incipiente modernização industrial junto aos trechos rodoviários em expansão.

Peluso (1991), aponta a implantação da BR 101, nos anos 1960, como a principal indutora da ocupação dos municípios vizinhos a Florianópolis, muito por conta da necessidade de absorção da população que desenvolvia suas atividades na Ilha e também por causa do surgimento de pequenas atividades industriais na região.

A reunião de tantos trabalhadores possibilitou os investimentos na implantação de vilas do Banco Nacional de Habitação - BNH. A consolidação de Florianópolis como cidade de serviços, levou à transferência da maior parte das indústrias existentes para o continente e os novos empreendimentos industriais a se instalarem na área conurbada, principalmente às margens da BR 101.

Em Florianópolis, a instalação de órgãos governamentais estaduais e federais, foi a verdadeira indutora de crescimento da população. Com isso a rede de serviços se fortaleceu e se destacou na região. Entre os marcos mais importantes, vale ressaltar a criação da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC no início da década de 1960 e as Centrais Elétricas do Sul do Brasil - ELETROSUL S.A., em meados da década de 1970 (PBDEE, 1996).

Mas foi na década de 1970, que urbanização foi mais significativa, quando a região já era caracterizada por uma estrutura importante de núcleos urbanos consolidados, com baixas concentrações populacionais.

Todo esse crescimento regional se refletiu numa acelerada expansão do setor imobiliário, com início destaque para a verticalização da ocupação na década de 1970 no centro histórico e a disseminação das funções centrais para áreas do Continente e Leste do Morro da Cruz, a partir da década de 1980.

O plano diretor de Florianópolis passou por grandes mudanças nos anos 1970 devido à finalização da ponte Colombo Machado Salles; da via expressa, Avenida Prof. Henrique da Salva Fontes, em continuidade à Beira-Mar Norte (Avenida Rubens de Arruda Ramos) e do aterro da baía sul.

Na Beira-Mar Norte a construção de edifícios altos (12 pavimentos) de apartamentos deu origem à área nobre da cidade e a partir de todas essas obras, a ampliação do sistema viário facilitou a ocupação dos terrenos oferecidos à expansão urbana, através do acesso rápido à Trindade, José Mandes, Saco dos Limões e aeroporto. Florianópolis expandiu-se assim em duas direções opostas: para Leste do Morro da Cruz (Trindade, Itacorubi, Carrego Grande e Pantanal) e para oeste no setor continental (Campinas e Barreiros), passando a constituir conurbação com as cidades vizinhas (PELUSO, 1991).

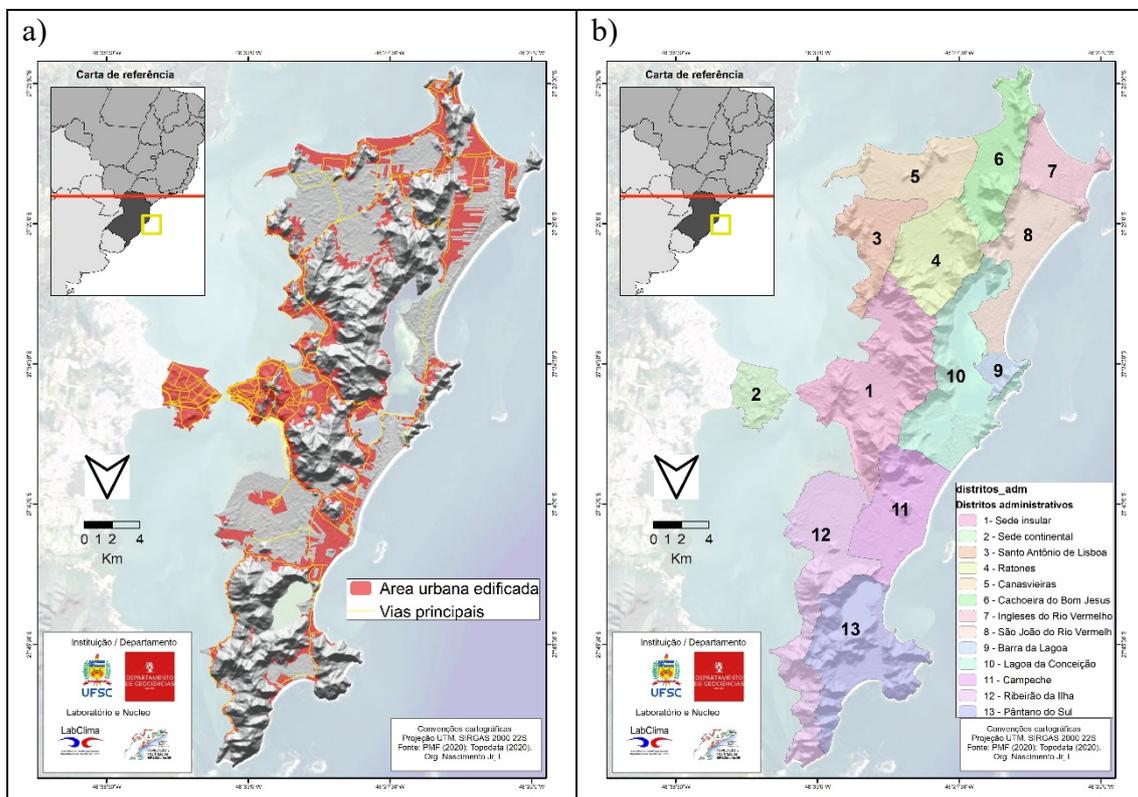
Na década de 1980 o IPUF (Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis) estabeleceu um modelo de ocupação para a região conurbada de Florianópolis no qual todo o setor continental (Florianópolis, São José, Palhoça e Biguaçu), o distrito sede e a região de Entremares (zona Aeroporto) na Ilha,

foram caracterizados como áreas de urbanização extensiva, enquanto os balneários e assentamentos do interior da Ilha foram destinados à urbanização nucleada, separada por áreas de preservação permanente (APPs).

Este modelo, baseado na centralidade, distingue uma hierarquia de centros urbanos: o primário, constituído pelo distrito sede de Florianópolis (ilha e continente); o secundário a partir da BR 101 em São José, e os centros de grande porte dos balneários (Canasvieiras e Lagoa da Conceição) (IPUF, 2010). Jurerê, Campeche e Pântano do Sul estão classificados como centros balneários; os demais assentamentos litorâneos como urbanização nucleada.

Em meados dos anos 1990 a rodovia BR 282 (Via Expressa) passou a integrar Florianópolis com sua região conurbada e o interior do Estado. No mapa político municipal podemos reconhecer os limites municipais de Florianópolis, que territorialmente se dão na parte oeste, com o município de São José, através da parte insular do município, e no que atualmente tem definindo a divisão político-administrativa (Figura 9)

Figura 9 - Área urbana edificada (a) e zoneamento dos bairros (b) para Florianópolis – SC



Fonte: Labclima (2020)

Atualmente, Santiago *et al.* (2014) em seus estudos caracteriza Florianópolis como uma cidade de conformação dispersa e multinucleada, que se arranja entre seus elementos naturais. E Dias (2007) define como uma cidade espraiada, com macha urbana descontínua em razão principalmente de seu relevo e do processo de ocupação histórico. O que se observa como resultando são problemas relacionados a biodiversidade e falta de infraestrutura básica, problemas esses que são agravados pela atividade turística.

No quadro 2 é possível verificar o adensamento populacional dos distritos do município durante as últimas décadas. Alguns distritos localizados no Norte como Cachoeira do Bom Jesus, Canasvieiras, Ingleses do Rio Vermelho e São João do Rio Vermelho aumentaram consideravelmente sua população, mais do que o dobro. Outros que se destacam no grande aumento da população são os do Sul da ilha como Campeche e Ribeirão da Ilha.

Quadro 2 - População total por distrito (1960 – 2000)

DISTRITOS	POPULAÇÃO TOTAL				
	1960 (*)	1970	1980	1991	2000
Barra da Lagoa		1.061	1.656	2.919	4.331
Cachoeira do Bom Jesus		2.116	3.070	4.509	12.808
Campeche		2.301	4.022	7.514	18.570
Canasvieiras		1.996	2.431	4.092	10.129
SEDE (Florianópolis)	79.471	116.854	157.259	201.262	228.869
Ingleses do Rio Vermelho	2.994	2.016	2.695	5.862	16.514
Lagoa da Conceição	3.613	1.883	4.258	6.654	9.849
Pântano do Sul	0	2.102	2.379	3.961	5;24
Ratones	862	795	902	1.080	2.871
Ribeirão da Ilha	5.261	4.229	5.372	11.935	20.392
Santo Antônio de Lisboa	1.734	2.003	2.604	3.738	5.367
São João do Rio Vermelho	0	981	1.223	1.864	6.791
TOTAL	97.827	138.337	187.871	255.390	342.315

Fonte: (IPUF, 2016).

Já no quadro 3 é possível observar a evolução das densidades (Habitação por quilometro quadrado - hab/km²) por distrito. Esse crescimento é o reflexo do processo histórico da urbanização mais recente no município, que tem como um dos principais resultado a verticalização e a intensificação da ocupação nos setores costeiros e nas periferias das áreas protegidas (IPUF, 2016).

Quadro 3 - Densidade distrital bruta em Florianópolis (1980 – 2000)

Distrito	Área Ocupável (Km ²)	Densidade Demográfica Bruta (Hab/km ²)				
		2000	1960	1970	1980	1990
Barra da Lagoa	2,86	0,00	370,46	578,21	1019,20	1512,22
Cachoeira do Bom Jesus	20,60	105,30	102,72	149,04	218,89	621,78
Campeche	24,44	0,00	94,15	164,56	307,43	759,79
Canasvieiras	23,75	72,54	84,03	102,34	172,27	426,43
SEDE (Florianópolis)	50,82	1.563,77	2.299,37	3.094,43	3.960,29	4.503,52
Inglese do Rio Vermelho	11,84	252,85	170,26	227,60	495,06	1.394,65
Lagoa da Conceição	8,61	419,40	218,58	494,27	772,40	1.143,28
Pântano do Sul	11,29	0,00	186,15	210,68	350,78	515,76
Ratones	21,80	39,54	36,47	41,38	49,54	131,70
Ribeirão da Ilha	32,63	161,23	129,60	164,63	365,77	624,95
Santo Antônio de Lisboa	14,56	119,08	137,55	178,82	256,70	368,56
São João do Rio Vermelho	13,28	0,00	73,85	92,07	140,33	511,25
Total de Florianópolis	236,49	413,65	584,94	794,38	1.079,88	1.447,43

Fonte: (IPUF, 2016).

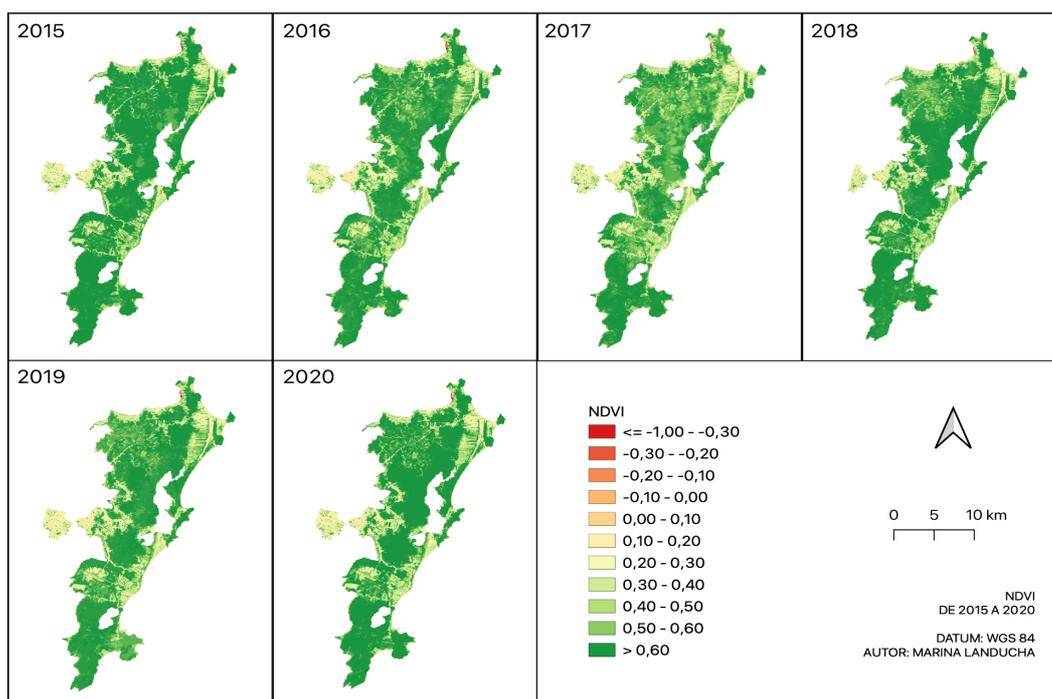
Destaca-se que as condições geomorfológicas sugerem ser bem importante para marcar a ocupação do município, e o impacto ambiental decorrente desse processo pode ser observado sempre quando há ocorrência de eventos extremos e desastres. As implicações destes atributos integrados auxiliam na definição do clima urbano.

3.3 Indicadores orbitais do clima urbano

O processo de ocupação urbana do Florianópolis, somado ao crescimento recente e rápido da densidade populacional e da verticalização, além das condições de uma região conurbada, ofereceram implicações diretas no clima, que já foi bem observado por Sezerino e Monteiro (1990) e Mendonça (2002).

Os resultados obtidos a partir da derivação das imagens do Landsat 8 para o NDVI no período analisado, apresentando da Figura 10, fortalece esses argumentos e evidências, mas também indiciam outras problemáticas associadas.

Figura 10 - Resultados para NDVI em Florianópolis (2015 – 2020)

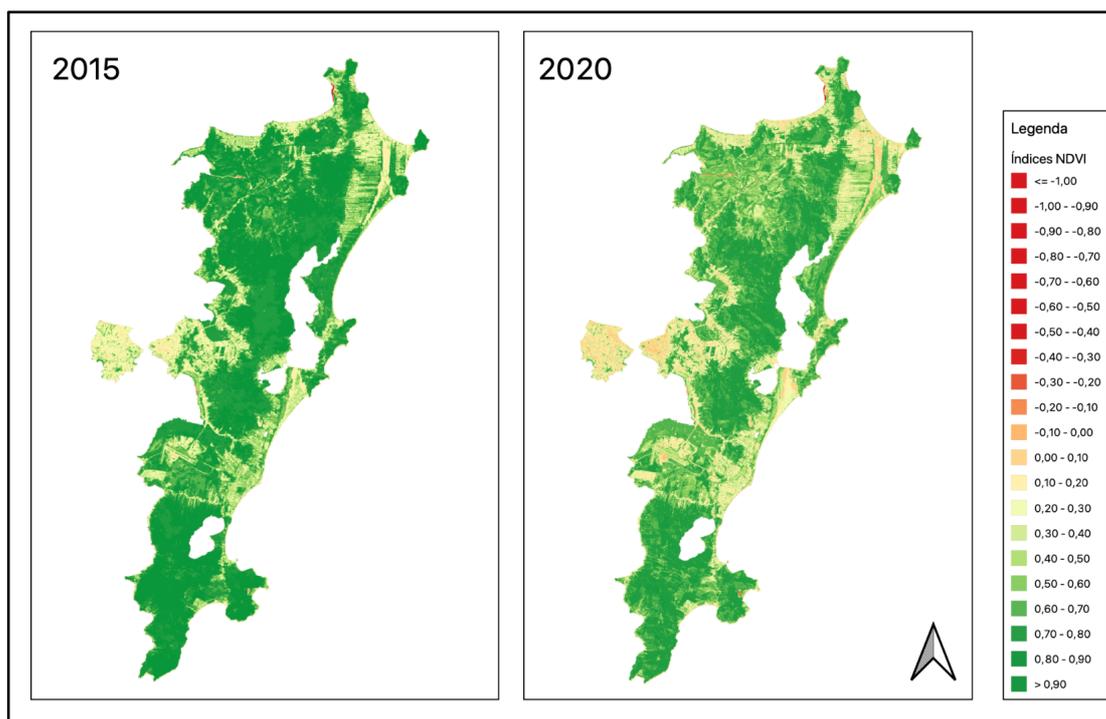


Org. Autora

Sem dúvida, a primeira condição é que as áreas da cidade que apresentam os menores valores de NDVI se concentram no continente, no centro, no setor norte e centro-sul. Ao longo dos 5 anos é possível ainda observar que existe um aumento importante nas áreas com índices menores (entre -0,10 e 0,30), que coincidem com os setores que mais tem apresentado avanço da urbanização. Esses mesmos setores, correspondem às áreas mais planas do sítio urbano.

Essa avaliação ainda é mais significativa, quando se compara os valores de NDVI entre primeiro ano (2015) e o último analisado (2020). A diferença evidencia o contraste das modificações ao longo do tempo, e destaca o aumento de áreas que apresentam os menores índices de NDVI. Em termos reais, essa diminuição sugere supressão da vegetação, e é mais intenso nos setores norte e centro-sul da ilha de Santa Catarina (Figura 11).

Figura 11 - Comparativo de NDVI para 2015 e 2020 em Florianópolis



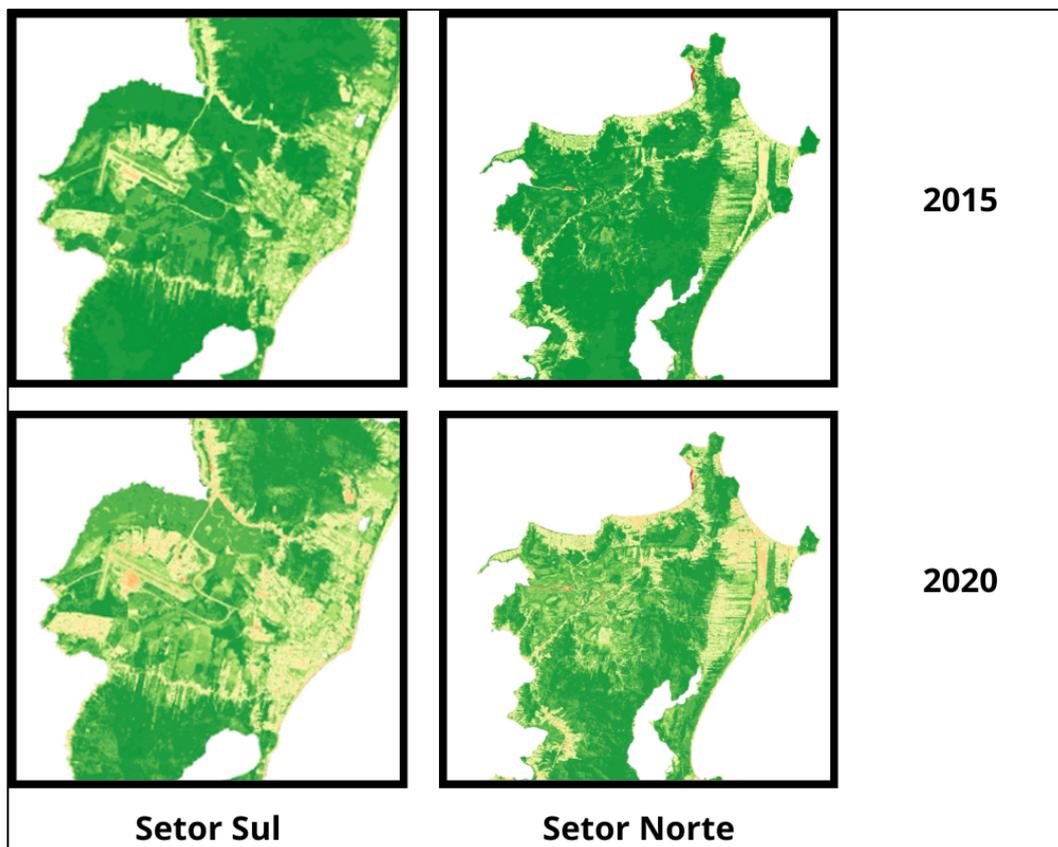
Org. Autora

Essa redução dos valores, evidenciado no certo “clareamento” da graduação das cores, reitera também as condições de saúde da vegetação e a disponibilidade hídrica no ambiente, pois o NDVI evidencia tanto a produção de clorofila, como também serve para associar as condições de umidade no local. A imagem apresenta um gradiente numérico que oscila entre valores de +1 e -1, e representa o estado de alta e baixa produção de clorofila. Portanto, é possível afirmar que a qualidade da vegetação, conseqüentemente, esta variável da qualidade ambiental, vem diminuindo ao longo do tempo em Florianópolis, mesmo em áreas inicialmente preservadas, já nas áreas de urbanização mais acentuada os valores ficam ainda mais próximos dos negativos. Além disso, destaca-se que vegetação desempenha um papel fundamental na regulação térmica da cidade, e a sua falta resulta em menor sombreamento, o que acaba impactando no conforto térmico.

Ao analisar o aumento das áreas com menor vegetação podemos associar ao adensamento populacional, fruto do processo de ocupação urbana, principalmente no setor norte, distritos São João do Rio Vermelho e Ingleses do Rio Vermelho apresentados no Quadro 2, em que a população mais do que

dobrou de tamanho em um período de 10 anos, com ênfase também no setor sul nos distritos do Campeche e Ribeirão da ilha (Figura 12).

Figura 12 - Enfoque áreas impactadas pela urbanização



Org. Autora

Já os setores com índices mais altos de NDVI são áreas menos ocupadas e em maiores altitudes, abrigando grandes áreas de mata atlântica, que correspondem às Unidades de Conservação, e que se estendem por grande parte dos maciços da Ilha de Santa Catarina. Essas áreas permaneceram mais preservadas ao longo do tempo, e reforçam a importância de sua participação para qualidade ambiental urbana. A criação e manutenção de unidades de conservação e propostas rígidas instruídas por planos diretores, sugere ser uma possibilidade e uma estratégia para garantir a redução dos impactos no conforto térmico.

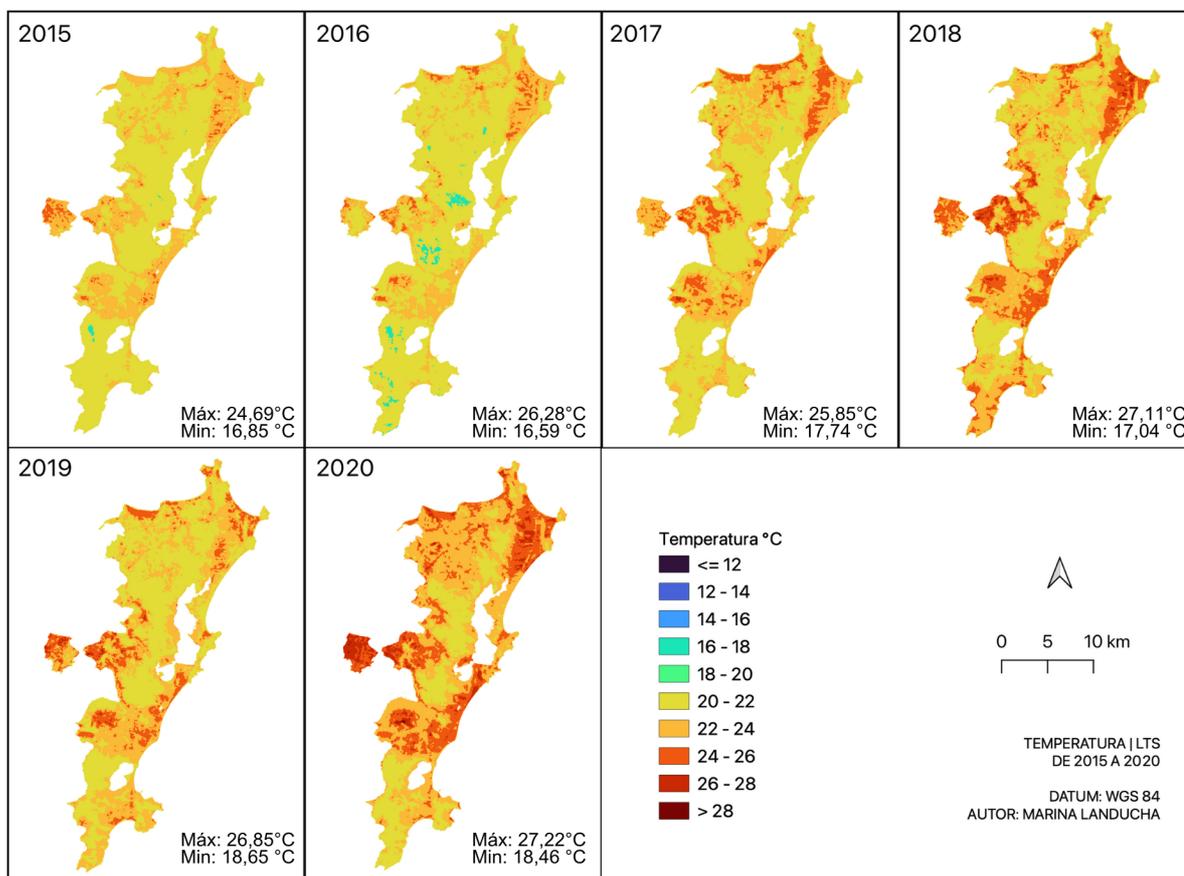
Os resultados obtidos a partir da derivação da termografia também apresentam quase que simetricamente os mesmos padrões e estrutura. Isso por que o modelo apresentado nos cálculos de temperatura é derivado do NDVI,

associado a banda térmica do sensor, portanto, os resultados são condicionados à qualidade da vegetação.

Como se pode observar, a ausência da vegetação implica no aumento das temperaturas e formação das ilhas de calor. Um ponto importante na observação é que as áreas com temperaturas mais elevadas estão cada vez maiores e contínuas, o que interrompe as áreas de calor formadas são os elementos naturais presentes na cidade, principalmente os maciços rochosos centrais e as lagoas.

A Figura 13 torna evidente como os setores que mais ganharam aumento da temperatura são o continente, centro, e os setores norte e centro-sul do município. Essas áreas apresentam um maior adensamento urbano, e por isso, a elevação da temperatura deve corresponder a alta concentração de fontes de calor sensível nas cidades corresponde às propriedades térmicas dos materiais utilizados nas construções e edificações, conforme explicado por Oke (1987, *apud* SANTOS, 2011).

Figura 13 – Resultados para TST em Florianópolis (2015 – 2020)



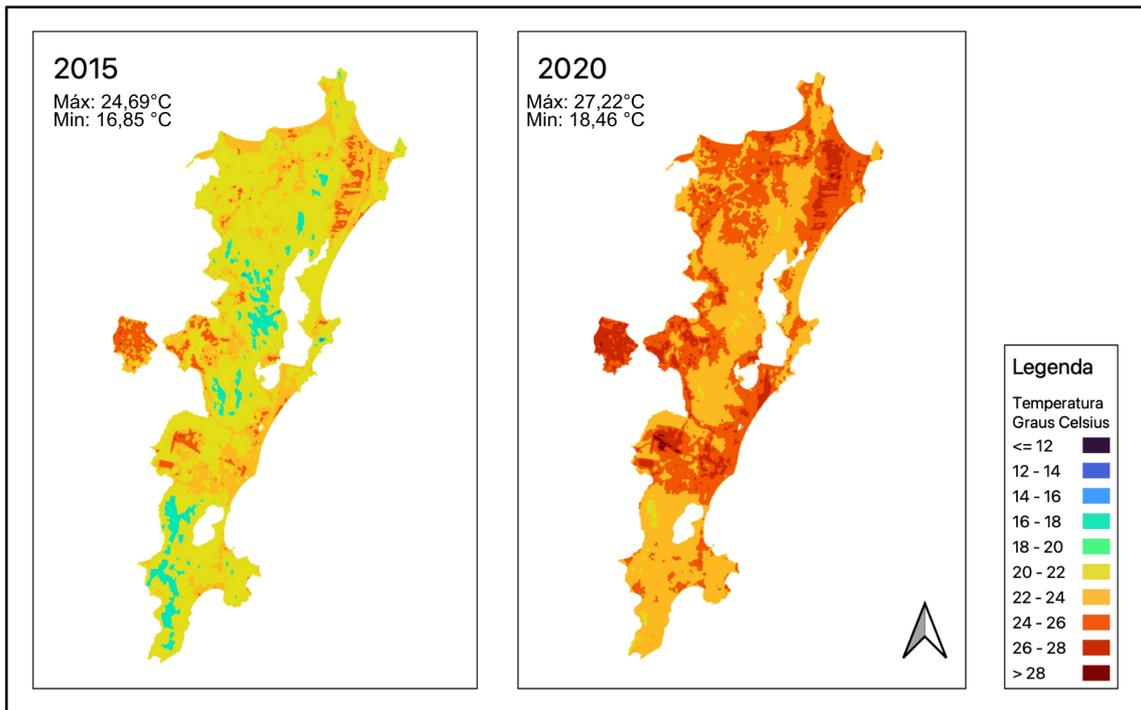
Esses resultados também dialogam com o que Mendonça (2002), descreve como "arquipélagos de calor". Esse termo foi usado por Mendonça para descrever a urbanização e compartimentalização morfológica da região de Florianópolis, que não seguia o modelo clássico de uma única UHI. Em vez disso, a região exibiu um padrão semelhante a um arquipélago de calor, por ser um conjunto de ilhas de calor.

Nos produtos tratados neste trabalho esse padrão se repete, demonstrando diversas áreas com altas temperaturas, com distribuição espacial associados ao padrão disperso da malha urbana. Além disso, tendo em vista a relação com valores de NDVI, também deve trazer implicações na disponibilidade hídrica, por favorecer a intensificação dos processos de evaporação e evapotranspiração dos sistemas ecológicos das unidades de conservação.

Além disso, o fenômeno tem sua ação potencializada nos setores nordeste e sudeste da ilha, uma vez que a urbanização se aproxima do domínio das dunas, que se caracteriza por ser um ecossistema composto de material arenoso, ou seja, a ocorrência de altas temperaturas será mais recorrente em virtude de seu baixo valor de calor específico. Resultados também observados por Pereira e Nascimento Jr. (2019).

A título de destaque, durante o período analisado, o ganho na temperatura foi de mais de 2°C em um período de 5 anos (Figura 14). Neste sentido, esse material tem apresentado forte participação no incremento de calor urbano, e de forma mais significativa do que outros componentes de uso e ocupação da terra, e da vegetação atual. Esse quadro ambiental evidencia a diminuição rápida das fontes de calor latente, e a intensificação de contrastes térmicos observados em diversas áreas da cidade.

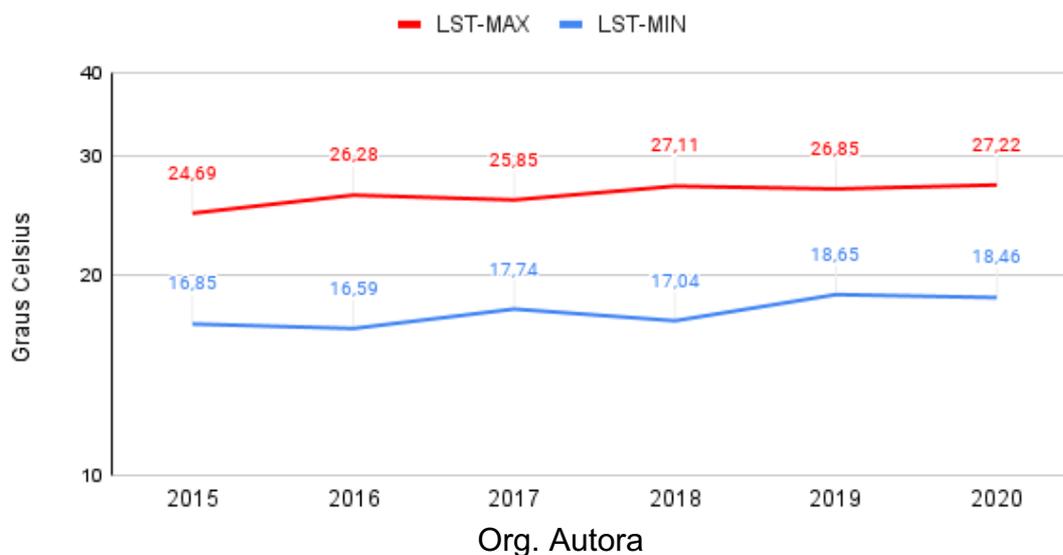
Figura 14 - Comparativo de TST para 2015 e 2020 em Florianópolis



Org. Autora

A análise da diferença entre o primeiro e o último ano analisado e o gráfico com a média das temperaturas é possível observar a diferença nas temperaturas mínimas e máximas encontradas, em 2015 era, a Máx: 24,69°C e a Min: 16,85 °C, já em 2020 aponta para Máx: 27,22°C e a Min: 18,46 °C. Pode-se observar também que o aumento nos indicadores de temperatura torna-se fundamental para contextualizar as implicações das alterações climáticas locais, e sua associado com as modificações em escala regional e global.

Figura 15 - Variação da temperatura da superfície dos alvos entre 2015 e 2020 para Florianópolis.



É impossível desassociar essas áreas mais quentes da cidade com o adensamento populacional, ou seja, as maiores concentrações urbanas listadas no quadro 3.

Ao combinar o NDVI com o LST, é possível identificar áreas urbanas com maior risco de ilhas de calor urbanas, que podem ter um impacto negativo na qualidade do ar, no uso de energia e no conforto térmico. Essas informações podem ser úteis para a tomada de decisões em planejamento urbano e na mitigação dos efeitos das ilhas de calor.

Diante desta descrição, a dinâmica do clima urbano de Florianópolis, compreende a construção de um ambiente disperso, com fortes implicações nas planícies e pressão ambiental nos ecossistemas protegidos. A constituição desse clima alterado tende a oferecer implicações diretas no conforto térmico e na disponibilidade hídrica, sobretudo nas áreas construídas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, foi constatada uma correlação entre a Temperatura de Superfície (LST) e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), especialmente nas áreas mais urbanizadas de Florianópolis. Verificou-se que valores de temperatura da superfície mais altos ocorrem predominantemente em áreas desprovidas de vegetação (setores do continente, centro, centro sul e norte), enquanto os picos de NDVI são observados em áreas com vegetação urbana, que na maioria das vezes, são áreas com maiores altitudes, onde predominam vegetações como mata atlântica, regiões também protegidas por leis ambientais de preservação - as Unidades de Conservação (UCs).

Conforme considerações feitas por Mendonça (2002) e analisando os produtos gerados, é possível identificar diversas áreas com altas temperaturas na cidade, e sua diferenciação pode ser associada com as paisagens dunares e os setores mais edificados. As áreas com maiores temperaturas e menor saúde de cobertura vegetal, conseqüentemente com maior desconforto térmico, reiteram esses argumentos, e ocorrem de forma dispersa, preferencialmente nas planícies.

Em algumas áreas (como sudeste da ilha) percebe-se aumento nos indicadores de temperatura, atribuído principalmente à expansão urbana. Considera-se o acelerado ritmo de ocupação e mudanças em relação ao uso da terra (impermeabilização devido ao aumento da área construída e pavimentações), como um dos fatores mais importantes.

Com base no período analisado (2015 a 2020), a relação entre a diminuição nos índices de NDVI e o aumento da temperatura da superfície sugere que a qualidade ambiental em Florianópolis vem sendo diminuída ao longo do tempo. O conforto térmico é o efeito derivado que demonstra a alteração climática mais evidente, destacando, portanto, a importância da preservação e do aumento da cobertura vegetal nas áreas urbanas como estratégia para mitigar os efeitos do aquecimento urbano.

Nesse contexto é importante ressaltar que técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento mostraram-se eficazes para a análise das relações entre temperatura de superfície e cobertura vegetal, contribuindo com a

compreensão do clima urbano e fornecendo subsídios para a tomada de decisões no contexto do desenvolvimento sustentável das cidades.

Além disso, o clima urbano precisa ser considerado no planejamento urbano e manejo ambiental atual e futuro, mesmo que ainda apresente muitas possibilidades de exploração e abertura para novos trabalhos.

Para novos estudos sugere-se aplicar metodologias capazes de eliminar ou minimizar a influência de elementos, como grandes corpos d'água, campos de dunas e sombreamento de relevos, que podem alterar o valor das estatísticas presentes na área de estudo. Para esta pesquisa não foram realizados trabalhos de campo para confirmação dos dados, sendo então um mais uma possibilidade de abordagem em novos trabalhos.

5. REFERÊNCIAS

AMORIM, M. C. C. T.: **O clima Urbano de Presidente Prudente/ SP**. São Paulo, 2000. 374p. Tese (Doutorado em Geografia), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

ANTUNES, Ricardo. **O caracol e sua concha: ensaios sobre a nova morfologia do trabalho**. São Paulo: Boitempo/Coleção mundo do trabalho, 2005.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 332 p.

BORDIN GALVÃO DIAS, Marcel; TARLEY FERREIRA NASCIMENTO, Diego. **Clima urbano e ilhas de calor: aspectos teórico-metodológicos e estudo de caso**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, [S.l.], v. 10, n. 12, nov. 2014. ISSN 1980-0827

BORGES, Júlio Cesar Ângelo; BATISTA, Lígia Flávia Antunes. Índice de vegetação e temperatura de superfície terrestre: comparativo entre formação de ilhas de calor nos perímetros urbanos de Londrina e Maringá no PR. R. bras. Geom., Curitiba, v. 8, n. 4, p. 256- 274, out/dez. 2020.

BRAGA, C. C.; SANSIGOLO, C. A; RAO, T. V. R. **Padrões de variabilidade espaciais e temporais de NDVI na região nordeste do Brasil utilizando análise fatorial**. Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMET), 2000 Edição XI. Rio de Janeiro, RJ, 2000.

BRANDÃO, A.M.P.M. **O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro**. In: Monteiro, C. A. F. Mendonça, F.. Clima Urbano. São Paulo: Contexto, 2009. 192 p.

CAMARGO, F. F.; PEREIRA, G. **Análise multi-temporal da evolução urbana e sua influencia na modificação do campo térmico na região metropolitana de São Paulo para os anos de 1985, 1993, 2003**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13.2007. Florianópolis. Anais ..., Florianópolis, INPE, 2007.

CARUSO, Mariléa M. Leal. **O desmatamento da Ilha de Santa Catarina de 1500 aos dias atuais**. Florianópolis, Editora da UFSC, 1990.

CRUZ, O. 1998. **A ilha de Santa Catarina e o continente próximo: um estudo de geomorfologia costeira**. Florianópolis, Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 280p.

DIAS, Adriana Carla. **Base metodológica de gestão ambiental integrada em unidades de conservação com ênfase em sistema de interesses**. 2007. 148f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

DORIGON, L. P. ; AMORIM, M. C. C. T. . **CLIMA URBANO ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO REMOTO: EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA TERMOGRAFIA DA SUPERFÍCIE DE PARANAÍ/PR - BRASIL**. In: Archimedes Perez Filho; Raul Reis Amorim. (Org.). Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. 1ed.Campinas: Universidade Estadual de Campinas - Instituto de Geociências, 2017, v. , p. 1777-1789.

ERMIDA, S.L.; Soares, P.; Mantas, V.; Götsche, F.-M.; Trigo, I.F. **Google Earth Engine Open-Source Code for Land Surface Temperature Estimation from the Landsat Series**. *Remote Sens.* **2020**, *12*, 1471.

GOMES, W. P., AMORIM, M. C. de C. T., & Dubreuil, V. **Modelagem da Ilha de Calor Urbana Aplicada ao Ambiente Litorâneo - Ubatuba/Brasil**. Revista Do Departamento De Geografia, 34, 2017, 82-94.

HERRMANN, M. L. P. **Problemas Geoambientais na Faixa Central do Litoral Catarinense**. 1999. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

HERRMANN, Maria L. de P. **Aspectos Ambientais da Porção Central da Ilha de Santa Catarina**. Florianópolis, 1989. 228 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina.

IPIUF – INSTITUTO DE PLANEJAMENTO URBANO DE FLORIANÓPOLIS. **Plano Diretor Participativo de Florianópolis**. 2016.

LIMA, Valéria; AMORIM, Margarete C. C. T. . **A utilização de informações de temperatura da superfície, do NDVI e de temperatura do ar na análise de qualidade ambiental urbana**. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2011, Curitiba/PR. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR. São José dos Campos: MCT/INPE, 2011. p. 1028-1035.

LOMBARDO, M.A. **Ilha de Calor nas Metrôpoles: O exemplo de São Paulo**. São Paulo, 1985.

MACHADO, Lilian Aline; ASSIS, Wellington Lopes. **Proposta Metodológica De Mapeamento De Unidades Topoclimáticas**. Revista Brasileira de Climatologia, [S.I.], v. 21, sep. 2017. ISSN 2237-8642.

MENDONÇA, Magaly. **A dinâmica têmporo-espacial do clima subtropical na região conurbada de Florianópolis/SC**. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002, 343 p.

MINAKI, C.; AMORIM, M. **Espaços urbanos e qualidade ambiental – um enfoque da paisagem**. Revista formação nº 14, 2007, p. 67-82.

MONTEIRO C. A. de F. **Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. Florianópolis**. GEOSUL, nº 9 - Ano V – 1º semestre de 1990.

MONTEIRO C. A. de F. **O clima e a organização do espaço no estado de São Paulo: problemas e perspectivas**. São Paulo: IGEOG/USP, 1976. 54p. Série Teses e Monografias, 28.

MONTEIRO C. A. de F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo, IGEOG/USP, 1976, 181p.

MONTEIRO, C. A. de F.; MENDONÇA, F. (Org.). **Clima Urbano**. São Paulo: Editora Contexto, 2003.192p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2.ed. Viçosa - MG: UFV, 2003. 307 p.

NASCIMENTO, D. T. F. **Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de goiânia-go** (1986/2010). Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Estudos Sociais - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011, 96f.

NEVES; ORNON; VOIRON-CANICIO; HORN FILHO. **Mapeamento do uso e da cobertura da terra na Ilha de Santa Catarina, Brasil, com base em imagem de alta resolução espacial**. Geosul, Florianópolis, v. 32, n. 65, p. 213-238, set./dez. 2017.

NOVAIS, Giuliano Tostes; BRITO, Jorge Luís Silva; SANCHES, Fabio de Oliveira. **Unidades Climáticas Do Triângulo Mineiro/Alto Paraíba**. Revista Brasileira de Climatologia, [S.I.], v. 23, oct. 2018. ISSN 2237-8642.

NOVO, Evelyn. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. v. 2000. 269 p.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates** -2nd ed. London: Routledge, 1987.435p.

OKE, T. R. **Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations**. Journal of climatology, v.1, n.1-4, p. 237-254, 1981.

OLIVEIRA, D. E. ; ASSIS, D. C. ; FERREIRA, C, C, M. **Definição De Unidades Climáticas Para A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, MG/RJ**. ABClima - XI SBCG – V SIMPEC – CoC-UGI; outubro, 2014.

OLIVEIRA, Daiane; FERREIRA, Cássia. **Aspectos climáticos da bacia hidrográfica do rio Preto – MG/RJ, Brasil, influência dos fatores geográficos na formação desse clima regional**. Revista de Geografia e Ordenamento do Território (GOT), n.º 11 (junho). Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território, 2017, p. 283-307.

PELUSO JÚNIOR, Victor Antônio. **Estudos de Geografia Urbana de Santa Catarina**. Florianópolis: Ed. da UFSC: Secretaria de Estado da Cultura e do Esporte, 1991b.

PEREIRA, E. L.; NASCIMENTO JÚNIOR, L. **As chuvas em Florianópolis/SC: um ensaio sobre a gênese, dinâmica e distribuição espaço-temporal das precipitações.** Revista Brasileira de Climatologia, [S. l.], v. 30, n. 18, p. 246–273, 2022.

PEREIRA, E. L.; NASCIMENTO JÚNIOR, L. **Temperatura de Superfície dos Alvos e sua relação com o desenvolvimento urbano na Ilha de Santa Catarina.** IV - Encontro Latino Americano de Agricultura Urbana e Periurbana. **Anais...** Florianópolis. 2019.

PESSI, D. D.; PIMENTEL, C. F.; CÂNDIDO, A. K. A. A.; MIRANDA JUNIOR, P. L.; MATOS DA SILVA, N. **Análise da relação entre NDVI e a temperatura da superfície terrestre como técnica no planejamento urbano dos municípios.** Terr@ Plural, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 237–251, 2019.

PINHEIRO, M. A.; SILVA, J. M. O. **Análise da temperatura de superfície e a relação com o NDVI da zona urbana do município do Crato/Ceará 2017.** Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS), [S. l.], v. 21, n. 2, p. 334–347, 2019. DOI: 10.35701/rcgs.v21n2.566.

RODRIGUES de Lima, N., MARQUES Pinheiro, G., MENDONÇA, F. **Clima urbano no Brasil: análise e contribuição da metodologia de Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro.** Revista Geonorte, 3(9), 2012, 626.

ROSA, R. O.; HERRMANN, M. L. P. **Geomorfologia.** In: **Santa Catarina. GAPLAN.** Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro do Sul, 1986.

SANT'ANNA NETO, J. L. **O clima urbano como construção social: da vulnerabilidade polissêmica das cidades enfermas ao sofisma utópico das cidades saudáveis.** Revista Brasileira de Climatologia. 2011.

SANT'ANNA NETO, J. L. 2013. **Escalas geográficas do clima. Mudança, variabilidade e ritmo.** In: Amorim, M. C. T.; Sant'Anna Neto, J. L.; Monteiro, A. (Org.). Climatologia urbana e regional: questões teóricas e estudos de caso. São Paulo: Outras Expressões, p. 75-91.

SANTIAGO, A. G.; MICHELETI, T.; MATÉ, C.; WEISS, R.; CORRÊA, A. de C. D.; SABOYA, R. T. de. **Espaços livres e forma urbana: interpretando características e conflitos em Florianópolis (SC).** Paisagem e Ambiente, [S. l.], n. 33, p. 51-66, 2014.

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

SILVA, J. P. L. S. da; RIBEIRO, D. D. de M. **Temperatura superficial terrestre e ndvi dos bairros da área urbana de Arapiraca – al: uma análise a partir das**

estatísticas zonais. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 24, n. 92, p. 343–355, 2023. DOI: 10.14393/RCG249264151.

TEIXEIRA, D. C. F. **O clima urbano das cidades de pequeno porte do oeste paulista: análise do perfil térmico de Presidente Venceslau, Santo Anastácio e Álvares Machado, Brasil.** Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente. 2019.

TEJAS, G. T., NUNES, D. D., de SOUZA, R. M. S., CORRÊA, A. C. S., & WATANABE, M. 2017. **Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio do sensoriamento remoto na cidade de Porto Velho/RO (1985-2011).** P 32.

UGEDA Júnior, J. C.; AMORIM, M. C. de C. T.. **Reflexões acerca do sistema clima urbano e sua aplicabilidade: pressupostos teórico-metodológicos e inovações técnicas.** Revista do departamento de geografia, (spe), 2016, 160-174.

ANEXO I

Script para NDVI

```
//Centralizar imagens
Map.centerObject(table,9)

//Mapa de fundo
Map.setOptions("HYBRID")

//Função NDVI
var ndvi_funcao = function(image) {
  var ndvi= image.normalizedDifference(['B5','B4']).rename('NDVI')
  return image.addBands(ndvi).clip(table)
}

//Importar coleção Landsat
var l8 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C01/T1_SR")
  .filterDate('2019-01-01','2019-12-31')
  .filterMetadata('CLOUD_COVER','less_than',10)
  .filterBounds(table)
  .map(ndvi_funcao)

//Adicionar o Layer com NDVI
Map.addLayer(l8.select('NDVI'),{min:0 , max:0.89, palette:
['red','orange','yellow','green'],'NDVI FLORIANOPOLIS')

//Aplicando um redutor para baixar a imagem
var red_image = l8.select('NDVI').mean()

// Exportar imagem
Export.image.toDrive({
  image: red_image,
  folder: 'NDVI',
  description: 'NDVI_2019_2020',
  region: table,
  scale: 30,
  maxPixels: 1e13
})
```

ANEXO II

Script para LST

```
//cloud mask
function maskL8sr(col) {
  // Bits 3 and 5 are cloud shadow and cloud, respectively.
  var cloudShadowBitMask = (1 << 3);
  var cloudsBitMask = (1 << 5);
  // Get the pixel QA band.
  var qa = col.select('pixel_qa');
  // Both flags should be set to zero, indicating clear conditions.
  var mask = qa.bitwiseAnd(cloudShadowBitMask).eq(0)
    .and(qa.bitwiseAnd(cloudsBitMask).eq(0));
  return col.updateMask(mask);
}

//vis params
var vizParams = {
  bands: ['B5', 'B6', 'B4'],
  min: 0,
  max: 4000,
  gamma: [1, 0.9, 1.1]
};

var vizParams2 = {
  bands: ['B4', 'B3', 'B2'],
  min: 0,
  max: 3000,
  gamma: 1.4,
};

//load the collection:
{
  var col = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
    .map(maskL8sr)
    .filterDate('2015-01-01','2015-12-31')
    .filterBounds(table);
}
print(col, 'coleccion');
```

```

//imagen reduction
{
var image = col.median();
print(image, 'image');
Map.addLayer(image, vizParams2);
}

//median
{
var ndvi = image.normalizedDifference(['B5',
'B4']).rename('NDVI');
var ndviParams = {min: -1, max: 1, palette: ['blue', 'white',
'green']};
print(ndvi,'ndvi');
Map.addLayer(ndvi, ndviParams, 'ndvi');
}

//select thermal band 10(with brightness tempereature), no calculation
var thermal= image.select('B10').multiply(0.1);
var b10Params = {min: 291.918, max: 302.382, palette: ['blue',
'white', 'green']};
Map.addLayer(thermal, b10Params, 'thermal');

// find the min and max of NDVI
{
var min = ee.Number(ndvi.reduceRegion({
reducer: ee.Reducer.min(),
geometry: table,
scale: 30,
maxPixels: 1e9
}).values().get(0));
print(min, 'min');
var max = ee.Number(ndvi.reduceRegion({
reducer: ee.Reducer.max(),
geometry: table,
scale: 30,
maxPixels: 1e9
}).values().get(0));
print(max, 'max')
}

```

```

//fractional vegetation
{
var fv =(ndvi.subtract(min).divide(max.subtract(min))).pow(ee.Number(2)).rename('FV');
print(fv, 'fv');
Map.addLayer(fv);
}

//Emissivity
var a= ee.Number(0.004);
var b= ee.Number(0.986);
var EM=fv.multiply(a).add(b).rename('EMM');
var imageVisParam3 = {min: 0.9865619146722164, max:0.989699971371314};
Map.addLayer(EM, imageVisParam3,'EMM');

//LST in Celsius Degree bring -273.15
//NB: In Kelvin don't bring -273.15
var LST = thermal.expression(
'Tb/(1 + (0.00115* (Tb / 1.438))*log(Ep))-273.15', {
'Tb': thermal.select('B10'),
'Ep': EM.select('EMM')
}).rename('LST');

Map.addLayer(LST)

// Exportar imagem
Export.image.toDrive({
image: LST,
folder: 'LST',
description: 'LST 2015',
region: table,
scale: 30,
maxPixels: 1e9
})

```