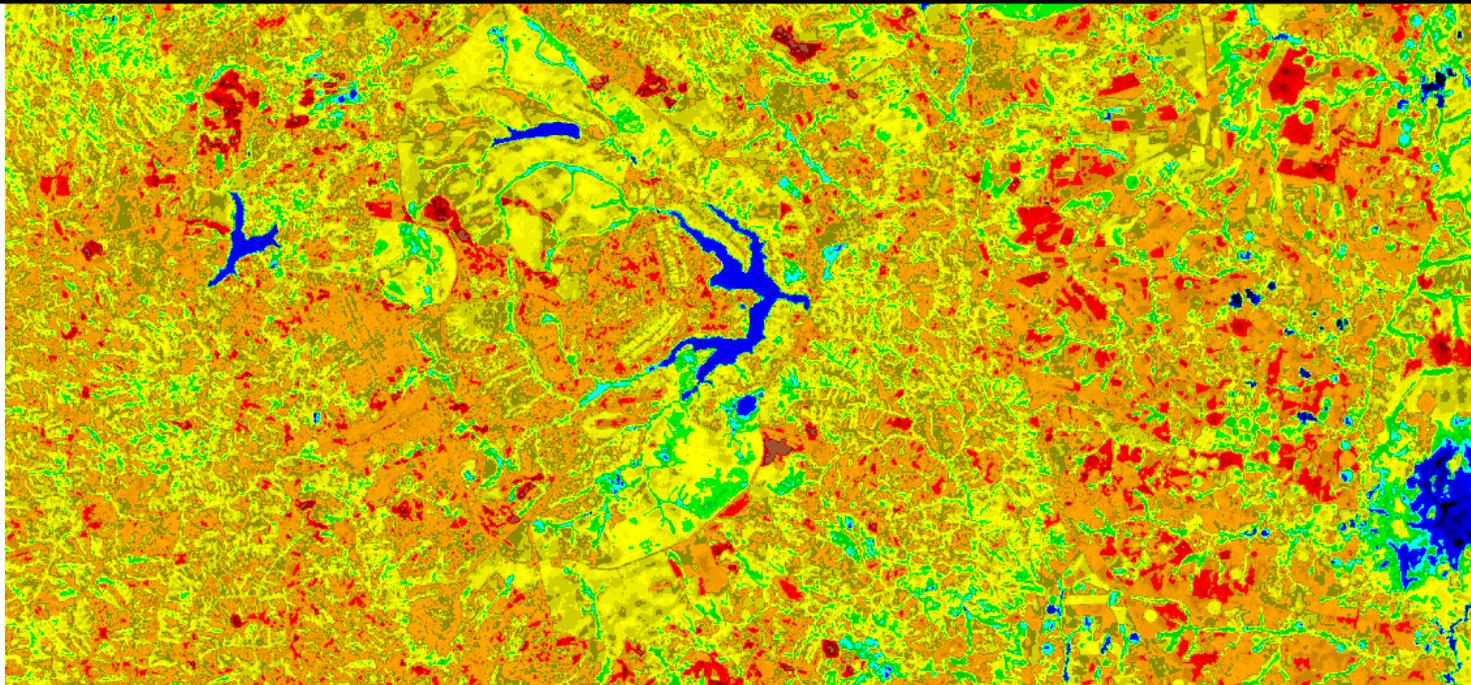


Tese

O CAMPO TÉRMICO URBANO – Ilhas de Calor em Brasília DF



ELEN OLIVEIRA VIANNA autora

MARTA ADRIANA B. ROMERO orientadora

Tese - PPG/FAU/UnB – Brasília, julho de 2018.



PPG / FAU / UnB
Linha de Pesquisa: Tecnologia, Ambiente e
Sustentabilidade
Aluna: Me. Elen Oliveira Vianna
Orientadora: Dra. Marta A. B. Romero

TESE

O CAMPO TÉRMICO URBANO.
Ilhas de Calor em Brasília - DF

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília – UnB, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo, na Linha de Pesquisa de Paisagem, Ambiente e Sustentabilidade.

Brasília - DF
Julho de 2018

**Ficha catalográfica elaborada automaticamente pela Biblioteca
Central da Universidade de Brasília.**

Vianna, Elen Oliveira

VV617c O Campo Térmico Urbano - Ilhas de Calor em Brasília - DF
/ Elen Oliveira Vianna; orientador Dra. Marta Adriana Bustos
Romero. -- Brasília, 2018. 267 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) -
Universidade de Brasília, 2018.

1. Campo Térmico Urbano. 2. Clima Urbano. 3. Ilhas de Calor
Urbanas - ICU. 4. Sensoriamento Remoto. I. Bustos Romero,
Dra. Marta Adriana, orient. II. Título.

ELEN OLIVEIRA VIANNA
ANÁLISE DO CAMPO TÉRMICO URBANO.
ILHAS DE CALOR EM BRASÍLIA – DF.

Tese submetida ao corpo docente do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília – UnB - e professores convidados, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo na Linha de Pesquisa em Paisagem, Ambiente e Sustentabilidade.

Prof^a. Dr^a. Marta Adriana Bustos Romero – Orientadora
Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília – PPG / FAU / UnB.

Prof^a. Dr^a. Magda Adelaide Lombardo
Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista – PPG / IGCE / UNESP.

Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista
Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – PPG / IG / UnB.

Prof. Dr. Rômulo José da Costa Ribeiro
Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília – PPG / FAU / UnB.

Prof. Dr. Gustavo de Luna Sales - Suplente
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília – FAU / UnB.

*“... porque Deus é o que opera em vós tanto o querer como o realizar,
segundo a boa vontade dEle.”*

Filipenses 2:13

*“...Esse imenso, desmedido amor
Vai além de seja o que for
Passa mais além do
Céu de Brasília
Traço do arquiteto
Gosto tanto dela assim...”*

Caetano Veloso e Djavan, 1993.

À memória dos meus pais, ao meu companheiro José Marcelino e aos
nossos frutos José Davi e José Daniel.

Agradecimentos

À Deus minha gratidão, pois até aqui me sustentou e me conduziu às pessoas certas, eis a prova material de sua fidelidade em minha vida.

À Profa. Marta Romero, minha orientadora desde o mestrado, pelo companheirismo e sabedoria em todas as etapas, aguardando o meu amadurecimento até que eu estivesse pronta para receber as informações necessárias. A sua inspiração e motivação ao desenvolvimento do tema foram fundamentais.

Aos membros da banca examinadora, em especial à querida Prof. Magda Lombardo, precursora do estudo sobre Ilhas de Calor no Brasil, pelas solícitas contribuições. Aos professores Gustavo Baptista e Rômulo Ribeiro, pelas valiosas contribuições transdisciplinares.

À minha família, representada pelos meus irmãos, irmãs e sobrinhos, por acreditarem em mim e me incentivarem em todos os momentos. Ao meu marido Marcelino e aos meus filhos José Davi e José Daniel, agradeço pelo carinho e apoio incondicional dedicado à mim nesta trajetória, e por abdicarem de minha presença nos momentos necessários.

Aos amigos de Brasília, por me acolherem e tornarem os dias desta jornada mais leves e agradáveis. Amigos queridos desde o mestrado e para a vida toda: Giuliana Sousa e Caio Frederico. À Larissa Sudbrack, minha colega de MBA. Aos amigos do Lasus: Abner, Nina, Daniela, Paola, Gustavo Luna, José Marcelo, Éderson, Diego, Walmor, Fernanda Formiga e Thalyson, que direta ou indiretamente contribuíram com este trabalho. Minha gratidão e amizade pra sempre. Aos servidores do PPG FAU UnB: Diego e Júnior, pela paciência e auxílio.

Aos amigos de Brasília, para além das fronteiras da Universidade, mas envolvidos com a causa da sustentabilidade na arquitetura e urbanismo: Mara Alvim, Inês Kasuko e Walid Hatem. Gratidão por participarem de minha jornada nesta cidade e nas viagens em missões técnicas para: Cingapura, Dubai, Masdar City, San Francisco, Los Angeles e Boston.

Aos amigos do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – IG UnB – nas pessoas do prof. Gustavo Baptista e dos alunos Marceli Terra e Khalil Ganem, pelo apoio à pesquisa científica, principalmente no que diz respeito ao processamento das imagens termais de sensoriamento remoto.

Aos amigos do Laboratório de Métodos Quantitativos da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo – ESALQ USP – nas pessoas da prof. Magda Lombardo, prof. Demóstenes Ferreira e do Dr. Jefferson Polizel. Minha gratidão pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa, no que diz respeito à obtenção de dados utilizando ferramentas do Sistema de Informações Geográficas - SIG.

Agradeço pelo aprendizado para além da pesquisa científica. Aprendi a reconhecer a grandeza de pessoas que, sem maiores interesses, me estenderam a mão no momento que eu precisei. Aprendi também que os obstáculos fazem crescer e geram força. Assim, os agradecimentos vão para todos, sem exceção, que foram parte deste processo.

“Se vi mais longe foi por estar de pé sobre o ombro de gigantes” (Isaac Newton, 1643 - 1727).

Resumo

A ação do homem no meio urbano, com a impermeabilização do solo, a retirada da cobertura vegetal e com os adensamentos das áreas centrais de forma indevida, influencia o **campo térmico urbano** e causa o fenômeno **ilhas de calor urbanas – ICU**. A questão ambiental urbana tem ênfase neste trabalho, que diferente dos estudos tradicionais de **ICU**, compara entre si áreas urbanas de configurações diferentes. A intenção é identificar as relações entre os tipos de materiais de superfície, as temperaturas e a morfologia urbana no processo de formação das **ilhas de calor**. Para isto, as áreas amostrais de Brasília DF, objeto do presente estudo, foram analisadas e comparadas considerando-as cenários urbanos provenientes de atividades antrópicas capazes de produzir alterações climáticas. Plano Piloto e Regiões Administrativas são uma rede de cidades, cuja peculiar inter-relação configura um processo de urbanização. Interessa-nos interpretar e mensurar as relações existentes entre os fatores determinantes do processo de formação das **ICU** em Brasília/DF, que está amplamente exposta, segundo os aspectos históricos, geográficos (com destaque ao **clima** e a vegetação) e morfológicos. O estudo do **clima urbano** compreende uma análise das temperaturas, das trocas térmicas, da presença de vegetação em áreas urbanas, da evapotranspiração e da morfologia urbana, levando também em consideração o fator W/H/L, os cânions urbanos, o Fator Visão do Céu, a ventilação urbana e os materiais de superfície. Em última instância, tal análise culmina no conceito **ilhas de calor**. Dentre as formas de monitoramento do fenômeno **ilhas de calor**, definiu-se pela utilização de imagens termais provenientes de **sensoriamento remoto**, o que demanda ferramentas de geotecnologia para o desenvolvimento da pesquisa. Assim, para análise quantitativa, foram definidas doze áreas amostrais do DF, segundo a diversidade de traçados e formas de ocupação do solo, além da observação de variáveis, geográficas, ambientais, urbanísticas e morfológicas. Após o geoprocessamento dos dados das áreas amostrais definidas, a análise do **campo térmico urbano** no DF compõe-se em três frentes: as classificações supervisionadas dos materiais de superfície (software Quantum Gis); o fator W/H (largura da

caixa da rua / altura dos edifícios), segundo uma base teórico numérica; e imagens termais obtidas por satélite, transectos (software ENVI) e imagens da câmera termográfica. A primeira frente de análise corresponde à análise dos materiais de revestimentos das superfícies, a segunda considera de que maneira as formas construídas afetam o **clima** local, modificam os fluxos de ar, o transporte do calor atmosférico e os saldos de radiação de ondas curtas e longas e a terceira trata da análise sazonal do **campo térmico urbano**. Finalmente, os resultados das três frentes são contrastados, bem como as correlações estatísticas entre materiais de superfície, temperaturas e fator W/H. Entre os resultados preliminares, da etapa teórica, temos cerca de 2°C de aumento da temperatura, em Brasília – DF, de 1990 aos dias atuais, sendo que cerca de 1°C ocorreu do ano de 2012 em diante, além da consequente diminuição da umidade e alterações dos índices pluviométricos (Instituto Nacional de Meteorologia - INMET). As áreas mais aquecidas incluem não só as regiões mais adensadas, mas também áreas de solo exposto ou vegetação rasteira seca, em áreas pouco adensadas ou mesmo não ocupadas. Observamos que a presença ou ausência de vegetação diferencia a temperatura de áreas do Plano Piloto em 1°C e nas áreas das Regiões Administrativas vizinhas de 1 a 3°C. As correlações entre materiais de superfície e temperaturas são fortes e ascendentes: no Plano Piloto foram em média de 0,94 em agosto e de 0,90 em fevereiro e nas áreas das Regiões Administrativas em média de 0,89 em agosto e de 0,80 em fevereiro. Já para as correlações entre temperaturas e fator W/H, os resultados são: 0,94 em agosto e 0,65 em fevereiro. Concluímos que o **clima urbano** pode ser influenciado segundo boas práticas de ocupação do solo, e refletimos que em relação ao **campo térmico**, a legislação que disciplina o uso e ocupação do solo deve ser revisada sob novos paradigmas.

Palavras-chave: Campo Térmico Urbano, Clima Urbano, Ilhas de Calor Urbanas - ICU, Sensoriamento Remoto.

Abstract

Human action on the urban environment, such as soil waterproofing, removal of the vegetation coverage and densification of the central areas in an inappropriate manner, influences the **urban thermal environment** and causes the **urban heat islands (UHI)** phenomenon. The urban environmental issue is emphasized in this work that, unlike traditional **UHI** studies, compares urban areas with diverse configurations. The purpose is to identify the relations among the types of surface material, the temperatures and the urban morphology in the process of **heat islands formation**. For this purpose, the sample areas of Brasilia- DF, object of the present study, were compared and analyzed, considering them as urban scenario deriving from anthropic activities that are likely to generate climate changes. The Pilot Plan and the Administrative Regions are a network of cities, whose unique interrelation constitute an urbanization process. Our focus is to interpret and measure the relationships that exist among the prevailing factors in the **UHI** formation process in Brasilia/DF, that is widely exposed, according to the historical, geographical (predominantly climate and vegetation) and morphological aspects. The study of **urban climate** entails an analysis of temperatures, heat exchange, the presence of vegetation in urban areas, evapotranspiration, urban morphology, taking into consideration the W/H/L factor, the urban canyons, the Sky View Factor, the urban ventilation and surface material. Finally, this analysis culminates in the **heat island** concept. Among the ways of monitoring the heat islands phenomenon, thermal images from remote sensing were the chosen method, which demands technological tools to carry out the research. Therefore, for the quantitative analysis, twelve sample areas in the DF were defined, according to the diversity of layouts and land occupation, by means of the observation of the geographical, environmental, urban and morphological variables. After the geoprocessing of the data of the defined sample areas, the analysis of the DF **urban thermal environment** is carried out in three phases: the supervised classification of the surface material (Quantum Gis software); the W/H factor (width of the streets / height of the buildings), according to a numerical

theoretical basis; and thermal satellite images, transects (ENVI software) and thermographic camera images. The first phase corresponds to the analyses of the surface material, the second considers the way the built environment affects the local climate, through the modification of the air flow, of atmospheric heat exchange and of short and long waves radiation and the third concerns the seasonal analysis of the **urban thermal environment**. Finally, the results of the three phases are compared and the statistical correlations among surface materials are factored in, along with temperatures and W/H factor. Among the preliminary results of the theoretical phase, we could observe an increase in the temperature of 2° C in Brasília - DF, between the decades of 1990 and 2010, and an increase of 1°C from the year 2012 onwards, with a decrease in humidity and rainfall alterations as a direct consequence (Instituto Nacional de Meteorologia- INMET). The warmer areas include not only the more densely populated regions but also areas with exposed soil or dry undergrowth vegetation, in less densely populated areas or even in non-occupied ones. We have observed that the presence or absence of vegetation differentiates the temperature in the Pilot Plan areas in 1°C and in the surrounding Administrative Regions, ranging from 1° to 3°C. The correlations between the surface materials and the temperatures are strong and upward: in the Pilot Plan, they showed an average of 0,94 in August and 0,90 in February, in the Administrative Regions the average was of 0,89 in August and 0,80 in February. As for the correlations between temperatures and the W/H factor, the results are: 0,94 in August and 0,65 in February. We concluded that the urban climate may be influenced by good land occupation practices and we suggest that, with regards to the **thermal environment**, the legislation that regulates land use and the occupation must be revised according to new paradigms.

Keywords: Urban Thermal Environment, Urban Climate, Urban Heat Islands – UHI, Remote Sensing.

Resumen

La acción del hombre en el medio urbano, con la impermeabilización del suelo, la retirada de la cobertura vegetal y con los adensamientos de las áreas centrales de forma indebida, influye en el **campo térmico urbano** y causa el fenómeno **islas de calor urbanas** - ICU. La cuestión ambiental urbana tiene énfasis en este trabajo, que diferente de los estudios tradicionales de ICU, compara entre sí áreas urbanas de configuraciones diferentes. La intención es identificar las relaciones entre los tipos de materiales de superficie, las temperaturas y la morfología urbana en el proceso de formación de las **islas de calor**. Para ello, las áreas muestrales de Brasilia DF, objeto del presente estudio, fueron analizadas y comparadas considerando los escenarios urbanos provenientes de actividades antrópicas capaces de producir cambios climáticos. Plan Piloto y Regiones Administrativas son una red de ciudades, cuya peculiar interrelación configura un proceso de urbanización. Se interesa interpretar y medir las relaciones existentes entre los factores determinantes del proceso de formación de las ICU en Brasilia / DF, que está ampliamente expuesta, según los aspectos históricos, geográficos (con destaque al **clima** y la vegetación) y morfológicos. El estudio del **clima urbano** comprende un análisis de las temperaturas, de los cambios térmicos, de la presencia de vegetación en áreas urbanas, de la evapotranspiración y de la morfología urbana, teniendo en cuenta el factor $W / H / L$, los cañones urbanos, el Factor Visión Cielo, la ventilación urbana y los materiales de superficie. En última instancia, tal análisis culmina en el concepto **islas de calor**. Entre las formas de monitoreo del fenómeno **islas de calor**, se definió por la utilización de imágenes termales provenientes de **detección remota**, lo que demanda herramientas de geotecnología para el desarrollo de la investigación. Por lo tanto, para análisis cuantitativo, se definieron doce áreas muestrales del DF, según la diversidad de trazados y formas de ocupaciones del suelo, además de la observación de variables, geográficas, ambientales, urbanísticas y morfológicas. Después del geoprocetamiento de los datos de las áreas muestrales definidas, el análisis del **campo térmico urbano** en el DF se compone en tres frentes: las clasificaciones supervisadas de

los materiales de superficie (software Quantum Gis); el factor W / H (ancho de la caja de la calle / altura de los edificios), según una base teórica numérica; e imágenes termales obtenidas por satélite, transectos (software ENVI) e imágenes de la cámara termográfica. El primer frente de análisis corresponde al análisis de los materiales de revestimientos de las superficies, la segunda considera de qué manera las formas construidas afectan el **clima** local, a través de la modificación de los flujos de aire, del transporte del calor atmosférico y de saldos de radiación de ondas cortas y largas y la tercera trata del análisis estacional del **campo térmico urbano**. Finalmente, los resultados de los tres frentes se contrastan, así como las correlaciones estadísticas entre los materiales de superficie, las temperaturas y el factor W / H . Entre los resultados preliminares, de la etapa teórica, tenemos cerca de 2°C de aumento de la temperatura, en Brasilia - DF, de 1990 a los días actuales, siendo que cerca de 1°C ocurrió del año 2012 en adelante, además de la consiguiente disminución de la humedad y alteraciones de la humedad de los índices pluviométricos (Instituto Nacional de Meteorología - INMET). Las áreas más calientes incluyen no sólo las regiones más densas, sino también las áreas de suelo expuesto o vegetación rastrera seca, en áreas poco densas o incluso no ocupadas. Observamos que la presencia o ausencia de vegetación diferencia la temperatura de áreas del Plan Piloto en 1°C y en las áreas de las Regiones Administrativas vecinas de 1 a 3°C. Las correlaciones entre materiales de superficie y temperaturas son fuertes y ascendentes: en el Plan Piloto fueron en promedio de 0,94 en agosto y de 0,90 en febrero y en las áreas de las Regiones Administrativas en promedio de 0,89 en agosto y de 0,80 en febrero. Para las correlaciones entre temperaturas y factor W / H , los resultados son: 0,94 en agosto y 0,65 en febrero. Concluimos que el **clima urbano** puede ser influenciado según buenas prácticas de ocupación del suelo, y reflejamos que en relación al **campo térmico**, la legislación que disciplina el uso y ocupación del suelo debe ser revisada bajo nuevos paradigmas.

Palabras clave: Campo Térmico Urbano, Clima Urbano, Islas del Calor Urbano - ICU, Detección Remota.

Résumé

L'action de l'homme dans le milieu urbain, avec l'imperméabilisation du sol, au retrait de la couverture végétale et avec les épaississement des secteurs centraux de forme indue, porte influence sur le **champ thermique urbain** et entraîne le phénomène **des îlots de chaleur urbaine – ICU**. L'accent de la question environnementale urbaine fait l'objet de ce travail de recherche, qui contrairement aux études traditionnelles de l'ICU, compare des secteurs urbains avec d'autres secteurs urbains de configurations différentes. L'objectif est d'identifier les relations entre les types de matériaux de surface, les températures et la morphologie urbaine dans le processus de formation **des îlots thermiques**. Pour ce faire, comparer les zones échantillonnées de Brasília DF, c'est objet de cette étude, en tenant compte les scénarios urbains issus des activités anthropiques qui poussent le changement climatique. Le Plan Pilote et les Régions Administratives constituent un réseau de villes, dont l'interrelation particulière met en place un processus d'urbanisation. L'objet de notre intérêt c'est l'interprétation et la mesure des relations existantes entre les facteurs déterminant du processus de formation de **l'ICU** à Brasilia/DF, qui est largement exposée, selon les aspects historiques, géographiques (en mettant l'accent sur le **climat** et la végétation) et morphologiques. Le **climat urbain** implique l'approche des températures, des échanges thermiques, la présence de végétation dans les zones urbaines, de l'évapotranspiration, de la morphologie urbaine, impliquant le facteur W/H/L, canyons urbains, le facteur de Vision du Ciel, ventilation urbaine, les matériaux de surface. En fin de compte, une telle analyse aboutit au concept des **îlots de chaleur**. Parmi les moyens de surveillance du phénomène des **îlots de chaleur**, il a été défini par l'utilisation d'images thermiques issues de la **télé-détection**, qui demande des outils de géotechnologie pour le développement de la recherche. Ainsi, pour l'analyse quantitative, douze **zones échantillonnées** du DF ont été définies, en fonction de la diversité des tracés et des formes d'occupation des sols en observant des variables, géographiques, environnementales, urbaines et morphologiques. Après le géotraitement des données des zones

échantillonnées définies, l'analyse du **champ thermique urbain** dans le DF est composée de trois fronts: les classifications supervisées des matériaux de surface (logiciel QGIS), le facteur W/H (largeur de la boîte de rue/hauteur des bâtiments), selon une base théorique numérique et l'imagerie satellitaire thermique, les transects (logiciel ENVI) et les images de la caméra thermographique. Le première correspond à l'analyse des matériaux de revêtement de surface, le second examine comment les formes construites affectent le **climat** local en modifiant les flux d'air, le transport de chaleur atmosphérique et les bilans de radiation à ondes courtes et longues et le troisième porte sur de l'analyse saisonnière du **champ thermique urbain**. Enfin, les résultats des trois fronts sont contrastés, ainsi que les corrélations statistiques entre les matériaux de surface, les températures et le facteur W / H. Parmi les résultats préliminaires, de l'étape théorique, nous avons environ 2° C de l'augmentation de la température, à Brasília – DF, de 1990 à nos jours, et environ 1° C à partir de 2012, en outre la diminution conséquente de l'humidité et les changements des indices pluviométriques (Institut National de Météorologie-INMET). Les zones les plus chauffées comprennent non seulement les régions les plus densément peuplées, mais aussi les zones de sol exposé ou sous-bois sec, dans des zones peu densément ou même inoccupées. Nous avons remarqué que la présence de végétation, ou non, différencie la température des zones du Plan Pilote en 1°C et des zones des Régions Administratives avoisinantes de 1 à 3° C. Les corrélations entre les matériaux de surface et les températures sont fortes et à la hausse, dans le Plan Pilote, elles étaient en moyenne de 0,94 en août et 0,90 en février Et dans les régions administratives en moyenne 0,89 en août et 0,80 en février. En ce qui concerne les corrélations entre les températures et le facteur W/H, les résultats sont: 0,94 en août et 0,65 en février. Nous concluons que le **climat urbain** peut être influencé en fonction des bonnes pratiques d'occupation du sol, nous réfléchissons que par rapport au champ thermal, la législation qui règle l'utilisation et l'occupation du sol doit être révisée sous de nouveaux paradigmes.

Mots clés: Champ Thermique Urbain, Climat Urbain, Îlots Thermiques Urbains-ICU, Télé-détection.

Lista de Figuras

Figura 1 – Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos.....	14
Figura 2 - Ilha de calor urbana. Esquema das Escalas Vertical e Horizontal.....	24
Figura 3 - Ilha de calor urbana. Esquema da Mesoescala.....	24
Figura 4 - Radiação Solar na superfície da Terra.....	28
Figura 5 - Espectro Eletromagnético.....	29
Figura 6 – Três fases da transmissão de calor nos fechamentos opacos.....	29
Figura 7 – Balanço de Energia entre edifícios.....	30
Figura 8 – Capacidade de absorção e reflexão dos materiais urbanos. SBN, Brasília.....	32
Figura 9 – Liberação, à noite, do calor armazenado.....	35
Figura 10 – Variações da Superfície e das Temperaturas atmosféricas..	35
Figura 11 – Balanço de Energia no Edifício.....	36
Figura 12 – Balanço de Energia entre Edifícios.....	37
Figura 13 – Perfil da Ilha de Calor na região Norte do Plano Piloto do Distrito Federal. Transecto com temperaturas das 10:00 h da manhã da estação verão.....	38
Figura 14 – Relação entre a impermeabilização do solo e o escoamento superficial.....	40
Figura 15 – Altura, Largura e Comprimento do Cânion.....	41
Figura 16 – Fluxo de vento em situações de edifícios altos entre outros mais baixos.....	44
Figura 17 - Ilha de calor urbana atmosférica.....	52
Figura 18 – Linha do Tempo dos Sistemas Sensores.....	55
Figura 19 – Deslocamento do Pico Máximo de Energia em Direção aos Menores Comprimentos de Onda à Medida que a Temperatura do Corpo Aumenta.....	57
Figura 20 – Climograma de Brasília – DF – Normais Climatológicas....	63
Figuras 21 – Gráfico das Normais Climatológicas de Brasília - DF.....	63
Figura 22 – Temperatura Máximas Médias dos Últimos Seis Anos.....	64
Figura 23 – Gráfico dos totais mensais de chuva em janeiro, no período de 1963 a 2017 (em ordem crescente)	66
Figura 24 - Planta de Belo Horizonte. Projeto de Aarão Reis, 1894.....	68
Figura 25 – Plano de Goiânia. Projeto Atílio Correa Lima, 1934.....	70
Figura 26 - Plano Piloto de Brasília. Projeto de Lucio Costa, 1957.....	71
Figura 27 - Distrito Federal e os Sítios.....	72
Figura 28 - Plano Piloto de Brasília, planejado em 1956 e tombado em 1987 pela UNESCO como Patrimônio Mundial.....	73
Figura 29 - Evolução Urbana de Brasília – DF e ortofoto.....	78
Figura 30 - Proposta das Regiões Administrativas de Brasília – DF.....	81
Figura 31 - Foto Aérea de Brasília – DF em 1964.....	82
Figura 32 - Zoneamento de Brasília.....	85
Figura 33 - Setor Bancário Norte - Um dos Centros de Negócios de Brasília.....	86
Figura 34 - Vegetação de Brasília – DF.....	88

Figura 35 - A arborização urbana de Brasília contribuindo com o microclima local.....	89	Figura 50 - Pixel da Imagem Termal.....	121
Figura 36 - A arborização nas Superquadras de Brasília.....	90	Figura 51 - Imagem termal do Quadrilátero de Brasília / DF.....	122
Figura 37 - Eixos de Vias de Brasília – DF.....	91	Figura 52 – Parâmetros de análise dos materiais de revestimentos das superfícies urbanas.....	127
Figura 38 - Rede de Integração do Transporte Público no Distrito Federal.....	93	Figura 53 - Classificação Supervisionada da SQN 206.....	128
Figura 39 - Zoneamento de Brasília – DF.....	95	Figura 54 - Gráfico das Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQN 206.....	128
Figura 40 – Comparação entre as densidades e as populações do Plano Piloto e da RA Ceilândia.....	97	Figura 55 - Classificação Supervisionada da SQN 207.....	129
Figura 41 – Densidade Urbana x Distância do Centro (CBD) – 2015.....	98	Figura 56 - Gráfico das Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQN 207.....	129
Figura 42 - Densidades Urbanas no Distrito Federal em 2015.....	99	Figura 57 - Classificação Supervisionada da SQN 213.....	130
Figura 43 - Densidades por Zona no Distrito Federal em 2015.....	101	Figura 58 - Gráfico das Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQN 213.....	130
Figura 44 – Gráfico da relação entre a intensidade máxima da ilha de calor e a população da América do Norte, Europa e cidades sul americanas.....	102	Figura 59 - Classificação Supervisionada da SQS 108.....	131
Figura 45 – Gráfico da relação entre a densidade urbana das áreas analisadas no DF e as temperaturas máximas de agosto.....	102	Figura 60 - Gráfico das Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQS 108.....	131
Figura 46 – Modelo da Ficha de Dados da Zona Climática Local (LCZ).....	106	Figura 61 - Classificação Supervisionada da SQS 203.....	132
Figura 47 - Imagem da banda Termal do Landsat 8 pré-processada no ENVI.....	119	Figura 62 - Gráfico das Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQS 203.....	132
Figura 48 - Transecto Setor Noroeste - Asa Norte e Parque Olhos D'água - Lago Paranoá.....	120	Figura 63 - Classificação Supervisionada da área Ministérios I.....	133
Figura 49 - Imagem Termal Colorida em função das Temperaturas.....	121	Figura 64 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada da área Ministérios I.....	133
		Figura 65 - Classificação Supervisionada da área Ministérios II.....	134
		Figura 66 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada da área Ministérios II.....	134

Figura 67 - Classificação Supervisionada da área Ministérios III.....	135	Figura 83 - Classificação Supervisionada da RA Águas Claras.....	143
Figura 68 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada da área Ministérios III.....	135	Figura 84 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Águas Claras.....	143
Figura 69 - Classificação Supervisionada do Setor Noroeste.....	136	Figura 85 - Classificação Supervisionada da RA Itapoã.....	144
Figura 70 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada do Setor Noroeste.....	136	Figura 86 - Gráfico das Porcentagens da Classificação Supervisionada da RA Itapoã.....	144
Figura 71 - Classificação Supervisionada do Setor Sudoeste.....	137	Figura 87 - Gráfico Comparativo das Porcentagens da Classificação Supervisionada.....	145
Figura 72 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada do Setor Sudoeste.....	137	Figura 88 - Gráfico Comparativo das Porcentagens de Copa de Árvore.....	146
Figura 73 - Classificação Supervisionada da RA Gama.....	138	Figura 89 - Gráfico Comparativo das Porcentagens de Relvado.....	146
Figura 74 - Gráfico das Porcentagens da Classificação Supervisionada da RA Gama.....	138	Figura 90 - Gráfico Comparativo das Porcentagens de Solo Exposto.....	147
Figura 75 - Classificação Supervisionada da RA Taguatinga.....	139	Figura 91 - Gráfico Comparativo das Porcentagens de Asfalto.....	147
Figura 76 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Taguatinga.....	139	Figura 92 - Gráfico Comparativo das Porcentagens de Sombra.....	148
Figura 77 - Classificação Supervisionada da RA Sobradinho I.....	140	Figura 93 - Gráfico Comparativo das Porcentagens de Laje.....	149
Figura 78 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Sobradinho I.....	140	Figura 94 - Gráfico de Correlação entre Copa de Árvore e NDVI.....	151
Figura 79 - Classificação Supervisionada da RA Sobradinho II.....	141	Figura 95 - Parâmetros de análise do Fator W/H.....	151
Figura 80 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Sobradinho II.....	141	Figura 96 - Fator W/H/L da SQN 206.....	152
Figura 81 - Classificação Supervisionada do Setor Taquari (RA Lago Norte).....	142	Figura 97 - Fator W/H/L da SQN 207.....	153
Figura 82 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada do Setor Taquari.....	142	Figura 98 - Fator W/H/L da SQN 213.....	154
		Figura 99 - Fator W/H/L da SQS 108.....	154
		Figura 100 - Fator W/H/L da área dos Ministérios.....	156
		Figura 101 - Fator W/H/L do Setor Noroeste.....	157

Figura 102 - Fator W/H/L do Setor Sudoeste.....	158	Figura 119 – Correlação entre Temperaturas Máx. de Agosto no DF e Fator W/H.....	221
Figura 103 - Fator W/H/L da Região Administrativa Gama.....	159	Figura 120 – Correlação entre Temperaturas Máx. de Fevereiro no DF e Fator W/H.....	222
Figura 104 - Fator W/H/L da Região Administrativa Taguatinga.....	160	Figura 121 – Transecto em Águas Claras.....	244
Figura 105 - Fator W/H/L da Região Administrativa Sobradinho I.....	161	Figura 122 – Transecto no Gama.....	244
Figura 106 - Fator W/H/L da Região Administrativa Sobradinho II....	162	Figura 123 – Transecto em Itapoã.....	245
Figura 107 - Fator W/H/L do Setor Taquari (RA Lago Norte).....	162	Figura 124 – Transecto na área dos Ministérios I.....	245
Figura 108 - Fator W/H/L da Região Administrativa Águas Claras.....	163	Figura 125 - Transecto na área dos Ministérios II.....	246
Figura 109 - Fator W/H/L da Região Administrativa Itapoã.....	164	Figura 126 - Transecto na área dos Ministérios III.....	246
Figura 110 - Imagens Termiais do Plano Piloto de Brasília – DF.....	167	Figura 127 - Transecto no Setor Noroeste.....	247
Figura 111 – Parâmetros de análise das temperaturas em Graus Celsius (°C).....	169	Figura 128 – Transecto em Sobradinho I.....	247
Figura 112 – Gráfico do ranking das Temperaturas Máx. de Agosto no DF.....	205	Figura 129 – Transecto em Sobradinho II.....	248
Figura 113 – Gráfico das Temperaturas Médias de Agosto em Brasília – DF.....	207	Figura 130 – Transecto na SQN 206.....	248
Figura 114 – Gráfico da Amplitude Térmica em Agosto em Brasília – DF.....	207	Figura 131 - Transecto na SQN 207.....	249
Figura 115 – Gráfico das Temperaturas Médias de Fevereiro em Brasília – DF.....	208	Figura 132 - Transecto na SQN 213.....	249
Figura 116 – Gráfico da Amplitude Térmica em Fevereiro em Brasília – DF.....	208	Figura 133 - Transecto na SQS 108.....	250
Figura 117 – Gráfico do ranking das Temp. Méd. de Agosto em Brasília.....	212	Figura 134 - Transecto na SQS 203.....	250
Figura 118 – Correlação entre Temperaturas Médias de Agosto em Brasília e Materiais de Superfície.....	218	Figura 135 - Transecto no Setor Sudoeste.....	251
		Figura 136 - Transecto em Taguatinga.....	251
		Figura 137 - Transecto no Taquari.....	252
		Figura 138 - Imagem NDVI de Sobradinho I.....	253
		Figura 139 - Imagem NDVI do Setor Sudoeste.....	253

Lista de Quadros

Quadro 1 - Classificação simplificada de formas urbanas distintas organizadas em ordem decrescente aproximada de sua capacidade de impactar o clima.....	21
Quadro 2 – Categorias Taxonômicas da Organização Geográfica do Clima e suas Articulações com o Clima Urbano.....	25
Quadro 3 – Formas de classificação do espaço.....	27
Quadro 4 – Relação de percepção dos edifícios e seus entornos imediatos.....	42
Quadro 5 – Causas das Ilhas de Calor Urbanas.....	47
Quadro 6 – Critérios para um sistema de classificação de clima urbano	48
Quadro 7 – Os primeiros estudos sobre “Ilhas de Calor”	49
Quadro 8 – Estudos recentes sobre “Ilhas de Calor”	49
Quadro 9 – Estudos recentes sobre “Ilhas de Calor”	51
Quadro 10 - Ilha de Calor Urbana de Superfície e Atmosférica.....	53
Quadro 11 – Fotos Aéreas da Evolução Urbana de Brasília – DF.....	77
Quadro 12 – Disposição padrão para os dados de Materiais de Superfícies Urbanas.....	126
Quadro 13 – Disposição Padrão dos dados termais a serem analisados	169
Quadro 14 – Imagens da Área obtidas com a Câmera Termográfica....	169
Quadro 15 – Campo Térmico da SQN 206.....	170
Quadro 16 – Imagens da SQN 206 obtidas com a Câmera Termográfica.....	171
Quadro 17 – Campo Térmico da SQN 207.....	172
Quadro 18 – Imagens da SQN 207 obtidas com a Câmera Termográfica.....	173
Quadro 19 – Campo Térmico da SQN 213.....	174
Quadro 20 – Imagens da SQN 213 obtidas com a Câmera Termográfica.....	175
Quadro 21 – Campo Térmico da SQS 108.....	176
Quadro 22 – Imagens da SQS 108 obtidas com a Câmera Termográfica.....	177
Quadro 23 – Campo Térmico da SQS 203.....	178
Quadro 24 – Imagens da SQS 203.....	179
Quadro 25 – Campo Térmico da Área dos Ministérios I.....	180
Quadro 26 – Imagens da Área dos Ministérios I obtidas com a Câmera Termográfica.....	181
Quadro 27 – Campo Térmico da Área dos Ministérios II.....	182
Quadro 28 – Imagens da Área dos Ministérios II obtidas com a Câmera Termográfica.....	183
Quadro 29 – Campo Térmico da Esplanada dos Ministérios III.....	184
Quadro 30 – Imagens da Área dos Ministérios III obtidas com a Câmera Termográfica.....	185
Quadro 31 – Campo Térmico do Setor Noroeste.....	187
Quadro 32 – Imagens do Setor Noroeste obtidas com a Câmera Termográfica.....	188
Quadro 33 – Campo Térmico do Setor Sudoeste.....	189

Quadro 34 – Imagens do Setor Sudoeste obtidas com a Câmera Termográfica.....	190
Quadro 35 – Campo Térmico da Região Administrativa do Gama.....	191
Quadro 36 – Imagens da Região Administrativa Gama obtidas com a Câmera Termográfica.....	192
Quadro 37 – Campo Térmico da Região Administrativa Taguatinga...	193
Quadro 38 – Imagens da Região Administrativa Taguatinga obtidas com a Câmera Termográfica.....	194
Quadro 39 – Campo Térmico da Região Administrativa Sobradinho I.....	195
Quadro 40 – Imagens da Região Administrativa Sobradinho I obtidas com a Câmera Termográfica.....	196
Quadro 41 – Campo Térmico da Região Administrativa Sobradinho II.....	197
Quadro 42 – Imagens da Região Administrativa Sobradinho II obtidas com a Câmera Termográfica.....	198
Quadro 43 – Campo Térmico do Setor Taquari - Região Administrativa do Lago Norte.....	199
Quadro 44 – Imagens do Setor Taquari (Região Administrativa Lago Norte) obtidas com a Câmera Termográfica.....	200
Quadro 45 – Campo Térmico da Região Administrativa de Águas Claras.....	201
Quadro 46 – Imagens da Região Administrativa Águas Claras obtidas com a Câmera Termográfica.....	202
Quadro 47 – Campo Térmico da Região Administrativa Itapoã.....	203

Quadro 48 – Imagens da Região Administrativa Itapoã obtidas com a Câmera Termográfica.....	204
Quadro 49 -Belo Horizonte – Imagem termal Banda 10 Landsat 8 - 20 de Agosto de 2017.....	262
Quadro 50 - Goiânia - Imagem termal Banda 10 Landsat 8 - 01 de setembro de 2017.....	263
Quadro 51 - Palmas – Imagem termal Banda 10 Landsat 8 - 16 de Agosto de 2017.....	264
Quadro 52 - Nova York – Imagem termal Banda 10 Landsat 8 - 27 de outubro de 2017.....	265
Quadro 53 - Cingapura – Imagem termal Banda 10 Landsat 8 - 15 de dezembro de 2017.....	266

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Albedo de Áreas Urbanas Típicas.....	31
Tabela 2 – Albedo e Emissividade de Superfícies Seleccionadas.....	33
Tabela 3 – Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas).....	34
Tabela 4 – Comprimento de Onda e Resolução das Bandas do Landsat 8.....	56
Tabela 5. Dados Geográficos de Brasília / DF.....	62
Tabela 7 - Dados climáticos de Brasília/DF, provenientes de Estações Convencionais.....	64
Tabela 9 – Marcos Legais da Gestão Urbana do Distrito Federal.....	74
Tabela 10 – Densidade Urbana x Distância do Centro (CBD) – 2015....	97
Tabela 11 – Densidade Urbana por Região Administrativa do Distrito Federal (hab./há) – Ranking – 2015.....	100
Tabela 12 – Relação entre a densidade urbana das áreas analisadas no DF e as temperaturas máximas de Agosto.....	102
Tabela 13 – Ficha de Dados da Zona Climática Local.....	107
Tabela 14 – Tabela de Classificação das LCZ's e correspondência com as áreas analisadas em Brasília – DF.....	108
Tabela 15 – Tabela de Subclasses das Zonas Climáticas Locais.....	109
Tabela 16 - Classificação de Davenport para rugosidade do terreno e correspondência LCZ.....	110

Tabela 17 – Síntese dos valores das propriedades geométricas e de cobertura superficial das zonas climáticas locais. Todas as propriedades são sem unidade, exceto a altura dos elementos de rugosidade (m).....	111
Tabela 18 – Síntese dos valores das propriedades térmicas, radiativas e metabólicas das zonas climáticas locais.....	111
Tabela 19 - Características do Landsat 8.....	115
Tabela 20 – Legenda e Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQN 206.....	128
Tabela 21 – Legenda e Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQN 207.....	129
Tabela 22 – Legenda e Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQN 213.....	130
Tabela 23 – Legenda e Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQS 108.....	131
Tabela 24 – Legenda e Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQS 203.....	132
Tabela 25 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada Área dos Ministérios I.....	133
Tabela 26 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada Área dos Ministérios II.....	134
Tabela 27 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada Área dos Ministérios III.....	135
Tabela 28 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada do Setor Noroeste.....	136
Tabela 29 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada do Setor Sudoeste.....	137

Tabela 30 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Gama.....	138
Tabela 31 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Taguatinga.....	139
Tabela 32 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Sobradinho I.....	140
Tabela 33 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Sobradinho II.....	141
Tabela 34 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada do Setor Taquari.....	142
Tabela 35 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Águas Claras.....	143
Tabela 36 – Legenda e Porcentagens da Classificação Supervisionada da RA Itapoã.....	144
Tabela 37 – Correlação entre NDVI e Porcentagem de Copa de Árvore.....	150
Tabela 38 – Tabela dos Fatores W/H/L da SQN 206.....	152
Tabela 39 – Tabela dos Fatores W/H/L da SQN 207.....	153
Tabela 40 – Tabela dos Fatores W/H/L da SQN 213.....	154
Tabela 41 – Tabela dos Fatores W/H/L da SQS 108.....	155
Tabela 42 – Tabela dos Fatores W/H/L da SQS 203.....	155
Tabela 43 – Tabela dos Fatores W/H/L da Área dos Ministérios.....	156
Tabela 44 – Tabela dos Fatores W/H/L do Setor Noroeste.....	157
Tabela 45 – Tabela dos Fatores W/H/L do Setor Sudoeste.....	158

Tabela 46 – Tabela dos Fatores W/H/L da Região Administrativa do Gama.....	159
Tabela 47 – Tabela dos Fatores W/H/L da Região Administrativa Taguatinga.....	160
Tabela 48 – Tabela dos Fatores W/H/L da Região Administrativa Sobradinho I.....	161
Tabela 49 – Tabela dos Fatores W/H/L da Região Administrativa Sobradinho II.....	162
Tabela 50 – Tabela dos Fatores W/H/L do Setor Taquari (Região Administrativa Lago).....	163
Tabela 51 – Tabela dos Fatores W/H/L da Região Administrativa Águas Claras.....	163
Tabela 52 – Tabela dos Fatores W/H/L da Região Administrativa Itapoã.....	164
Tabela 53 – Tabela do fator W/H/L das 17 áreas analisadas.....	166
Tabela 54 – Tabela Síntese dos Resultados da Porcentagem de Materiais, Fator W/H, Temp. Méd. Agosto e Temp. Méd. Fevereiro.....	213
Tabela 55 – Tabela do Ranking das Temperaturas de Agosto - Materiais e Fator W/H.....	214
Tabela 56 – Tabela das Correlações entre Materiais e Temp. da Á. Ministérios I.....	218
Tabela 57 – Tabela das Correlações entre Materiais e Temperaturas das Áreas analisadas do Plano Piloto.....	219
Tabela 58 – Tabela das Correlações entre Materiais e Temperaturas das Áreas analisadas das Regiões Administrativas.....	220
Tabela 59 – Tabela das Correlações entre Fator W/H e Temperaturas Agosto.....	221

Tabela 60 – Tabela das Correlações entre Fator W/H e Temperaturas Fevereiro.....	222
Tabela 61 –Temperaturas do mês de Fevereiro de 2016 dos Transectos obtidos nas imagens termais Landsat.....	255
Tabela 62 –Temperaturas do mês de Agosto de 2016 dos Transectos obtidos nas imagens termais Landsat.....	256
Tabelas 63 - Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas da SQN 206.....	257
Tabelas 64 - Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas da SQN 207.....	257
Tabelas 65 - Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas da SQN 213.....	258
Tabelas 66 - Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas da SQS 108.....	258
Tabelas 67 - Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas da SQS 203.....	258
Tabelas 68 - Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas dos Ministérios I.....	258
Tabelas 69 - Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas dos Ministérios II.....	259
Tabelas 70 - Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas dos Ministérios III.....	259
Tabelas 71 - Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas do Setor Noroeste.....	259
Tabelas 72 - Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas do Setor Sudoeste.....	259

Tabelas 73 - Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas da RA Gama.....	260
Tabelas 74 - Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas da RA Taguatinga.....	260
Tabelas 75 - Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas da RA Sobradinho I.....	260
Tabelas 76 - Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas da RA Sobradinho II.....	260
Tabelas 77 - Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas da RA Taquari.....	261
Tabelas 78 - Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas da RA Águas Claras.....	261
Tabelas 79 – Correlações entre materiais de superfície urbana e Temperaturas da RA Itapoã.....	261

Lista de Equações

$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + Q_G + \Delta Q_S$ Equação 1.....36

$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$ Equação 2.....37

$p + F + I = E + \Delta r + \Delta S + \Delta A$ Equação 3.....37

*Convecção + Evaporação + Armazenamento de Calor =
Calor Antropogênico + Saldo de Radiação* Equação 4.....50

*Saldo de Radiação =
Radiação Solar Global - Radiação Solar Refletida +
Radiação Atmosférica – Radiação da Superfície* Equação 5.....51

$\lambda_m = A/T$ Equação 6.....57

$$K = \frac{Po - Pc}{1 - Pc} \quad (1)$$

$$Po = \frac{\sum_{i=1}^M n_{ii}}{N} \quad (2)$$

$$Pc = \frac{\sum_{i=1}^M n_{i+} n_{+i}}{N^2} \quad (3)$$

Equação 7.....113

$NDVI = IR - R / IR + R$ Equação 8.....114

$L\lambda = MLQ_{cal} + AL$ Equação 9.....118

$T = \frac{K_2}{\ln [(K_1 / L\lambda) + 1]}$ Equação 10.....118

$B1 - 273.15$ Equação 11.....119

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Equação 12....217

Lista de Abreviaturas e Siglas

ACV Análise do Ciclo de Vida

APA Área de Preservação Ambiental

ASTER Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

BDMEP Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa

BEM Building Energy Models

BIM Building Information Modeling

BV Brightness Value ou Valor de Brilho

CBD Central Business District

CFD Computational Fluid Dynamics ou Dinâmica dos Fluidos Computacional

CODEPLAN Companhia de Planejamento do Distrito Federal

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente

DF Distrito Federal

DN Digital Number ou Número Digital

EIV Estudo de Impacto de Vizinhança

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ENVI Environment for Visualizing Images

EPA United States Environmental Protection Agency

ESALQ Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

FAU Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

FVC Fator de Visão do Céu

GPS Global Position System

HSS Hyperspectral Scanner System

H/W Height/Wide

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBRAM Instituto Brasília Ambiental

ICS Instituto de Ciências Sociais

ICU Ilhas de Calor Urbanas

IDH Índice de Desenvolvimento Humano

IEA Instituto de Estudos Avançados da USP

IG Instituto de Geociências

IGBP International Geosphere Biosphere Programme

IHDP - International Human Dimensions Programme

INMET Instituto Nacional de Meteorologia

INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPEA Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

IR Infrared (Infra vermelho próximo)

IRMSS Infrared Multispectral Scanner

LASUS Laboratório de Sustentabilidade Aplicada à Arquitetura e Urbanismo

MBA Master Business Administration

MCM Micro Climate Models

MM Modelagem da Mesoescala

MODIS Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer

NASA National Aeronautics and Space Administration

NDVI Normalized Difference Vegetation Index

OMM Organização Mundial de Meteorologia

OMS Organização Mundial de Saúde

ONU Organização das Nações Unidas

PD Plano Diretor

PDAD Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílio

PDL Plano Diretor Local

PDOT Plano Diretor de Ordenamento Territorial

PLC Projeto de Lei da Câmara

PLURIS Congresso de Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável

PMV Predicted Medium Vote ou Voto Médio Predito

PNUD Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

POT Plano de Ocupação Territorial

PP Plano Piloto

PPCUB Plano de Preservação do Conjunto Urbanístico

PPD Predicted Percentual Dissatisfaction

PPG Programas de Pós-Graduação

PPGSOL Programa de Pós-Graduação em Sociologia

PROTERM Projeto de Monitoramento do Campo Térmico de Brasília - DF

QGIS Quantum Gis

r Coeficiente de Correlação de Pearson

R² Coeficiente de Determinação

RA Região Administrativa

RFAA Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida

REM Radiação Eletromagnética

RIMA Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente

RSL Roughness Sublayer ou Subcamada da Rugosidade

RVU Rede Verde Urbana

SBN Setor Bancário Norte

SCU Sistema de Clima Urbano

SEGETH Secretaria do Estado de Gestão do Território e Habitação

SICAD Sistema Cartográfico do DF

SIG Sistema de Informação Geográfica

SQN Superquadra Norte

SQS Superquadra Sul

SR Simple Ratio ou Razão Simples

SVF Sky View Factor ou Fator Visão do Céu

SWIR Short Wave Infrared ou Ondas Curtas do Infravermelho

TIR Thermal Infrared ou Infravermelho Termal

TM Thematic Mapper ou Mapa Temático

TSM Temperatura de Superfície Medida

UBL Urban Boundary Layer ou Camada Limite Urbana

UCL Urban Canopy Layer ou Camada do Dossel Urbana

UCZ Urban Climate Zone ou Zona Climática Urbana

UHI Urban Heat Island ou Ilha de Calor Urbana

UnB Universidade de Brasília

USGS United States Geological Survey ou Centro de Pesquisas Geológicas dos Estados Unidos

USP Universidade de São Paulo

VMP Voto Médio Predito

VNIR Visible / Near Infrared ou Visível no Infravermelho proximo

WCRP - World Climate Research Programme

W/H Wide/Height ou lagura / altura

Preâmbulo

Esta tese é fruto da pesquisa desenvolvida no Programa de Pós-Graduação (PPG) em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade de Brasília (UnB), na linha de pesquisa Ambiente, Tecnologia e Sustentabilidade. Os estudos foram desenvolvidos com o apoio do Laboratório de Sustentabilidade Aplicada a Arquitetura e ao Urbanismo (LASUS), onde participo como pesquisadora desde 2007, cujo grupo de pesquisa é liderado pela Professora Titular da FAU Marta Romero e orientadora desta tese.

Entre as disciplinas cursadas na (FAU), as que mais somaram ao tema da tese foram: Bioclimatismo na Arquitetura e Urbanismo - da prof. Marta Romero, Planejamento Urbano e Regional no Brasil - do prof. Benny Schvarsberg, Cidades e Sociabilidades Urbanas - do prof. Brasilmar Nunes (ICS), Metropolização Brasileira - do prof. Rômulo Ribeiro e Urbanismo Sustentável - da prof. Marta Romero. A primeira Conferência de impacto à pesquisa foi o PLURIS de 2014 em Lisboa.

No primeiro semestre de 2015 foram desenvolvidos estudos durante a disciplina Fundamentos de Sistemas Sensores, do professor Gustavo Baptista, no Programa de Pós-Graduação (PPG) do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília (IG-UnB), junto aos alunos Marcell Terra e Khalil Ganem, onde foram realizados os primeiros experimentos utilizando imagens térmicas do Landsat para esta tese.

Em 2016, no contato com a prof. Magda Lombardo e o Dr. Jefferson Polizel, do Laboratório de Métodos Quantitativos - ESALQ USP - em Piracicaba - SP, surge a classificação supervisionada dos materiais de superfícies urbanas, como um importante método de análise em conjunto aos dados de temperaturas.

Neste contexto, a presente tese de arquitetura e urbanismo assume caráter interdisciplinar, em que busca na geociência a compreensão do clima na escala urbana e busca nas ferramentas de geotecnologia e na estatística, as ferramentas e métodos precisos para avaliação e monitoramento ambiental urbano. Vale destacar, o comprometimento com a construção, reabilitação e desenvolvimento de cidades alinhadas aos preceitos da sustentabilidade urbana. Assim, o caráter inovador desta tese está em utilizar ferramentas de geotecnologias para relacionar o tema do campo térmico urbano aos parâmetros precisos de qualidade ambiental, do ponto de vista da arquitetura e do urbanismo.

Esses temas são tratados na manipulação de um problema-chave da pesquisa, o fenômeno Ilhas de Calor Urbanas, comparando-se áreas urbanas com áreas rurais, desviando-se do senso comum, que trata as comparações entre áreas rurais e urbanas. As temáticas são tratadas no discurso teórico e projetadas no arcabouço da tese com uma visão prospectiva e prática, experimentando a técnica e buscando oferecer respostas objetivas aos problemas urbanos do desconforto térmico proveniente de arranjos urbanísticos não adaptados ao clima do lugar.

Estrutura da Tese

Esta tese está constituída de **introdução, seis capítulos e conclusão**. Os seis capítulos foram organizados em três partes.

A **parte I** é composta por três capítulos conceituais, que se dedicam aos antecedentes teóricos e ao estabelecimento do contexto climático no qual foi desenvolvida a pesquisa. Nesta parte são apresentados os eixos temáticos tratados durante a tese: clima urbano, ilhas de calor e uso de imagens termais sensoramento remoto, além de apresentar-se o Distrito Federal enquanto contexto climático.

O **primeiro capítulo** trata da temática mais específica da tese, o clima urbano, aborda as escalas climáticas de análise, as trocas térmicas, a morfologia urbana e o calor antropogênico. Neste capítulo, são destacados os tópicos da morfologia urbana trabalhados durante a pesquisa. O **segundo capítulo** apresenta a temática do fenômeno ilhas de calor, as formas de mitigação e monitoramento, onde é abordado o uso de imagens termais de sensoramento remoto voltadas à avaliação do campo térmico urbano. O **terceiro capítulo** contextualiza o Distrito Federal e a ocupação do território urbano, caracterizando-o do ponto de vista geográfico, bioclimático, histórico e morfológico.

A **parte II** tem caráter metodológico e ferramental, composta pelo **quarto capítulo**, que apresenta os procedimentos metodológicos, os conceitos de classificação das zonas climáticas locais, a análise dos materiais de superfícies urbanas, com a classificação supervisionada e o índice de vegetação da diferença normalizada, a análise da morfologia urbana e o processamento preliminares das imagens Landsat.

A **parte III** compõe-se pelos capítulos cinco e seis. O **quinto capítulo** dedica-se à análise do campo térmico urbano propriamente dito. Neste capítulo os métodos de análise, definidos no capítulo anterior, são aplicados à cidade objeto de estudo, Brasília – DF. Os dados são apresentados, sistematizados, organizados em quadros e analisados. Os dados expostos neste capítulo são provenientes dos levantamentos e geoprocessamentos realizados no decorrer da tese. No **sexto e último capítulo** apresentam-se as correlações estatísticas entre as temperaturas e os materiais de superfícies urbanas e entre temperaturas e o fator W/H. O propósito deste capítulo é comprovar a relação existente entre as temperaturas, os materiais de superfícies urbanas e a morfologia urbana.

Ao final, apresenta-se as **conclusões** da tese, as principais contribuições, a originalidade da pesquisa, as dificuldades encontradas e as recomendações para trabalhos futuros.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	01
I Justificativa.....	11
II Objetivos.....	13
III Procedimentos Metodológicos.....	14

PARTE I

1. Clima Urbano	19
1.1. Escalas de Análise	22
1.2. Trocas Térmicas	28
Balanço de Energia no Edifício	
Balanço de Energia entre os edifícios (escala urbana)	
Evapotranspiração e a presença de vegetação na cidade	
1.3. Morfologia Urbana	41
Fator W/H/L e Cânions Urbanos	
Fator Visão de Céu	
Adensamentos, Rugosidade e Porosidade	
Materiais de Superfície	
1.4. Calor Antropogênico	45
1.5. Considerações Finais do Capítulo	46
2. Ilhas de Calor Urbanas	47
2.1. Mitigação de Ilhas de Calor Urbanas	53
2.2. Imagens Termiais de Sensoriamento Remoto	54
2.3. Considerações Finais do Capítulo	60
3. Brasília - DF: dados, características e processos	62
3.1. Brasília em Dados Geográficos	62
3.2. O clima de Brasília	62
3.3. O Legado histórico de Brasília e a ocupação do território do DF	67
3.4. Aspectos Morfológicos de Brasília	83

Setor Bancário Norte (SBN) em Brasília	
3.5. O legado das Cidades Verdes	87
A arborização das ruas de Brasília	
3.6. Sistema Viário, Centralidades e Adensamentos	90
3.7. Considerações Finais do Capítulo	103

PARTE II

4. Procedimentos metodológicos e ferramentais para o estudo de Ilhas de Calor	105
4.1. Sistema de Classificação das Zonas Climáticas Locais	105
4.2. Análise dos Materiais de Superfícies Urbanas	112
4.2.1. Classificação Supervisionada dos Materiais de Superfícies Urbanas	112
4.2.2. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI	114
4.3. Análise da Morfologia Urbana	114
4.4. Processamento das imagens Landsat	115
Características do Landsat 8	
Características do Landsat 5	
Exemplo de aplicação do método na cidade de Brasília - DF	
Transecto	
Análise dos resultados preliminares obtidos em Brasília - DF	
4.5. Correlações Estatísticas	122
4.6. Considerações Finais do Capítulo	123

PARTE III

5. O campo térmico urbano de Brasília – DF: Ilhas de Calor em Brasília – DF	126
5.1. Análise dos Materiais de Superfícies Urbanas de Brasília – DF	127

5.1.1. Síntese dos Resultados das Classificações Supervisionadas.....	146
5.1.2. Correlação entre o NDVI e Copa de Árvore.....	151
5.2. Análise da Morfologia Urbana de Brasília – DF.....	152
5.2.1. Síntese dos Resultados para o fator W/H...166	
5.3. Análise do Campo Térmico Urbano de Brasília – DF	168
5.3.1. Síntese das Temperaturas de Superfície encontradas.....	206
5.4. Considerações Finais do Capítulo.....	209
6. Correlações Estatísticas Aplicadas.....	218
6.1. Correlações entre Materiais e Temperaturas Superficiais Urbanas.....	218
Coeficiente de Correlação - Plano Piloto	
Coeficiente de Correlação - Regiões Administrativas	
6.1.1. Síntese dos resultados das correlações entre materiais e temperaturas.....	221
6.2. Correlação entre o fator W/H e Temperatura.....	222
6.3. Considerações finais do capítulo.....	224
7. Considerações Finais.....	225
Referências.....	233
Anexos.....	244

INTRODUÇÃO

No contexto do desenvolvimento sustentável na arquitetura e no urbanismo, apresentam-se importantes demandas, dado o crescimento de algumas cidades brasileiras. Crescimento denota processo e história, e no caso da relação entre o homem e a cidade, seguem em paralelo a história do homem com o meio ambiente e a história do homem com a energia, sendo estes os pilares do presente trabalho. A gestão das cidades do século XXI tem foco na coleta seletiva de lixo, na poluição do ar e dos cursos d'água, no efeito estufa, mas ainda não tem soluções suficientes para a multiplicação progressiva dos problemas ambientais por ela mesma criados. A alteração das características naturais do clima nas áreas urbanas, tais como a diminuição da umidade e dos fluxos de vento, além da elevação da temperatura, produzindo o denominado clima urbano, é também uma forma de impacto.

A história da relação entre o homem e a natureza tem marcos importantes e ainda passa por mudanças nos dias atuais. Em relação à vegetação nativa nas cidades e entorno, por exemplo, até o final do Século XIX as preocupações eram sanitaristas, a ideia era de que a “natureza devia ser domada”. No início do Século XX havia ainda a preocupação higienista, originando a escala bucólica das cidades jardim, contudo o cenário foi marcado por um período pós-guerra de fome e retrocesso. Entre as décadas de 50 e 60 aparecem as ideias modernistas. Já na década de 70,

com o afloramento das questões de cunho ambiental, a interferência à natureza começa a ser questionada. Nos anos 80 ocorre então, um “*start*” ecológico na composição dos espaços. O paisagismo, por exemplo, que sempre foi uma expressão artística forte e inequívoca, configura-se agora sob outros aspectos (SPIRN, 1995; FRANCO, 1997). Manifesta-se nesta época a visão ecossistêmica.

O conceito de Ecossistema, desonerando a “natureza intocada”, “inimiga”, foi proposto pela primeira vez pelo ecologista britânico Arthur Tansley, em 1935. Em 1965, Eugene Odum, ampliou o conceito, relacionando-o à sucessão e às trocas de energia. O ecossistema seria um conjunto de fatores e relações a serem definidos como um sistema. Fatores energéticos, bióticos, abióticos e das dinâmicas dos materiais. A cidade faz parte de um ecossistema e, analogamente, ela por si só o caracteriza.

Em 1972, James Lovelock propõe a Teoria de Gaia, a lógica de que um pequeno ecossistema serve para um sistema maior. A terra como um grande ecossistema auto-regulador. Neste mesmo ano, em Estocolmo, a Conferência das Nações Unidas teve influência preponderante nas tomadas de decisões em relação ao meio ambiente. Foi palco do surgimento da ideia do desenvolvimento sustentável. O conceito da Sustentabilidade, contudo, está até hoje em construção e tem sido por diversos aspectos divergente quanto à questão ecológica. Medidas

sustentáveis nem sempre são ecológicas ou vice-versa. Assim como medidas ecológicas nem sempre são ecossistêmicas. A interface entre estes conceitos tem limiares muito sensíveis e requer cuidado.

Em 1987, a Primeira Ministra da Noruega estabelece o Relatório de Brundtland, também conhecido como: O Nosso Futuro Comum, deu origem aos demais movimentos do Desenvolvimento Sustentável, incluindo a Rio 92, com a elaboração da Agenda 21, a Rio +10, a Rio +20, entre outros marcos. A questão ambiental requer uma mudança comportamental nas diversas áreas de atuação, fazendo surgir uma nova concepção em termos do que seriam os recursos de uma nação. O novo conceito de capital social, econômico, tecnológico e ambiental corresponde ao que se propõe no presente trabalho, onde identificamos que no espaço urbanos existe uma interação entre todos os capitais.¹

¹ O Relatório de Brundtland propôs outros conceitos que estão começando a arraigar na consciência do século XXI. O primeiro é a noção de capital, adotada para toda fonte mundial de recursos que deva ser gerenciada racionalmente. Existem cinco tipos principais de capital:

- Social;
- Econômico;
- Tecnológico;
- Meio ambiental;
- Ecológico.

O capital social é um conceito consagrado desde o tempo, que no contexto do desenvolvimento sustentável, nos permite relacionar os conhecimentos e a educação com o uso dos recursos meio ambientais. (...); a noção de capital econômico é o conceito melhor acreditado no âmbito dos recursos financeiros e um princípio político

No âmbito do capital ambiental, a forma como o homem se apropria do território demanda mais ou menos energia, a depender da performance estabelecida. Sabemos que a arquitetura sustentável é a criação de edifícios “eficientes quanto ao consumo de energia, saudáveis, cômodos, flexíveis no uso e desenhados para ter uma longa vida útil” (EDWARDS, 2004. p. 07). Trazendo este conceito para o contexto urbano, a sustentabilidade está alicerçada no baixo consumo energético. O processo de ocupação das áreas urbanas das cidades brasileiras, contudo, desconsidera alguns fundamentos importantes, promovendo a retirada total da vegetação nativa, a impermeabilização do solo e os adensamentos. Estas ações conduzem às alterações climáticas, provocando a formação das ilhas de calor urbanas, que por sua vez induzem ao aumento do consumo de energia.

fundamental de ordem mundial durante ao menos os últimos 100 anos. (...); Mediante o capital tecnológico transformamos matérias primas e outros recursos em produtos úteis para os seres humanos (carros, edifícios, etc.). (...) A tecnologia nunca permanece estática, sobretudo em um momento de pressão sobre o meio ambiente. O desenvolvimento sustentável exige novos conhecimentos e novas tecnologias; Capital meio ambiental é o término que se utiliza para quantificar todos os recursos da Terra. Inclui combustíveis fósseis, água, solo e minerais, assim como uma série de potenciais ou capacidades, entre elas a agricultura, a pesca, a exploração florestal e a energia renovável. (...); o término ‘capital ecológico’, com o que nos referimos aos habitats, espécies e ecossistemas (...). Na atualidade, o capital ecológico continua sendo o sistema mencionado mais frágil, mal entendido e esquecido pelos governos, as empresas e os indivíduos. (EDWARDS, 2004. p. 8, 9 e 10)

Desde o Relatório da Comissão Brundtland, uma série de medidas deveriam ser tomadas pelos países para promover o desenvolvimento sustentável. Entre elas:

- A **diminuição do consumo de energia** e desenvolvimento de tecnologias com uso de fontes energéticas renováveis;
- O **controle da urbanização desordenada** e integração entre campo e cidades menores.

No começo dos anos 80 inicia-se uma preocupação mundial com a modificação da Atmosfera, quando surge o Programa Mundial de Pesquisa Climáticas em função inicial de estudar o El Niño². Nobre (2018) destaca os três Programas marcos deste processo:

² Os fenômenos *El Niño* são alterações significativas de curta duração (15 a 18 meses) na distribuição da temperatura da superfície da água do Oceano Pacífico, com profundos efeitos no clima. (...). O *El Niño* foi originalmente reconhecido por pescadores da costa oeste da América do Sul, observando baixas capturas, à ocorrência de temperaturas mais altas que o normal no mar, normalmente no fim do ano – daí vem a designação, que significa “O Menino”, referindo-se ao “Menino Jesus”, relacionado com o Natal. La Niña é o fenômeno inverso, caracterizado por temperaturas anormalmente frias, também no fim do ano, na região equatorial do Oceano Pacífico, muitas vezes (mas não sempre) seguindo-se a um El Niño. (...).

(...) Os ventos alísios ao soprar no sentido leste-oeste, resfriam a superfície do mar próxima ao litoral do Peru e, de certa forma, “empurram” as águas mais quentes na direção contrária, caracterizando uma diferença de temperatura entre as duas regiões. Então, na região de águas mais quentes ocorre a evaporação mais rápida da água e a formação de nuvens. Para isso, ou seja, para formar as nuvens, o ar quente sobe ao mesmo tempo em que o ar mais frio desce na região oposta, formando o fenômeno que os meteorologistas chamam de “célula de circulação de Walker”. A ocorrência deste

WCRP - World Climate Research Programme - Programa voltado para o clima, criado em 1980;

IGBP – International Geosphere Biosphere Programme³ - Instituto Internacional criado em 1987, cujo objetivo é estudar a Terra incluindo o processo civilizatório;

IHDP - International Human Dimensions Programme, criado em 1990.

No início dos anos 2000 surgiu a necessidade de alinhamento dos programas, que existiam em paralelo e continuaram a avançar. Em 2009 iniciou-se a necessidade de um Programa Integrativo, quando surge o Future Earth (soma de 3 Programas). E em 2015, o Acordo de Paris caracteriza o mais recente marco das discussões climáticas entre as

outro fenômeno forma outro, conhecido como “ressurgência”, ou, afloramento das águas frias do oceano à superfície, dando continuidade ao ciclo.

(...) as massas de ar quentes e úmidas acompanham a água mais quente, provocando chuvas excepcionais na costa oeste da América do Sul e secas na Indonésia e Austrália. Pensa-se que este fenômeno é acompanhado pelo deslocamento de massas de ar pelo globo, provocando alterações do clima em todo o mundo. Por exemplo, durante um ano com El Niño, o inverno é mais quente que a média nos estados centrais dos Estados Unidos, enquanto que nos do sul há mais chuva; por outro lado, os estados do noroeste do Pacífico (Oregon, Washington, Colúmbia Britânica) têm um inverno mais seco. Os verões excepcionalmente quentes na Europa e as secas em África parecem estar igualmente relacionadas com o aparecimento do El Niño.

³ IGBP foi lançado em 1987 para coordenar a investigação internacional sobre interações de escala global e à escala regional entre biológica, processos físicos suas interações com sistemas humanos química da Terra. Esse Programa vê o sistema Terra como física da Terra natural, produtos químicos e os ciclos biológicos e processos e as dimensões sociais e econômicas.

nações. Líderes baixaram de 2°C para 1,5°C, o limite de temperatura que mantem a Groenlândia como geleira (NOBRE, 2018). Uma medida que simboliza o resultado das alterações climáticas. Embora tratem de escalas extremamente diferentes, para a abordagem do clima urbano é de fundamental importância a compreensão deste contexto global do clima. Não só do ponto de vista geofísico, mas do ponto de vista das questões diplomáticas e das decisões de influências coletivas.

No presente estudo, interessa-nos a escala local do clima, ou escala da cidade, especificamente a escala do clima urbano de Brasília – DF. No caso do Brasil, país tropical, onde parte das cidades têm baixas e médias latitudes, o aquecimento das áreas urbanas, que é provocado também pelas atividades antrópicas, demanda o resfriamento mecânico dos ambientes internos aos edifícios, nos períodos mais quentes do ano. Os próprios aparelhos condensadores de ar emitem calor para a área externa entre os edifícios, provocando o aquecimento das áreas urbanas. Experiências internacionais, contudo, demonstram que é possível utilizar menos ar condicionado.

Gartland (2010) expõe exemplos de cidades que empenharam-se em analisar e mitigar o fenômeno ilhas de calor, tais como em áreas urbanas em Phoenix, no Arizona e Negev, em Israel, que tendem a apresentar níveis de evaporação mais elevados do que os desertos que as cercam por

terem sido planejadas com muitas árvores e gramados que são molhados e irrigados regularmente.

Em Cingapura, desde a década de 60 o plano de transformação da Cidade-Estado, baseado em conceitos de sustentabilidade, norteou o desenvolvimento em todos os sentidos e principalmente no ambiental, tornando-se referência para outras cidades. Assim, observamos em Cingapura este satisfatório resultado da intensa presença de vegetação. A umidade beneficiada pela evapotranspiração reduz o efeito do calor. Note-se que a posição geográfica de Cingapura é semelhante à de Belem do Pará, no Brasil. Esta com latitude próxima a 1°S e aquela com latitude próxima a 1°N.

As ilhas de calor contribuem para a formação de grandes e volumosas nuvens de chuva. Por isso, a inundação, em certa medida, é culpa do homem. E parte dessa culpa tem a ver com o desleixo com que se tem lidado com um importante fenômeno meteorológico: o aquecimento local, caracterizado por pequenas variações de temperatura entre regiões de uma mesma cidade, que viraram enormes com o aumento das intervenções humanas. Em 2007, estudo da Universidade Estadual Paulista (Unesp) observou, em setembro, recorde na diferença de temperatura entre bairros paulistanos: 12°C, o dobro do já registrado em Nova York. Enquanto os termômetros do Centro marcavam 32°C, os da Serra da Cantareira mostravam 20°C.

A cidade de Sacramento, na Califórnia, que em escala menor sofria com os mesmos problemas, conseguiu reverter o quadro em menos de uma década. "Eles investiram na distribuição da vegetação. Hoje 30% da área da cidade é verde e a temperatura média caiu em 2°C". Berlim é também um exemplo de boas práticas no sentido de viabilizar a saúde na cidade, com a arborização bem distribuída espacialmente em 40% da área urbana, em lotes livres (LOMBARDO, 2018).

Cidades como Washington, Chicago (Illinois), Portland (Oregon), e Seattle (Washington) desenvolveram bons programas de arborização urbana. "Madison, em Wisconsin, é uma das melhores cidades nos Estados Unidos no que diz respeito à silvicultura urbana; eles têm um sistema em vigor há décadas" (HEIKKINEN, 2014). A silvicultura (arborização) urbana é a estratégia utilizada para tornar estas cidades mais frescas.

A baixa umidade relativa do Distrito Federal requer atenção redobrada dos gestores, uma vez que relaciona-se aos problemas de saúde pública. O número de doenças respiratórias multiplica-se nos períodos secos. Quando compreendemos que as atividades humanas influenciam e contribuem para a alteração desta umidade, despertamos para a importância de ações bem orquestradas em relação à ocupação do território urbano. A retirada da vegetação, a impermeabilização do solo e os adensamentos aceleram o processo de desertificação do clima,

enquanto o plantio de arborização densa contribui com a qualidade e umidade do ar.

É importante lembrar o posicionamento do Lago Paranoá, favorável aos ventos predominantes, de maneira a levar umidade para o Plano Piloto. A topografia, o vento e a água em sincronia para beneficiar a saúde dos habitantes. Os cinturões verdes das Superquadras, com copas de árvores densas, representando a escala bucólica de Lucio Costa, também participam do processo de evapotranspiração. Contudo, as características naturais do Planalto Central, com altitude (entre 1100 e 1200m) e a vegetação nativa (cerrado), configuram a tendência natural do clima seco de Brasília, isto é, predominância de baixos índices de umidade relativa. Nos períodos mais secos do ano, assemelha-se ao deserto, com temperaturas elevadas durante o dia e reduzidas durante à noite.

Os atuais padrões de ocupação do território, em Brasília – DF, distanciam-se das boas práticas e características originais da capital federal, e causam impactos à qualidade ambiental urbana. A exemplo das áreas mais novas, como Águas Claras e o Setor Noroeste, observa-se a total falta de prioridade à presença de vegetação. Naquela o intenso adensamento e nesta a utilização de materiais de revestimentos reflexivos em fachadas. Estas áreas fazem parte das análises do presente trabalho, serão expostas em detalhes no desenvolvimento deste e servem como

alerta para a influência das atividades humanas nas características naturais do clima, produzindo o clima urbano de Brasília - DF.

O alto consumo de energia elétrica, principalmente nas grandes cidades, tem provocado os conhecidos “apagões”, quando as usinas hidroelétricas, matriz energética brasileira, falham em momentos de pico. Nosso recurso energético ainda é a água, elemento finito. Outro aspecto relevante, o qual caracteriza o atraso em relação aos países desenvolvidos, onde são exploradas as fontes renováveis de energia.

“O uso da energia se confunde com a história. A energia é parâmetro essencial da conceituação e do entendimento do processo civilizatório do homem sobre a Terra. É, portanto, algo do qual dependem todas as suas atividades, além da própria vida. O entendimento da sua natureza é essencial para a montagem de adequadas estruturas jurídico-institucionais que definem as nações. Evidentemente, a questão energética, por sua íntima vinculação ao território, está na origem da existência contemporânea do Estado nacional” (VIDAL, 2004, p.259).

Para Theis (1990) é inequívoca a correlação existente entre a evolução no consumo de energia e a evolução do PIB, variando apenas com o grau de especialização dos vários setores econômicos, a extensão territorial, bem como a configuração e localização espacial das atividades econômicas e mercados.

“O desafio consiste em reduzir a demanda energética para o mesmo nível de satisfação das necessidades da população e satisfação simultaneamente dos critérios de

viabilidade econômica, utilidade social e harmonia com o meio-ambiente” (THEIS, 1990, p. 143).

Para Edwards (2004) a energia é um elemento essencial na busca da sustentabilidade. Se a sociedade pudesse gerar toda a energia que necessita a partir de fontes renováveis, não haveria nenhum conflito. Torna-se necessária maior preocupação por fontes alternativas de energia. Infelizmente, ainda falta muito desta consciência, sendo que alguns profissionais ainda declaram que a utilização de fontes alternativas de energia nada mais é que adereço em uma obra.

“O fundamental é alcançar um equilíbrio entre a economia energética, a ecologia e o meio ambiente, evitando privilegiar um só dos aspectos em detrimento dos demais. Este, e não a antiga obsessão pela eficiência energética é o caminho que nos levará a uma arquitetura mais rica, mais sensível ao meio ambiente e mais humana” (EDWARDS, 2004, p. 38).

A indústria dos transportes, no Brasil, tem crescido e a emissão de CO₂ nas grandes cidades tem levado a altos índices de poluição. No contexto das megacidades, como São Paulo, por exemplo, o alto consumo de energia elétrica vem comprometendo não apenas as fontes hídricas do país, mas o meio ambiente como um todo. Nosso país está incluso na atual crise mundial, a ecológica. Somos vítimas, já nos dias atuais, das mudanças climáticas, consequências do aquecimento global.

No sentido de relacionar as questões humanas às questões de geociências, o presente estudo volta-se para a influência das atividades

antrópicas no clima, considerando contudo, não a escala Global, mas a escala da cidade, ou escala do clima local.

“O paralelo entre as cidades e o organismo vivo é apropriado à medida que as cidades se desenvolvem seguindo princípios de auto-organização muito similares ao crescimento orgânico. Além disso, cidades, como entidades vivas, também são submetidas a forças darwinianas que as obrigam a evoluir e se adaptar ou declinar e morrer. Contradizer estes princípios em decreto governamental tem seu preço” (BERTAUD, 2010, p.3. Tradução da autora).

O clima de uma região é uma das características geográficas mais importantes para a produção arquitetônica. O próprio conceito da arquitetura bioclimática traz em sua essência a preocupação com as características naturais do local a que se destina a obra. Em síntese, latitude, topografia e ventos irão influenciar o tipo de clima de uma região e este, por sua vez, irá influenciar o tipo de vegetação existente no local. Assim o clima, deveria apresentar-se como protagonista durante o processo de urbanização. Edifícios sustentáveis, que poderíamos denominar como células urbanas, são projetados mediante as

prerrogativas de conforto (térmico, acústico e lumínico). Em condições ideais, um conjunto de edifícios sustentáveis deveriam formar cidades sustentáveis. A complexidade do fenômeno urbano, contudo, faz com esta conta não seja exata. Não só as questões geográficas, espaciais e ambientais, mas as questões de cunho social e econômico, compõem o espaço urbano.

Para Edwards (2004), a cidade desempenha um papel chave neste esforço por estabelecer uma relação mais simbiótica com o território. Os edifícios são uma das peças da cidade, e seus desenhos, inspirados nas análises do ciclo da vida - ACV⁴, também podem contribuir neste esforço. Os edifícios podem gerar sua própria energia, captar e reciclar sua própria água, utilizar materiais produzidos a partir de resíduos ou manter o equilíbrio entre o CO₂ (dióxido de carbono) utilizado em sua construção e uso e o CO₂ transformado de novo em oxigênio por meio das árvores plantadas em outros lugares. A complexidade do desenvolvimento de cidades sustentáveis, contudo, é um obstáculo que dificulta a ação. Nos edifícios, sem dúvida, a facilidade com que podem avaliar-se os efeitos sobre os recursos pode aproveitar-se para conseguir que a nova arquitetura ilumine este processo de troca.

⁴ A ACV identifica os “fluxos de materiais, energia e resíduos que gera um edifício durante toda sua vida útil, de maneira que o impacto ambiental seja determinado antecipadamente”. Os fluxos analisados englobam a extração de materiais e seus usos, reutilização, reciclagem ou eliminação. Normalmente há três opções no final da vida útil de um edifício:

- Reutilizar as partes em uma nova construção;
- Reciclar o material (por exemplo, como secos para concreto novo);
- Derrubar o edifício e enterrar os escombros em um aterro controlado. (EDWARDS, 2004. p.55)

No contexto do urbanismo sustentável, a construção de edifícios está comprometida com a interação ao meio-ambiente. Além da ACV, interessa saber quanto o edifício irá gerar de resíduos, quanto de energia irá consumir, qual influência terá em termos de circulação de pessoas a pé e de carro, o tipo de transporte a utilizar-se para o acesso a tal lugar, e também questões básicas como o número de vagas em estacionamentos públicos necessárias, a acessibilidade das pessoas comuns e das pessoas portadoras de necessidades especiais. Trata-se de um amplo contexto.

Para Edwards (2004), a sustentabilidade é vista cada vez mais como o principal argumento do projeto arquitetônico no século XXI. O motivo é tanto espiritual como prático. No plano físico, o ecossistema terrestre submeteu-se a uma grande pressão devido ao aquecimento global. Toda arquitetura que evite este problema e não seja meio ambientalmente sustentável carecerá de validade moral. Neste interim ocorre o fenômeno “ilhas de calor urbanas”, que envolve o clima local e será influenciado, entre outros fatores, pela produção arquitetônica, a qual por sua vez ‘deveria’ estar de acordo com o clima em que situa-se, estabelecendo assim esta complexa relação dialética a ser abordada no presente estudo.

Segundo o Instituto Brasília Ambiental (2014):

“A ilha de calor é um fenômeno que consiste no aumento da temperatura do ar nas áreas mais densamente urbanizadas, como resultado da combinação de fatores ligados à modificação das características térmicas da superfície, da ventilação e do calor antropogênico

adicionado na superfície urbana” (IBRAM, 2014, in PROTERM, 2014, sem página).

No caso das cidades com baixa latitude, a ilha de calor resulta da elevação das temperaturas nas zonas centrais das cidades em comparação aos seus arredores mais frescos - como as áreas rurais - causada principalmente pela influência antrópica.

Nas cidades de altas latitudes, em climas mais frios, como o do norte dos EUA, por exemplo, e em alguns climas desérticos, o efeito pode ser inverso, criando “ilhas frias”. As cidades ficam mais frias que as áreas rurais. Exemplo disto é Reykjavik (Islândia), onde no verão a temperatura é 4°C menor que nas áreas rurais. Outro exemplo é em Phoenix no Arizona, onde as áreas centrais têm 1 a 2°C menos que em áreas rurais (GARTLAND, 2010)

O desequilíbrio recorrente no ambiente urbano das cidades brasileiras, mais precisamente nas grandes metrópoles, com índices pluviométricos excessivos em determinadas épocas do ano, em contraposição ao simultâneo racionamento de água, traz a pauta do processo de formação das ilhas de calor. O sudeste brasileiro vem por alguns anos passando pela experiência da crise hídrica, sendo que outras regiões, entre elas o Centro-Oeste, também sofrem com a falta de água.

Segundo Pereira Filho (2015, p. 1), “a região metropolitana de São Paulo é uma ilha de calor”, isto é, mais quente do que o seu entorno por causa

da poluição, concreto e asfalto.⁵ Esse fenômeno favorece as chuvas e, por isso, chove muito mais na cidade que no passado. Os anos de 2010 a 2013 estão entre os dez mais chuvosos da história de São Paulo. O meteorologista explica que chove sobre a capital, que é uma ilha de calor, mas não está chovendo sobre o sistema Cantareira, fonte de abastecimento de água para a cidade

O aquecimento é proporcionado pelas formas de ocupação do território urbano, com altas densidades populacionais, intensa impermeabilização do solo e demais intervenções e atividades humanas. No contexto das alterações do clima urbano, uma das principais consequências deste aquecimento é a formação das ilhas de calor nas grandes cidades, as quais interferem na qualidade de vida e na saúde da população. O professor Paulo Saudiva, do IEA – Instituto de Estudos Avançados - da USP, desenvolve uma pesquisa neste sentido, o da saúde nas cidades, relacionando-a às intercorrências das atividades humanas.

O presente estudo volta-se para o estudo da formação das ilhas de calor na cidade de Brasília/DF. O cenário da pesquisa torna-se interessante mediante esta cidade, cuja história é caracterizada pelo processo de ocupação territorial do centro-norte brasileiro, na qual o traçado e morfologia (Plano Piloto) provêm das cidades modernistas, com todas as

críticas e elogios que o caráter dispõe. O contexto climático peculiar, os aspectos ambientais, e indiretamente ligado ao tema, o registro dos diferentes interesses, econômicos, sociais e políticos, envolvidos no processo de formação do espaço urbano da cidade e do entorno.

“Depois de criar o núcleo da cidade e seu prestigiado núcleo de funções governamentais, o governo usou seu controle monopolista do mercado de terras para contradizer os princípios auto-organizadores que orientam o desenvolvimento da maioria das grandes cidades do mundo. O comércio de trocas feito por famílias e firmas entre o consumo de terra e espaço físico e a distância até o centro da cidade é quase universal. Esse comércio se manifesta por altas densidades no centro da cidade e baixas densidades em direção à periferia. O controle legal completo sobre as vastas áreas do distrito federal permitiu que o governo perseguisse seu sonho de uma cidade utópica sem pobres e com uma organização espacial que revertava milhares de anos de tradições urbanas. O culto ao design baseado na falácia de que uma cidade moderna poderia ser construída em torno do automóvel resultou em um núcleo de baixa densidade fisicamente isolado de uma série de subúrbios fragmentados e dispersos de alta densidade, onde os

⁵ Fonte: <http://veja.abril.com.br/ciencia/o-aquecimento-global-nao-e-o-vilao-da-crise-hidrica-de-sao-paulo/>. Acesso em 01 de março de 2017 às 11:42 h.

pobres e a classe média vivem atualmente” (BERTAUD, 2010, p.3. Tradução da autora).

O alicerce teórico para o desenvolvimento do trabalho divide-se nos seguintes temas: clima urbano, ilhas de calor e ferramentas de geotecnologia aplicadas à análise urbana, tais como o sensoriamento remoto. Para tratar do primeiro bloco temático autores como Landsberg (1981), Monteiro e Mendonça (2003), Oke (2006), Santamouris (2006) e Romero (2011) abordam: o clima e clima urbano, dados meteorológicos (umidade, temperatura, incidência solar), dados espaciais (latitude, altitude), as trocas térmicas, aspectos do conforto térmico externo, o balanço energético, a presença de vegetação em áreas urbanas, a evapotranspiração, a Morfologia urbana, envolvendo o fator W/H/L, os Cânions Urbanos, o Fator Visão do Céu, a Ventilação Urbana, Densidade, Rugosidade, e materiais de superfície. Em momento posterior, Bruand (1997) trata da história do Plano de Brasília e seus antecedentes, Acioly e Davidson (1998) abordam densidades urbanas, Gonzales (1985) e Paviani (2009) abordam da influência das Centralidades, dos Adensamentos, dos aspectos sócio-econômico e espaciais de ocupação do território no DF e o respectivo processo de urbanização, caracterizando os aspectos históricos da abordagem. Ribeiro (2005) trata da relação entre integração do sistema viário e temperaturas no DF. Gartland (2010) e Lombardo (1985) respaldam o processo de formação das ilhas de calor, sendo que esta e Baptista,

Lombardo e Bias (2003) relacionam o estudo de ilhas de calor à ferramenta do sensoriamento remoto. Jensen (2009) traz o embasamento sobre o Sensoriamento Remoto.

O capítulo sobre os procedimentos metodológicos e ferramentais irá detalhar as ferramentas e processamentos de geotecnologias para avaliações do fenômeno, entre elas os softwares - QGis e ENVI - utilizados para os processamentos das ortofotos e imagens termais Landsat, respectivamente. As imagens termais analisadas são provenientes do sensoriamento remoto e da câmera termográfica e as ortofotos foram utilizadas para a classificação supervisionada. Com os dados provenientes dos processamentos fizemos as análises e correlações estatísticas. Ao final as conclusões e sugestões acerca dos resultados.

Em síntese, os resultados obtidos representam a conexão entre as áreas da Geociência e da Arquitetura e Urbanismo, o que caracteriza-se como uma das contribuições do presente trabalho. Trata-se do uso de ferramentas de geotecnologias mediante um ponto de vista ainda pouco usual. A exemplo dos estudos utilizando sensoriamento remoto de Lombardo (1985), Gartland (2010) e demais autores, mencionados anteriormente, o objetivo é também identificar e mensurar as ilhas de calor urbanas, comprovando a eficiência do geoprocessamento de imagens Land Sat 8 como instrumento de análise ambiental urbana e, portanto, a ser popularizado no setor de planejamento urbano brasileiro.

I Justificativa

Existe uma dificuldade no desenvolvimento de estudos interdisciplinares, que relacionem o ambiente geofísico e as atividades humanas. A análise do clima urbano, identificando a interrelação entre as temperaturas de superfícies, os materiais e a morfologia, provoca a conexão do estudo do clima com o estudo das atividades antrópicas. O próprio uso de ferramentas de geotecnologias, tais como sensoriamento remoto termal e classificação supervisionada dos materiais de superfícies, para a análise ambiental urbana, conecta a área de arquitetura e urbanismo com a área da geociência.

O fenômeno ilhas de calor tem sido analisado prioritariamente pela área da geociência, onde os geógrafos climatologistas despertaram há mais tempo para as relações entre as diferenças de temperatura entre a área urbana e rural, ou mesmo entre as áreas centrais e periféricas das cidades. Arquitetos e urbanistas precisam comparar as diferentes configurações espaciais urbanas entre si, no sentido de buscar soluções para o processo de formação das ilhas de calor e desenvolver morfologias urbanas as quais evitem o aquecimento artificial das cidades.

A complexidade do meio ambiente urbano demanda a análise relacional dos aspectos urbanísticos, sejam eles: a localização geográfica das cidades, as características ambientais, os adensamentos, as formas de uso

e ocupação do solo, o sistema viário, os aspectos sócio-espaciais e culturais. Estas características individualmente não são suficientes para demonstrar a ocorrência do fenômeno ilhas de calor, mas a relação entre elas leva a decifrar este processo de maneira legítima e de acordo com a realidade de cada cidade.

Do ponto de vista didático e pedagógico há uma importante contribuição. Ocorre uma dificuldade de compreensão e assimilação dos dados de input utilizados por acadêmicos de arquitetura e urbanismo, em simulações espaciais que incluem informações do clima urbano. A elaboração e avaliação de projetos mediante tais simulações, corre o risco das abstrações em relação à utilização de dados desconhecidos. Assim, o uso de ferramentas de geotecnologia auxilia no processo de levantamento e manuseio de dados geofísicos precisos.

As questões de caráter ambiental devem ser trabalhadas ainda na fase de projeto do espaço urbano - não apenas de cidades novas, mas também de novos loteamentos ou reabilitações de áreas consolidadas - quando as modelagens e simulações tornam-se essenciais a visão futura das intervenções praticadas pelo homem. Existem alguns programas abertos ao uso de pesquisadores na área de arquitetura e urbanismo, que destinam-se às simulações de acordo com as características do clima local, ou microclima, em áreas limitadas de 100m x 100m até 200m x 200m, considerando a volumetria dos edifícios, os afastamentos entre os

mesmos, a presença de vegetação, os materiais de revestimento, a topografia e os fluxos de vento.

As ferramentas de Geotecnologia, atualmente mais associadas às demandas da geociência, com o uso de imagens de satélites, em muito contribuem no planejamento urbano, mas não encontram-se comumente utilizadas por arquitetos e urbanistas, para averiguar o clima urbano no Brasil. Vale destacar que o caráter destas ferramentas não é de simulação, mas de obtenção de dados precisos, os quais são validados com segurança. As questões das escalas de análises devem ser consideradas, pois a qualidade das imagens como as do Landsat 8 permite a visualização do espaço urbano em escalas aproximadas.

Do ponto de vista da gestão urbana e da elaboração de políticas públicas, que visem a qualidade ambiental urbana e a mitigação das ilhas de calor, esta é uma contribuição fundamental. A análise quantitativa e qualitativa das variáveis que influenciam o campo térmico urbano, assim como a caracterização do mesmo, apontam de que maneira viabilizar a adequação da legislação que disciplina o uso e ocupação do solo.

O processo de formação das ilhas de calor é essencialmente resultante das atividades antrópicas sobre o meio urbano, sejam elas os adensamentos, a impermeabilização do solo, a retirada da vegetação, às emissões devido ao trânsito e à industrialização. Estas atividades são passíveis de controle e monitoramento com a utilização de tecnologias

apropriadas, contudo, a prática da ocupação urbana atual não evidencia tal preocupação, o que se torna então, o alvo da presente pesquisa.

A princípio, é válido destacar, que os conceitos bioclimáticos, referentes as relações entre o clima e a distribuição dos seres humanos na terra (ROMERO, 2001) não têm sido considerados no planejamento e na ocupação do território das cidades brasileiras. Urbanizações sustentáveis nascem com as características originais do sítio, sejam elas: a posição geográfica (latitude, longitude), a insolação, a ventilação, as características do clima (umidade, temperatura), a topografia, a vegetação, a presença de água. Além dos fatores sociais, econômicos e culturais locais. A realidade de nossas cidades distancia-se destas preocupações. Até mesmo as cidades planejadas têm vivenciado as consequências de um planejamento omissivo em alguns pontos fundamentais. A dinâmica do processo de urbanização, e por sua vez, de alteração do clima local está pouco trabalhada, sendo que falta monitoramento e visão futura das consequências da ocupação do território.

Assim, a interdisciplinaridade, as questões de caráter didático e pedagógico e o desenvolvimento de políticas públicas, com foco na qualidade ambiental urbana e na mitigação da formação de ilhas de calor, caracterizam a relevância e o impacto da elaboração do presente trabalho.

II Objetivos

Objetivo Geral

Analisar as relações entre os materiais de superfícies, a morfologia urbana e a apropriação espaço, com foco no processo de formação das ilhas de calor, utilizando ferramentas de geotecnologia, entre elas o sensoriamento remoto termal, no contexto do clima urbano do DF.

Objetivos Específicos

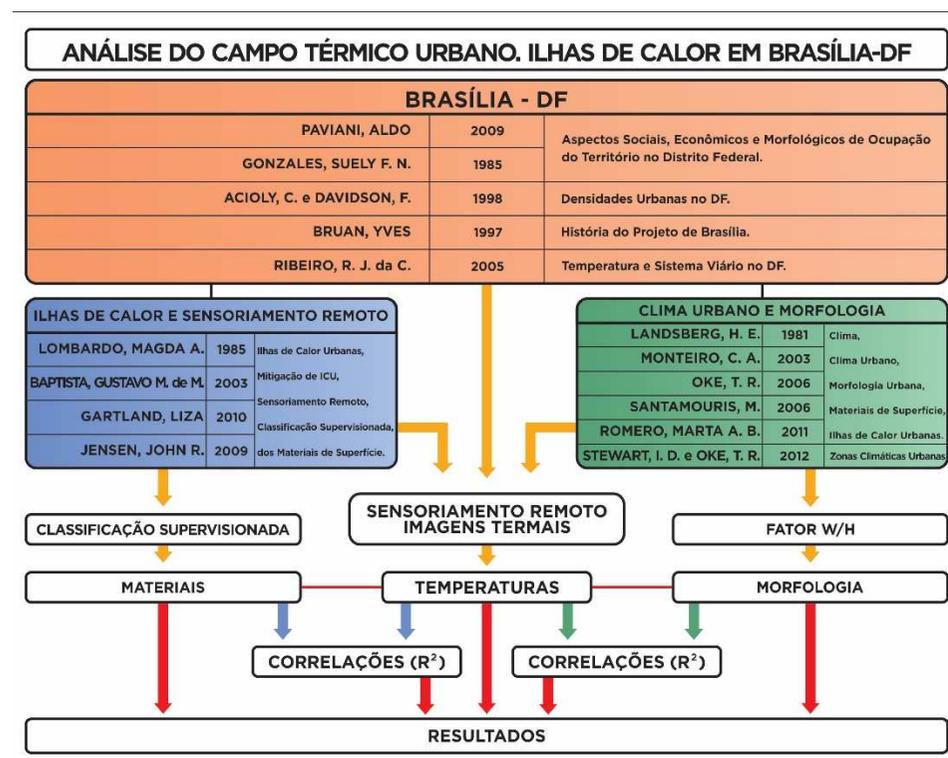
- 1). Caracterizar o campo térmico urbano de Brasília – DF, para identificar as ilhas de calor na escala local (da cidade), do bairro, do edifício e seu entorno;
- 2). Realizar análise quantitativa e qualitativa da influência dos materiais de superfícies ao campo térmico urbano;
- 3). Demonstrar a relação da morfologia urbana com as trocas térmicas que ocorrem no ambiente urbano;
- 4) Comprovar a correlação estatística entre os materiais e as temperaturas de superfícies, e entre estas e a morfologia urbana;

5) Apontar de que maneira o campo térmico pode ser contemplado em políticas públicas, com foco na qualidade ambiental urbana e em medidas mitigadoras das ilhas de calor.

III Procedimentos Metodológicos

O amparo teórico para tratar o fenômeno Ilhas de Calor Urbanas – ICU - envolve a revisão bibliográfica acerca de: Clima Urbano, Ilhas de Calor Urbanas, ferramentas de monitoramento, que o presente trabalho traz o Sensoriamento Remoto e a cidade objeto de estudo, Brasília – DF (Figura 1).

Figura 1 – Fluxograma dos Procedimentos Metodológicos



Fonte: elaborado pela autora.

Construída a base teórica, parte-se para a definição de 12 áreas amostrais para análise em Brasília – DF. Interessa-nos o contexto climático, ambiental, histórico, sócio-econômico e cultural, os quais caracterizem as formas predominantes de ocupação do solo urbano. O critério de escolha destas áreas baseia-se na exposição dos contrastes existentes nos diversos traçados urbanos. No Distrito Federal existem áreas de ocupação espontânea e de ocupação planejada, e estas, por sua vez, têm desenhos e proporções urbanas variadas. Situarem-se nos eixos de crescimento urbano do DF e a questão morfológica, da diversidade das formas urbanas presentes na mesma área metropolitana, justificam a escolha das 12 áreas. Quanto à análise de três áreas distintas, pertencentes à Esplanada dos Ministérios, a intenção é caracterizar os diferentes tipos de materiais de revestimentos urbanos. São as áreas:

1. Asa Norte (3 Superquadras);
2. Asa Sul (2 Superquadras);
3. Esplanada dos Ministérios (3 áreas);
4. Noroeste;
5. Sudoeste;
6. Gama;
7. Taguatinga;

8. Sobradinho I;
9. Sobradinho II;
10. Setor Taquari (Lago Norte);
11. Águas Claras;
12. Itapoã.

As variáveis, a serem analisadas neste estudo, reúnem as características geográficas, ambientais, urbanísticas e morfológicas, as quais determinam e/ou exercem maior influência ao contexto da cidade no que se refere às elevações das temperaturas e no processo de formação das ilhas de calor urbanas.

Após a definição das áreas, o primeiro passo da análise trata da identificação / classificação / mapeamento (área - m²) em QGIS dos 9 materiais de superfície (variáveis de análise) definidas nas 12 áreas escolhidas em Brasília – DF. Estes materiais de superfície correspondem à predominância de materiais existentes nas superfícies urbanas, e foram estabelecidos neste estudo mediante apoio do referencial teórico. Eles influenciam as características térmicas locais e por consequência, o processo de formação das ilhas de calor. São os materiais:

1. Copas de Árvores;
2. Relvado - Vegetação Rasteira;

3. Solo exposto;
4. Pavimentação de asfalto;
5. Sombra;
6. Superfície de água;
7. Cobertura das construções em laje;
8. Telha cinza (aço galvanizado);
9. Cobertura das construções em telha cerâmica.

Como parte do uso ferramentas de geotecnologia para o estudo do comportamento dos materiais de superfícies urbanas, foram obtidos os Índices de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) de cada área analisada, a fim de correlacioná-lo aos dados obtidos na classificação supervisionada da vegetação.

Analisados os materiais de superfície, o segundo passo trata da morfologia urbana, com a análise do Fator W/H/L (largura das ruas / altura dos edifícios / comprimento dos cânions), que caracteriza o gabarito, a altura média dos Edifícios (em metro), a densidade de ocupação e envolve questões de ventilação urbana. A ferramenta de demonstração utilizada é o Scketchup 3D.

O terceiro passo da análise trata do campo térmico urbano propriamente dito. Inicia-se com a obtenção e processamento das Imagens Termiais no software ENVI, das 12 áreas amostrais escolhidas em Brasília – DF, nos meses de fevereiro e agosto de 2016 (imagens – Landsat 8, banda termal 10). Em seguida, realiza-se a análise Sazonal dos resultados obtidos dos mapas termiais dos meses de agosto e fevereiro e dos Transectos (17 áreas x 2 transectos = 34 transectos).

Parte da análise do campo térmico urbano é realizada por meio das imagens obtidas com a câmera termal nas 12 áreas definidas em Brasília, do ponto de vista do pedestre, nos pontos críticos das ilhas de calor, apontados na análise dos mapas termiais descritas nos itens anteriores.

Cabe destacar que a identificação das temperaturas das superfícies urbanas é essencial à caracterização do campo térmico. Trata-se do centro e ponto de partida para a pesquisa das demais variáveis (materiais e morfologia) e para o desenvolvimento das análises como um todo.

O último passo da análise trata das correlações estatísticas entre materiais de superfície, morfologia urbana e temperaturas, a fim de comprovar matematicamente a relação entre as variáveis analisadas e o campo térmico urbano. Para isso buscaremos o coeficiente de correlação (r) e o coeficiente de determinação (R^2) da correlação entre os dados obtidos nas três frentes de análises nas 12 áreas mencionadas.

Ao final, com os resultados das correlações e das análises dos materiais de superfície, da morfologia urbana e das temperaturas, pretende-se caracterizar o campo térmico urbano de Brasília – DF, identificando o processo de formação das ilhas de calor e apontando medidas mitigadoras.

PARTE I

Brasília já foi exaustivamente analisada no meio acadêmico, desde os pontos de vistas mais variados, sejam eles: histórico, político, econômico, sociológico, cultural, físico, geográfico, ambiental, morfológico, climático, paisagístico, urbanístico, entre outros. As peculiaridades da Capital Federal ainda fazem (e deverão continuar fazendo) da mesma objeto de importantes estudos. Análises do ponto de vista físico e geográfico, até mesmo a identificação de ilhas de calor, em um determinado período de tempo, já foram realizadas em Brasília/DF. Este estudo pioneiro realizado por Baptista, Lombardo e Bias (2003) estão expostos na sequência deste trabalho.

Tradicionalmente os trabalhos sobre ilhas de calor contrapõem as áreas rurais e urbanas, e/ou centro e periferia da cidade, expondo os contrastes climáticos, suas causas e definições. No presente trabalho, a intenção é contrapor áreas urbanas com outras áreas urbanas diversas, identificando as potenciais diferenças entre as mesmas, as quais estariam provocando o efeito ilhas de calor. Em uma região com caráter metropolitano, rica em contrastes, sejam eles sócio-espaciais, morfológicos e ambientais, como é o Distrito Federal, e dentro de um mesmo contexto climático, os resultados podem agregar valores ao estudo do urbanismo. Estudos análogos, tanto em cidades planejadas, quanto em cidades tradicionais, de ocupação espontânea, podem ser comparados. Plano Piloto Regiões Administrativas as representam.

A análise do processo de formação das ilhas de calor em Brasília/DF requer três grupos de informações fundamentais: primeiro a compreensão do clima urbano, do processo de formação das ilhas de calor e do respectivo monitoramento com sensoriamento remoto; segundo os dados geográficos, climáticos, históricos e morfológicos da cidade; e terceiro a descrição dos métodos de utilização das ferramentas de geotecnologia para o processamento das ortofotos e das imagens Landsat, utilizadas para a obtenção da classificação supervisionada e dos mapas temais e transectos, respectivamente.

1. Clima Urbano

O estudo do clima trata genuinamente do estudo das temperaturas, umidade, pressão atmosférica, bioma local, entre outros fatores ambientais. O “clima urbano”, contudo, agrega as atividades humanas, tais com a impermeabilização do solo, a retirada da cobertura vegetal, os adensamentos das áreas centrais de forma indevida e outras ações as quais influenciam o campo térmico urbano. Para Oke (2006) o estudo do clima urbano possui uma perspectiva quase única. Ao contrário de outros ambientes do interesse, onde é suficiente estudar a atmosfera por sua própria causa ou valor, em áreas urbanas há um interesse saber sobre efeitos urbanos.

Luke Howard foi o precursor das pesquisas, no sec. XIX, acerca do excesso de calor na cidade de Londres em comparação ao campo, atribuindo essa condição à maior absorção da radiação solar pelas superfícies da cidade e à falta de umidade para evaporação (GARTLAND, 2010). Posteriormente destacam-se os trabalhos clássicos da climatologia moderna de Landsberg em 1956 com o livro *The climate of towns*, e de Chandler em 1965 com *The climate of London*. Na pesquisa de Landsberg (1956) havia uma demanda por questões de poluição atmosférica. O crescimento das cidades tem sido alvo de estudos multidisciplinares, entre os quais averiguam os efeitos das

emissões de poluentes, a qualidade de vida, o conforto ambiental e o clima urbano.

No Brasil, em 1975, Monteiro e Mendonça (2003, p.19) definiu o Sistema Clima Urbano – SCU - como um produto de sua tese de doutorado. Segundo o autor, “um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”. Trata-se de um modelo teórico para a investigação do comportamento climático das cidades, por meio de articulações com subsistemas de canais de percepção. O SCU é caracterizado como singular, aberto, evolutivo, dinâmico, adaptativo e possível de autoregulação. Os níveis que formam a estrutura do SCU podem ser representados por três canais de percepção humana: Canal I - Conforto Térmico, Canal II - Qualidade do Ar, Canal III - Impacto Meteorológico, que se associam, respectivamente, aos seguintes níveis de resolução do sistema: termodinâmico, físico-químico e hidrometeorológico.

Em 2006, a Organização Meteorológica Mundial, World Meteorological Organization – WMO – publicou o Guia de orientações iniciais para observações meteorológicas representativas em locais urbanos, sobre instrumentos e métodos de observação, elaborado por Timote Oke (2006), como resultado de cerca de 30 anos de pesquisa. O autor teve a colaboração de Grimmond (2006) em parte do trabalho. Neste guia, as etapas de trabalho inciam com a seleção do local para a implantação das estações de medições, segue abordando as escalas horizontais e verticais

de medições de temperaturas (as quais serão detalhadas no próximo capítulo), descreve os equipamentos de medições e expõe as formas de medições dos diferentes elementos, tais como: a radiação solar, a temperatura, a umidade, o vento e as precipitações. Imagens por sensoriamento remoto também são abordadas no guia. O ponto alto do guia, contudo, é o estabelecimento das Zonas Climáticas Urbanas (UCZ),

as quais são melhores e diferentes das zonas de uso da terra, que se relacionam somente à função e não são necessariamente climaticamente significativas. Esta classificação das UCZ (Quadro 1) deu origem à classificação das Zonas Climáticas Locais – LCZ – as quais serão analogamente colocadas em relação às áreas analisadas no DF, no desenvolvimento do estudo de caso desta tese.

Quadro 1 - Classificação simplificada de formas urbanas distintas organizadas em ordem decrescente aproximada de sua capacidade de impactar o clima

	Zona Climática Urbana (UCZ)	Imagem	Classe de Rugosidade (z)	Proporção das formas (H/W)	% Construída (impermeável)
1	Desenvolvimento urbano intenso, conjunto de arranha-céus revestidos, como por exemplo as torres do centro da cidade		8	>2	>90
2	Desenvolvimento urbano intenso, de alta densidade, edifícios de 2 a 5 pavimentos, muito próximos e de tijolo ou pedra, situados por exemplo, no centro da cidade antiga		7	1,0 – 2,5	>85
3	Desenvolvimento urbano alto de média densidade, com casas alinhadas separadas e próximas, lojas e apartamentos, como por exemplo, áreas habitacionais urbanas		7	0,5 – 1,5	70 - 85
4	Desenvolvimento urbano alto de baixa ou média densidade, com edifícios baixos e amplos, estacionamentos pavimentados, como por exemplo, shopping center e armazéns		5	0,05 – 0,2	70 - 95
5	Desenvolvimento suburbano médio, de baixa densidade, com casas de 1 ou 2 andares, como por exemplo, áreas de habitações suburbanas		6	0,2 – 0,6, até >1,0 com árvores	35 - 65
6	Uso misto com edifícios amplos em paisagem aberta, como por exemplo, hospitais, universidades e aeroportos		5	0,1 – 0,5, depende das árvores	<40
7	Desenvolvimento semi-rural, casas dispersas em áreas naturais ou agrícolas, como por exemplo, fazendas e propriedades		4	> 0,05, depende das árvores	<10

Legenda dos símbolos das imagens



edifícios



vegetação



terreno impermeável



terreno permeável

Fonte: Oke, 2006, p. 11. Tradução da autora.

Segundo Assis (2000), o campo térmico urbano é formado pelos processos atmosféricos urbanos, sobre os quais a pesquisa climatológica tem demonstrado que estão diretamente ligados às características da cidade e seus atributos, tais como a morfologia. A autora defende que a importância de identificá-los reside na possibilidade de utilizá-los como instrumento de controle da qualidade do clima urbano.

Para o estudo essencial do clima, Romero (2001) aponta os elementos climáticos e os fatores climáticos. Os elementos climáticos representam os valores relativos de cada clima e os fatores climáticos são divididos em: fatores climáticos globais (que dão origem ao macroclima) e fatores climáticos locais (que dão origem ao microclima). Os fatores climáticos globais são: radiação solar, latitude, altitude, ventos, massas de água e terra. Os fatores climáticos locais são: topografia, vegetação e superfície do solo (natural ou construído). Os elementos climáticos são: temperatura, umidade do ar, precipitações e movimento do ar. Todos os fatores e elementos climáticos interagem conjuntamente.

Já para o estudo do clima urbano, Romero (2011) apresenta-se a relação entre radiação solar e geometria urbana, a qual interfere na temperatura do ar. A autora entra na seara do Planejamento Urbano, abordando os espaços públicos, além de descrever os elementos climáticos que são influenciados pela urbanização: o vento, as áreas verdes, o som e até a água. Para ela os edifícios constituem as principais rugosidades da cidade

e entre todos os elementos climáticos, as condições do vento são as mais modificadas pela urbanização.

O leque de estudos aberto pelo estudo do clima urbano, com o passar dos anos, abriu espaço para o estudo das ilhas de calor urbanas, o qual compõe-se por importantes pesquisadores, os quais serão expostos na sequência deste trabalho, no capítulo de título “Ilhas de Calor”.

A análise ambiental urbana é fundamental para a compreensão do campo térmico urbano. Assim, este início de revisão teórica é dedicado às escalas de análise do clima urbano, às trocas térmicas entre as diferentes formas dos edifícios e entre os diversificados materiais de superfícies, à evapotranspiração e a importância da vegetação no ambiente urbano.

1.1. Escalas de Análise do Clima Urbano

A pesquisa acerca do clima urbano é composta por dimensões de análise, definidas como escalas climáticas. É uma importante delimitação do objeto de estudo sobre o clima urbano, diferenciando os meios de observação, as formas de representação, análise e tratamento dos dados. Assim, é essencial iniciar a abordagem do Clima Urbano falando sobre as Escalas Climáticas de análise.

O estudo do clima trata genuinamente do estudo das temperaturas e da umidade, além dos demais fatores que o influenciam mencionados

anteriormente. A análise do clima urbano, contudo, envolve duas dimensões: a horizontal e a vertical (OKE, 2006). Portanto, faz-se necessário considerar as alturas em que estas temperaturas são medidas, o que requer atenção em relação aos instrumentos de medições e seus posicionamentos ou detecções de temperaturas. No contexto do estudo do processo de formação das ilhas de calor e da análise termal em imagens de sensoriamento remoto, interessa-nos diferenciar quatro tipos de temperaturas:

- Temperatura Atmosférica;
- Temperatura do Ar;
- Temperatura da Superfície; e
- Temperatura de brilho.

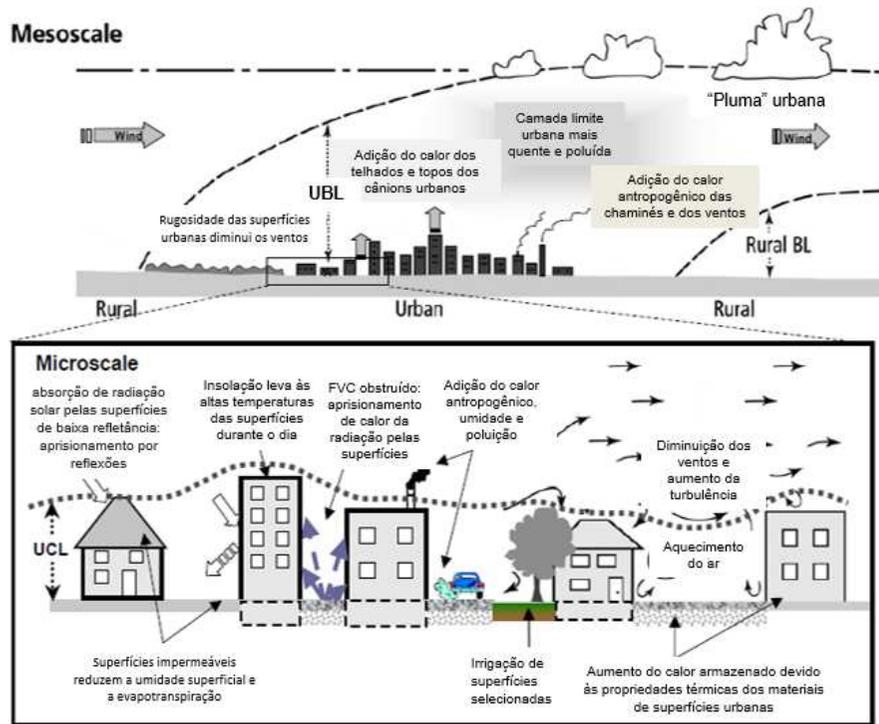
Temperatura atmosférica é um conjunto de medições de temperaturas obtidos a diferentes níveis da atmosfera terrestre. Esses valores são influenciados por uma série de fatores, incluindo: radiação solar, umidade e altitude. No que se refere à temperatura na superfície da Terra, a variação de temperatura anual em qualquer localização geográfica, depende em grande parte, do tipo de bioma do local, como aferido na Classificação climática de Köppen-Geiger.

Segundo Voogt (2007), a temperatura da superfície modula a temperatura do ar das camadas mais baixas da atmosfera urbana, é fundamental para o equilíbrio de energia da superfície, ajuda a determinar os climas internos dos edifícios e modifica as trocas de

energia que afetam o conforto térmico dos habitantes da cidade. Assim, as temperaturas de superfície são protagonistas do clima urbano, caracterizado por certas anomalias de temperaturas, umidade do ar e precipitações, as quais diferenciam o clima do campo para o clima das cidades e caracterizam as “ilhas de calor urbanas”.

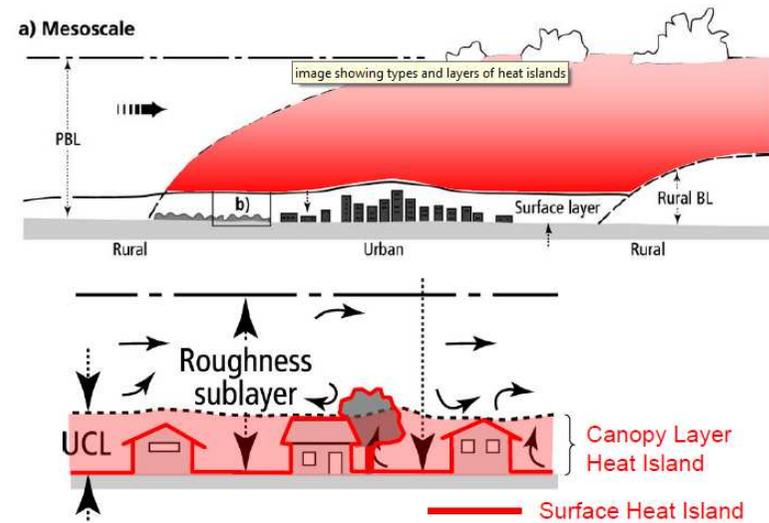
Oke (2006) propõem que duas escalas climáticas devem ser consideradas: a horizontal, junto ao solo e a vertical, que se refere à altura das camadas de cobertura urbana. Entre as escalas horizontais propostas pelo autor: a mesoescala, a escala local e a microescala (Quadro 3). Quanto às escalas verticais, o autor classifica estas camadas de ar em: UCL (Urban Canopy Layer), UBL (Urban Boundary Layer) e RSL (Roughness Sublayer) – Figuras 2 e 3.

Figura 2 - Ilha de calor urbana. Esquema das Escalas Vertical e Horizontal



Fonte: Voogt, 2007. Adaptado de Oke, 2006, p. 3. Disponível em: http://www.epa.gov/heatisd/resources/pdf/EPA_How_to_measure_a_UHI.pdf. Acesso em 15/08/2017.

Figura 3 - Ilha de calor urbana. Esquema da Mesoescala



Fonte: Voogt, 2007. Adaptado de Oke, 2006, p. 3.

Romero (2011, p. 81) considera que os instrumentos de medições em alturas menores fornecem dados referentes ao microclima, em alturas maiores representam o clima local, pois registram as temperaturas após estes se misturarem. Monteiro e Mendonça (2003) elaboraram um quadro taxonômico da organização geográfica do clima (Quadro 2). Trata-se de quadro didático de relacionamento das unidades climáticas com as ordens de grandeza taxonômica das formas e com unidades (ou graus) de urbanização. Para o caso da implantação das estações urbanas, Oke (2006) explica que regras rígidas muitas vezes são inapropriadas, e que melhores são os princípios ao invés de regras.

Quadro 2 – Categorias Taxonômicas da Organização Geográfica do Clima e suas Articulações com o Clima Urbano

Ordem de grandeza	Unidades de Superfície	Escala Cartográficas	Espaços Climáticos	Espaços urbanos	Estratégias de abordagem		
					Meios de Observação	Fatores de Organização	Técnicas de Análise
II	(milhões de km)	1:45.000.000 1:10.000.000	Zonal	-	Satélites Nefanálises	Latitude Centros de Ação Atmosférica	Caracterização Geral Comparativa
III	(milhões de km)	1:5.000.000 1:2.000.000	Regional	-	Cartas Sinóticas Sondagens Aerológicas	Sistemas Meteorológicos (circulação secundária)	Redes Transectos
IV	(centenas de km)	1:1.000.000 1:5.000.000	Sub-Regional (fácies)	Megalópole Grande Área Metropolitana	Rede Meteorológica de Superfície	Fatores Geográficos	Mapeamento Sistemático
V	(dezenas de km)	1:250.000 1:100.000	Local	Área Metropolitana MetrÓpole	Posto Meteorológico Rede Complementar	Integração Geológica Ação Antrópica	Análise Espacial
VI	(centenas de km)	1:50.000 1:25.000	Mesoclima	Cidade Grande Bairro ou Subúrbio de MetrÓpole	Registros Móveis Episódicos	Urbanismo	Especiais
-	Dezenas de metros	1:10.000 1:5.000	Topoclima	Pequena Cidade Fácies de Bairro/Subúrbio de Cidade	Detalhe	Arquitetura	
-	Metros	1:2.000	Microclima	Grande Edificação Habitação Setor de Habitação	Bateria de Instrumentos Especiais	Habitação	

Fonte: Monteiro e Mendonça, 2003, p.29.

Romero (2011) integra e reorganiza as quatro escalas climáticas de análise horizontais, propostas por Oke (1988), de maneira interativa e complementar, baseando-se em componentes urbanos claramente identificáveis: a macroescala das grandes estruturas urbanas, a escala intermediária da área/setor ou do sítio, e duas microescalas das dimensões específicas: a do lugar e a dos edifícios. O método de análise climática do ambiente urbano proposto pela autora está apoiado em um procedimento observacional baseado em aproximações sucessivas, como em um *zoom* que se inicia com uma visão panorâmica da grande massa urbana e que termina no detalhe do edifício (Quadro 3).

Quadro 3 – Formas de classificação do espaço

Autor	Escala 1	Escala 2	Escala 3	Escala 4
Abrami	Território: espaço da organização	Ambiente: espaço do recurso	Sítio Espaço produtivo	Lugar Espaço coletivo
Gregotti	Nível geográfico sobre o território	Nível topográfico sobre o circundante - o sítio	Nível do objeto	
Morais	Nível da região	Nível do local	Nível do sítio	
Tricart	Cidade inteira	Grupo de quarteirões	Quarteirão, grupo de blocos com características comuns	Escala da rua, incluindo as áreas construídas e os espaços vazios que as rodeiam
Monteiro	Macroclima Metrópole-área metropolitana	Mesoclima Subúrbio ou bairro de metrópole Cidade grande	Topoclima Bairro Subúrbio de cidade Pequena cidade	Microclima Setores habitacionais Grandes edificações Habitação
Oke		Mesoescala Inclui os elementos que influenciam o clima de uma cidade	Escala local Inclui tamanho e espaçamentos das edificações	Microescala Inclui os elementos individuais, tais como árvores, edifícios.
Romero	Escala das grandes estruturas urbanas	Escala do Setor/Área/Sítio	Escala do Lugar	Escala do Edifício

Fonte: Romero, 2011, p. 133.

No presente estudo interessa-nos a análise da escala local (da cidade), da escala intermediária (do setor ou bairro), da escala do lugar ou microescala, com a utilização de imagens termais de sensoriamento remoto e a análise da escala do edifício em fotografias da câmara térmica.

Estabelecendo assim, a aproximação sucessiva proposta por Romero (2011).

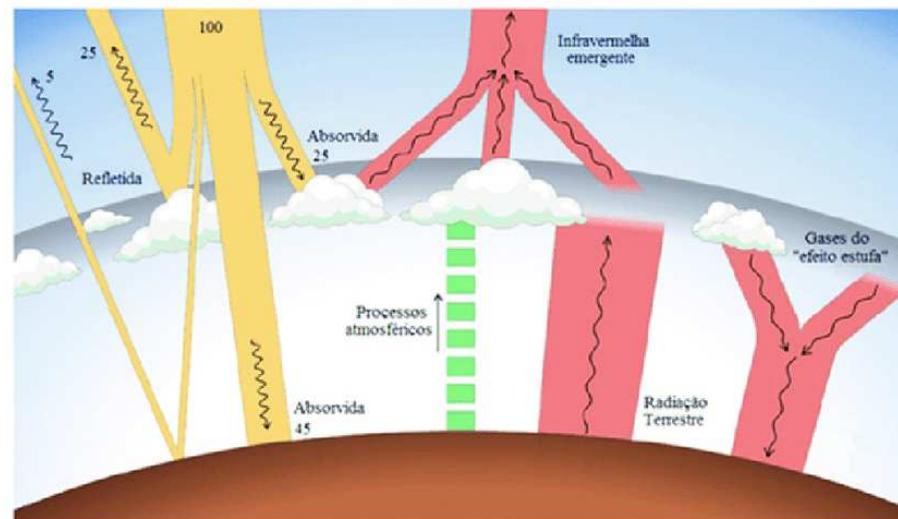
1.2. Trocas Térmicas

As trocas térmicas, ou balanço de energia, são os processos que irão diferenciar o estudo do clima urbano. Embora elas ocorram também no ambiente rural, é no meio urbano que adquirem maior complexidade. Estes processos iniciam com a incidência da radiação solar sobre as superfícies urbanas, desencadeando a produção do que podemos denominar de “temperaturas artificiais”, isto é, a temperaturas resultantes das trocas térmicas entre o meio e os materiais e formas construtivas inseridas na cidade pelo homem e/ou coberturas naturais retiradas.

Portanto, compreender a atuação da Radiação Solar é fundamental ao entendimento do Campo Térmico Urbano. A radiação se propaga como radiação eletromagnética na forma de ondas. Corpos com temperaturas mais elevadas como o Sol emitem radiação térmica em ondas curtas. Antes de aquecer as superfícies da cidade, a radiação solar passa pela atmosfera, onde suas partículas constituintes e as nuvens refletem parte da radiação solar de ondas curtas para o espaço (cerca de 25%) e absorvem a outra parte (cerca de 25%). A radiação restante é transmitido diretamente para as superfícies terrestres. A terra, por sua vez, reflete parte dessa radiação direta (cerca de 5%) e absorve o restante (cerca de 45%). Esta radiação absorvida é emitida para a atmosfera como radiação de onda longa. A radiação solar de onda curta absorvida pelas nuvens e

pela atmosfera também é emitida como radiação de onda longa, em parte para a terra e em parte para o espaço (Figura 4).

Figura 4 - Radiação Solar na superfície da Terra

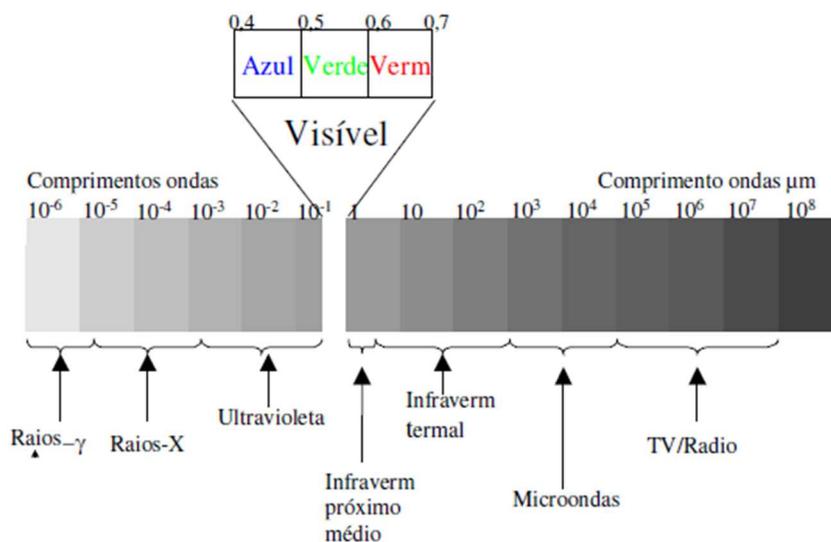


Fonte: Inpe, 2006, p. 14.

A radiação incidente na superfície terrestre divide-se em duas formas: componente solar direta e a componente solar difusa. Durante sua passagem pela atmosfera, a radiação solar sofre uma decomposição formando um espectro eletromagnético com diferentes comprimentos de onda (Figura 5). Interessamos analisar duas faixas de comprimentos de ondas: radiação visível e radiação infravermelha termal, pois na sequência do presente estudo, estaremos analisando imagens da Banda Termal 10 do Landsat 8, a qual atua nesta respectiva faixa do espectro. Esta faixa do espectro influencia no conforto térmico, que afetam as

peças e aquecem as superfícies. Assim, se todo corpo aquecido emite radiação térmica, constata-se que superfícies, pessoas e animais em nosso meio ambiente estão em constante troca de calor por radiação, o que veremos no capítulo sobre calor antropogênico.

Figura 5 - Espectro Eletromagnético



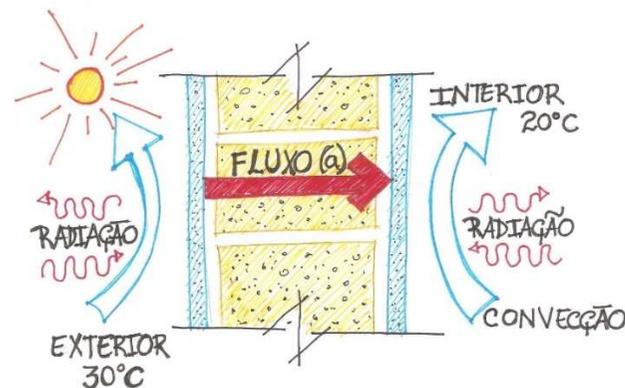
Fonte: Figueiredo, 2005, p. 5.

Os elementos construtivos podem ter desempenhos diferentes em relação à radiação térmica incidente, transmitindo, refletindo ou mesmo absorvendo e reemitindo esta radiação para o interior. A radiação incidente num material construtivo terá uma parcela refletida, uma absorvida e, se for um material translúcido, também uma parcela

transmitida diretamente para o interior, cujos valores dependerão respectivamente da refletividade (ρ), da absorvidade (α) e da transmissividade (π) do material. A soma destas três parcelas da radiação incidente corresponde a 100% do total, ou seja: $\alpha + \rho + \pi = 1$ (LAMBERTS; DUTRA e PEREIRA, 2014, p. 208 e 209).

As expressões condução e convecção também caracterizam estas trocas térmicas ocorridas nos materiais construtivos. A primeira pode ser definida como a radiação térmica incidente em um determinado material, o qual irá “transmitir” o calor no sentido do ambiente mais quente para o mais frio. A segunda trata da dissipação da radiação térmica para a atmosfera em forma de calor (Figura 6).

Figura 6 – Três fases da transmissão de calor nos fechamentos opacos



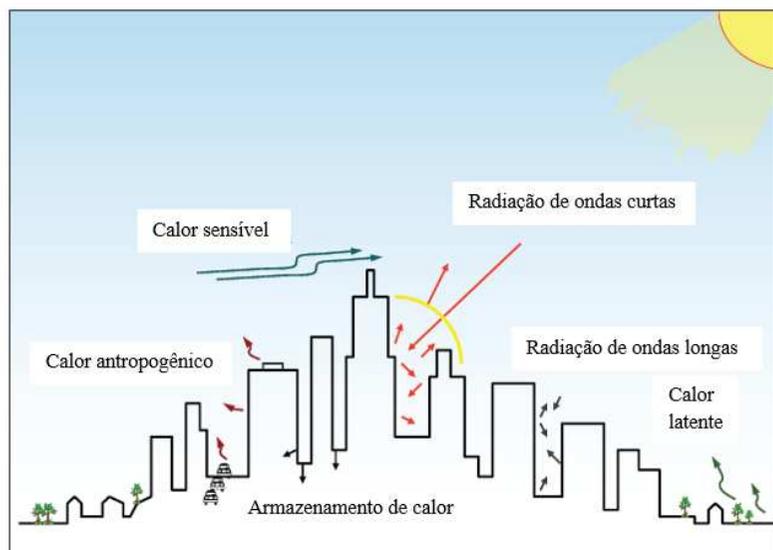
Fonte: Adaptado de Lamberts, Dutra e Pereira, 1997, p. 57.

Romero (2011) afirma que as trocas térmicas também dependem da forma da estrutura urbana. Além disso, todo calor absorvido pelas

estruturas urbanas irregulares e de elevada densidade fica retido e dificilmente é reenviado para a abóbada, razão pela qual provoca um aumento da temperatura urbana, ao se converter em calor sensível.

Quando uma superfície recebe radiação direta sua temperatura aumenta, nesse caso há um fluxo de calor sensível entre diferentes superfícies ou entre o ar e uma superfície, em função da orientação em relação à trajetória solar (Figura 7). Com temperatura de superfície mais elevada há aumento da radiação emitida no espectro de ondas longas (LOMBARDO, 1985).

Figura 7 – Balanço de Energia entre edifícios



Fonte: EPA, 2008, p. 11. Tradução da autora.

O clima urbano sofre influência da ocupação do solo, dos adensamentos e pavimentações, que impermeabilizam e reduzem a presença de vegetação e solo natural. “Os materiais que constituem a superfície urbana possuem capacidade térmica mais alta e são melhores condutores do que os materiais encontrados em superfícies não construídas” (ROMERO, 2011, p. 74).

Materiais de Superfície

A questão dos Materiais de Revestimento das superfícies urbanas torna-se complexa ao considerarmos a diversidade de materiais existentes nas cidades. Não só a vegetação, a presença de água, o solo natural, e o espaço construído, mas a gama de materiais industrializados utilizados na construção civil. Por sua vez, a relação destes materiais com a radiação solar a ser absorvida, o que determinará a quantidade de calor sensível a ser dissipado, por convecção, para o ar, atuando assim, no clima urbano. Desta maneira, há que se considerar a especificidade de cada material e sua influência nas temperaturas da cidade, este fator pode ser trabalhado no Albedo (Figura 8 e Tabela 1).

“A radiação solar, refletida pelos edifícios de uma densa estrutura urbana, sofre ainda fenômenos múltiplos de reflexão, sendo apenas uma pequena parte refletida para o céu. O aumento da capacidade de absorção de radiação, em razão da forma urbana, traduz-se em uma redução da refletividade do espaço urbano, que se denomina redução do albedo efetivo” (ROMERO, 2011, p. 74 e 75).

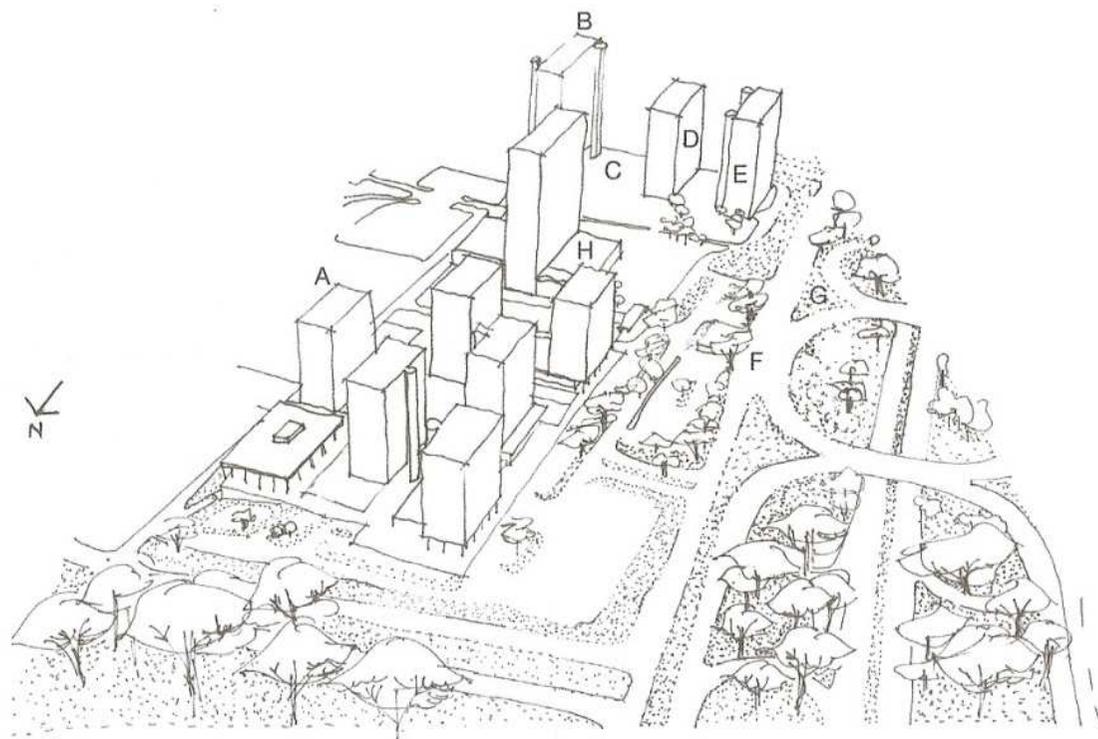
Tabela 1 – Albedo de Áreas Urbanas Típicas

Superfície	Albedo
<i>Ruas</i>	
Asfalto (fresco 0,05, envelhecido 0,2)	0,05 - 0,20
<i>Paredes</i>	
Concreto	0,10 - 0,35
Tijolo / pedra	0,20 - 0,40
Pedra caiada	0,80
Mármore branco	0,55
Tijolo colorido claro	0,30 - 0,50
Tijolo vermelho	0,20 - 0,30
Tijolo escuro e ardósia	0,20
Calcário	0,30 - 0,45
<i>Telhados</i>	
Laje impermeabilizada	0,07
Asfalto	0,10 - 0,15
Alcatrão e Cascalho	0,08 - 0,18
Telha	0,10 - 0,35
Ardósia	0,10
Palha	0,15 - 0,20
Aço corrugado	0,10 - 0,16
Telhado altamente reflexivo após as intempéries	0,6 - 0,7

<i>Pinturas</i>	
Branca, cal	0,5 - 0,9
Vermelho, marron, verde	0,2 - 0,35
Preto	0,02 - 0,15
<i>Áreas Urbanas</i>	
Variação	0,10 - 0,27
Média	0,15
<i>Outros</i>	
Areia colorida clara	0,40 - 0,60
Gramma seca	0,30
Solo médio	0,30
Areia seca	0,20 - 0,30
Plantas caducifólias	0,20 - 0,30
Floresta caducifolia	0,15 - 0,20
Solo cultivado	0,20
Areia molhada	0,10 - 0,20
Floresta conífera	0,10 - 0,15
Madeira (Carvalho)	0,10
Solo escuro cultivado	0,07 - 0,10
Relva artificial	0,05 - 0,10
Cobertura de grammas e folhas	0,05

Fonte: Santamouris, 2006, p. 112. Tradução da autora.

Figura 8 – Capacidade de absorção e reflexão dos materiais urbanos. Setor Bancário Norte – SBN - em Brasília - DF



- A) Telhado rugoso 0,10-0,15
- B) Telhado vermelho marrom 0,10-0,35
- C) Concreto 0,10-0,35
- D) Pintura colorida 0,15-0,35
- E) Pintura branca 0,50-0,90
- F) Asfalto 0,25-0,30
- G) Grama 0,25-0,30
- H) Telhado de alta refletividade 0,60-0,70
- I) Árvores

Dados dos albedos: www.epa.gov/heatisland.
Fonte: Romero, 2011, p. 75.

Oke (1988) enumera dois aspectos relevantes: o albedo dos materiais de superfície e o acesso solar. O albedo da superfície, ou refletância solar, é a fração da radiação solar refletida por ela. A geometria urbana influencia a forma como a radiação solar atua nas superfícies, alterando o valor do albedo das superfícies urbanas. Isto pode ocorrer, por exemplo, devido à

reflexão da radiação ou ao sombreamento pelos volumes edificados. As superfícies urbanas apresentam diversos albedos devido a interação dos materiais com a radiação (Tabela 2).

Tabela 2 – Albedo e Emissividade de Superfícies Seleccionadas

Material	Albedo	Emissividade
Concreto	0,30	0,94
Tijolo vermelho	0,30	0,90
Tijolo de construção	-	0,45
Telhas de concreto	-	0,63
Madeira (aplainada recetemente)	0,40	0,90
Papel branco	0,75	0,95
Papel alcatrão	0,05	0,93
Gesso branco	0,93	0,91
Aço galvanizado brilhante	0,35	0,13
Folha de alumínio brilhante	0,85	0,04
Pigmento branco	0,85	0,96
Pigmento cinza	0,03	0,87
Pigmento verde	0,73	0,95
Tinta branca em alumínio	0,80	0,91
Tinta preta em alumínio	0,04	0,88
Tinta alumínio	0,80	0,27-0,67
Cascalho	0,72	0,28
Areia	0,24	0,76

Fonte: Santamouris, 2006, p. 112. Tradução da Autora.

Os materiais construtivos se comportam de acordo com suas propriedades térmicas, sejam elas: o fator solar, o coeficiente de sombreamento, a emitância, a irradiância, a radiosidade, a emissividade, a absorptância, a refletância e a transmitância. A NBR 15220 (2005), que trata do desempenho térmico de Edificações, define estas propriedades,

sendo que nos interessam, inicialmente, as características de absorptância e emitância dos materiais construtivos dos edifícios (Tabela 3). De acordo com a norma temos que:

- Emitância é a Taxa de emissão de radiação por unidade de área (ϵ).
- Absortância à radiação solar é o quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície (α);
- Absortância em ondas longas é o quociente da taxa de radiação de ondas longas que é absorvida por uma superfície pela taxa de radiação de ondas longas incidente sobre esta superfície (α).

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 209), os materiais de construção podem ser organizados em dois grupos bem definidos: os metálicos, com baixas emissividades (capacidade de uma superfície de emitir calor), compreendidos entre 0,05 e 0,30 e os não metálicos, com altas emissividades, que variam entre 0,85 e 0,90. O autor destaca que se

uma chapa metálica, cuja emissividade⁶ é 0,20, for pintada com tinta não metálica de qualquer tipo, sua emissividade passará a ser 0,90, correspondente aos materiais não metálicos.

Tabela 3 – Absortância (α) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (ϵ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas)

Tipo de Superfície	α	ϵ
Chapa de alumínio (nova e brilhante)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizado (nova e brilhante)	0,25	0,25
Caixação nova	0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro	0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente	0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco Claro	0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento Asfáltico	0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor	0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido	0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado	0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura: Branca	0,20	0,90
Amarela	0,30	0,90
Verde Clara	0,40	0,90
"Alumínio"	0,40	0,50
Verde escura	0,70	0,90
Vermelha	0,74	0,90
Preta	0,97	0,90

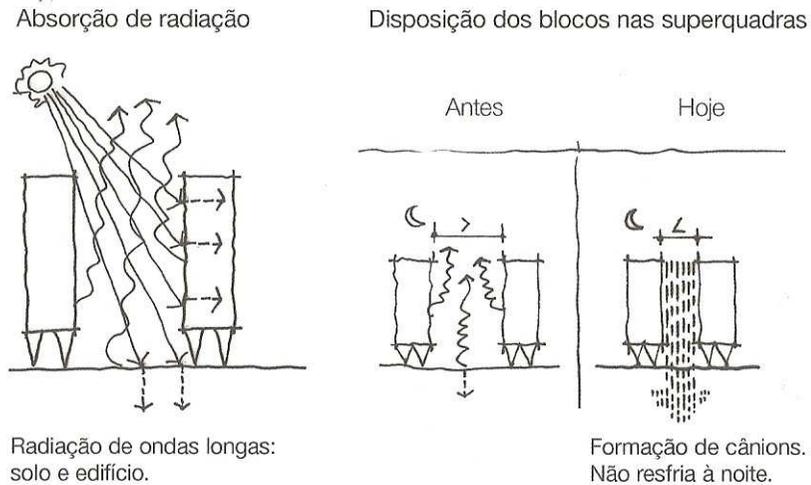
Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005, p. 8).

⁶ Quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura. Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005).

Para Romero (2011) a absortância e a emitância são indicadores físicos, respectivamente, da capacidade natural de um bloco inserido em uma malha urbana de “aquecer” devido à exposição solar do mesmo, e para “resfriar” devido às perdas por trocas de radiação de ondas longas.

As temperaturas do ar e das superfícies dentro dos cânions urbanos dependem do balanço da radiação. A maior parte da radiação solar atinge as coberturas e paredes e muito pouco atinge o solo, de modo que a radiação é absorvida em função das características dos materiais e transformada em calor sensível (ROMERO, 2011, p. 109). Nestas trocas térmicas, que podem ser por radiação, convecção e condução, as características térmicas dos materiais das superfícies urbanas, com destaque para o Albedo e para a emissividade de ondas longas, têm grande importância no resultado do balanço energético (Figura 9).

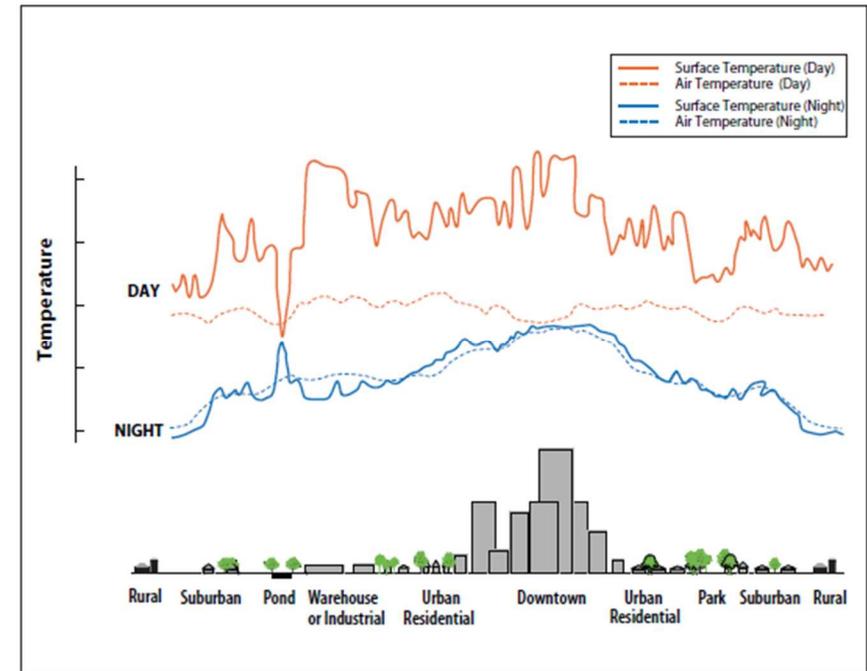
Figura 9 – Liberação, à noite, do calor armazenado



Fonte: Romero, 2011, p. 110.

Para Santamouris (2006), há uma estreita ligação entre os padrões de temperaturas das superfícies urbanas e a geometria das ruas. A capacidade de resfriamento das superfícies urbanas está relacionada à obstrução do seu horizonte. Nos estudos de Oke (1988), durante o dia, 70% a 80% da energia radiante, em todas as superfícies, é dissipada para o ar por transferência turbulenta, e o restante (20 a 30%) é armazenada pelos materiais. À noite, a liberação do calor armazenado é suficiente para contrabalançar o déficit de radiação e as trocas turbulentas são mínimas (Figura 10).

Figura 10 – Variações da Superfície e das Temperaturas atmosféricas



Fonte: EPA, 2008, p. 4.

Oke (1987) propõe o cálculo do balanço de energia, o qual atualmente serve de base teórico numérica para o software UMEP – *Urban Multi-scale Environmental Predictor* – utilizado para estudos do clima urbano. Para compreender tal equação, aplicada ao contexto urbano, faz-se necessário o entendimento do balanço de energia na escala do edifício.

Balço de Energia no Edifício

Oke (1987) considera a analogia do equilíbrio térmico de um edifício com o balanço energético de um animal bastante apropriada. Os fluxos são médias espaciais referenciadas ao volume de ar externo total do edifício. O balanço de energia de um edifício completo e seu volume de ar contido (Figura 11) é dado pela Equação 1:

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + Q_G + \Delta Q_S \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Q^* - Radiação Líquida de todas as ondas do exterior do edifício;

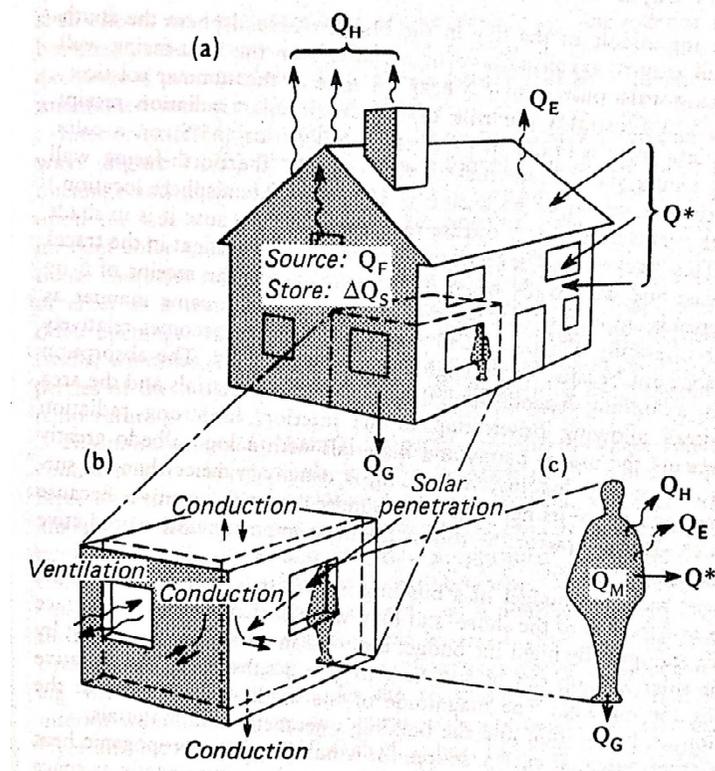
Q_F - Liberação de Calor Antropogênico interno total;

Q_H, Q_E - Troca de Calor Sensível e Latente com o ar Externo;

Q_G - Troca de Calor entre o edifício e o solo subjacente;

ΔQ_S - Mudança líquida de armazenamento de energia pelos materiais de construção e o volume de ar enclausurado.

Figura 11 – Balço de Energia no Edifício



Fonte: Oke, 1987, p. 253.

A entrada de radiação de ondas curtas de feixe direto em torno de uma casa é muito desigual devido à sua geometria tridimensional (OKE, 1987).

Balanço de Energia entre os edifícios (escala urbana)

O balanço de energia de um conjunto de edifícios, como o ilustrado na Figura 12, é dado por uma radiação semelhante àquela de um único edifício, segundo as Equações 2 e 3:

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A \quad \text{Equação 2}$$

E o balanço de água por:

$$p + F + I = E + \Delta r + \Delta S + \Delta A \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

F – Água liberada para a atmosfera por combustão;

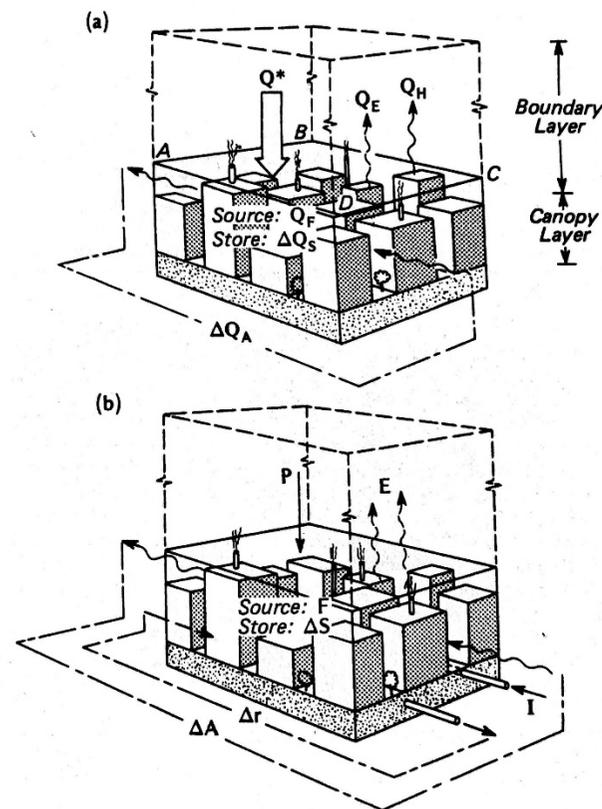
I – Abastecimento de água urbana canalizada de rios ou reservatórios;

ΔA – Admissão líquida de umidade de / para o volume de ar da cidade.

Este balanço aplica-se a volumes que se ampliem a condições suficientes para que a troca vertical (Q_G) de calor e água (f) seja insignificante. Os termos ΔQ_S e ΔS se referem as trocas de calor e água armazenados no solo, nos edifícios e nos volumes de ar internos (cânions), e Q_F e F são fontes de calor e água na cidade associadas à combustão. Observe que Q_F , F e I são energia e fluxos de massas que são controlados por decisões humanas e respondem às atividades relacionadas apenas indiretamente ao ciclo solar. Os demais termos são referentes à transferência líquida horizontal de calor sensível e latente (ΔQ_A), e de gotículas de água (ΔA)

e vapor por meio do lado do volume de ar da construção (nas fachadas dos edifícios).

Figura 12 – Balanço de Energia entre Edifícios



Fonte: Oke, 1987, p. 274.

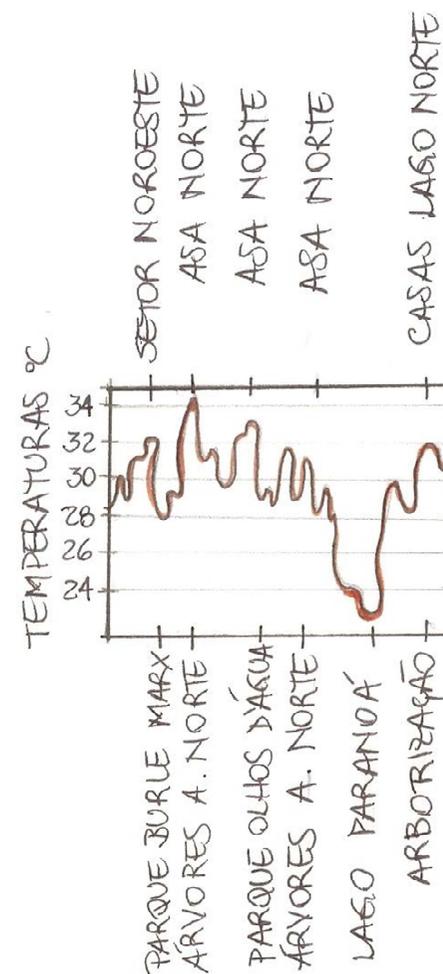
No contexto das trocas térmicas, considerando a cidade objeto de estudo do presente trabalho, na Figura 13, temos o perfil da ilha de calor na região norte do Plano Piloto de Brasília - DF. Esta área foi escolhida para

a primeira validação dos dados, em função da ampla possibilidade em averiguá-la *in loco*. O gráfico é uma adaptação do transecto obtido nos primeiros processamentos, no software ENVI, das imagens termais da banda 10 do Landsat 8. Estas temperaturas são da estação verão do ano de 2014, às 10 horas da manhã (horário em que é feito o imageamento do Landsat 8). O transecto obtido no ENVI foi adaptado à mão livre com o objetivo de destacar as áreas identificadas. Nos picos do gráfico estão as temperaturas mais altas e respectivamente as superfícies urbanas mais aquecidas, representadas por edifícios, áreas pavimentadas como o sistema viário (asfalto) e as calçadas (cimento). Nos vales do gráfico estão as temperaturas mais amenas, representadas pela vegetação, arborização e presença de corpos d'água.

Em relação às áreas edificadas da Asa Norte, representadas pelos picos do gráfico, vale destacar as que se referem às Superquadras das 400 (SQN 409, SQN 410 e outras), as quais têm temperaturas um pouco menos elevadas que as demais. Esta característica pode ser explicada com as menores densidades habitacionais. Os edifícios das 400 têm 03 pavimentos e pilotis, enquanto os edifícios das demais Superquadras do Plano Piloto têm 06 pavimentos e pilotis. Observamos que a diferença de temperatura entre as 400/200 (32°C) e 100/300 (33°C) é de 1°C. Entre aquelas e as 700/900 (34°C) a diferença é de 2°C. O alto fluxo de veículos e maior impermeabilização do eixo W (via W3 Norte) contribuem com

esta diferença de temperatura. É uma sensível diferença de temperaturas do ambiente urbano, a qual instiga as questões de Planejamento.

Figura 13 – Perfil da Ilha de Calor na região Norte do Plano Piloto do Distrito Federal. Transecto com temperaturas das 10:00 h da manhã da estação verão



Fonte: Adaptado do ENVI, 2015, sem p.

Esta energia radiante proveniente das trocas de calor entre as superfícies e o ar, pode ser denominada também de temperatura de brilho e sua intensidade é medida em comprimento de onda.

“Wukelic (1989) apontou a necessidade da calibração correta de dados do satélite mesmo em órbita e retomou técnicas de Markham e Barker (1986) para a transformação dos números digitais da imagem para dados em radiância, com isso propôs uma nova calibração para a banda termal 6 do imageador TM, por meio da inversão da função de Planck. Assim, Wukelic (1989) demonstrou a potencialidade da temperatura de brilho para obtenção de dados de temperatura” (OLIVEIRA e GANEM, 2014, p. 30).

A análise das imagens termais provenientes do sensoriamento remoto tornou-se viável mediante a transformação dos Números Digitais para dados de radiância e reflectância no topo da atmosfera para temperatura de brilho. Este procedimento é realizado mediante a inserção de algoritmos correspondentes nos processamentos. Tais algoritmos incluem os metadados que acompanham as imagens de sensoriamento remoto.

Conforme o transecto exposto, além dos padrões de temperaturas atuando sobre a geometria urbana, a presença da vegetação influencia fortemente o clima urbano, estabelecendo nítidos contrastes entre as temperaturas das superfícies. A evapotranspiração, como veremos na sequência, é a troca térmica pela qual a vegetação atua nas áreas urbanas.

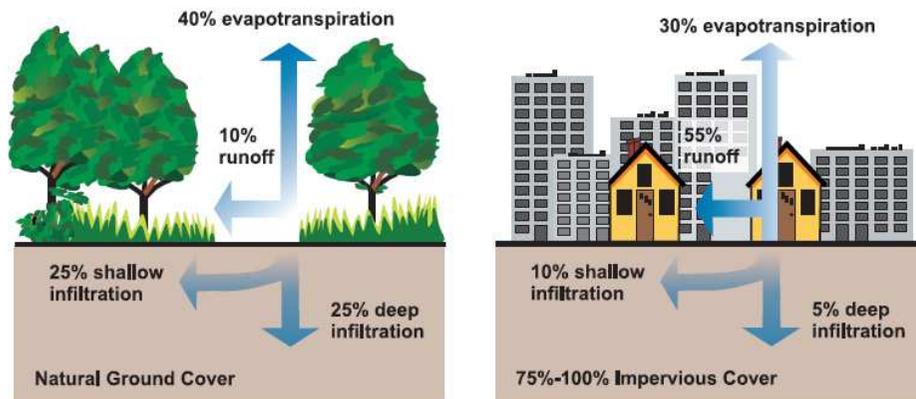
Evapotranspiração e presença de vegetação na cidade

Entre os estudos realizados acerca da presença de vegetação nas cidades, os temas são: a redução da temperatura do ar, a redução da poluição atmosférica, a umidificação e controle dos ventos, atuando sobre os elementos climáticos dos microclimas urbanos. Os mecanismos que mais influenciam o balanço energético são captação da radiação solar e evapotranspiração, processo em que as plantas absorvem água do solo e a reemitem para a atmosfera em forma de vapor de água (DUARTE, 2000; ROMERO 2011).

Com o crescimento das cidades, a cobertura natural do solo e a vegetação diminuem e as áreas edificadas e superfícies impermeabilizadas aumentam, diminuindo as áreas de sombra e reduzindo a umidade, causando a consequente elevação das temperaturas de superfície e do ar. Assim, a impermeabilização do solo, ou redução da capacidade de infiltração de água, está diretamente relacionada com a redução da evapotranspiração (Figura 14).

entre o fluxo de calor sensível e o fluxo de calor latente” (ROMERO, 2011, p. 84).

Figura 14 – Relação entre a impermeabilização do solo e o escoamento superficial



Fonte: EPA, 2008, p. 1.

Disponível em: https://www3.epa.gov/npdes/pubs/nps_urban-facts_final.pdf. Acesso em 16 de agosto de 2017.

A presença de vegetação traz vida, beleza e sensação de acolhimento aos espaços urbanos. Entre estes efeitos positivos, no âmbito do clima urbano, uma área densamente arborizada, por exemplo, proporciona o “efeito oásis”. A combinação da transformação de água no estado líquido para gasoso, com a transferência da água das plantas como vapor de água para a atmosfera, explica este valioso processo que ocorre onde a vegetação está presente.

“A evapotranspiração, combinação perfeita da perda de água para a atmosfera pela evaporação e transpiração, é o maior mecanismo por meio do qual as árvores contribuem para diminuir a temperatura urbana, ajudando a criar um espaço com baixa temperatura, conhecido como “fenômeno Oásis”, que consiste na razão

O fluxo de calor latente é o calor necessário para os processos de trocas úmidas como o processo de evapotranspiração onde o calor é retirado do ar ou da superfície para a mudança de estado da água. Nas superfícies impermeabilizadas da cidade não ocorrem os processos naturais de evaporação e evapotranspiração, alterando temperatura, umidade e velocidade do vento na superfície.

Segundo Romero (2011, p. 85), as árvores também podem mitigar o efeito estufa, filtrar os poluentes, mascarar os ruídos, prevenir a erosão e exercer um efeito calmante nas pessoas. O desempenho da vegetação depende de sua intensidade, forma, dimensões e localização. Entre os principais objetivos do presente estudo, buscaremos quantificar classificar as áreas de vegetação, a fim de analisar o impacto das mesmas no clima urbano.

No próximo capítulo, a abordagem da morfologia urbana, a qual junto a presença de vegetação, compõe o cenário das trocas térmicas decorrentes da atuação dos elementos do clima, como a radiação solar e a ventilação, dando origem ao clima urbano.

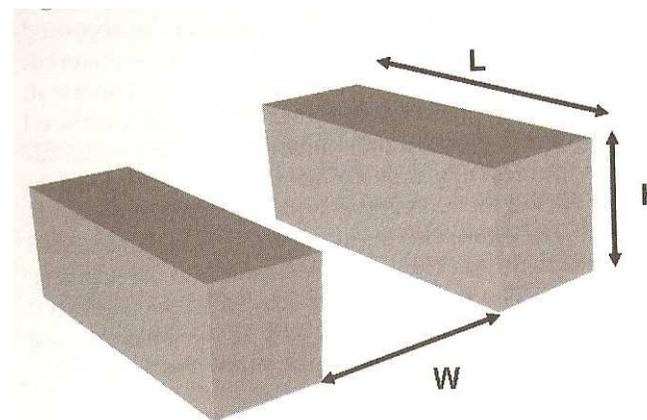
1.3. Morfologia Urbana

Algumas relações que envolvem a morfologia urbana são fundamentais para a análise do campo térmico urbano, são elas: as proporções W/H/L, os Cânions Urbanos, o Fator Visão do Céu - FVC, os adensamentos, a rugosidade, a porosidade e as características dos materiais de revestimentos das superfícies. A geometria urbana tem ação direta na alteração do fluxo de ventilação, absorção de energia e na emissão de radiação de onda longa para a atmosfera por meio de suas superfícies aquecidas (EPA, 2008).

Fator W/H/L e Cânions Urbanos

A proporção W/H trata da relação entre a largura (*width*) da via e a altura (*height*) do edifício para descrever a geometria urbana e seu desempenho térmico. Romero (2011), Oke (2006) e Santamouris (2006) consideram a relação W/H, sendo que incluem a dimensão L (*length*), que trata do comprimento do Cânion Urbano. Nestas proporções, por sua vez, temos a origem dos demais conceitos, de Adensamentos, Rugosidade e Porosidade das áreas urbanas (Figura 15).

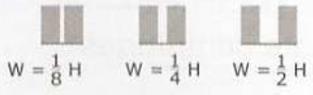
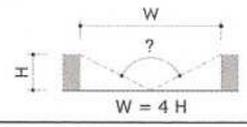
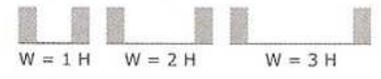
Figura 15 – Altura, Largura e Comprimento do Cânion



Fonte: Santamouris, 2006, p. 106.

Romero (2011) estabelece um quadro com as proporções W/H, cujos resultados das proporções entre a distância dos prédios e suas alturas possibilita uma classificação tripartida dos espaços urbanos (Quadro 4): claustrofóbicos ($W \leq H$) de recolhimento ($1H \leq W \leq 4H$) e expansivos ($W \geq 4H$). Esta classificação tem origem nos estudos de Oke (1988, p. 105).

Quadro 4 – Relação de percepção dos edifícios e seus entornos imediatos

ESPAÇOS CLAUSTROFÓBICOS	ESPAÇOS DE RECOLHIMENTO	ESPAÇOS EXPANSIVOS
 <p>$W = \frac{1}{8} H$ $W = \frac{1}{4} H$ $W = \frac{1}{2} H$</p>	 <p>$W = 4 H$</p>	 <p>$W = 1 H$ $W = 2 H$ $W = 3 H$</p>
Densidade Alta	Densidade Média	Densidade Baixa
Com as proporções $W=1/8H$, $W=1/4H$ e $W=1/2H$.	Com proporções $W=H$, $W=2H$ e $W=3H$.	Com proporções $W \geq 4H$.
Espaços estreitos, onde as proporções verticais prevalecem, não permitem visuais amplas. Neles verificam-se estímulos visuais fortes.	Espaços harmônicos, apartamentos para abrigar atividades sociais de convívio. Contornos marcados, definição forte.	Espaços excessivamente abertos, sem contornos definidos. As distâncias grandes enfraquecem os estímulos visuais. Adequado para destacar pontos focais, tais como obeliscos, fontes, estátuas. Para criar senso de lugar, espaços com essas proporções, como o Passeio de Graça em Barcelona por exemplo, utilizam fileiras de árvores para dar definição ao espaço.
Absorvem calor muito acima do nível do solo.	A absorção de calor se dá próxima ao nível do solo.	A maior parte da radiação é refletida.
Existe um amortecimento do ciclo térmico e normalmente a temperatura permanece estável (calor ou frio) durante o dia e só é alterada por um fator extremo.	Existe uma menor possibilidade de inversão térmica, ou seja, a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual à da parte exterior.	A possibilidade de inversão térmica é mínima e a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual à exterior.
Os fluxos de ar entre os edifícios são independentes.	Os fluxos de ar entre os edifícios interagem entre si.	O fluxo de ar tende a passar sobre os edifícios.

Fonte: Romero, 2011, p. 93.

Observamos que as questões de fluxo de ventos, temperaturas, insolação, sombreamento e trocas térmicas são fundamentalmente influenciadas pelas proporções W/H/L. Isto fica claro ao analisarmos os chamados Cânions Urbanos, que são formados por três superfícies (paredes e piso) e três lados abertos (ROMERO, 2011). Observando que as paredes são o H e o piso o W, além do L, que é o comprimento. Esta geometria possibilita aprofundados estudos e análises, as quais deverão ser melhor expostas posteriormente.

Romero (2011) destaca que somente quando W/H é maior que 0,7, está garantida a existência do cânion e que o mero espaço entre edifícios não constitui cânion. Assim, no Plano Piloto de Brasília, especificamente nas áreas estreitas de circulações entre nos edifícios dos Setores Comerciais, tais como: SBN, SBS, SHN e SHS, encontramos este fator W/H, que não constituem cânions. Além de áreas claustrofóbicas entre os edifícios da Região Administrativa da Águas Claras, por exemplo. No Plano Piloto predominam as áreas expansivas, cujo $W \geq 4H$, uma vez que predominam os grandes eixos viários e número de pavimentos reduzidos dos edifícios.

A disposição dos edifícios em Brasília, contudo, mesmo nas áreas mais adensadas permitem ventilação moderada, diferente por exemplo, do cânion urbano da Avenida Paulista, na capital de São Paulo, caracterizado por um longo corredor de vento.

Fator Visão de Céu

O Fator de Visão do Céu – FVC - é a medida da fração do céu visível em um ponto de observação no espaço urbano, isto é, o grau de obstrução gerado pelo entorno. O FVC relaciona-se a questões de insolação, sombreamento e iluminação urbana, as quais deveriam ser mais frequentemente consideradas pelos projetistas, pois atua principalmente nas alterações de trocas térmicas com o céu dificultando o resfriamento das superfícies.

Por meio do FVC é possível visualizar o impacto espacial das edificações nas áreas urbanas. Romero (2011, p. 95) afirma que a obstrução maior do céu acarreta um aumento do calor na área e, conseqüentemente, quanto maior a visão do céu de uma superfície urbana, maior é a sua capacidade de resfriamento. A análise deste conceito deverá ter resultados diversos dentro do próprio Plano Piloto de Brasília, uma vez que a geometria urbana é variada, embora prevaleçam as áreas expansivas.

Adensamentos, Rugosidade e Porosidade

O aquecimento das áreas urbanas relaciona-se às questões como os Adensamentos, a Rugosidade e a Porosidade. A primeira é a razão entre a população que ocupa a cidade e a área ocupada e os demais referem-se à disposição dos edifícios na malha urbana e suas inter-relações com os

fluxos de vento, temperatura e demais elementos influenciadores do clima urbano (ACYOLLI e DAVIDSON, 1998; ROMERO, 2011).

O movimento das massas de ar acontece desde a área de maior pressão para a de menor pressão, que é diretamente influenciada pela temperatura. O ambiente urbano provoca alterações na velocidade e direção dos ventos produzindo efeitos aerodinâmicos como canalização, barreira e outros. A velocidade, portanto, está relacionada com a rugosidade da superfície da cidade e aumenta conforme a altura dos edifícios (Figura X). Para Romero (2011), o vento é o dado meteorológico mais variável e na escala do microclima afeta os pedestres e as edificações, por exemplo, aumentando as perdas de calor por convecção.

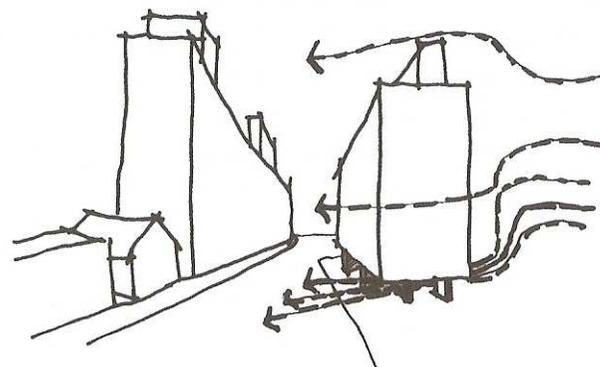
Compreendendo adensamento como a quantidade de habitantes por metro quadrado de área construída da cidade, nos remetemos à ideia de verticalização, uma vez que nestas condições torna-se possível abrigar um número maior de pessoas, ocupando menores áreas em projeção do espaço urbano. Daí vem o conceito da cidade compacta, que por sua vez, também é alvo de estudiosos e possibilita vários questionamentos, entre eles a questão do trânsito, do dimensionamento da infraestrutura, do impacto ambiental e neste ínterim, o do favorecimento ao fenômeno ilhas de calor urbanas. Rueda (1999) utiliza a “densidade construída” para tratar os fenômenos climáticos urbanos. Eles delimitam o entorno de uma

área em função da homogeneidade do padrão de ocupação e medem a temperatura média do ar nas duas estações (seca e da chuva). O primeiro distingue dois modelos de cidade, a “compacta” e a “difusa”.

Outro fator que influencia as temperaturas urbanas, principalmente porque altera os fluxos dos ventos, é a Rugosidade. Esta refere-se à diferença entre as alturas dos edifícios e outras superfícies horizontais (Figura 16). Romero (2011) exemplifica a situação de um edifício quando se destaca em relação aos outros:

“O fluxo de ar se estagna aproximadamente a três quartos da altura do edifício. Uma parte do fluxo ultrapassa o edifício e outra é desviada para baixo, na direção da cavidade do edifício menor, formando um forte vórtice perto da fachada posterior. O restante do fluxo contorna o edifício alto, em formato de ferradura. Caso o edifício tenha pilotis, o fluxo descendente é canalizado, produzindo um fluxo que atravessa o edifício” (ROMERO, 2011, p. 108).

Figura 16 – Fluxo de vento em situações de edifícios altos entre outros mais baixos



Fonte: Romero, 2011, p. 109.

Finalmente, quanto à Porosidade é válido utilizar o conceito de permeabilidade. Entre o conjunto de categorias de análise do espaço urbano utilizadas por Oliveira (2003), porosidade se refere a maior ou menor permeabilidade às manifestações atmosféricas, a perfuração e os níveis de transparência. Assim, enquanto rugosidade relaciona-se com a altura dos edifícios, a porosidade relaciona-se predominante com as dimensões horizontais e suas aberturas, embora eventualmente refira-se também às dimensões verticais dos edifícios e suas disposições na malha urbana. Em Brasília, os bons exemplos são os edifícios residenciais das superquadras, que permitem o fluxo do vento, tanto na dimensão vertical (no pilotis e limite de altura dos edifícios em quatro pavimentos), quanto na horizontal (nos generosos afastamentos entre os edifícios).

1.4. Calor Antropogênico

Na escala do edifício, o calor antropogênico refere-se à energia emitida por um corpo humano ao exercer as atividades cotidianas, como trabalho e exercícios físicos (no interior do edifício). Na escala urbana, contudo, o calor antropogênico se refere ao calor gerado por atividades humanas de fontes variadas, como o funcionamento dos edifícios, os processos industriais, os meios de transporte e pelos habitantes, contribuindo para a formação de ilhas de calor urbanas (GARTLAND, 2010).

Para Oke (1987) a densidade do calor antropogênico (Q_F) depende do uso médio de energia pelos indivíduos e da densidade populacional da cidade. O uso de energia per capita depende de muitos fatores, incluindo a riqueza e a natureza da economia, e a necessidade de aquecimento do espaço no inverno, ou resfriamento (mecânico) no verão. O autor expõe que em várias cidades norte americanas, o calor antropogênico (Q_F) é uma fonte de energia significativa, aproximando-se ou superando a radiação solar, especialmente no inverno.

Nas cidades brasileiras, cujas baixas latitudes contribuem, o mais comum é o intenso uso do ar condicionado em residências e comércios. As instalações de equipamentos e condensadores de ar em fachadas, alteram o microclima local, expulsando o ar quente do interior para o exterior, e influenciando o conforto térmico dos pedestres que circulam pelo espaço público.

Com destaque para as metrópoles, as grandes cidades e médias, os meios de transporte também são fortes geradores de calor na altura do pedestre, além de lançarem poluentes na atmosfera. Lombardo (1985, p.210) observou em sua pesquisa sobre ilhas de calor em São Paulo: “é importante notar que a interferência antropogênica gerada pela intensa atividade humana diminui as anomalias climáticas no fim de semana”.

O estudo do clima urbano inclui, portanto, não só a geometria urbana e os materiais de superfície, mas também o funcionamento das áreas

habitacionais, comerciais e industriais, além da circulação de veículos. Cada um destes sistemas compostos por equipamentos atuantes nas emissões atmosféricas. A prevenção contra o aquecimento das áreas urbanas deve considerar esta como uma questão fundamental. As políticas públicas voltadas para o Planejamento Urbano precisam ser revistas no sentido de considerar o funcionamento da cidade e não só a edificação da mesma. Existe uma ênfase das Leis ao “objeto cidade” construído e menor importância à “existência do objeto”.

1.5. Considerações Finais do Capítulo

A análise do ambiente urbano é fundamental para a compreensão do campo térmico. As trocas de energia por ondas longas e curtas existentes no meio urbano, entre os edifícios, entre as diferentes formas e entre os diversificados materiais de superfícies, dão origem ao clima urbano.

Os dados dos materiais de superfícies expostos, tais como: albedo, emissividade, absorvância e emitância, além de base para as análises do presente trabalho, devem servir também de fontes para futuras pesquisas e experimentos do clima urbano. Além da revisão de Morfologia Urbana, com as definições do fator W/H/L, FVC e dos Cânions Urbanos, os quais atuam diretamente no balanço de energia.

O cálculo do balanço de energia caracteriza a essência do aquecimento de áreas e a formação das ICU - “ilhas de calor urbanas”. A partir dele

foram desenvolvidos softwares, tais como o UMEP – *Urban Multi-scale Environmental Predictor*, plugin do QGIS, também software livre. Esta ferramenta pode ser usada para uma variedade de aplicações relacionadas ao conforto térmico externo, consumo de energia urbana, mitigação de mudanças climáticas, entre outras, e será utilizada em trabalhos futuros oriundos deste.

2. Ilhas de Calor Urbanas

Consiste no aquecimento de áreas urbanas, densamente ocupadas e/ou impermeabilizadas, em relação a áreas do entorno com maior presença de vegetação, sejam rurais ou urbanas também. Entre as causas da formação das ilhas de calor urbanas – ICU - pode-se destacar: a elevada capacidade de armazenamento calorífico dos materiais das edificações, a produção do calor antropogênico, a diminuição da umidade do ar devido à pavimentação do solo, a redução na velocidade do ar originada pela rugosidade da superfície, o aumento da absorção da radiação solar e consequente alteração do albedo, entre outras (OKE, 2006; SANTAMOURIS, 2006; GARTLAND, 2010; ROMERO, 2011; STEWART e OKE, 2012).

Nocivas ao ambiente urbano, nos países tropicais, as ilhas de calor incorrem no aumento da demanda por energia para resfriamento mecânico (ar condicionado), na poluição do ar, nas emissões de gases de efeito estufa e até em doenças relacionadas ao calor. Gartland (2010) descreve cinco características em comum das ilhas de calor:

1. (...) O ar no "dossel urbano", abaixo das copas das árvores e edifícios, pode ser até 6°C mais quente do que o ar em áreas rurais;
2. (...) Superfícies artificiais absorvem mais calor do sol do que a vegetação natural;
3. Essas diferenças nas temperaturas do ar e na superfície são realçadas quando o dia está calmo e claro;

4. Áreas com menos vegetação e mais desenvolvidas tendem a ser mais quentes, e ilhas de calor tendem a ser mais intensas conforme o crescimento das cidades;
5. Ilhas de calor também apresentam ar mais quente na "camada limite", uma camada de ar de até 2.000m de altura” (GARTLAND, 2010, p. 11).

No Quadro 5, uma exposição detalhada dos processos de formação das Ilhas de Calor Urbanas por Stewart e Oke (2012):

Quadro 5 – Causas das Ilhas de Calor Urbanas

Causas do efeito da ilha de calor urbana.	
1	1. Grande absorção de radiação solar devido à reflexão múltipla e à captura de radiação pelas paredes construídas e superfícies verticais na cidade. A maior absorção não é, como costuma ser assumida, devido unicamente ao menor albedo de materiais urbanos.
2	2. Maior retenção de radiação infravermelha em canyons de rua devido a uma visão restrita do hemisfério radiante "fria" do céu. A visão do céu fica cada vez mais restrita com edifícios mais altos e mais compactos.
3	3. Grande absorção e liberação tardia de calor por edifícios e superfícies pavimentadas na cidade. Muitas vezes, incorretamente atribuído apenas às propriedades térmicas dos materiais, esse efeito também se deve à radiação solar e infravermelha "retida" e às perdas convectivas reduzidas na camada do dossel onde o fluxo de ar é retardado.
4	4. Grande parte da radiação solar absorvida na superfície é convertida em formas de calor sensíveis e não latentes. Este efeito é devido à substituição de solos úmidos e plantas por superfícies pavimentadas e impermeabilizadas e um declínio resultante na evaporação da superfície.
5	5. Grande liberação de calor sensível e latente da combustão de combustíveis para transporte urbano, processamento industrial e aquecimento / resfriamento doméstico. O calor e a umidade também são liberados do metabolismo humano, mas isso geralmente é um componente menor do balanço energético da superfície.
Fonte: Stewart e Oke, 2012, p. 1881.	

Os critérios para a classificação da qualidade do clima urbano, da ilha de calor e das zonas de ventilação propostos por Katzschner (1997) estão no

Quadro 6. O autor propõe a análise a partir de diferentes tipos de uso e ocupação do solo, estruturas urbanas e situação topográfica na área.

Quadro 6 – Critérios para um sistema de classificação de clima urbano

Classificação do clima urbano	Situação geográfica	Condições da superfície	Extensão da rugosidade Z_0	Grau de fechamento	Estrutura da cidade
Intensidade máxima da ilha de calor	Principalmente em vales	Concreto	>1,5	60%	Prédios altos, áreas densamente construídas
Intensidade mais baixa da ilha de calor	Indefinido	Concreto, ruas com árvores	1,5	50%	Áreas densamente construídas
Intensidade moderada da ilha de calor	Limites da cidade indefinidos	Casas com jardins	0,5 -1	40%	Prédios pequenos
Clima industrial	Indefinido	Principalmente asfalto	1	60%	Edifícios públicos e de produção
Zonas de ventilação para sistemas de circulação regional	Áreas de ventilação dentro da cidade	Asfalto ou vegetação	< 0,5	< 0%	Ruas, espaços livres
Zonas de ventilação, trilhas de ar, zonas de produção de ar frio	Circunvizinho	Campos verdes	< 0,5	< 10%	Parques, áreas de vegetação ou agrícolas
Áreas de sistemas de circulação local	Espaços livres dentro da cidade	Superfícies diferentes	1	0-60%	Diversas estruturas
Áreas frias, com clima moderado	Indefinido	Vegetação	0,5-1,5	10%	Parques, cinturões verdes, florestas

Fonte: Katzschner, 1997, p. 52.

Em “Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas”, Lisa Gartland (2010) estabelece a linha do tempo dos estudos acerca da temática, enumerando uma sequência temporal de autores em diversos continentes (Quadro 7), no sentido de comparar e relacionar o processo de formação destas “áreas aquecidas” nas cidades. A autora define o que são as ilhas de calor em áreas urbanas, utilizando o modelo clássico do Balanço Energético para apontar as causas, abordando os aspectos empíricos e teóricos da temática.

Quadro 7 – Os primeiros estudos sobre “Ilhas de Calor”

Autor	Período	Cidade	Observações
Luke Howard	1818 - 1833	Londres	Cidade e campo
Emilien Renou	1855 – 1862 - 1868	Paris	Cidade e campo
Wilhelm Schmidt	1917 - 1929	Viena	Cidade e campo
Mitchell	1953 - 1961	EUA	Cidade e campo

Fonte: Adaptado de Gartland, 2010, p. 9.

Para a exposição do fenômeno ilhas de calor, Gartland (2010, p. 12 a 23) analisou cerca de 15 (quinze) estudos realizados ao redor do mundo sobre o tema e seus respectivos métodos, tais como (Quadro 8):

Quadro 8 – Estudos recentes sobre “Ilhas de Calor”

Autores	Período	Cidade	Observações
1. Morris e Simmonds	2000	Melbourne Austrália	Temperatura do ar em dezembro de 1997, janeiro e fevereiro de 1998 (verão) e junho, julho e agosto de 1998 (inverno). Medições realizadas no Centro Comercial e no Aeroporto, nos horários 6 h, 12 h, 18 h, 24 h.
2. Steinecke	1999	Reykjavík Islândia	4°C negativos de ilha de calor, a cidade é mais fria que as áreas rurais circundantes.
3. Brazel et al.	2000	Phoenix Arizona EUA	Maior arborização e irrigação em áreas desenvolvidas provocam o efeito “oásis”, temperaturas 1 a 2°C mais frias que as áreas rurais circundantes durante o dia, sendo que durante à noite ocorre uma inversão, quando o efeito “ilha de calor” provoca de 3 a 8°C à mais na área urbana em relação à rural.
4. Todhunter	1996	Minneapolis St Paul	26 localidades em Minneapolis – St Paul. Lugares com mais graus-dia de resfriamento apresentaram temperaturas mais elevadas e ilhas de calor mais intensas.
5. Yamashita, 1996	1990	Tóquio Japão	Temperaturas medidas a partir de trens em movimento ao longo de 16 linhas ferroviárias em Tóquio e em áreas circundantes. Em agosto, à noite, a intensidade da ilha de calor era de 3°C sobre a área metropolitana de Tóquio. Em novembro, pela manhã, uma intensidade de 5°C.
6. Montavez et al.	2000	Granada Espanha	Medições em 84 localidades pela cidade, considerando a intensidade do uso do solo. Mapeamento dos picos de temperatura de acordo com

			os maiores índices entre altura dos edifícios e largura das ruas. Comprovação do efeito arrefecimento de um parque urbano.
7. Schott e Schimminger, 1981	1978	Búfalo Nova York	O programa Explorer Mission 1 de 1978 foi um dos primeiros a ter os dados gerados por um satélite utilizado para observar o calor urbano. Um radiômetro de mapeamento de capacidade calorífica mediu as temperaturas de superfície da região.
8. Gorsevski et al.	1998	Sacramento Califórnia	Imagem obtida pela NASA (National Aeronautics and Space Administration), por meio de um Laser Jet equipado com um ATLAS (sensor avançado de aplicativos térmicos e terrestres). A resolução de 10 metros por pixel permite identificar construções individualmente.
9. Imamura, 1989; Kawashima et al., 2000; e Watkins et al., 2002	2002	Tóquio Japão	Foram encontradas relações entre as temperaturas de superfície medidas a partir de sensores remotos e as temperaturas do ar em diferentes cidades.
10. Tumanov et al., 1999	1994	Bucareste Romênia	Medições em duas estações urbano-rurais, em dias nublados e com ventos, sendo que a diferença de temperatura de apenas 1°C à noite; e em dias claros e calmos, a intensidade da ilha de calor apresenta-se bem maior, chegando a 3,6°C.
11. Bornstein	1968	Nova York	Um helicóptero sobrevoou a cidade, fazendo medições verticais de temperaturas e de pressão em locais

			específicos. As temperaturas foram medidas ao pôr do sol em dia claro e calmo de verão.
12. Godowitch et al., 1985	1975	St. Louis Missouri	Medições verticais de temperatura a partir de voos de helicóptero sobre a cidade.

Fonte: Adaptado de Gartland, 2010, p. 12 a 23.

Para abordar as causas da ilha de calor, Gartland (2010, p. 27) baseia-se no modelo clássico do Balanço Energético (Equação 4), que por sua vez considera a primeira lei da termodinâmica – “a energia nunca é perdida”.

Equação 4:

$$\text{Convecção} + \text{Evaporação} + \text{Armazenamento de Calor} = \text{Calor Antropogênico} + \text{Saldo de Radiação}$$

Sendo:

- Convecção, a energia que é transferida de uma superfície sólida para uma fluida, nesse caso da superfície terrestre para o ar acima dela;
- Evaporação, a energia transmitida a partir da superfície terrestre em forma de vapor d’água;
- Armazenamento de Calor, depende de duas propriedades dos materiais: a condutividade térmica e a capacidade calorífica;
- Calor Antropogênico, representa o calor “produzido pelo homem” que é gerado por edifícios, equipamentos ou pessoas;

- Saldo de Radiação (Equação 5), abrange quatro processos de radiação distintos que acontecem na superfície terrestre (GARTLAND, 2010, p. 28):

Equação 5:

$$\text{Saldo de Radiação} = \text{Radiação Solar Global} - \text{Radiação Solar Refletida} + \text{Radiação Atmosférica} - \text{Radiação da Superfície}$$

Sendo:

- Radiação Solar Global, a quantidade de energia radiada pelo sol;
- Radiação Solar Refletida, a quantidade de energia que é refletida a partir de uma superfície, de acordo com a refletância do material;
- Radiação Atmosférica é o calor emitido por partículas presentes na atmosfera (gotículas de vapor d'água, nuvens, poluição e poeira);
- Radiação da Superfície é o calor radiado a partir de uma superfície. Uma superfície mais quente, por exemplo, radia mais energia.

Gartland (2010) comprovou o ganho de calor em áreas urbanas decorrentes de atividades antropogênicas (Quadro 9).

Quadro 9 – Estudos recentes sobre “Ilhas de Calor”

Autores	Período	Cidade	Observações
1. Balling e Brazel, 1988; Brazel et al., 2000	1988	Phoenix Arizona	Nem todas as cidades possuem níveis de evaporação reduzidos, porém, elas ainda assim sofrem com as ilhas de calor em decorrência de outras causas. Phoenix, no Arizona e Negev em Israel, tendem a apresentar níveis de evaporação mais elevados do que os desertos que as cercam por terem sido planejadas com muitas árvores e gramados que são molhados e irrigados regularmente.
2. Pearlmutter et al., 1999	1999	Negev Israel	
3. Khan e Simpson, 2001	1996	Brisbane Austrália	Estimativas mais recentes de ganhos de calor antropogênico incluem áreas urbanas, suburbanas e rurais, no mês de dezembro (verão). O padrão diário apresenta valor de pico de 65 W/m ² , sendo que antes de 1980 este valor ficaria entre 20-45 W/m ² .
4. Ichinose et al., 1999	1999	Tóquio Japão	Em regiões mais densamente povoadas e com maior intensidade de energia urbana, foram encontrados níveis mais elevados de até 400 W/m ² no verão e de até 1590 W/m ² no inverno.

Fonte: Adaptado de Gartland, 2010, p. 30 e 35.

Os cinco métodos básicos utilizados para medir os efeitos da urbanização, segundo Gartland (2010, p. 37), são:

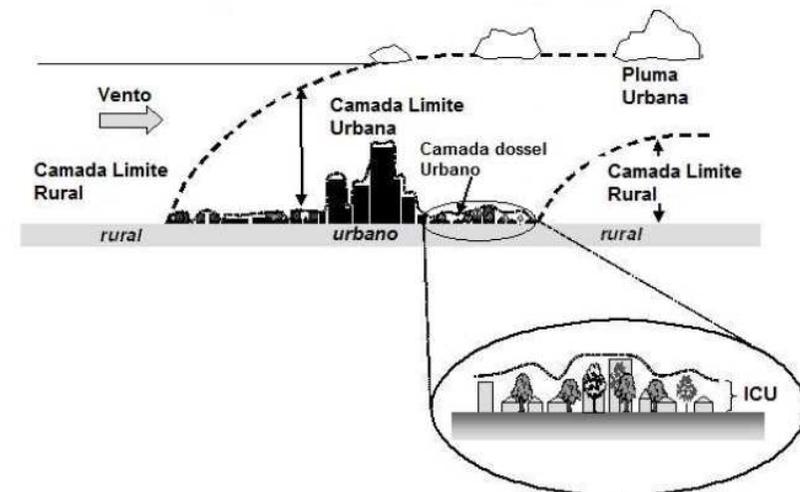
- Estações fixas;
- Transectos Móveis;
- Sensoriamento Remoto;
- Sensoriamento Vertical;
- Balanços de Energia.

Segundo as escalas de análise do clima urbano expostas anteriormente, Oke (2006) estabelece dois diferentes tipos de ilha de calor: de superfície e atmosférica. A ilha de calor de superfície se refere ao aquecimento relativo das superfícies urbanas. A ilha de calor atmosférica (Figura 17) se forma nas seguintes camadas:

- Camada dossel urbano (CDU): próxima às superfícies da cidade, se estendendo verticalmente desde o solo até a influência do edifício mais alto. Compreende a camada de ar onde as pessoas vivem (EPA, 2008);
- Camada limite urbana (CLU): situa-se acima do dossel, formando um domo de ar aquecido sobre a cidade, que pode ter sua forma modificada pelo vento (VOOGT, 2007).

Esta é uma importante definição, no sentido de identificar que o presente trabalho direciona-se à análise das ICU de Superfície – na Camada Dossel Urbano ou Urban Canopy Layer (UCL).

Figura 17 - Ilha de calor urbana atmosférica



Fonte: Adaptado de Voogt e Oke, 2003, p. 1. Disponível em: <http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html>. Acesso em 15/06/2017.

As principais diferenças entre essas categorias de ICU estão relacionadas no Quadro 10, baseadas no desenvolvimento temporal, intensidade, método de identificação e representação.

Quadro 10 - Ilha de Calor Urbana de Superfície e Atmosférica

Características	ICU Superfície	ICU Atmosférica
Desenvolvimento Temporal	Presente em todas as horas do dia e da noite	Pode ser pequena ou inexistente durante o dia
	Mais intensa durante o dia e no verão	Mais intensa durante a noite e no inverno
Intensidade (amplitude térmica)	Maior variação espacial e temporal	Menor variação:
	Dia: 10 a 15°C	Dia: -1 a 3°C
	Noite: 5 a 10°C	Noite: 7 a 12°C
Método de Identificação	Medição indireta:	Medição direta:
	Sensoriamento remoto	Estação meteorológica fixa
		Transectos em rede de estações móveis
Representação Típica	Imagem termal	Mapa isotérmico
		Gráfico de temperatura

Fonte: Adaptado de EPA, 2008, p.2.

Gartland (2010, p. 37) acrescenta que as medições são importantes, contudo não conduzem às medidas para mitigar as ilhas de calor e é aí que a simulação se faz necessária. Diferentes modelos de simulação vêm sendo utilizados no sentido de diminuir as temperaturas, o consumo de energia e a poluição do ar. Existem modelos específicos de simulação para observar edifícios individualmente, cânions urbanos e áreas urbanas mais extensas. No próximo capítulo seguem as possibilidades de mitigação de Ilhas de Calor Urbanas.

2.1. Mitigação de Ilhas de Calor Urbanas

Mitigar significa tornar um problema menos intenso, aliviar, suavizar. Para mitigar é necessário antes de qualquer ação, identificar os novos paradigmas e o que de fato provoca o problema. No caso da mitigação de Ilhas de Calor Urbanas, existem várias frentes de atuação, entre elas: a conscientização ambiental, a acadêmica, o mercado privado, as políticas públicas e outras. O Planejamento Urbano, por exemplo, cujas Leis teriam que passar a considerar a vida na cidade. O funcionamento de equipamentos e automóveis em movimento, gerando emissões. O consumo de energia, os materiais de superfície absorvendo calor e emitindo-o para a atmosfera. Estas características e todas as demais abordadas no presente trabalho, retratam novas considerações a serem contempladas em Políticas Públicas para a mitigação de Ilhas de Calor Urbanas.

A considerar o estado da arte do presente trabalho, relata-se que a produção científica no Brasil volta-se para modelos teóricos e existem raras divulgações de tal conhecimento no mercado editorial brasileiro. Os resultados também não são aproveitados na prática, no que diz respeito à mitigação dos efeitos das ilhas de calor.

Gartland (2010) sugere possibilidades de intervenção para mitigar ilhas de calor, tais como melhorar a forma de utilização dos terrenos, das propriedades térmicas dos materiais de revestimento, de pavimentação e

de cobertura e suas respectivas aplicações, do emprego da vegetação e da arborização para o arrefecimento das áreas urbanas e finalmente, das ações que podem ser desenvolvidas na comunidade.

Os desafios para a efetividade das estratégias de mitigação dos efeitos da ICU dependem bastante do grau de certeza dos métodos de identificação, que incluem uma combinação de complexos fenômenos interagindo em diversas escalas, desde a escala humana até a escala da cidade e a regional (MIRZAEI, 2015). Este autor revisou estudos recentes a partir do ano de 2013 sobre modelagem do efeito da ICU e das estratégias de mitigação investigadas por arquitetos, especialistas em climatologia urbana, meteorologistas e geógrafos. De acordo com sua pesquisa, as estratégias de mitigação mais estudadas incluem ventilação urbana e alteração dos materiais de recobrimento do solo visando melhorar o conforto dos pedestres e reduzir a demanda energética dos edifícios. As escalas dos modelos variam de acordo com os objetivos das pesquisas:

- Escala do edifício (conhecidos como *Building Energy Models* – BEM): limitada à análise do edifício isolado. Investigam as respostas do envelope do edifício frente aos cenários futuros de mudanças climáticas.
- Microescala: análise de modelagem de microclimas (*Microclimate Models* – MCM) baseada em técnicas computacionais de dinâmica dos fluidos (CFD). Analisa os impactos da orientação das edificações, materiais de superfície,

ruas tipo cânion, vegetação, entre outros atuantes no conforto térmico do pedestre e na ventilação urbana.

- Escala da cidade: investigação da variação da ICU em larga escala utilizando ferramentas para mesoescala (MM). A modelagem da ICU nessa escala é uma das aplicações do sensoriamento remoto, por meio das imagens térmicas tomadas por satélites.

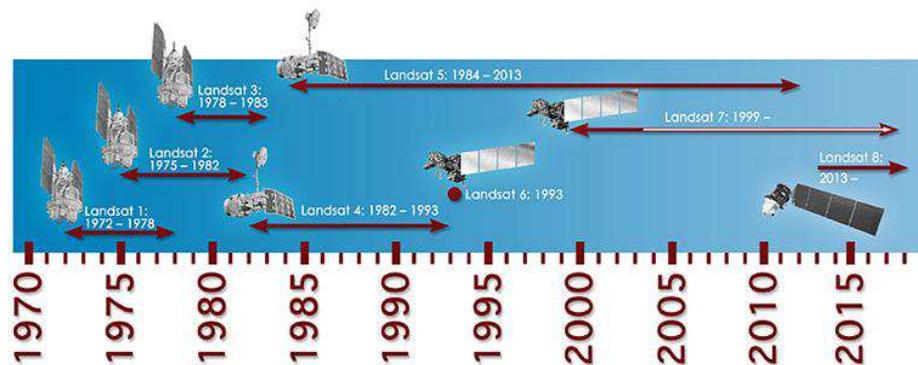
No presente trabalho as temperaturas das superfícies urbanas serão correlacionadas aos materiais de superfície e à morfologia urbana, na escala da cidade. Ao final, identificar as características de maior influência ao campo térmico urbano, de maneira a apontar recomendações no sentido de mitigar as Ilhas de Calor Urbanas.

2.2. Imagens Termiais de Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto, desde a década de 1970, vem sendo utilizado em estudos de áreas urbanas, tais como: análises de uso do solo, expansões da mancha urbana, redução das áreas de vegetação, queimadas e outros. Embora os primeiros estudos sobre ICU, por Luke Howard, datem de 1818, a análise das temperaturas urbanas utilizando sensoriamento remoto, vem acontecer na recente década de 1980, viabilizado pelo avanço das bandas termiais dos satélites Landsat. No ano de 2013, com o lançamento do Landsat 8, dotado das bandas termiais 10

e 11, a análise das diferenças de temperatura nas áreas urbanas obteve avanços. Esta tecnologia tem sido explorada em países como EUA, China, Emirados Árabes e Asiáticos. É importante compreender a linha do tempo da disponibilidade dos sistemas sensores (Figura 18), pois as análises comparativas multitemporais estão por ela limitadas.

Figura 18 – Linha do Tempo dos Sistemas Sensores



Fonte: Oliveira e Ganem, 2014, p. 25.

As geotecnologias aplicadas a estudos urbanos, de maneira geral, ainda têm sido utilizadas de maneira restrita. Rogers (2012) expõe a demanda:

“Em 1957, o primeiro satélite era lançado na órbita da Terra. Isso nos oferecia uma posição privilegiada, a partir da qual podíamos olhar para nós mesmos e assinalar o começo de uma nova consciência global, uma mudança dramática no nosso relacionamento com o planeta. Vista do espaço, a beleza na nossa biosfera é fantástica - mas é fantástica também sua fragilidade. As manchas da poluição, as feridas do desmatamento, as cicatrizes da industrialização e a expansão caótica de nossas cidades

são evidências de que, na nossa busca por riqueza, estamos sistematicamente espoliando todos os aspectos do sistema de apoio à vida do planeta” (ROGERS, 2012, p. 03).

Existe duas classificações de monitoramento das diferenças de temperaturas urbanas: Ilhas de Calor de Superfície e Ilhas de Calor Atmosférica (EPA, 2008). Neste sentido, é importante destacar que as imagens termais de satélite possibilitam o monitoramento das temperaturas de superfície, enquanto as temperaturas obtidas em estações meteorológicas são temperaturas atmosféricas. No contexto do clima urbano, conforme os processos de trocas térmicas observados, o monitoramento das Ilhas de Calor de Superfície é fundamental.

O avanço tecnológico no desenvolvimento de sensores possibilitou aumento na qualidade das imagens devido, entre outros fatores, à quantidade de bandas disponibilizadas, as quais proporcionam especificidades inúmeras em termos de imageamento. Sobre as leis que amparam cientificamente o Sensoriamento Remoto Termal, Baptista, Lombardo e Bias (2003) afirmam que:

“A Lei de Plank, em síntese, diz que, quanto maior a temperatura para um dado comprimento de onda, maior será a quantidade de energia emitida por um corpo negro. Se o sensor capta a emissão de fótons de um alvo, ou seja, sua emissividade, pode-se determinar a sua temperatura. O fenômeno de ilhas de calor é mais verificado em ambientes urbanos, pois os diferentes padrões de reflectividade, ou de albedos, são altamente dependentes dos materiais empregados na construção civil. Nota-se

que, dependendo do albedo, mais radiação será absorvida e mais calor será emitido pela superfície” (BAPTISTA, LOMBARDO E BIAS, 2003, p. 1742).

Em função da temperatura de um corpo temos um comprimento de onda dominante na emissividade de fótons. A medida que este corpo aumenta sua temperatura, o pico do comprimento de onda é reduzido. Alvos mais quentes correspondem a comprimentos de ondas menores. Alvos mais frios correspondem a comprimentos de ondas maiores. A radiação termal estende-se de 5,0 μm a 1,0 mm, mas devido às absorções da atmosfera, apenas a faixa espectral de 8,0 a 14 μm é usada nas aplicações de sensoriamento remoto terrestre. (BAPTISTA, 2012)

As bandas 10 e 11 – Landsat 8 - do Infra Vermelho Termal (Thermal Infra Red Sensor - TIRS) têm comprimentos de onda no intervalo entre 8 e 14 micrômetros e por isso são mais indicadas para temperaturas entorno de 300 Kelvin, o que explica a utilização em sensoriamento remoto termal de objetos terrestres como: solo, vegetação, água e rocha (Tabela 4).

Tabela 4 – Comprimento de Onda e Resolução das Bandas do Landsat 8

	Bandas	Comprimento de onda (micrômetros)	Resolução (metros)
Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor	Banda 1 – Costal/Aerossol	0.43 - 0.45	30
	Banda 2 – Azul	0.45 - 0.51	30
	Banda 3 – Verde	0.53 - 0.59	30
	Banda 4 – Vermelho	0.64 - 0.67	30
	Banda 5 – Infravermelho Próximo (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Banda 6 – Infravermelho de ondas curtas (SWIR) 1	1.57 - 1.65	30
	Banda 7 – Infravermelho de ondas curtas (SWIR) 2	2.11 - 2.29	30
(TIRS)	Banda 8 – Pancromática	0.50 - 0.68	15
	Banda 9 – Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Banda 10 – Infravermelho Termal (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 * (30)
	Banda 11 – Infravermelho Termal (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100 * (30)

Fonte: Oliveira e Ganem, 2014, p. 26.

No caso de 800 Kelvin, por exemplo, que é uma temperatura de queimada, seria necessário um sensor de alcance 3,6 micrômetros. Este comprimento está fora do intervalo que as bandas 10 e 11 do Landsat 8 cobre, o que torna a análise de queimadas incompatível, sendo necessário a utilização de outro sensor apropriado.

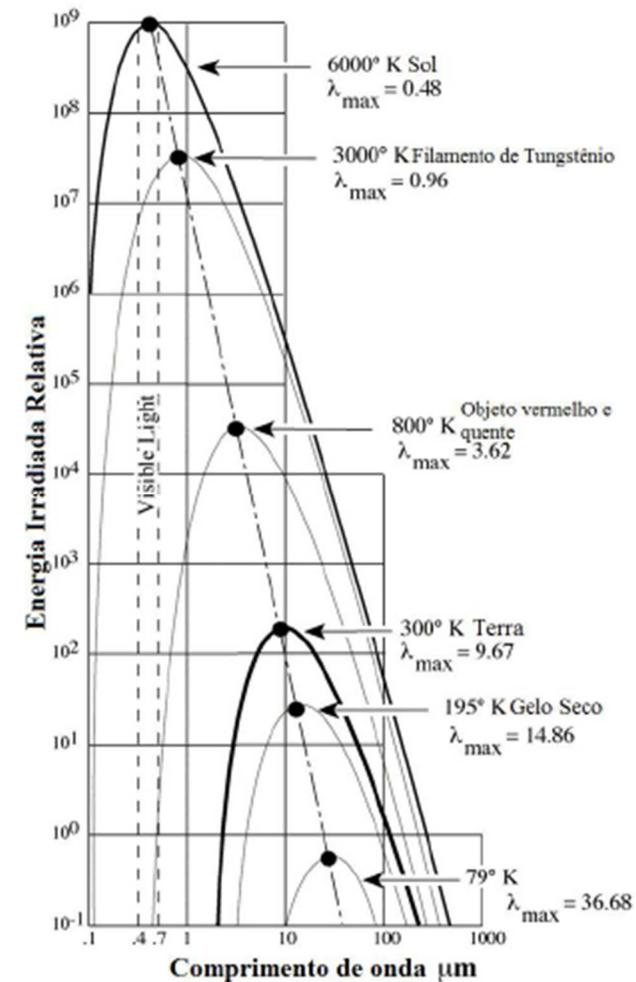
Ainda em relação à inversa proporção entre o comprimento de ondas as temperaturas dos alvos, diferenciamos o uso das bandas 10 e 11. A primeira é mais indicada para solos, vegetação, áreas edificadas e rochas e a segunda mais indicada para análise de águas. Assim, no presente estudo a banda a ser utilizada é a 10.

Segundo Baptista (2012), da mesma maneira que a energia total emitida por um corpo varia com a temperatura, a distribuição espectral da energia emitida também varia. O comprimento de onda no qual a emissão de energia é máxima pode ser determinado pela Lei de Wien, também conhecida como Lei do Deslocamento, expressa pela Equação 6 e visualizada na Figura 19.

$$\lambda_m = A/T \quad \text{Equação 6}$$

onde, λ_m = comprimento de onda de máxima emissão (μm);
 A = constante 2898 m.K;
 T = temperatura absoluta medida em Kelvin.

Figura 19 – Deslocamento do Pico Máximo de Energia em Direção aos Menores Comprimentos de Onda à Medida que a Temperatura do Corpo Aumenta



Fonte: Baptista in Meneses, 2012, p. 51, adaptado de Jensen, 2009.

Lombardo (1985) é pioneira, no Brasil, quanto à utilização de imagens de satélites com foco na análise das ilhas de calor urbanas. Sua

contribuição multidisciplinar ultrapassou as fronteiras técnicas, científicas e da geografia, aprofundando-se na questão ambiental, permeou as áreas sociais e de urbanismo, sendo um importante trabalho de base para decisões de políticas públicas.

A autora identificou o processo de formação de ilhas de calor em São Paulo, expondo de que forma a complexidade da metrópole influenciou as questões climáticas. O arcabouço teórico utilizado em seu trabalho envolveu cerca de trinta estudiosos da climatologia internacional, com múltiplos métodos de análise do fenômeno ilhas de calor. O método proposto pela cientista considera as diversas escalas de análise urbana e do clima, entre a cidade e a região, entre o macro, o meso e o microclima.

Lombardo (1985) promoveu um salto nos estudos de ilhas de calor, utilizando imagens de satélite (termais), desenvolvendo um algoritmo para estabelecer a relação entre os níveis de cinza das imagens infravermelhas e a temperatura. Este trabalho foi publicado no VII Simpósio Internacional de Sensoriamento Remoto e Meio Ambiente, realizado em Ann Arber, EUA, em 1983.

O método executado na pesquisa em São Paulo dispôs-se em observações e medições de campo, análise de imagens de satélites, e finalmente, no confronto entre as análises de tais resultados. As medições em campo distribuíram-se em 45 (quarenta e cinco) pontos de termômetros e resultaram nos mapas das isotermas em três horários – 9:00 h, 15:00 h e

21:00 h, no inverno e no verão. Estações meteorológicas e de controle da poluição também foram utilizadas em algumas áreas. Os dados de temperatura do ar, temperatura radiométrica, umidade relativa e velocidade do vento, foram medidas com psicrômetro, anemômetro e radiômetro. Como em um processo de validação, Lombardo (1985) afirma que o trabalho em campo serviu também para a observação dos diferentes usos do solo e da topografia, sendo que este processo também resultou na elaboração dos transectos, no sentido Leste-Oeste, com 15 (quinze) pontos fixos em aproximadamente 28 (vinte e oito) quilômetros e também nos horários 9:00 h, 15:00 h e 21:00 h.

Em função do desenvolvimento tecnológico da época, para a análise das imagens de satélite na pesquisa em São Paulo, Lombardo (1985) utilizou duas categorias de imagens: as fotografias aéreas e do Landsat 3, em escala 1:8.000 – para mapas temáticos – e as provenientes dos sensores meteorológicos, em escala 1:100.000 – com imagens termais. Para tal análise foram definidas 18 (dezoito) áreas amostrais de 1 km² (um quilômetro quadrado) cada uma, sendo que a primeira categoria de imagens – aéreas e Landsat 3 - permitiu identificar 8 (oito) tipos de Usos do Solo e emissividades nestas áreas:

- Edifícios;
- Áreas construídas;

- Ruas pavimentadas;
- Estacionamentos;
- Indústrias;
- Grama;
- Vegetação Arbórea e Semi-arbórea;
- Corpos D'água.

E a segunda categoria de imagens - provenientes dos sensores meteorológicos – devido às restrições espectrais e espaciais do sistema, permitiu identificar outros 8 (oito) tipos de Usos do Solo em classes mais amplas:

- Área de ocupação vertical;
- Área de ocupação horizontal vertical;
- Área de ocupação horizontal densa;
- Área de ocupação horizontal rala;
- Loteamento;
- Indústria;
- Vegetação;

- Corpos D'água.

A correlação entre as duas categorias de imagens deu origem à Classificação Automática Supervisionada, obtida com a utilização do programa Máxima Verossimilhança e a resposta espectral nos quatro canais do Landsat 3 (LOMBARDO, 1985). Somando-se a isto, as etapas anteriores de desenvolvimento do trabalho, entre elas: a parte teórica-metodológica, temporal, espacial e dos dados de padrões de uso do solo e de temperaturas confrontados, o resultado foi a análise do dinâmico processo de formação das ilhas de calor da metrópole paulista. Esta sequência evolutiva do trabalho abriu o campo, no Brasil, para as pesquisas que unem o sensoriamento remoto e a análise ambiental urbana.

Segundo Bias (2003), a sequência de estudos acerca do fenômeno ilhas de calor, contemporâneos ao trabalho de Lombardo (1985) foi: Salvador (SAMPAIO, 1981), Rio de Janeiro (NISHIXAWA e SALES, 1983), Porto Alegre (DANNI, 1980 e 1987), Florianópolis (SEZERINO e MONTEIRO, 1990), Curitiba (DANNI OLIVEIRA, 1992), Cuiabá (MAITELLI, ZAMPORONI e LOMBARDO, 1991) e (SANTOS, 1996) e a RA de Sobradinho, Distrito Federal (BAPTISTA, LOMBARDO E BIAS, 2003).

Baptista (2003) trabalhou com sensoriamento remoto de áreas urbanas em dois períodos distintos e chegou a identificar uma variação de 10°C

no decorrer de 17 anos. Trata-se da urbanização ao lado do Parque Nacional de Brasília, a Vila Estrutural, onde as temperaturas em 1984, estavam na faixa de 17 a 18°C e, em 2001, na faixa de 27 a 28°C. O autor também identificou a relação entre aumento de temperatura e crescimento urbano em diversas outras áreas do DF. São elas: 1°C no Setor Comercial Sul do Plano Piloto, 2°C nas áreas centrais de Taguatinga e de Ceilândia, 3°C na cidade de Sobradinho e a ex-Colônia Vicente Pires, 5°C no Paranoá, Samambaia e Lago Oeste e 9°C em Brazlândia (BAPTISTA, 2010).

Assim, Baptista (2003) e Bias (2003) inserem o Distrito Federal nas discussões quanto ao fenômeno ilhas de calor, sendo que o presente trabalho busca a sequência e a ampliação destas análises, utilizando o sensoriamento remoto como ferramenta, desmistificando e disseminando o método de utilização no meio dos arquitetos e urbanistas.

2.3. Considerações finais do Capítulo

Neste capítulo foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o clima urbano, incluindo as escalas de análises climáticas, as trocas térmicas, o balanço de energia no edifício e entre os edifícios. Como fatores influenciadores do clima urbano, foram abordados: a evapotranspiração e a presença de vegetação, a influência da morfologia urbana e do calor antropogênico. Ao final do capítulo foram apresentados os conceitos de

ilha de calor, além das estratégias de mitigação das mesmas e a aplicação do sensoriamento remoto como ferramenta de análise do campo térmico urbano.

A morfologia urbana tende a ser considerada um dos fatores influenciadores do clima urbano mais complexos, onde as estruturas podem formar barreiras que impedem a liberação (para a atmosfera) da radiação emitida pelas superfícies aquecidas, o que altera o movimento do ar, dificulta as trocas convectivas e intensifica o fenômeno das ICU. Sobre estes aspectos foram expostos: o fator W/H/L (largura da rua / altura dos edifícios / comprimento dos cânions), os Cânions Urbanos, o FVC (Fator Visão de Céu), os Adensamentos, a Rugosidade e a Porosidade. Somando-se a isto, temos a influência das superfícies impermeabilizadas, as quais reduzem a infiltração de água para o solo, e as propriedades térmicas dos Materiais de Superfície devido ao albedo.

Existem ferramentas, tais como as expostas na revisão bibliográfica, para a elaboração de diagnósticos precisos e análise do campo térmico urbano. Vencida a etapa do diagnóstico, os caminhos são os estudos voltados para melhorar a ventilação urbana e para a especificação de materiais de revestimentos das superfícies adequados, entre eles as coberturas verdes e os pavimentos frios. As simulações computacionais para modelagens microclimáticas urbanas são indicadas, desde que incluam dados de entrada fidedignos.

Conforme a revisão bibliográfica, no presente trabalho estabelecemos as ferramentas de geotecnologia para serem utilizadas nas análises termais urbanas. O geoprocessamento de ortofotos e de imagens termais urbanas envolvem as mesmas variáveis de interesse desta análise, são elas: as temperaturas das superfícies urbanas, os materiais de revestimentos destas superfícies e as formas urbanas. Assim, a confiabilidade dos resultados demonstrados pelos autores citados nos estudos realizados justifica as ferramentas escolhidas.

Mediante as possibilidades de alterações do Clima Urbano observadas na revisão bibliográfica, compreendemos que o decorrente aquecimento das cidades prejudica a saúde e a qualidade de vida da população. Além disso, aumenta a demanda não só por espaço físico e infraestrutura, mas também de energia, o que no conceito do Urbanismo Sustentável é um indicador negativo. O caminho para a mitigação de ICU é urgente, sem volta e inicia na pesquisa acadêmica, mas precisa estar vinculado à elaboração e execução de Políticas Públicas efetivas. No próximo capítulo, a exposição de Brasília – DF, cidade objeto do presente estudo.

3. Brasília - Distrito Federal: dados, características e processos

Brasília - DF, cidade objeto de estudo da presente tese, tem características peculiares sob todos os pontos de vista a serem explorados. Para embasar as análises a serem tratadas posteriormente, faz-se necessário descrever a cidade segundo suas características geográficas, climáticas, históricas, morfológicas e urbanísticas.

3.1. Brasília em Dados Geográficos

É preciso destacar que os dados do IBGE (Tabela 5) consideram o último censo (2010) e a área de todo o quadrilátero do Distrito Federal, portanto a densidade parece baixa. Assim, os dados ideais são os de densidades das Regiões Administrativas em separado, que apresentam-se na sequência, ao final do presente capítulo e permitem observar as densidades demográficas reais. No Plano Piloto é consenso que a densidade demográfica é baixa (BERTAUD, 2010).

Tabela 5. Dados Geográficos de Brasília / DF

População estimada	2.852.372
2014 (1)	
População 2010	2.570.160
Área da unidade territorial (km²)	5.779,999

Densidade demográfica

(hab./km²)

444,66

Fonte: IBGE, 2015, sem página. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=530010&search=distrito-federal|brasilia|infograficos:-dados-gerais-do-municipio>. Acesso em maio de 2015.

Para os estudos de insolação, das questões climáticas e alimentação de dados dos processamentos das imagens provenientes de sensoriamento remoto, faz-se necessário identificar os marcos referenciais de latitude (15.8267 graus sul) e longitude (47.9218 graus oeste) de Brasília / DF.

O clima de Brasília – DF sofre influência desta baixa latitude e da altitude em relação ao nível do mar. É possível caracterizá-lo mediante as normais climatológicas (dados meteorológicos de 1961 a 1990 obtidos pelo INMET).

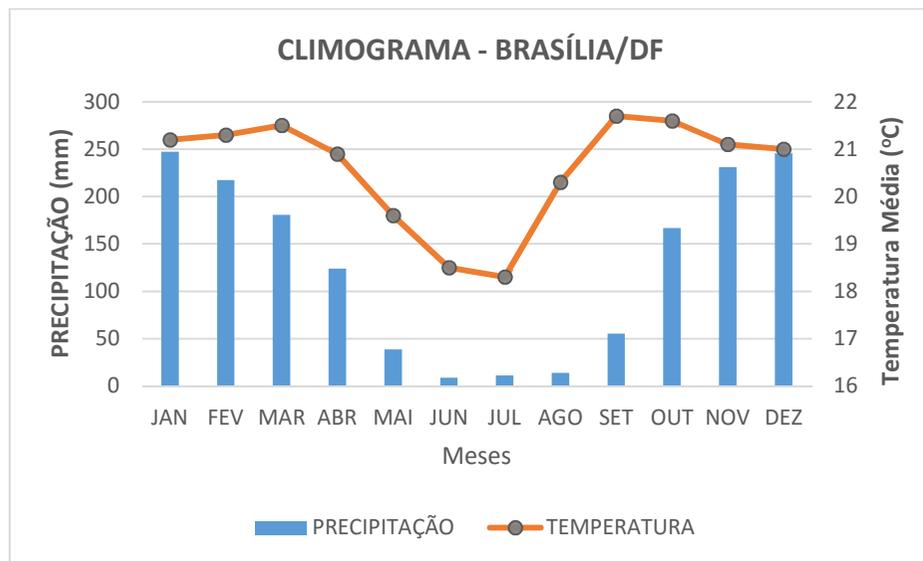
3.2. O clima de Brasília

A altitude da região varia entre 1.000 e 1.200 metros acima do nível do mar e o clima, de acordo com a classificação de Köppen, pode ser enquadrado nos tipos tropical (Aw), tropical de altitude Cwa e tropical de altitude Cwb (ALMEIDA, 2017).

As medições das Normais Climatológicas disponibilizadas pelo INMET, as quais consideram os elementos do clima nos anos de 1961 a 1990, em

relação à Brasília, apontam quanto ao regime pluviométrico (Figura 20) duas estações bem definidas, uma seca - de abril a outubro, e outra chuvosa - de novembro a março.

Figuras 20 – Climograma de Brasília – DF - Normais Climatológicas



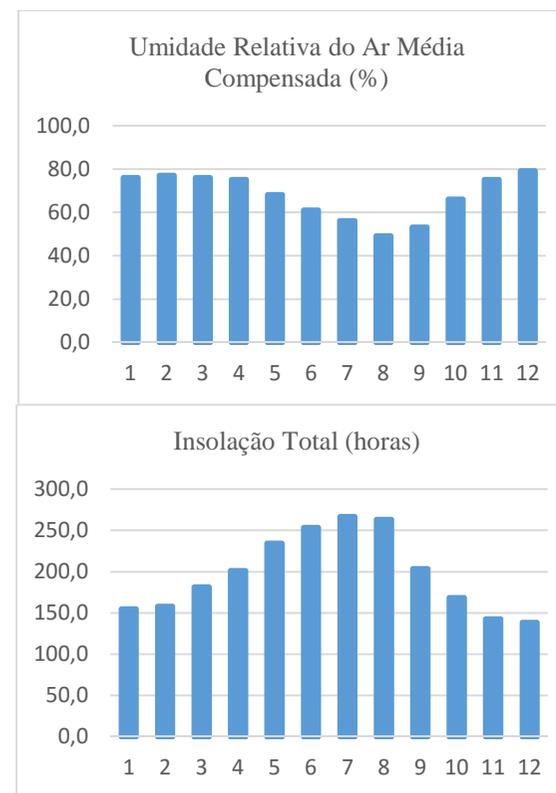
Fonte: Adaptado dos dados do INMET, 2014, sem página. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em outubro de 2014.

“As temperaturas acima de 30°C representam menos de 3% das ocorrências mensais durante a maior parte do ano. Apenas nos meses considerados mais quentes, setembro e outubro, esse percentual varia [...]. Os meses mais frios são junho e julho, com cerca de 40% da temperatura abaixo de 18°C [...]” (ROMERO, 2011, p. 56).

Em relação à umidade média relativa do ar, Figura 21, Romero (2011) afirma que: "é de 70%, sendo agosto o mês mais seco, com umidade

relativa de 56%." E sobre as precipitações: “a média total tem valor em torno de 1500mm, e mais de 70% das chuvas acontecem de novembro a março”.

Figuras 21 – Gráfico das Normais Climatológicas de Brasília / DF

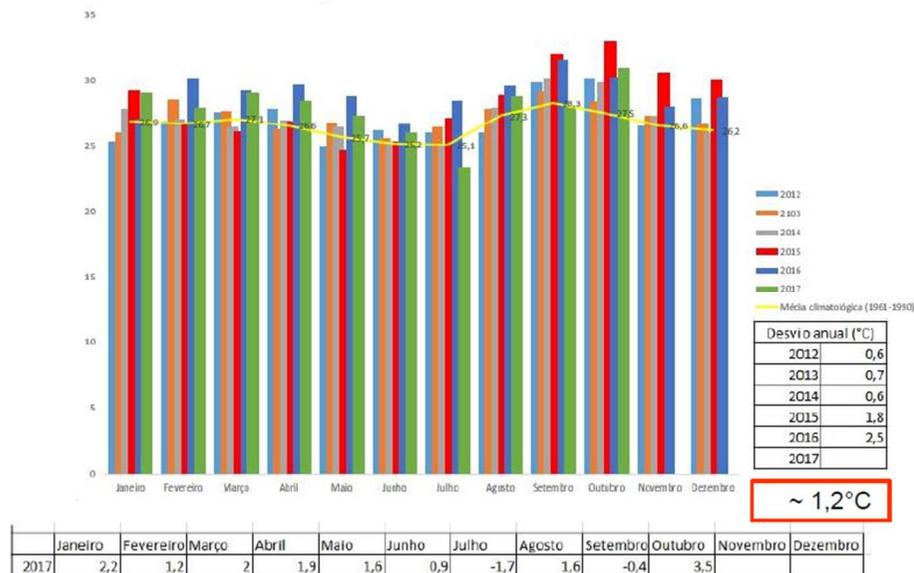


Fonte: Adaptado dos dados do INMET, 2014, sem página. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em outubro de 2014.

No contexto da análise do processo de formação das ilhas de calor, interessa-nos compreender o comportamento do clima no decorrer destes

últimos anos em Brasília. Em recente pesquisa de doutorado, Almeida (2017), meteorologista do INMET, identificou um desvio médio de 1,2°C nas temperaturas máximas dos anos de 2012 a 2017, em Brasília – DF (Figura 22).

Figura 22 – Temperatura Máximas Médias dos Últimos Seis Anos



Fonte: Almeida, 2017, p.117.

O INMET disponibiliza online os dados climáticos das cidades brasileiras, e estes estão expostos em forma de gráficos interativos, onde é possível a obtenção dos valores indicados e suas respectivas datas. Estes dados são provenientes de Estações Automáticas e Estações Convencionais, sendo que nestas os dados climáticos aparecem por décadas e naquelas aparecem por anos. Trata-se de um serviço

fundamental para a sociedade sob diversos aspectos, entre eles da economia, da agricultura, do lazer e principalmente do ponto de vista didático e para o desenvolvimento de Pesquisas Científicas.

As Estações de Observação de Superfície Convencionais são compostas de vários sensores isolados, que registram continuamente os parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc), que são lidos e anotados por um observador a cada intervalo e este os envia a um centro coletor por um meio de comunicação (INMET, 2014).

Cada Estação Meteorológica de Superfície Automática é composta de uma unidade de memória central ("data logger"), ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc), que integra os valores observados minuto a minuto e os disponibiliza automaticamente a cada hora (INMET, 2014).

Os dados a seguir foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa - BDMEP – do INMET. As temperaturas máximas (Tabela 6) e mínimas (Tabela 7) aumentaram de 1990 até os dias atuais. Quanto ao acréscimo de cerca de 2,70°C, nos registros das temperaturas máximas em Brasília – DF, é possível relacioná-lo com a escala local do clima, isto é, com as questões das formas de uso e ocupação do território urbano influenciando o clima urbano.

Tabela 6 - Maiores temperaturas máximas absolutas (1990 a 2018)

Década	Dia	Temperatura Máxima (°C)
1990/2000	03/10/1994	33,70
2000/2010	28/10/2008	35,80
2010/2018	18/10/2015	36,40
Elevação da Temperatura		2,70

Fonte: Adaptado de dados do BDMEP, 2018, sem página. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em junho de 2018.

Tabela 7 - Maiores temperaturas mínimas absolutas (1990 a 2018)

Década	Dia	Temperatura Mínima (°C)
1990/2000	07/10/1998	22,30
2000/2010	01/12/2002	25,00
2010/2018	19/10/2015	22,80
Elevação da Temperatura		0,50

Fonte: Adaptado de dados do BDMEP, 2018, sem página. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em junho de 2018.

Inversamente, a umidade diminuiu nas últimas duas décadas, sendo que a pior situação fica por conta da umidade mínima, com uma redução em cerca de 4% (Tabela 8). Este dado caracteriza o processo de ocupação do solo urbano, com a diminuição da cobertura por vegetação, diminuindo a evapotranspiração e redução dos percentuais de umidade.

Tabela 8 – Taxas de Umidades mais baixas absolutas (1990 a 2018)

Década	Dia	Menor Registro de Umidade (%)
1990/2000	03/10/1994	19,75

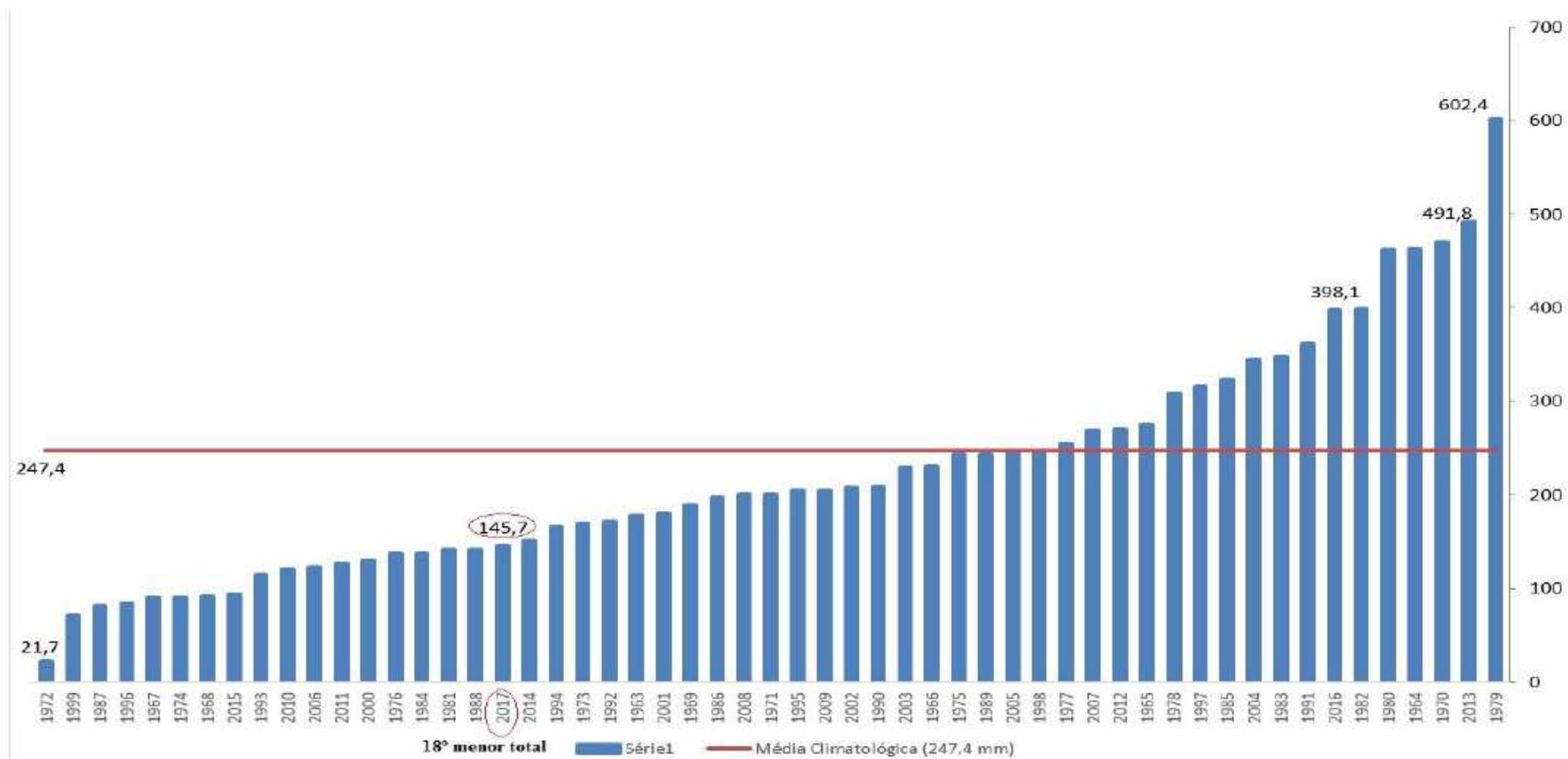
2000/2010	28/09/2004	19,00
2010/2018	06/09/2011	15,75
Redução da Umidade		4,00

Fonte: Adaptado de dados do BDMEP, 2018, sem página. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em junho de 2018.

Quanto às precipitações, observamos os índices acima da média nos anos de 2013 e 2016 e abaixo nos anos de 2015 e 2017, o que demonstra o ciclo hidrológico inconstante. Embora o volume das chuvas tenha aumentado, a alta impermeabilização do solo urbano faz com que as águas não sejam absorvidas pelo solo, em drenagens acumuladas, diretas para o sistema de coleta de águas pluviais. As “enchentes de algumas tesourinhas” ou mesmo de vias em desníveis topográficos são recorrentes. Além disto, quando observamos as taxas de umidade, que diminuem com o decorrer dos anos, entendemos que o aumento do volume das chuvas não tem contribuído com a umidade relativa do ar.

“No mês de janeiro de 2017, o acumulado de chuva na estação convencional do Inmet foi de 145,7 mm (cerca de 58,9% da média climatológica do mês 247,4 mm). Quando se compara o mesmo período de toda a série (1963 a 2017), observa-se que o ano de 2017 é o 18º menor total mensal da série (Figura 23). Além disso, quando se considera apenas a última década, verifica-se que só os anos de 2013 (491,8 mm), 2016 (398,1 mm) e 2012 (269,9 mm) ficaram acima da média climatológica” (INMET, 2018, p. 1).

Figura 23 – Gráfico dos totais mensais de chuva em janeiro, no período de 1963 a 2017 (em ordem crescente)



Fonte: INMET, 2018, p. 1.

A NASA (Agência Espacial Americana) afirmou que o El Niño de 2015-2016 poderia ser comparado ao episódio forte de atuação do fenômeno que ocorreu entre 1982-1983 e entre 1997-1998 considerados os de maior impacto no século passado até então. E isso realmente se confirmou. Ele só não foi mais forte do que o de 1997-1998 e o seu pico ocorreu em dezembro de 2015. No Brasil, o fenômeno intensificou ainda mais a seca no Nordeste e também provocou estiagem prolongada no Norte, centro-norte de Minas e de Goiás e no Distrito Federal.⁷

A caracterização do clima urbano é em escala local, contudo, observar e contextualizar os fenômenos globais é importante. Compreendemos assim, que as características naturais o clima de Brasília – DF o definem e sofrem alterações globais, mas as atividades humanas, na escala local, da cidade, o influenciam positiva e/ou negativamente. Interessa-nos quantificar e qualificar esta influência.

3.3. O Legado histórico de Brasília e a ocupação do território no DF

Na trajetória do urbanismo modernista no Brasil, com o traçado dos eixos ortogonais, das grandes vias e da presença dos boulevares (influência francesa das avenidas arborizadas) e da presença de áreas verdes,

acontecem os traçados de Belo Horizonte, de Goiânia e, na sequência e com toda a monumentalidade e caráter cívico requerido, nasce Brasília.

Bruand (1997) caracteriza os projetos de Belo Horizonte e de Goiânia como “tentativas ponderadas de grande envergadura”. No caso de Belo Horizonte, após a proclamação da República, em 1889, e adotado o regime federativo pela Constituição de 1891, o Estado de Minas era, depois de São Paulo (região no auge do ciclo do café), a segunda unidade do país, tanto em população, quanto pelas possibilidades econômicas, aspirando tornar-se unidade política durante os anos seguintes. A então capital, Ouro Preto, situada em uma região montanhosa, que tinha sido a principal mina de ouro do Brasil, não estava em condições de desempenhar um papel ativo como pólo de desenvolvimento.

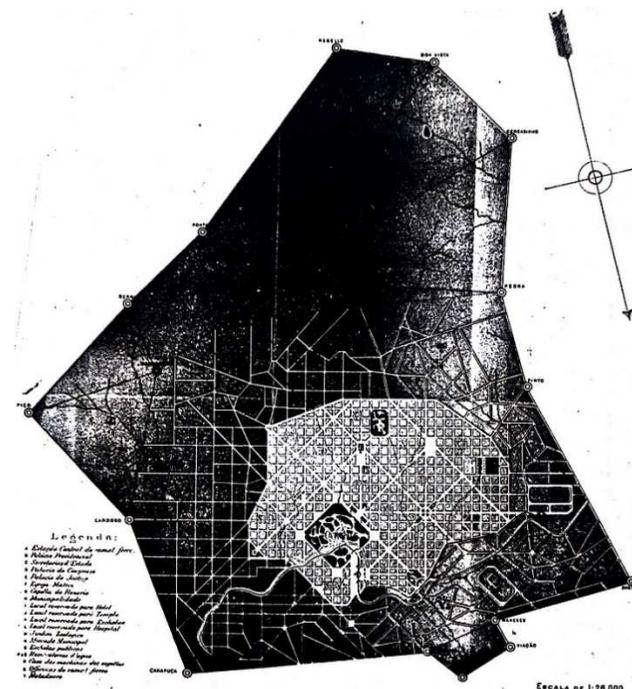
“A energia do Presidente Afonso Pena venceu as resistências locais e o poder Legislativo, em 17 de dezembro de 1893, votou a lei que estabelecia um prazo de quatro anos para que a capital fosse integralmente transferida para a cidade, que surgiria, nesse intervalo de tempo, no antigo local chamado Curral D’El-Rey, rebatizado como Belo Horizonte” (BRUAND, 1997, p. 346).

O autor descreve que o traçado de Belo Horizonte, por Aarão Reis (Figura 24) superpunha uma dupla trama ortogonal rígida, cujas malhas estavam orientadas em dois sentidos diversos. A rede de base desenhava ruas retilíneas que se cortam em ângulos retos e quarteirões quadrados

⁷ Ruiz (2016). Clima Tempo.

semelhantes em todas as dimensões. Ela foi completada por um sistema de avenidas largas, diagonais, que constituíam uma rede menos fechada do que a anterior, mas tão rigorosa em sua clareza e regularidade. A conjugação dos dois elementos respeitava o princípio do tabuleiro de xadrez, fazendo nele as correções destinadas a remediar seus inconvenientes (BRUAND, 1997).

Figura 24 - Planta de Belo Horizonte. Projeto de Aarão Reis, 1894



Fonte: Bruand, 1997, p. 347.

Como um dos destinos da Marcha para Oeste⁸, o Estado de Goiás, limeiro à Minas Gerais, passa pela mesma experiência de implantar a nova capital, quarenta anos depois de Belo Horizonte. Segundo Bruand (1997), Goiás era o quarto Estado em área, maior inclusive que MG, era

⁸ Durante o Estado Novo (1937-1945), Getúlio Vargas empreendeu a chamada Marcha para o Oeste em 1938, diante da situação deixada pelo governo da República Velha, em que a economia e a população estavam concentradas nas regiões litorâneas do Sul e

Sudeste. Sendo assim, as regiões do Centro-Oeste e Norte não integravam o Brasil, faziam parte do interior inabitável com pouquíssima população. Getúlio Vargas em discurso mencionou que a Marcha era “o verdadeiro sentido de brasilidade” (VELASCO, 2014).

alongado no sentido norte-sul⁹, atingindo a Região Amazônica. Assim como Ouro Preto, a velha capital também chamada Goiás, tinha sido instalada na zona aurífera principal, de acesso difícil e situada agora um pouco fora da zona ativa de exploração. A nova capital somaria as funções administrativas a de mercado distribuidor de que necessitava-se.

“O Plano de Atílio Correa Lima explorava ao máximo a topografia, tanto no sentido prático quanto no sentido estético. Só as vias principais, destinadas a ser imediatamente calçadas ou asfaltadas, seguiram as linhas em declive; as outras ruas modelaram-se de acordo com o relevo, evitando assim o risco de serem transformadas em torrentes pelas terríveis chuvas tropicais que caem na região; o traçado adotado favoreceu em todos os lados a evacuação pela gravidade dessas águas e dos esgotos que as recolhiam para lança-las em coletores gerais situados no fundo dos vales. A essas vantagens funcionais, o partido adotado acrescentou o estabelecimento de efeitos de perspectiva valorizando o centro administrativo, no centro da cidade, situado no ponto culminante do eixo urbano, esse centro foi para onde convergia um denso feixe de artérias importantes e especialmente as três grandes avenidas monumentais que desembocavam na praça em torno da qual o centro está ordenado, lembrando a concepção clássica utilizada em Versalhes e depois, no século XVIII, em Karlsruhe e Washington” (BRUAND, 1997, p. 350).

Contudo, o Plano de Goiânia (Figura 25) surgiu como uma criação original de Atílio Correa Lima, que levou em consideração os fatores locais e da vida moderna e teve duas preocupações principais: a

⁹ O Estado de Goiás foi dividido no sentido norte-sul, sendo que a porção Norte atualmente é representada pelo Estado do Tocantins, emancipado na Assembleia

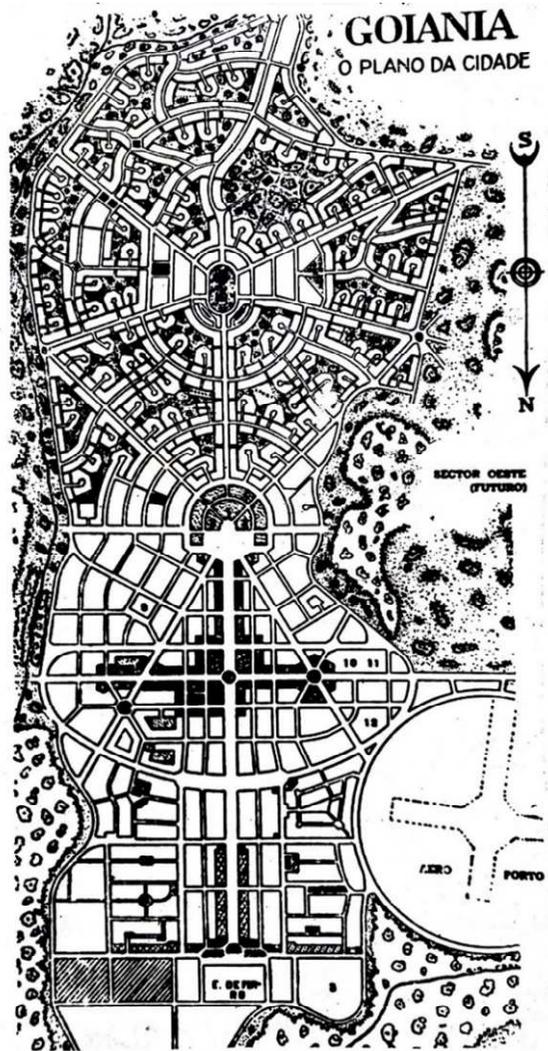
disciplina do trânsito e um zoneamento eficiente. Segundo Bruand (1997), a cidade prevista era linear, mas sem que essa concepção implicasse uma definição irreversível, pois o crescimento para oeste era esperado e as grandes direções desse desenvolvimento futuro foram esboçadas por um começo de rede rodoviária coerente.

Goiânia, idealizada por Atílio Correa Lima como uma cidade monumental (com os eixos viários em perspectivas e boulevares) e ao mesmo tempo racional e humana. Sem dúvida o Plano da nova capital de Goiás caracterizou uma etapa marcante do urbanismo brasileiro. Contudo, segundo Bruand (1997) “está longe do coroamento que é o gigantesco empreendimento de Brasília”.

As novas capitais da Região Central do Brasil indubitavelmente influenciaram a construção da nova capital Federal. Contudo, em Brasília aconteceu o contrário de Belo Horizonte e Goiânia: a política não seguiu a economia, ela a precedeu.

Nacional Constituinte do dia 05 de outubro de 1988, e foi inserido na Região Norte do Brasil.

Figura 25 – Plano de Goiânia. Projeto Atílio Correa Lima, 1934



Fonte: Bruand, 1997, p. 350.

Segundo Bruand (1997) Brasília foi concebida como um fermento, um meio de esboçar o desenvolvimento e o povoamento de zonas até então abandonadas.

“Situada na ponta da frente pioneira da penetração Norte e Oeste, em pleno Planalto Central semideserto, acompanhada pela abertura de uma rede de estradas de primeira ordem, a cidade, desde o começo, assumiu um duplo papel material e psicológico; de um lado, pólo de atração e base de partida para uma conquista ulterior e, de outro, símbolo das possibilidades futuras de uma vontade de afirmação da grandeza e vitalidade do Brasil, uma prova de sua capacidade de empreender e da confiança em seu destino, uma ideia-força capaz de galvanizar a opinião” (BRUAND, 1997, p. 353).

No Relatório do Plano Piloto, o argumento de Lucio Costa para Brasília:

“A nova capital devia ser concebida não como simples organismo capaz de preencher satisfatoriamente e sem esforço as funções vitais próprias de uma cidade moderna qualquer, não apenas como urbs, mas com civitas, possuidora dos atributos inerentes a uma capital” (CODEPLAN, ArPDF, 1991, p. 20).

O traçado de Brasília (Figura 26) parte de dois eixos perpendiculares (a cruz), destinados respectivamente ao setor público e à vida particular, com concentração de atividades mistas na intersecção dos dois elementos. Lucio Costa desenvolveu o desenho do Plano Piloto considerando a topografia local e a orientação favorável. A forma definitiva da cidade lembra um avião de fuselagem reta e curta, dotado de imensas asas ligeiramente curvas acompanhando a curva de nível da

colina. Uma composição de suprema elegância, de simetria quase completa.

Figura 26 - Plano Piloto de Brasília. Projeto de Lucio Costa, 1957



Fonte: Bruand, 1997, p. 360.

Alguns aspectos destacaram o Plano de Lucio Costa entre os demais participantes do concurso para o projeto urbanístico de Brasília – DF. Embora fosse um plano grandioso, havia a preocupação com os detalhes, como por exemplo, o cruzamento dos dois eixos, no centro da cidade, magistralmente resolvido por uma plataforma em três níveis: com praça

pública no andar superior, com vista para o conjunto monumental, um espaço semi-abrigado no pavimento intermediário da estação rodoviária e sub-solo, como passagem subterrânea entre a Asa Sul e a Asa Norte. Além disso, o eixo monumental, como artéria triunfal e espinha dorsal da cidade (BRUAND, 1997) e a preocupação com uma rede de vias rápidas na escala do automóvel e de comunidades habitacionais na escala humana. As Superquadras, uma figura quadrada, de dimensões uniformes para os quarteirões de 240m x 240m, previstas para conter (originalmente), cada uma, onze edifícios residenciais de cinco andares e uma escola primária. A cada conjunto de quatro Superquadras, a composição de uma Unidade de Vizinhança, estabelecendo-se uma área comercial entre elas. O sistema viário meticulosamente articulado, com retornos (“tesourinhas”) para o acesso às Superquadras, sem cruzamentos ou sinais de trânsito. Os jardins dos cinturões das Superquadras, dos canteiros centrais dos grandes eixos e das extensas áreas verdes, todos característicos da escala bucólica almejada por Lucio Costa, completam o quadro diferencial de seu Plano (Figura X).

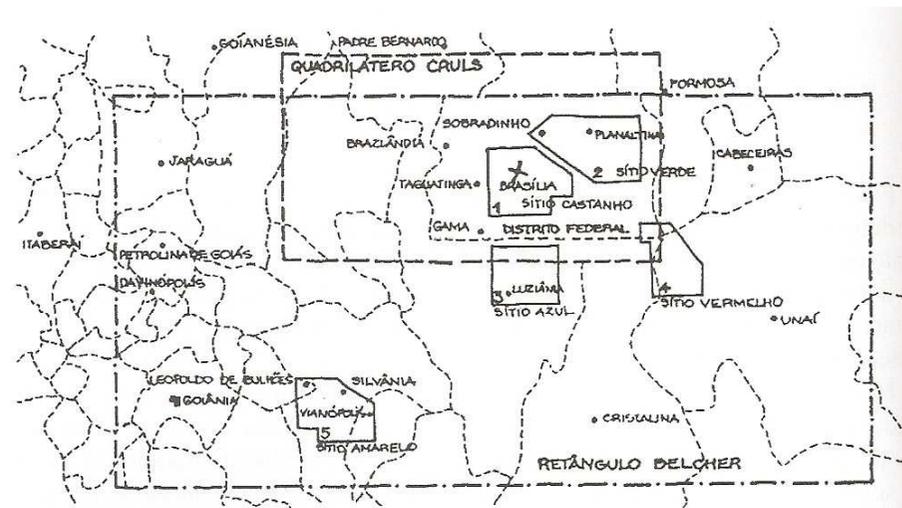
“O Plano de Lucio Costa era uma criação original, que adotava os grandes princípios do urbanismo do Século XX (abandono da rua tradicional ladeada por casas ou prédios, implantação de uma arquitetura com base em blocos isolados dentro de vastos espaços verdes, multiplicação de elementos formando divisões autônomas justapostas, de importância quase igual), mas reagia contra a tendência à dispersão e à falta de unidade que até então tinham sido suas consequências. Enquanto o próprio

Le Corbusier, cuja doutrina serviu como fonte de inspiração e foi sistematicamente aplicada em Brasília, não conseguiu num programa semelhante, em Chandigarh” (BRUAND, 1997, p. 362).

Quanto à tendência à dispersão e falta de unidade, características do Urbanismo Moderno (Século XX), Lucio Costa repensou o problema e teve uma concepção hierarquizada, onde o centro apresenta-se revalorizado e integrado numa composição global, cujas partes estavam todas destinadas a viver em íntima simbiose, como nas cidades antigas. Pode-se dizer que esta releitura faz do Plano de Brasília inovador ao conceito da cidade modernista.

Romero (2001, p. 125 e 126) relata que a busca pelo local para a nova capital baseou-se em fatores econômicos, científicos, e nas condições do clima e da beleza do lugar. O levantamento, realizado em 1954 por Donald J. Belcher e Associados, considerou uma área retangular do Estado de Goiás previamente determinada, com uma extensão de 5.000 km². Cinco sítios inseridos neste retângulo foram analisados (vermelho, verde, azul, castanho e amarelo), sendo que o sítio castanho foi o escolhido por apresentar a combinação mais favorável das variáveis climáticas analisadas, são elas: temperatura, umidade, chuvas, ventos, nebulosidade, altitude e conformação geomorfológica nos níveis macro, meso e microclimático (Figura 27).

Figura 27 - Distrito Federal e os Sítios



Fonte: Romero, 2001, p. 126.

Além dos fatores mencionados, Belcher considerou que o sítio castanho é convexo, o que proporciona clima moderado, enquanto áreas côncavas têm clima de extremo:

“É aberto a todas as influências dos ventos predominantes [...]. O ar se move desde o Planalto alto e seco através da área da cidade e drena-se dentro do vale arborizado do Rio São Bartolomeu. [...]. A área do sítio é bem drenada, [...]. Está bem coberta com um bosque de árvores baixas e, dessa forma, reduzirá a temperatura do solo” (CODEPLAN, 1994, p. 243).

O Plano Piloto de Brasília - Distrito Federal brasileiro - foi planejado em 1956 e caracteriza-se como um marco do planejamento urbano mundial, destacando-se pelo traçado urbano modernista das cidades jardins e dos

grandes eixos viários. Em 1987 foi tombado pela UNESCO como patrimônio mundial, o que lhe consolidou em importância e o fez alvo de interesse de estudiosos (Figura 28).

Figura 28 - Plano Piloto de Brasília, planejado em 1956 e tombado em 1987 pela UNESCO como Patrimônio Mundial



Fonte: Acervo pessoal, 2018.

O Distrito Federal e a ocupação do Território

O processo de ocupação do território urbano parte da legislação estabelecida. Estes marcos legais, na maioria das cidades brasileiras, acontecem em concomitância à ocupação das áreas, ou mesmo depois delas, e em Brasília não é diferente. Contudo, a referência da capital nacional e maneira como são distribuídos os subcentros (Regiões Administrativas) torna estas Leis um pouco mais complexas (Tabela 9).

Tabela 9 – Marcos Legais da Gestão Urbana do Distrito Federal

Nome	Ano	Objetivo	Avanços
Plano Piloto	1957	Elaborar, por meio de concurso público, o projeto urbanístico da nova capital federal, com expressão arquitetural própria e fomentadora do desenvolvimento regional.	Obteve expressão arquitetônica e urbanística, define funções setorializadas (moradia, trabalho, lazer e circulação).
PEOT	1977	Estabelece diretrizes de ordem desenvolvimentista para a região geoeconômica de Brasília, com o intuito de preservar a cidade de Brasília. Prevê a implementação e expansão de áreas urbanas descentralizando o Plano Piloto.	Da início aos estudos de ocupação urbana do território do DF, com a criação, sobretudo de algumas APAS. Cria também o manual de desenho urbano e o Prog. de Diretrizes e de Plan. para os Núcleos Urbanos do DF.
POT	1985	Dotar o Governo de instrumento normativo de controle de ocupação. O Plano reafirma área de expansão indicada no PEOT. Busca efetuar um zoneamento completo do território.	Obteve a setorialização do DF nas seguintes Zonas: Rural, Urbana, De Urbanização Prioritária, De Interesse Ambiental e De Ocupação Restrita. Indicou a necessidade de um sistema de informações territoriais.
Brasília Revisitada	1987	Buscar definir novas áreas residenciais. Tem como referência preservar a proposta original do Plano Piloto. Busca a interação entre as escalas monumental, gregária, funcional e bucólica e visa o adensamento ao longo das vias mais conectadas do DF.	A expansão concentrou-se em seis áreas de residência multifamiliar (Sudoeste e Mansões Dom Bosco foram implementadas), alterou áreas do Plano Piloto, implementou áreas econômicas e determinou áreas de preservação no PP.
POUSO	1990	Propõe preservar a capital federal e promover sua estruturação como pólo de desenvolvimento regional. Busca obrigar estudos como os relatórios de impacto ambiental. Pretende redefinir as transformações ambientais e estabelecer as bases administrativas de planejamento.	O POUSO é uma decorrência do POT. Acrescentando-se: definição e delimitação do território do DF em duas categorias: solo urbano e solo rural. Estabeleceu os procedimentos administrativos, mas sua utilização tornou-se precária pela não continuidade das suas recomendações.
PDOT LC 803/2009 LC 854/2012	1997	Define o Macrozoneamento do território criando as seguintes categorias: urbana, expansão urbana, interesse ambiental e rural. Busca estabelecer a obrigatoriedade do Zoneamento Ecológico Econômico, dos estudos de impacto ambiental (EIV) e dos relatórios de impacto ambiental (RIMA).	O macrozoneamento indicou o principal eixo de dinamização no quadrante sudoeste do DF que conformou a Zona Urbana de Dinamização. O plano delineou objetivos para a política territorial urbana, porém, o plano não foi implementado.
Fonte: Silva, 2013, p. 66.			
Art. 15 e do 315 em diante da Lei Orgânica do DF	1993	Estabelece que o Distrito Federal terá obrigatoriamente plano diretor de ordenamento territorial e planos diretores locais, instrumentos básicos das políticas de ordenamento territorial e desenvolvimento urbano, aprovados por lei complementar. Obs.: Os artigos sobre o PDOT tiveram redação da Emenda à Lei Orgânica nº 49, em 2007.	A versão original da Lei Orgânica do DF é anterior ao Estatuto da Cidade - Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 e ao Ministério das Cidades - criado em 01 de janeiro de 2003. Momento em que foram requeridos Planos Diretores para cidades com mais de 20.000 hab.
LUOS PLC 079/2013	2013	Lei de Uso e Ocupação do Solo, estabelece as normas de ocupação do solo do DF - áreas do Plano Piloto e das Regiões Administrativas	Estes dois Instrumentos Legais juntos substituem os 07 Planos Diretores Locais existentes e algumas emendas referentes às áreas urbanas.
PPCUB PLC 052/2012	Última Revisão em 2017	Plano de Preservação do Conjunto Urbanístico de Brasília, trata da área tombada do Plano Piloto.	Obs.: Alterada pela 078/2014
Códigos de Obras Locais	Lei Orgânica	Instrumento legal a ser elaborado por cada região de interesse do DF e não sobrepõe-se à LUOS	Único Instrumento Legal que individualiza as gestões urbanas locais.

Fonte: Adaptado de Segeth, 2018, sem página. Disponível em: <http://www.segeth.df.gov.br/>. Acesso em abril de 2018.

A Lei Orgânica do DF propõe que todos os aspectos devem ser amplamente discutidos nas cidades, respeitando suas afinidades culturais, sociais e ambientais. O Plano de Preservação do Conjunto Urbanístico de Brasília – PPCUB – é considerado o Plano Diretor da Área Tombada.

Dos planos observados, apenas o Relatório do Plano Piloto e o PEOT (1977) registraram avanços sobre a questão ambiental urbana da microescala. Infelizmente a pauta dos novos planos incluem a cada ano mais regularização fundiária e expansão territorial do que propriamente o planejamento e a qualificação do território (SILVA, 2013). Esta observação permanece atual para as últimas revisões da LUOS e PPCUB.

Com a atualização do PDOT e dos PDLs e a sua nova aprovação em meados de 2012, novas prescrições urbanísticas foram estabelecidas, como a consolidação do setor noroeste, novas áreas de expansão no Setor de Indústria de Abastecimento (SAI), Setor de Garagens Norte (SGAN), entre outros. Os 7 PDL substituídos pela atual LUOS foram das Regiões Administrativas: II (Gama), RAIII e XX (Taguatinga e Águas Claras), RA V (Sobradinho), RA IX (Ceilândia), X (Guará) e XII (Samambaia).

Gonzales et. al. (2013, p. 17) afirmam que “recentemente o urbanista tem atuado em questões de sustentabilidade ambiental, gestão e planejamento de metrópoles e de grandes aglomerados urbanos, bem como é desafiado pelo uso de novas tecnologias.” Nesta linha, o presente trabalho busca na

seara das discussões ambientais, a identificação das ilhas de calor entre os aglomerados urbanos que compõem o Distrito Federal. Para isto, há que se considerar a configuração morfológica polinucleada. Como método, temos a soma da análise urbana *in loco* e o uso de imagens de satélite, reafirmando as geotecnologias, tais como o sensoriamento remoto, importantes ferramentas do urbanismo.

Quanto ao ensino e capacitação em Planejamento Urbano, Gonzales et. al. (2013, p. 17) expõem que:

“É preciso reconhecer que formar um profissional capacitado para este complexo de demandas exige uma quantidade e variedade de conhecimentos e níveis de treinamento que não são atendidos pelos atuais cursos de arquitetura e urbanismo do país” (GONZALES et. al., 2013, p. 17).

Assim, este trabalho, entre outros objetivos, pretende disseminar o sensoriamento remoto como ferramenta de análise ambiental urbana, com vistas a fornecer subsídios consistentes para a elaboração de políticas públicas, principalmente em relação à elaboração dos Planos Diretores Urbanos (PDU) e suas demandas por estudos aprofundados de Uso e Ocupação, além da forma e do desempenho das áreas urbanas.

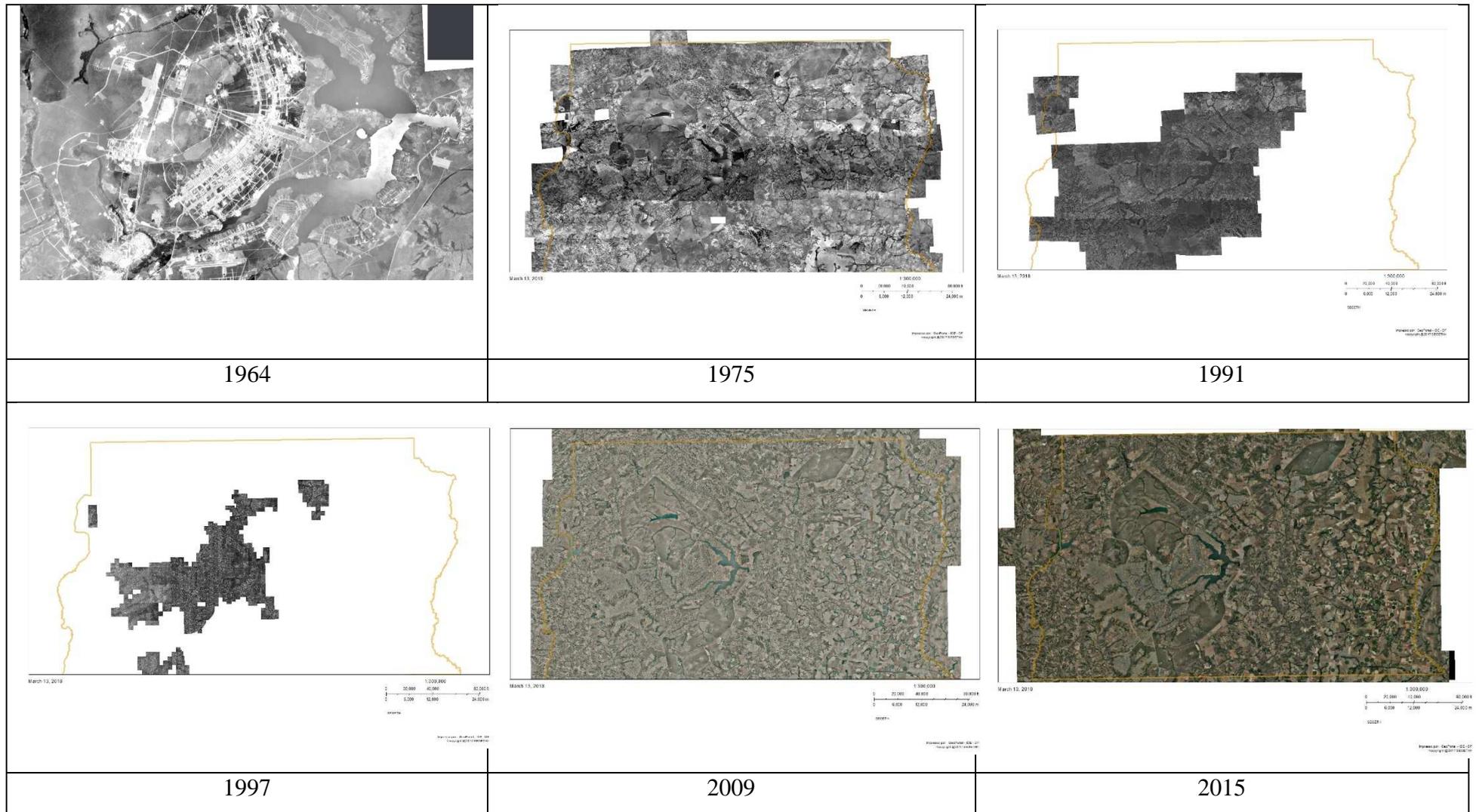
No campo do planejamento urbano, a autora propõe que “diagnósticos e propostas devem precaver-se da utilização de uma ótica difusa” (GONZALES, 2013, p. 255). Trata-se aqui, por exemplo, da padronização de documentos relacionados às cidades, as quais

individualmente, têm peculiaridades relevantes, que não devem ser negligenciadas. Assim, como uma experiente coordenadora de Planos Diretores Urbanos, Gonzales (2013, p. 255) define e detalha o método para elaboração dos mesmos. A autora explica que “o planejamento urbano é uma prática que busca racionalizar os processos de desenvolvimento das cidades, com o objetivo de qualificá-las”.

A expansão urbana e os adensamentos têm influência direta no processo de aquecimento das áreas urbanas (Quadro 11 e Figura 29). Quanto à “dinâmica urbana”, Gonzales (2013, p. 261) explica que “a cidade cresce, se adensa e se deteriora, por meio e a partir das diferentes formações visíveis. Esse movimento é próprio do processo de produção e reprodução do quadro urbano”. Neste sentido, analisaremos o processo

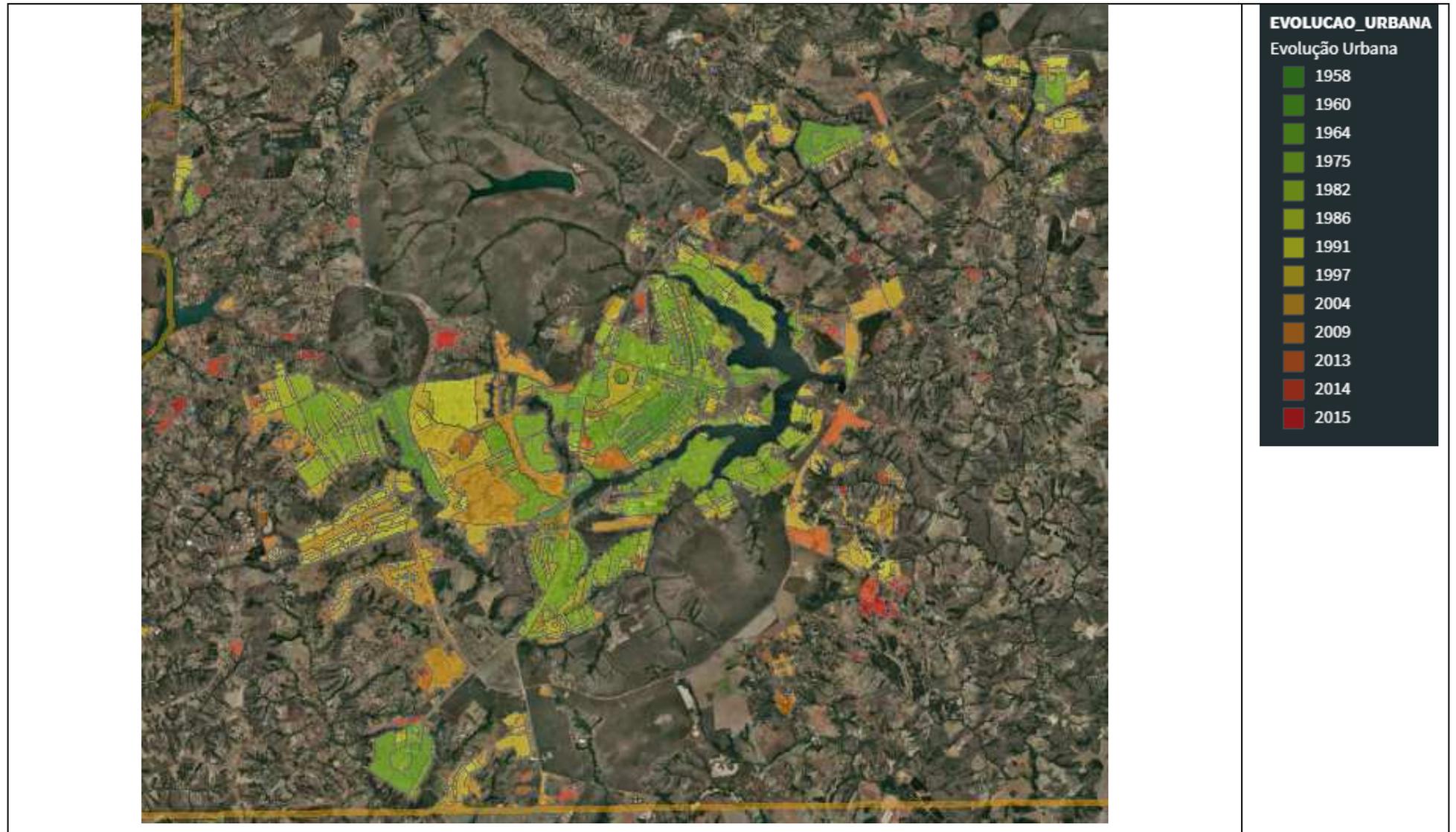
de formação das ilhas de calor no DF, “decifrando” cientificamente e envolvendo conhecimentos urbanísticos. Gonzales (2013, p. 261) afirma que “o conhecimento dos fenômenos urbanos faz-se necessário por exigência da própria natureza da atividade do planejamento urbano, cujo êxito depende de sua capacidade de previsão e comportamento (tendências)”. Assim, detectar o aquecimento de algumas áreas urbanas possibilitará intervir e controlar este desequilíbrio ambiental, principalmente por meio da elaboração das leis e normas que “controlam” o crescimento urbano, com destaque para os Plano Diretores Urbanísticos e para as Leis de Uso e Ocupação do Solo.

Quadro 11 – Fotos Aéreas da Evolução Urbana de Brasília – DF



Fonte: Adaptado do Geoportal da Secretaria de Gestão do Território e Habitação do Governo de Brasília – SEGETH – sem página. Disponível em: <http://www.geoportal.segeth.df.gov.br/mapa/?extent=158185.6432,8233132.1800,242852.4792,8274460.1793&layers=Evolu%C3%A7%C3%A3o%20Urbana#>. Acesso em 13 de março de 2018.

Figura 29 - Evolução Urbana de Brasília – DF e ortofoto



Fonte: Adaptado do Geoportal da Secretaria de Gestão do Território e Habitação do Governo de Brasília – SEGETH – sem página. Disponível em: <http://www.geoportal.segeth.df.gov.br/mapa/?extent=158185.6432,8233132.1800,242852.4792,8274460.1793&layers=Evolu%C3%A7%C3%A3o%20Urbana#>. Acesso em 13 de março de 2018.

A segregação e a estratificação sócio-espacial no DF são componentes essenciais da análise das ilhas de calor e sobre isto a autora afirma:

"O próprio Governo do Distrito Federal induziu a este tipo de ocupação dispersa e periférica, promovendo a ocupação prematura das cidades satélites para responder à demanda real de habitação das populações de renda abaixo de 5 salários mínimos que, cada vez menos, encontram viabilidade de consumo das habitações do Plano Piloto. [...] todo esse processo evidente de segregação tem conotações específicas na organização do espaço físico do conjunto das áreas residenciais no Distrito Federal, com uma expressão estratificante muito forte" (GONZALES, 1985, p. 81-100).

O uso e ocupação do solo urbano têm, fundamentalmente, origem nas questões de caráter sócio-econômicos que regem a cidade. Gonzales (2013, p. 260) aborda a questão sócio-espacial, expondo que “o processo de realização da renda fundiária é operador econômico da estratificação e segregação dos espaços habitados”. Assim, o estabelecimento e o crescimento das Regiões Administrativas do DF (Figura 30), o movimento pendular do fluxo de veículos entre estas e a capital federal, além do recentemente identificado fluxo entre as próprias Regiões Administrativas, são fatores que contribuem para a elevação da temperatura local, o que influencia significativamente no meio ambiente. Mais uma vez a autora explica que “a valorização do solo urbano ultrapassa as fronteiras do geográfico e do ecológico, alcançando o econômico: o solo urbano é um meio de produção, sujeito à lógica do mercado e à lei do lucro capitalista”. Gonzales (2013, p. 260).

Com a visão de um geógrafo inspirado pelas questões urbanas e das metrópoles, Paviani (2009) relata a ocupação territorial em Brasília enquanto um “sistema de cidades”. O autor dedica-se ao estudo do processo de metropolização, com ênfase ao processo de exclusão social pelo desemprego.

No texto “*Próteses*” Urbanas em Brasília – adaptação ao termo cunhado pelo geógrafo Milton Santos – Paviani (2009) expõe com intimidade as inversões realizadas na capital Federal, em relação ao ideário original de Lucio Costa para o Plano Piloto.

“Ao se aproximar da metade de um século de existência, Brasília assiste passivamente o desfazer-se do “cinturão verde” e da “escala bucólica”. Em seu lugar, a urbanização caminha para reproduzir Rio de Janeiro, São Paulo e outras capitais brasileiras, com mais cimento, asfalto, impermeabilização e chuvas de verão. Avalia-se que as próteses implantadas parecem sofrer da síndrome do “mercado imobiliário” (PAVIANI, 2009, p.7).

O autor menciona a Área Metropolitana de Brasília (AMB), a qual não está delimitada por direito, mas já existe de fato. Considerando todo o quadrilátero do Distrito Federal, e não somente a área do Plano Piloto, as Regiões Administrativas exercem influência determinante ao desenvolvimento urbano de Brasília. Trata-se de uma rede de cidades, cujo centro de interesse econômico, social, cultural e “ocasionalmente” cívico é o Plano Piloto. Vale aqui a chamada para a necessidade de uma gestão adequada, onde alguns interesses estão integrados e devem ser compartilhados entre as administrações das cidades. O transporte público

pode ser um exemplo, além da questão da geração de emprego e renda, de saúde pública e de educação.

"A constelação urbana que se formou no processo desmontou o mito do planejamento "racional". [...] Na criação de Taguatinga, em 1958 – a primeira cidade-satélite. Com o novo núcleo, inaugurou-se um ciclo de centrifugação de população, não abrigada no Plano Piloto. Para esse, o destino e principal característica seria "a função governamental. Em torno dela, se agrupam todas as outras funções e, para ela, tudo converge", conforme o relatório do respeitado urbanista Lucio Costa" (PAVIANI, 2009, p. 5).

Paviani (2009) atenta para o fato de que a Capital do Brasil seria todo o Distrito Federal Urbano e não somente o Plano Piloto, o centro da cidade. O autor destaca ainda, que Brasília não se viabilizaria sem as cidades-satélites (atuais Regiões Administrativas). Embora simples, este é o ponto chave do debate proposto por Paviani (2009), que até os dias atuais é alvo de reflexões do ponto de vista, não só físico, geográfico, espacial, ambiental, mas principalmente administrativo, econômico e social.

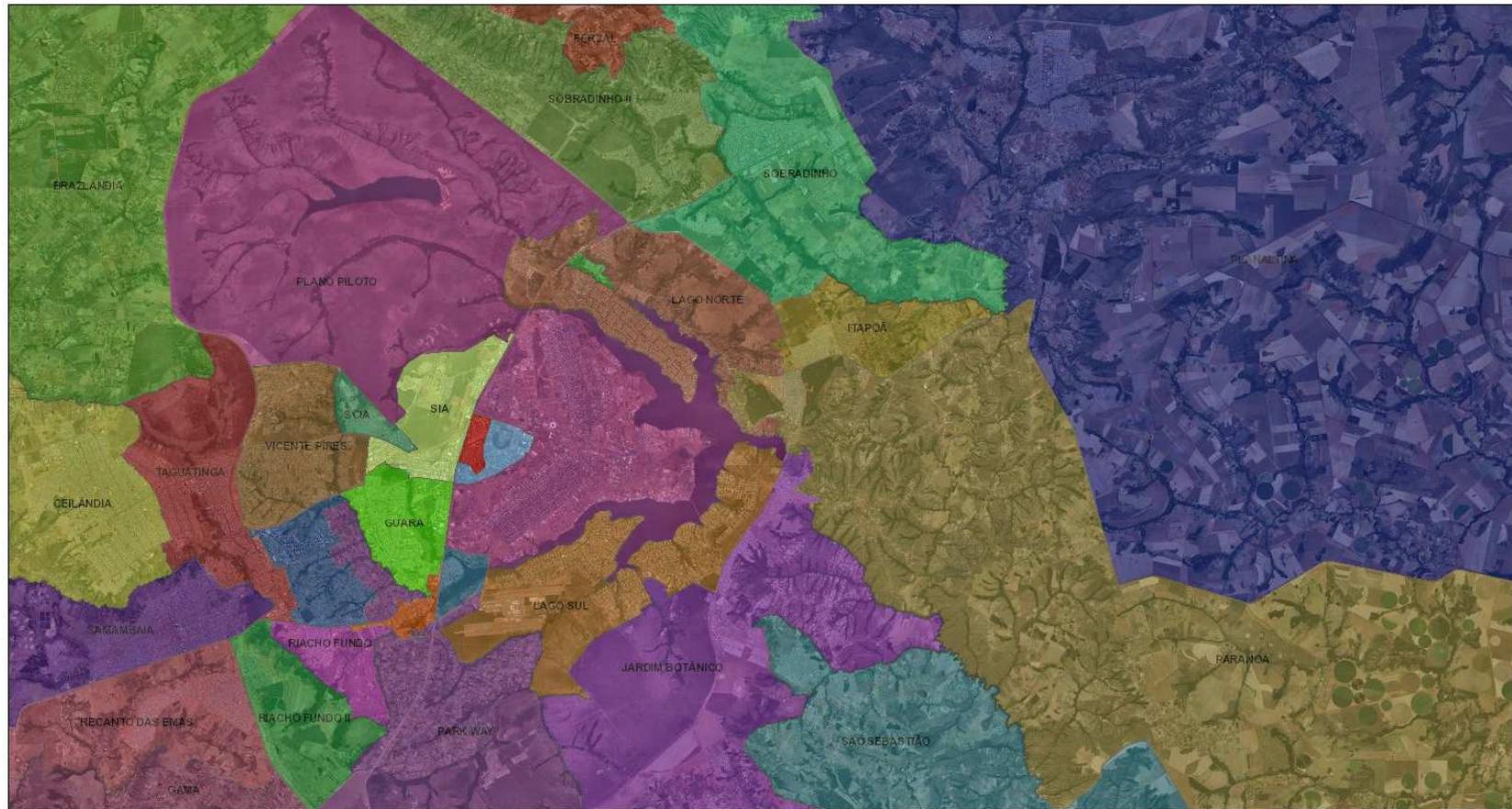
"O espaçamento existente entre os núcleos não tira do DF a singularidade de sua geografia urbana polinucleada, que se materializou no processo de urbanização local" (PAVIANI, 2009, p. 5).

Segundo Paviani (2009), o Plano Piloto abrigou os poderes da República e induziu a periferização dos baixos escalões de servidores do governo e serviços. Inicialmente haviam 07 (sete) Regiões Administrativas, atualmente são 31 (trinta e uma). Além delas, surgiram loteamentos regulares e os chamados "condomínios rurais", de iniciativa privada. Tratam-se dos "nós" da questão fundiária do DF.

"Nos dias correntes o governo do Distrito Federal (GDF) procura regularizar os "condomínios", trazendo-os à legalidade, sujeita ao pagamento de impostos, independentemente de estarem ou não agredindo nascentes, matas ciliares ou áreas geomorfologicamente desaconselhadas à ocupação habitacional, susceptível a erosões" (PAVIANI, 2009, p. 5).

Para o caso das classes média e alta, Paviani (2009) destaca os empreendimentos imobiliários de vulto, tais como Águas Claras, Setor Sudoeste, Setor Noroeste, além das expansões do Lago Sul e do Lago Norte, loteamento Mansões Parkway e Mansões Dom Bosco. Com destaque para o Noroeste, onde "as nascentes são afogadas por cimento e asfalto e ocorre a erradicação dos indígenas que mantêm oca há muitos anos no local. Tudo para dar lugar à reprodução luxuosa do Plano Piloto" (PAVIANI, 2009, p. 6)

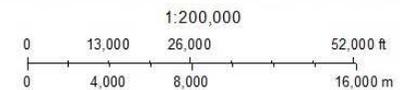
Figura 30 - Proposta das Regiões Administrativas de Brasília - DF



March 13, 2018

Proposta Regiões Administrativas

BRAZLÂNDIA	GAMA	NÚCLEO BANDEIRANTE	RIACHO FUNDO	SOBRADINHO
CANDANGOLÂNDIA	GUARÃ	PARANOÃ	RIACHO FUNDO II	SOBRADINHO II
CEILÂNDIA	ITAPOÃ	PARK WAY	SAMAMBAIA	SUDOESTE/OCTOGONAL
CRUZEIRO	JARDIM BOTÂNICO	PLANALTINA	SANTA MARIA	SÃO SEBASTIÃO
FERCAL	LAGO NORTE	PLANO PILOTO	SCIA	TAGUATINGA
	LAGO SUL	RECANTO DAS EMAS	SIA	VARJÃO



SEGETH

Impresso por: GeoPortal - IDE - DF
©copyright ©2017 SEGETH

Fonte: Geoportal da Secretaria de Gestão do Território e Habitação do Governo de Brasília – SEGETH – sem página.

Disponível em: <http://www.geoportal.segeth.df.gov.br/mapa/?extent=-158185.6432,8233132.1800,242852.4792,8274460.1793&layers=Evolu%C3%A7%C3%A3o%20Urbana#>.

Acesso em 13 de março de 2018.

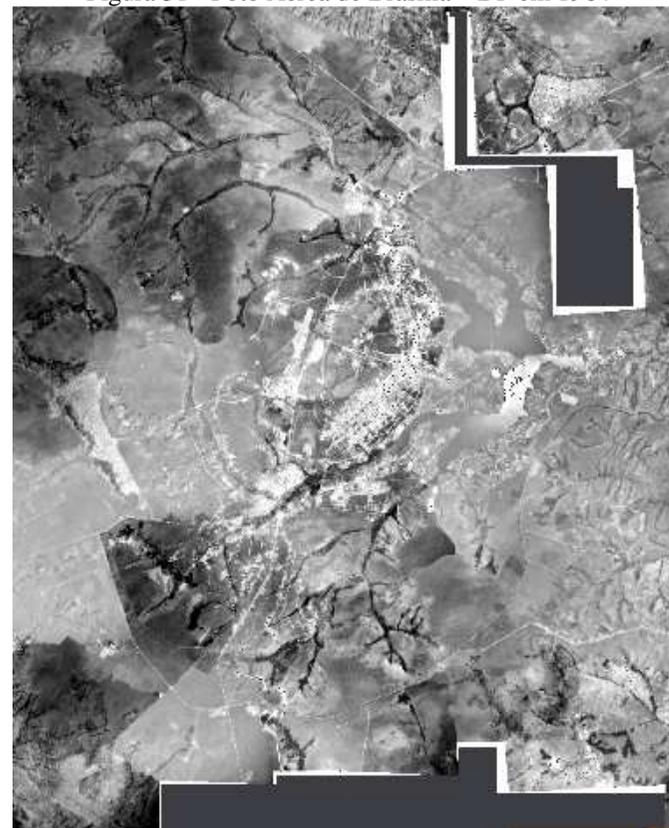
A princípio, a descentralização de algumas atividades desenvolvidas no Plano Piloto previa a prestação de serviços nas cidades-satélites (atuais Regiões Administrativas), em edifícios de no máximo três andares. Inversamente, em Águas Claras, por exemplo, a função residencial é dominante e os edifícios ultrapassam 20 (vinte) andares. O resultado: o fluxo de veículos, entre Plano Piloto e Regiões Administrativas, que deveria ser ao longo dos horários comerciais, agora é um fluxo de quem dorme no “entorno” e trabalha no “centro”, caracterizando o denominado “movimento pendular”. Este movimento, que tem origem não somente das Regiões Administrativas, mas também de cidades de Goiás, além do fluxo entre as respectivas cidades.

“As “próteses urbanas” (...) apenas surgem para fechar a malha viária e residencial em volta ao Plano Piloto, justamente no sentido inverso do que foi o ideário do esclarecido e criativo urbanista Lucio Costa. E, pior, notam-se iniciativas no sentido de fazer junção (conurbação) entre alguns núcleos, como Guará I e II e Águas Claras; Águas Claras e Taguatinga; esta com Ceilândia, Samambaia, Recanto das Emas e Gama – ou uma grande mancha urbana. Com ela serão destruídas as reservas de cerrado existentes entre esses núcleos e sufocadas as nascentes, um legado de insustentabilidade para os próximos 40 ou 50 anos. Nota-se igualmente a derrocada do polinucleamento ainda existente, ao tempo em que se desejavam espaços intercalares e qualidade ambiente em volta dos núcleos habitacionais” (PAVIANI, 2009, p. 7).

Paviani (2009) aponta que a gestão do Distrito Federal deveria assumir uma visão de futuro, com projetos para os próximos 30, 40 e 50 anos. Existem importantes exemplos de gestões governamentais como esta, tais como a da Cidade-Estado de Cingapura, na Ásia, onde o governo sabe todos os passos que irá trilhar nas próximas décadas. A gestão

urbana não pode ficar à mercê de mudanças de governo, com estratégias descoordenadas e visão de futuro é fundamental para esta que é a “planejada” capital do país. A gestão das Regiões Administrativas isoladamente, em detrimento de todo o DF, já eram realidade. Na Figura 31, de 1964, Sobradinho e Guará existiam, contemporâneas ao Plano Piloto.

Figura 31 - Foto Aérea de Brasília – DF em 1964



Fonte: Geoportal da Secretaria de Gestão do Território e Habitação do Governo de Brasília – SEGETH – sem página. Disponível em: <http://www.geoportal.segeth.df.gov.br/mapa/?extent=158185.6432,8233132.1800,242852.4792,8274460.1793&layers=Evolu%C3%A7%C3%A3o%20Urbana#>. Acesso em 13 de março de 2018.

A abordagem das centralidades e do sistema de cidades, no caso de Brasília é recorrente, uma vez que as relações de produção e consumo de bens e de serviços é a “mola mestre” do desenvolvimento urbano regional e local, ocasionando por sua vez, ainda que indiretamente, o processo de formação das ilhas de calor. A característica polinucleada traz para Brasília a demanda por uma gestão integrada de interesses. As Regiões Administrativas “funcionam” mediante “soluções” provenientes do “centro urbano” Plano Piloto, isto é, trabalho, escola, prestações de serviços públicos e privados, fornecimentos de produtos e demais questões a serem resolvidas. Transporte, comércio e administração são assuntos de influências “intermunicipais”, que requerem Gestão Intermunicipal. No caso de Brasília, uma Gestão Interegional (entre Regiões Administrativas). Um problema recorrente em metrópoles brasileiras, tais como São Paulo e Rio de Janeiro.

Nas grandes cidades, quando as atividades econômicas e sociais permanecem longe dos locais de moradia acessíveis à maioria da população, ocorre a expansão da periferia. Isto pode ser observado no DF. Em consequência, surge o movimento pendular, onde as Regiões Administrativas funcionam como cidades dormitórios. O transporte coletivo precário e o uso individual do automóvel, com altos índices de emissões e produção de calor, resultam nos congestionamentos dos horários comerciais e em intensas poluições. Compreendemos, diante desta realidade, que os atuais estudos sobre as cidades devem estar

envolvidos neste processo dinâmico de análise, ação e execução, principalmente ao adentrarmos na era tecnológica dotada de diversas possibilidades e recursos.

3.4. Aspectos Morfológicos de Brasília

O presente estudo considera todo o quadrilátero do Distrito Federal. Assim, falar de aspectos morfológicos do Plano e Piloto e falar dos referidos aspectos nas áreas ocupadas do entorno são questões bem distintas. A princípio abordaremos o traçado urbano da Capital Federal e posteriormente desenvolveremos as respectivas análises do Regiões Administrativas a serem definidas na parte metodológica deste trabalho.

As Regiões Administrativas, as quais desenvolveram-se no entorno de Brasília, embora preservem a ortogonalidade do traçado em suas características formais, não mantêm a monumentalidade da Capital e nem a significativa presença da vegetação. As relações W/H a serem consideradas na sequência desta análise também são bem diferentes. Além da relação entre o pedestre e o espaço urbano, que pode ser considerada mais próxima à das cidades tradicionais da região.

Ao idealizar Brasília, com suas formas geométricas, puras e explicitas em dois eixos de simetria, Lucio Costa menciona: “Nasceu do gesto primário de quem assinala um lugar ou dele toma posse: dois eixos cruzando-se em ângulo reto, ou seja, o próprio sinal da cruz”

(CODEPLAN, 1991:20). A partir destes dois eixos perpendiculares, o urbanista definiu o zoneamento de Brasília. O Eixo Norte-Sul (arqueado, com 14,3 km de extensão) é o rodoviário e o Leste-Oeste (com 9,7 km de extensão) o Monumental. Ao longo do eixo Norte-Sul encontram-se as habitações, dispostas em sessenta superquadras de 240 metros x 240 metros cada, onde estão implantados os edifícios sob pilotis, característicos da arquitetura moderna.

Lucio Costa mencionou ainda as quatro escalas consideradas em Brasília: a Monumental (Esplanadas dos Ministérios, Praça dos Três Poderes), a Gregária (de comércio, serviços e de encontros), a Residencial (superquadras) e a Bucólica (áreas verdes e de lazer). No caso da Capital Federal, esta organização dos espaços urbanos é compreensível. A escala residencial comprovou ser eficiente, no sentido de abrigar uma considerável quantidade de moradores em áreas com generosas áreas verdes e sombreadas por árvores, com comércio e serviços locais de fácil acesso. A escala bucólica, principalmente, além de dar destaque aos edifícios monumentais e conferir o caráter de cidade jardim à Brasília, cumpre a função de contribuir com a evapotranspiração e trazer conforto às áreas de lazer.

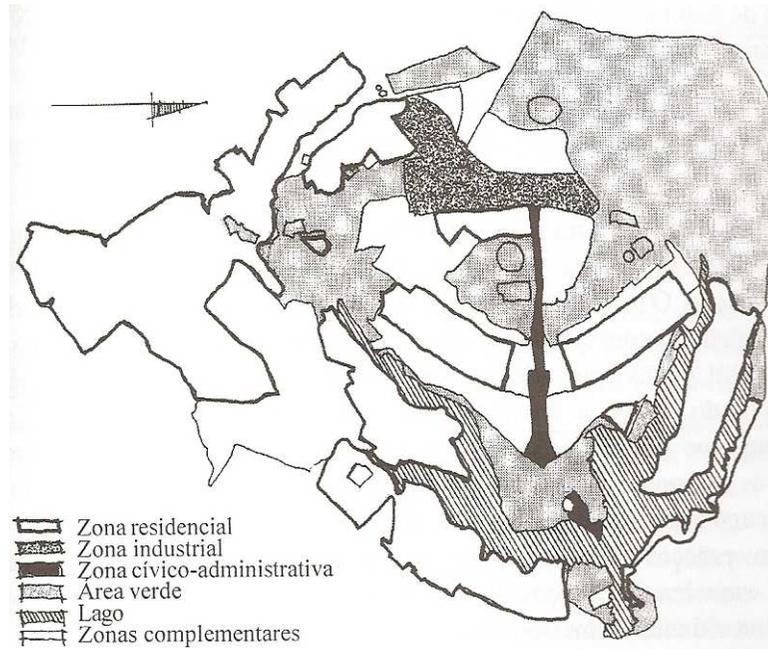
No caso das “cidades comuns”, no entanto, esta cuidadosa organização da vida cotidiana dos moradores, o baixo adensamento das áreas, a prioridade do sistema viário, desconsiderando os passeios de pedestres,

os quais quando existem são em maioria áridos e sem sombreamento, podem vir a ser alvos de questionamentos quanto aos sucessos e insucessos do urbanismo moderno.

Em relação ao traçado, Romero (2001, p. 130) explica que Brasília adota a separação dos diferentes tipos de circulação e abandona a noção de rua até esse momento existente. A rua enquanto local de passagem não só de automóveis, mas também de pedestres. A rua um local de encontro: uma característica que em Brasília não pode ser conferida. Passeios, calçadas e áreas sombreadas, proporcionando conforto ao pedestre e convidando ao convívio social, definitivamente são locais raros no Plano Piloto, encontrados talvez no interior das superquadras. Estas eram até então as características conhecidas das cidades de ocupação espontânea, comuns a época em que a Capital Federal fora implantada.

O Lago Paranoá, criado artificialmente em 1959 e terminado em 1961, [...] é formado pela represa do Rio Paranoá e alimentado pelos riachos Gama, Bananal e Fundo. Sua orla foi idealizada para abrigar hotéis, clubes, restaurantes, locais de recreação e cais para barcos (ROMERO, 2001, p. 137). A presença do Lago à Leste do Plano tem função premeditada, a de umidificar a cidade. Posicionado de forma calculada a favor dos ventos predominantes, o lago cumpre sua missão de melhorar a umidade relativa do ar e por consequência atuar de maneira positiva no microclima local (Figura 32).

Figura 32 - Zoneamento de Brasília



Fonte: Romero, 2001, p. 137.

O caráter de cidade jardim fica explícito na referida “escala bucólica” de Brasília. O paisagismo da capital, intencionalmente planejado, tem dupla função: a de conferir identidade cenográfica à paisagem e a de beneficiar o microclima da área. Segundo Romero (2001, p. 136), as áreas construídas em áreas residenciais são de 15% a 18%, e os setores centrais, de 23% a 30% de ocupação. Esta característica permite o estabelecimento de mirantes ao longo do Eixo Monumental e do Rodoviário para observação de grandes extensões urbanas.

Já na escala Gregária (de comércio e de serviços), encontramos alguns adensamentos de edifícios com espaço pouco mais reduzido entre eles, maior área de pavimentação, pouca ou nenhuma presença de vegetação e utilização de materiais pouco benéficos nas fachadas. Trata-se aqui dos Setores como os Hoteleiros Norte e Sul e Bancários Norte e Sul, por exemplo. No contexto da formação das Ilhas de Calor Urbanas, a análise destes setores é representativa para os demais subcentros a serem analisados no desenvolvimento do presente trabalho.

Setor Bancário Norte (SBN) em Brasília

No setor bancário norte os atributos relacionados à envolvente e forma das edificações influenciam diretamente o ambiente interno e externo na medida que favorecem perdas e/ou ganhos de energia. Os edifícios reúnem características que garantem uma maior exposição aos efeitos climáticos, na maioria deles negativos à qualidade ambiental do setor e dos edifícios (Figura 33). Com destaque, o fator W/H reduzido, caracterizando-se como ambiente urbano claustrofóbico, a presença escassa de vegetação somada à intensa absorção de calor pelos materiais utilizados nas fachadas. Existe uma tendência à retenção do calor entre os edifícios, em configuração de cânions urbanos. Estes edifícios, contudo, estão dispostos de maneira que permitem ventilação moderada,

diferente, por exemplo, do cânion urbano da Avenida Paulista, na capital de São Paulo, caracterizado por um longo corredor de vento.

Nos edifícios do Setor Bancário Norte, observamos a presença de alguns materiais, tais como: vidros coloridos, vidros metalizados, paredes opacas pintadas de cores claras ou revestidas em granito e algumas, cujas aberturas têm brises metálicos pintados. No caso dos tipos de vidros utilizados, tanto a absorvância quanto à emissividade são elevadas, até 0,80 e 0,84 respectivamente. Já para as paredes opacas pintadas de cores claras, a absorvância é baixa, entre 0,20 e 0,30, mas a emissividade é alta, de 0,90.

Figura 33 - Setor Bancário Norte - Um dos Centros de Negócios de Brasília



Fonte: Acervo pessoal, 2015.

Nota-se que as coberturas naturais, como a vegetação e solo natural, têm albedo mais baixo, enquanto materiais com alta refletividade têm albedo mais alto. No ato de projetar os espaços urbanos e, principalmente na especificação dos materiais de revestimentos dos edifícios, estes índices precisam ser considerados. No caso de Brasília, considerando o desenho urbano, a escala bucólica preserva o baixo albedo. Contudo, nos Setores mais adensados, como os SBN, SBS, SHN e SHS, por exemplo, alguns edifícios denunciam a negligência com os materiais de acabamento.

3.5. O legado das Cidades Verdes

A busca pelo equilíbrio entre o homem e o meio ambiente fez com que, nas últimas décadas, a gestão de algumas grandes cidades demonstrasse certo grau de comprometimento no sentido de mitigar o efeito ilhas de calor. Embora isto não seja explícito em forma de lei no Planejamento Urbano no Brasil, alguma intenção é perceptível, ainda que no reservado

patrimônio do traçado urbano do Plano Piloto de Brasília. Em recente reportagem exibida pela Revista Veja, observamos que o traçado de Brasília à proporcionou um impressionante patrimônio natural (Figura 34), com mais de 300 espécies de árvores distribuídas em 5 milhões de metros quadrados (BECKER, 2014).

Figura 34 - Vegetação de Brasília – DF



March 13, 2018

Mapa de Vegetação

■	MATA
■	AREA_LIMPA
■	PASTO
■	ARVORE
■	POMAR
■	CAMPO
■	REFLORESTAMENTO
■	CERRADO
■	CULTURA

1:200,000

0 13,000 26,000 52,000 ft
0 4,000 8,000 16,000 m

SEGETH
TERRACAP

Impresso por: GeoPortal - IDE - DF
<copyright ©2017 SEGETH>

Fonte: Geoportal da Secretaria de Gestão do Território e Habitação do Governo de Brasília – SEGETH – sem página. Disponível em:
<http://www.geoportal.segeth.df.gov.br/mapa/?extent=158185.6432,8233132.1800,242852.4792,8274460.1793&layers=Evolu%C3%A7%C3%A3o%20Urbana#>.
Acesso em 13 de março de 2018.

Gartland (2010) expõe exemplos de cidades que empenharam-se em analisar e mitigar o fenômeno ilhas de calor, tais como em áreas urbanas em Phoenix, no Arizona e Negev, em Israel, que tendem a apresentar níveis de evaporação mais elevados do que os desertos que as cercam por terem sido planejadas com muitas árvores e gramados que são molhados e irrigados regularmente. Observamos em Brasília este satisfatório resultado da intensa presença de vegetação. A umidade beneficiada pela evapotranspiração reduz o efeito do calor.

A arborização das ruas de Brasília

O Plano Piloto possui uma geometria urbana distinta e o setor habitacional caracteriza-se por intensa arborização, grandes áreas permeáveis, edificações residenciais com até seis pavimentos e construídas sob pilotis, além de grandes afastamentos entre edificações (Figuras 35 e 36). Os “cinturões verdes” das Superquadras, componentes da escala bucólica de Lucio Costa, caracterizam a presença densa de Copas de Árvores. Estes aspectos foram planejados tendo em vista a redução da temperatura e do aumento da umidade relativa do ar abaixo do dossel urbano. Os grandes eixos viários são também beneficiados pela arborização de médio e grande porte, situada nas ilhas e canteiros.

Brasília, no entanto, sofreu com o intenso crescimento populacional nas últimas décadas. Sendo que o Plano Piloto foi originalmente planejado

para 500 mil habitantes, enquanto o Distrito Federal atualmente aproxima-se dos 3 milhões de habitantes. É importante considerar a população do DF como um todo, uma vez que embora estas pessoas habitem no entorno, a grande maioria delas sobrevivem em função de suas relações com o Plano Piloto. Esta população trabalha, estuda e/ou leva os filhos para estudarem, faz compras e busca serviços no Plano Piloto, o que faz com que sua influência em números seja bastante considerável (VIANNA e ROMERO, 2016).

Figura 35 - A arborização urbana de Brasília contribuindo com o microclima local



Fonte: Viana, 2015, in Becker, 2014, sem página. Disponível em: <http://vejabrasilia.abril.com.br/materia/cidade/muito-alem-de-um-jardim/>. Acesso em junho de 2015.

Figura 36 - A arborização nas Superquadras de Brasília



Fonte: Kon, 2008, in Vitruvius, sem página. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/resenhasonline/07.076/3079>. Acesso em janeiro de 2015.

A interpretação do espaço urbano pode acontecer de maneira objetiva e subjetiva. O lugar em que se vive compõe-se de uma grande e complexa rede de elementos os quais caracterizam, identificam, individualizam e finalmente o marcam, de maneira a torná-lo único e especial.

A descrição apenas físico-espacial de um lugar poderá vir a ser satisfatória, mas não completa. A relação do homem com o lugar em que vive reproduz - espacialmente - as sutilezas explicadas pelas características sociais, econômicas e culturais locais.

A análise do processo de formação das ilhas de calor, embora esteja essencialmente relacionada aos aspectos físicos e ambientais de

ocupação do território, uma vez vinculada ao espaço urbano, envolve-se na complexa teia de fatores para desvendá-lo (VIANNA e ROMERO, 2016).

3.6. Sistema Viário, Centralidades e Adensamentos

No contexto do desenvolvimento urbano e da qualidade ambiental urbana, existe uma importante conexão entre o desempenho do sistema viário (Figura 37), as centralidades e os adensamentos.

Sistema Viário

O traçado modernista de Brasília, cujo sistema viário caracteriza-se pela hierarquia de vias, desde os grandes eixos no sentido Leste - Oeste e Norte - Sul, com maiores capacidades de fluxo de veículos, às vias locais internas das Superquadras. Este sistema viário tem peculiaridades dificilmente comparáveis às outras cidades tradicionais brasileiras. Contudo, é perceptível o intenso fluxo de veículos nestes dois sentidos da cidade, os quais dão acesso às densas áreas ocupadas do entorno. A nordeste temos as regiões administrativas de Sobradinho e Planaltina e a sudoeste temos Águas Claras, Taguatinga, Samambaia e Ceilândia. A elevada densidade de ocupação destas regiões e o fluxo da população tem importante influência no processo de formação das ilhas de calor.

Figura 37 - Eixos de Vias de Brasília – DF



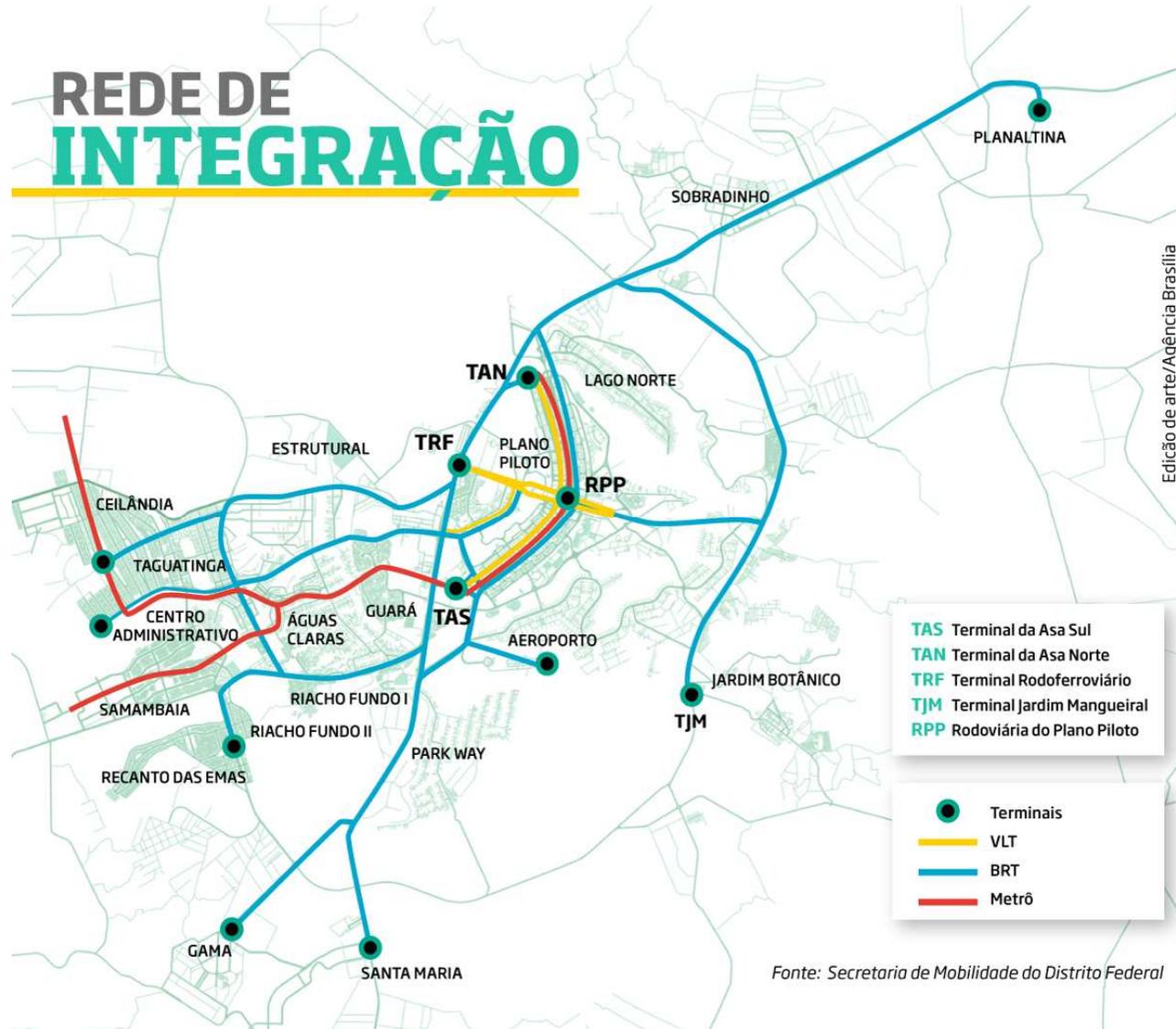
Fonte: Geoportal da Secretaria de Gestão do Território e Habitação do Governo de Brasília – SEGETH – sem página. Disponível em:
<http://www.geoportal.segeth.df.gov.br/mapa/?extent=158185.6432,8233132.1800,242852.4792,8274460.1793&layers=Evolu%C3%A7%C3%A3o%20Urbana#>.
Acesso em 13 de março de 2018.

Devido a grande concentração de empregos em Brasília (Plano Piloto) e das grandes distâncias entre esta e as Regiões Administrativas, o transporte de veículos é o principal meio de acesso a empregos, pois mais de 90% da população vive longe deles (RIBEIRO, 2005).

A facilidade de acesso aos centros urbanos pode definir os processos de ocupação. No caso de Brasília, o acesso ao Plano Piloto fez com que as áreas do entorno fossem densamente ocupadas. Esta circulação diária da população, para ir e vir ao trabalho, escola e em busca de atendimentos e serviços, denomina-se “movimento pendular”. Tal movimento está cada dia mais congestionado e colocando em risco vários aspectos da qualidade ambiental urbana.

A questão da mobilidade urbana vem na sequência, com a implantação do metrô, e recentemente do BRT (*Bus Rapid Transport*) facilitando o acesso às regiões Sul e Sudoeste do entorno (Figura 38). O trânsito torna-se uma questão de prioridade em Brasília, sendo que as emissões provocadas por este também influenciam no processo de formação das ilhas de calor. Embora o transporte coletivo tenha sofrido melhoras, ainda não substitui o deslocamento individual dos automóveis, o qual está cada dia mais numeroso.

Figura 38 - Rede de Integração do Transporte Público no Distrito Federal



Fonte: Secretaria de Mobilidade do DF, sem página. Fonte: <http://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2016/05/24/capital-tera-277-km-de-rede-integrada-de-transporte-publico/>. Acesso em 21 de março de 2017 às 9:015 h.

É possível demonstrar como a configuração da malha viária é um aspecto definidor dos fluxos de movimento, independente da existência ou não de atratores (HILLIER e HANSON, 1984). No caso de Brasília, além da malha favorecer os fluxos, existem vários atratores. Trata-se da capital nacional e, portanto, de forte caráter administrativo, e por isso mesmo com áreas extremamente valorizadas. Tornou-se uma cidade onde a população circula para trabalhar, estudar, fazer negócios, participar de eventos. Contudo, apenas uma pequena parcela desta população reside efetivamente.

Em áreas centrais, tais como: as áreas comerciais das Superquadras, os Setores Comerciais Sul e Norte, o Centro de algumas Regiões Administrativas, como Taguatinga, Gama, ou Águas Claras, a poluição do ar é elevada. A concentração de pessoas e circulação de veículos aumentam a poluição e a temperatura do ar.

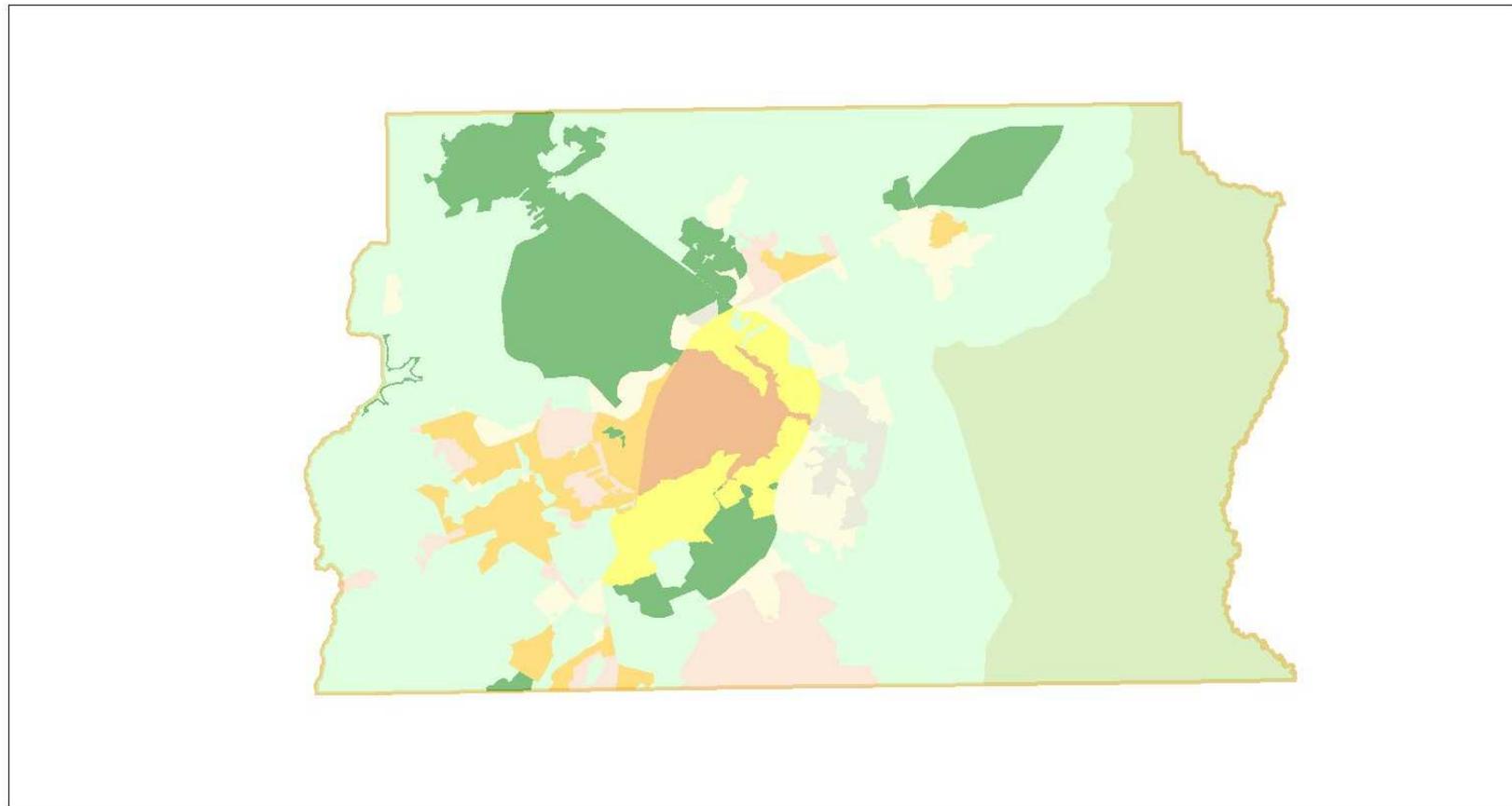
Centralidades

Segundo Medeiros (2014, citação em aula), "a localização em áreas centrais de comércio e serviços, estabelece grande possibilidade de sucesso em virtude do aproveitamento dos fluxos correlatos". Brasília é central, contudo, o alto custo para habitá-la fez com que outros diversos subcentros se consolidassem. Trata-se das Regiões administrativas, mencionadas anteriormente, e das cidades do Estado de Goiás, tais como Valparaíso ao sul e Planaltina ao nordeste. Ainda segundo Medeiros (2014, citação em aula): "numa escala ampliada, o sucesso de muitas cidades dependeu de sua localização ante as teias conectando cidades, vilas e povoados".

O Plano Piloto de Brasília, por causa de seu status de patrimônio mundial, tem poucas possibilidades de crescimento de habitações, resultando em extensa amplificação das cidades satélites, tanto por incrementos em densidades quanto por extensão sobre áreas rurais. Isso gera problemas socioambientais muito sérios (RIBEIRO e HOLANDA, 2005).

Na Figura 39 é possível identificar a Zona Urbana do Conjunto Tombado e as demais áreas do Zoneamento do Distrito Federal.

Figura 39 - Zoneamento de Brasília - DF

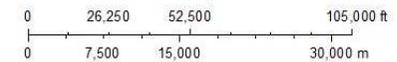


March 13, 2018

Zoneamento

- | | |
|--|----------------------------------|
| Macrozona de Proteção Integral | Zona Urbana de Uso Controlado I |
| Zona Rural de Uso Controlado | Zona Urbana de Uso Controlado II |
| Zona Rural de Uso Diversificado | Zona Urbana do Conjunto Tombado |
| Zona Urbana Consolidada | Zona de Contenção Urbana |
| Zona Urbana de Expansão e Qualificação | |

1:400,000



SEGETH

Impresso por: GeoPortal - IDE - DF
<copyright ©2017 SEGETH>

Fonte: Geoportal da Secretaria de Gestão do Território e Habitação do Governo de Brasília – SEGETH – sem página. Disponível em:
<http://www.geoportal.segeth.df.gov.br/mapa/?extent=158185.6432,8233132.1800,242852.4792,8274460.1793&layers=Evolu%C3%A7%C3%A3o%20Urbana#>.
Acesso em 13 de março de 2018.

Fazendo uma conexão entre o tema centralidades e Adensamentos, Jatobá (2017) afirma que devido à criação das cidades-satélites (atuais Regiões Administrativas) antes da consolidação da área central do DF, por volta dos anos 90, quando a malha urbana ainda era mais dispersa, a morfologia original de Brasília de padrão polinucleado estava mais evidenciada. Assim, com exceção do Cruzeiro, as Regiões Administrativas no entorno próximo do Plano Piloto apresentavam densidades mais baixas, estando as densidades mais elevadas nas Regiões Administrativas mais distantes e as áreas intersticiais entre elas estavam ainda pouco ocupadas.

Adensamentos

Questões como o desenvolvimento polinucleado do Distrito Federal e o tombamento do Plano Piloto de Brasília, cuja legislação que regulamenta as ocupações (PPCUB e LUOS) não permite adensamentos, impulsionam o chamado "espraiamento", isto é, a ocupação de áreas após grandes vazios urbanos. Na Figura 40 temos um exemplo de centro adensado (Região Administrativa - RA) distante do Plano Piloto. Enquanto algumas Regiões Administrativas do entorno tornam-se adensadas e com temperaturas elevadas (Ilhas de Calor), o Plano Piloto comporta-se como uma Ilha de Excelência, onde as temperaturas são

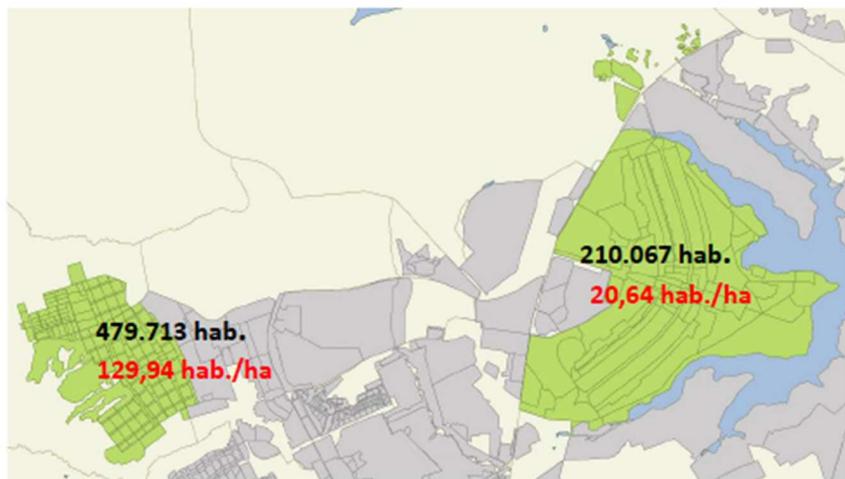
privilegiadas, em certos locais, principalmente pela intensa presença de vegetação. Segundo Acioly e Davidson (1998):

“O Plano Piloto é conhecido pela sua peculiar estrutura espacial, baseada nas superquadras e unidades de vizinhança. (...) A quantidade de áreas verdes no Plano Piloto é marcante e ajuda a criar um ambiente urbano agradável, mas as possibilidades de contatos sociais são reduzidas devido às distâncias, à segregação de funções e ao planejamento urbano centrado exclusivamente no uso do automóvel particular” (ACIOLY e DAVIDSON, 1998, p. 39).

Segundo Ribeiro e Holanda (2005) no Distrito Federal, as demandas por moradia são muito grandes. Não é atendido por políticas públicas e resulta em ocupação ilegal de terras até então não utilizadas. Isto é verdade para os estratos sociais das classes baixa e média, sendo que os últimos frequentemente escolhem alternativas de condomínios fechados que cobrem hoje uma grande parte do DF. As novas áreas colocam o equilíbrio ambiental em grave perigo, devido ao desmatamento inadequado, impermeabilização do solo e uso indevido de recursos hídricos subterrâneos.

Somando-se a isto, conforme o que foi exposto anteriormente, o fluxo de veículos (individuais e coletivos), durante o dia em determinados locais do DF, tornam-se indutores da formação de ilhas de calor.

Figura 40 – Comparação entre as densidades e as populações do Plano Piloto e da RA Ceilândia



Fonte: Jatobá, 2017, p. 12.

Na Tabela 10 é possível observar que as maiores densidades não mais concentram-se distantes do Plano Piloto, como há anos atrás:

“Após o ano 2000, a ocupação progressiva dos espaços entre os núcleos urbanos resulta na expansão horizontalizada da malha urbana e simultaneamente um maior adensamento dos núcleos consolidados, com reflexo em densidades mais elevadas também nas áreas mais próximas ao centro. Assim, explica-se a coexistência de RAs com densidades mais elevadas como Candangolândia (137,38 hab./ha), Sudoeste/Octogonal (104,77 hab./ha), Varjão (142,27 hab./ha) e Estrutural (109,73 hab./ha), e RAs com densidades mais baixas, como Lago Sul (6,66 hab./ha) e Lago Norte (9,99 hab./ha), todas localizadas em raio de até 11 km do Plano Piloto” (JATOBÁ, 2017, p. 16).

Tabela 10 – Densidade Urbana x Distância do Centro (CBD) – 2015

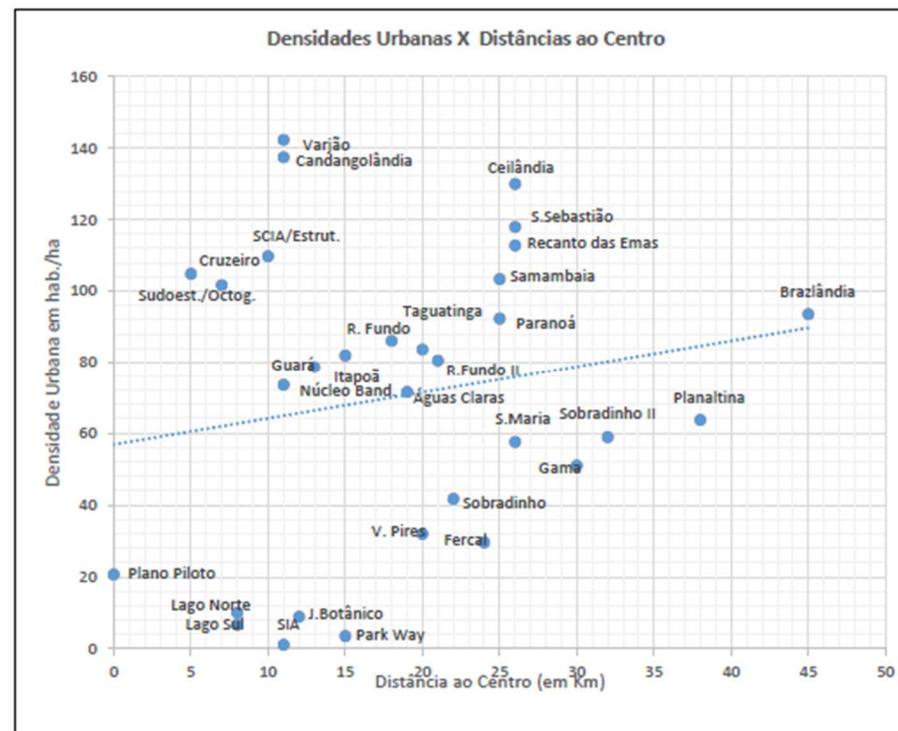
Regiões Administrativas (RAs)	Distância do Centro (Plano Piloto) em Km	Densidade Urbana – 2015 (hab./ha)
RA I - Plano Piloto	0	20,64
RA XXII - Sudoeste/Octogonal	5	104,77
RA XI - Cruzeiro	7	101,63
RA XVI - Lago Sul	8	6,66
RA XVIII - Lago Norte	8	9,99
RA XXV - SCIA/Estrutural	10	109,73
RA XXIX - SIA	11	1,08
RA X - Guarã	11	73,55
RA XXIII - Varjão	11	142,27
RA XIX - Candangolândia	11	137,38
RA XXVII - Jardim Botânico	12	8,91
RA VIII - Núcleo Bandeirante	13	78,60
RA XXIV - Park Way	15	3,50
RA XXVIII - Itapoã	15	81,93
RA XVII - Riacho Fundo	18	86,06
RA XX - Águas Claras	19	71,53
RA XXX - Vicente Pires	20	31,95
RA XXI - Riacho Fundo II	20	83,59
RA III - Taguatinga	21	80,50
RA V - Sobradinho	22	41,73
RA XXXI - Fercal	24	29,57
RA XII - Samambaia	25	103,31
RA VII - Paranoá	25	92,26
RA XIII - Santa Maria	26	57,60
RA XV - Recanto das Emas	26	117,88
RA XIV - São Sebastião	26	112,75
RA IX - Ceilândia	26	129,94
RA II - Gama	30	50,96
RA XXVI - Sobradinho II	32	58,94
RA VI - Planaltina	38	63,72
RA IV - Brazlândia	45	93,52
Média do Distrito Federal - DF	-	47,29

Fonte: Jatobá, 2017, p. 16.

Jatobá (2017) afirma que devido ao adensamento urbano das regiões intersticiais entre o Plano Piloto e as cidades satélites (Regiões Administrativas), o padrão de densidade de Brasília aproxima-se mais ao de uma cidade tradicional, na qual a morfologia urbana resulta mais das forças de mercado do que do planejamento mais rígido do uso do solo. Entretanto, o padrão de densidades mais elevadas nas cidades afastadas

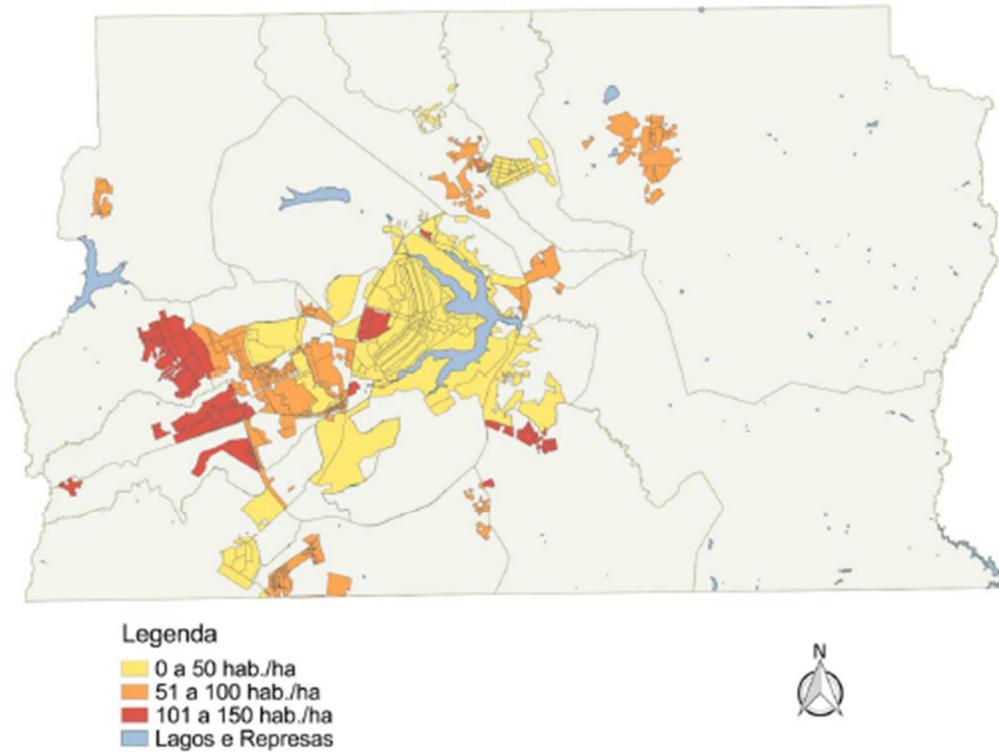
mais de 25 km do centro (Tabela 11) ainda permanece em Ceilândia (129,94 hab./ha), São Sebastião (112,75 hab./ha), Recanto das Emas (117,88 hab./ha) e Samambaia (103,31 hab./ha). A linha de tendência do Gráfico (Figura 41), aponta um padrão de crescimento das densidades com a distância, confirmando o gradiente invertido da densidade apontado no estudo de Bertaud (2010), porém com a ocorrência de maior adensamento de alguns núcleos urbanos mais próximos ao centro, a contrariam parcialmente (Figuras 42 e 43).

Figura 41 – Densidade Urbana x Distância do Centro (CBD) – 2015



Fonte: Jatobá, 2017, p. 17.

Figura 42 - Densidades Urbanas no Distrito Federal em 2015



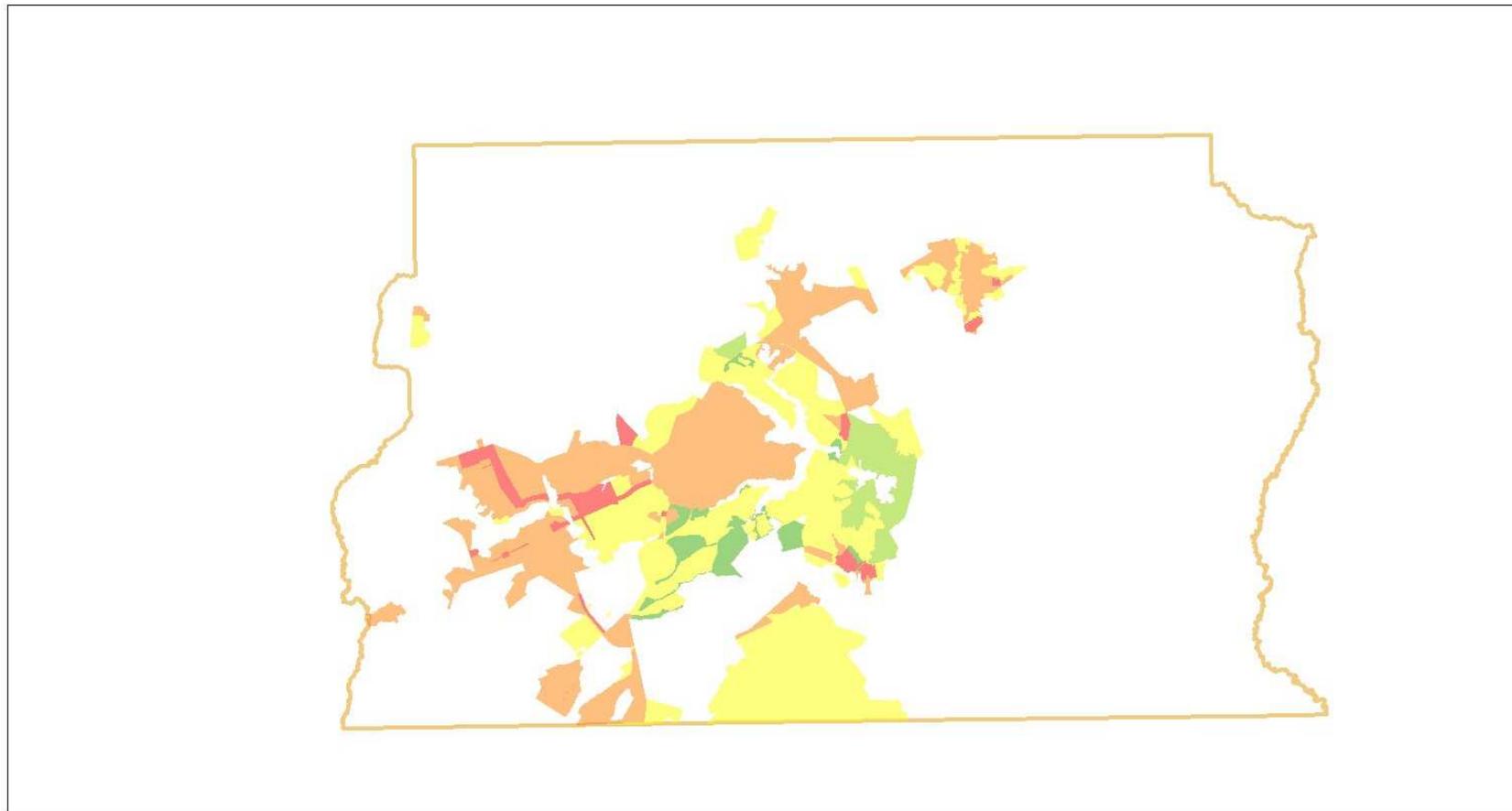
Fonte: Jatobá, 2017, p. 15. Elaborado pela Gerência de Estudos Urbanos (GEURB/DEURA/CODEPLAN) com base em dados do SITURB.

Tabela 11 – Densidade Urbana por Região Administrativa do Distrito Federal (hab./há) – Ranking – 2015

Região Administrativa (RA)	População 2013	População 2015/2016	TMGCA (%)	Área com Ocupação Urbana (em ha)	Densidade Urbana 2015 (hab./ha)	Área Total da RA (em ha)	Densidade Demográfica 2015 (hab./ha)	Tipologia Domiciliar	
								Casas (%)	Apart + Quit. (%)
RA XXIII - Varjão	9.292	8.453	-4,62	59,42	142,27	75,56	111,87	75,75	20,44
RA XIX - Candangolândia	16.886	15.641	-3,76	113,85	137,38	662,7	23,6	87,2	12
RA IX - Ceilândia	451.872	479.713	3,03	3.691,92	129,94	23.401,14	20,5	94,36	4,25
RA XV - Recanto das Emas	138.997	146.906	2,81	1.246,27	117,88	10.261,11	14,32	96,98	2,76
RA XIV - São Sebastião	98.908	99.525	0,31	882,69	112,75	35.571,37	2,8	92,71	6,61
RA XXV - SCIA/Estrutural	35.094	38.429	4,64	350,21	109,73	741,75	51,81	92,4	0,6
RA XXII - Sudoeste/Octogonal	52.273	52.990	0,68	505,80	104,77	585,61	90,49	0,11	99,89
RA XII - Samambaia	228.356	258.457	6,39	2.501,67	103,31	10.125,85	25,52	89,29	10,49
RA XI - Cruzeiro	32.182	29.535	-4,2	290,60	101,63	323,05	91,43	22,8	77,2
RA IV - Brazlândia	51.121	51.816	0,68	554,03	93,52	47.684,84	1,09	89,85	7,4
RA VII - Paranoá	46.233	44.975	-1,37	487,46	92,26	78.876,96	0,57	85,28	12,98
RA XVII - Riacho Fundo	37.606	40.098	3,26	465,93	86,06	2.382,93	16,83	68	32
RA XXI - Riacho Fundo II	39.424	51.709	14,53	618,63	83,59	3.226,31	16,03	95,99	2,92
RA XXVIII - Itapoã	59.694	67.238	6,13	820,65	81,93	3.015,59	22,3	98,8	0,8
RA III - Taguatinga	212.863	207.045	-1,38	2.572,11	80,50	8.056,15	25,7	69,73	30
RA VIII - Núcleo Bandeirante	23.714	23.562	-0,32	299,77	78,60	466,94	50,46	40,4	59,6
RA X - Guará	119.923	133.171	5,38	1.810,57	73,55	2.562,92	51,96	45,25	54,5
RA XX - Águas Claras	118.864	138.562	7,97	1.937,03	71,53	2.285,82	60,62	23,06	76,84
RA VI - Planaltina	185.375	190.495	1,37	2.989,46	63,72	153.847,95	1,24	94,49	4,86
RA XXVI - Sobradinho II	97.466	100.683	1,64	1.708,30	58,94	22.307,29	4,51	92,36	7,26
RA XIII - Santa Maria	122.721	125.559	1,15	2.180,00	57,60	21.463,18	5,85	94,57	4,84
RA II - Gama	134.958	134.111	-0,31	2.631,71	50,96	27.559,42	4,87	81,76	17,02
RA V - Sobradinho	63.715	62.763	-0,75	1.503,93	41,73	20.122,20	3,12	75,42	23,57
RA XXX - Vicente Pires	72.415	72.733	0,22	2.276,79	31,95	2.574,01	28,26	98,48	0,76
RA XXXI - Fercal	8.408	8.288	-0,72	280,27	29,57	11.876,50	0,7	97,8	1
RA I - Plano Piloto	216.489	210.067	-1,49	10.176,75	20,64	40.989,31	5,12	9,19	90,45
RA XVIII - Lago Norte	34.182	36.394	3,18	3.641,56	9,99	6.554,02	5,55	70	29,8
RA XXVII - Jardim Botânico	25.302	26.882	3,08	3.018,40	8,91	9.115,08	2,95	98,4	1,6
RA XVI - Lago Sul	30.629	28.981	-2,73	4.352,02	6,66	18.342,78	1,58	98,8	0,4
RA XXIV - Park Way	19.727	19.803	0,19	5.653,35	3,50	7.646,32	2,59	97,8	2,2
RA XXIX - SIA	1.997	1.990	-0,18	1.845,37	1,08	2.703,90	0,74	72,24	20
DISTRITO FEDERAL - DF	2.786.684	2.906.574	2,13	61.466,51	47,29	575.408,56	5,05	72,71	27

Fonte: Jatobá, 2017, p. 13.

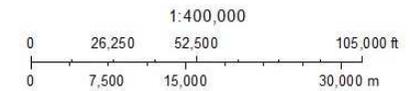
Figura 43 - Densidades por Zona no Distrito Federal em 2015



March 13, 2018

Densidade por Zona

- Alta
- Média
- Baixa
- Muito Baixa
- Área de Interesse Ambiental



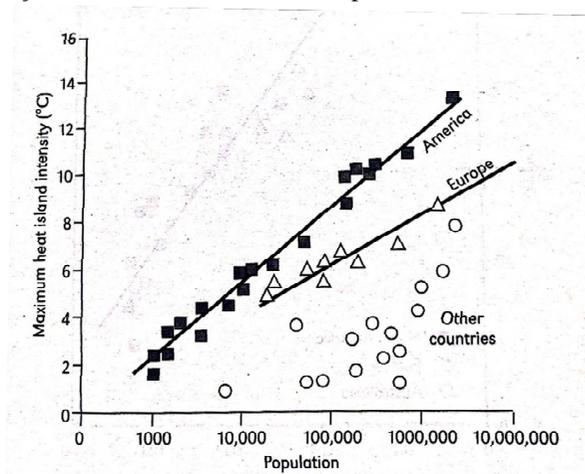
SEGETH

Impresso por: GeoPortal - IDE - DF
<copyright @2017 SEGETH>

Fonte: Geoportal da Secretaria de Gestão do Território e Habitação do Governo de Brasília – SEGETH – sem página. Disponível em:
<http://www.geoportal.segeth.df.gov.br/mapa/?extent=158185.6432,8233132.1800,242852.4792,8274460.1793&layers=Evolu%C3%A7%C3%A3o%20Urbana#>.
Acesso em 13 de março de 2018

As densidades urbanas relacionam-se diretamente com a tendência a formação de ilhas de calor urbanas (LOMBARDO, 1985; OKE, 1987; SANTAMOURIS, 2006; RIBEIRO, 2005; VIANNA e ROMERO, 2015). Santamouris (2006) estabeleceu a relação entre a população de cidades Norte Americanas, cidades da Europa e cidades de outros continentes, com suas respectivas temperaturas máximas de ilhas de calor. O autor obteve forte e positiva correlação (Figura 44).

Figura 44 – Gráfico da relação entre a intensidade máxima da ilha de calor e a população da América do Norte, Europa e cidades sul americanas



Fonte: Santamouris, 2006, p. 99.

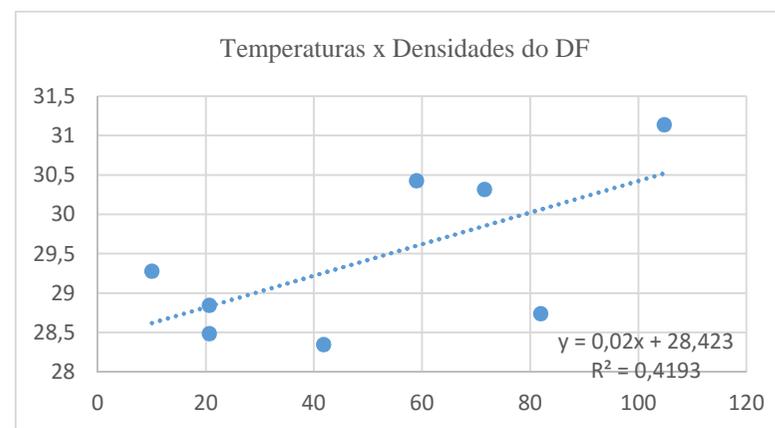
Assim, para efeito desta tese, estabelecemos a correlação entre os dados de densidades de Brasília – DF, divulgados por Jatobá (2017), e as temperaturas máximas obtidas na pesquisa (a serem exposta nos próximos capítulos). Observamos que para os dados do DF existe

correlação, moderada e ascendente, entre temperaturas e densidades urbanas (Tabela 12 e Figura 45).

Tabela 12 – Relação entre a densidade urbana das áreas analisadas no DF e as temperaturas máximas de agosto

Áreas	Densidade (hab./ha)	Máxima agosto/2016
SQN 206	20,64	28,49
SQS 203	20,64	28,85
S. Sudoeste	104,77	31,14
Águas Claras	71,53	30,32
Itapoã	81,93	28,74
Sobradinho I	41,73	28,35
Sobradinho II	58,94	30,43
S. Taquari (Lago Norte)	9,99	29,28
	R	0,647564119

Figura 45 – Gráfico da relação entre a densidade urbana das áreas analisadas no DF e as temperaturas máximas de agosto



Embora o resultado da correlação estatística entre densidades e temperaturas seja positivo, é preciso reafirmar que a análise das densidades urbanas não é objetiva. Observamos que o padrão polinucleado da morfologia urbana original do DF impulsionou os adensamentos. Mas o que antes era esperado, quanto ao maior adensamento de áreas mais distantes do centro em detrimento às mais próximas, já não é uma verdade absoluta.

Existem algumas variáveis que poderiam ser observadas para compreender o fenômeno dos adensamentos das áreas no DF. Entre elas as questões de ordem da sociologia, do capital cultural, das origens das pessoas, dos hábitos e costumes, da melhor adaptação em determinados lugares, as questões dos “guetos urbanos”. Além das questões de ordem da economia, com a ascensão da classe média, as facilidades de acesso à habitação. Contudo, isto extrapolaria o escopo do presente trabalho. O que mais uma vez demonstra a complexidade do fenômeno urbano.

3.7. Considerações finais do Capítulo

As características naturais, históricas e principalmente morfológicas, fazem de Brasília – DF – um terreno fértil para a análise do campo térmico urbano, abrindo um leque de comparações entre esta e outras cidades planejadas ou não.

O traçado das cidades modernas tem por característica o privilégio da circulação de automóveis em detrimento ao pedestre, e em Brasília isto é observado. Contudo, em ordem de importância, o sistema viário do DF é sem dúvida o grande facilitador do crescimento das áreas urbanas. A facilidade do fluxo de veículos nos grandes eixos incentiva o movimento pendular da população entre as RAs e o PP. Os congestionamentos já são motivos de preocupação. Tanto a poluição, quanto do aquecimento das áreas urbana é preocupante. A intensa atividade antrópica facilitada pelo sistema viário, o faz indutor da formação das ICU.

Quanto às centralidades, a morfologia polinucleada do DF configura diversas áreas aquecidas dispersas no território, cujos adensamentos não estão mais diretamente relacionados com as distâncias ao centro do Plano Piloto. Existem áreas mais aquecidas / densas tanto em um raio de 11 km, quanto em um raio de 20 km.

Concluimos que os três aspectos: sistema viário, centralidades e adensamentos, estão diretamente relacionados e influenciam fortemente as questões ambientais urbanas. Mas, por si só estes três aspectos não fecham as demandas da compreensão do fenômeno urbano. Seria necessário entrar na questão sócio-econômica-espacial, o que sugerimos para trabalhos futuros. A próxima etapa da tese irá tratar dos procedimentos metodológicos e ferramentais para o desenvolvimento das análises.

PARTE II

4. Procedimentos metodológicos e ferramentais para o estudo de Ilhas de Calor

Dada a complexidade do campo térmico urbano, existem diversos procedimentos metodológicos de monitoramento e análise na literatura. Alguns abordam o fenômeno ilhas de calor como um todo, considerando todas as variáveis influenciadoras, outros abordam as variáveis isoladamente. No presente trabalho abordaremos cinco destes procedimentos, sendo que apenas três (*) serão amplamente aplicados à Brasília – DF, cidade objeto de estudo. São os cinco métodos:

- O Sistema de Classificação das Zonas Climáticas Locais;
- A Classificação Supervisionada* dos Materiais de Superfícies Urbanas;
- O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI;
- A Análise da Morfologia* Urbana; e
- O Uso de Imagens Termiais* de Sensoriamento Remoto.

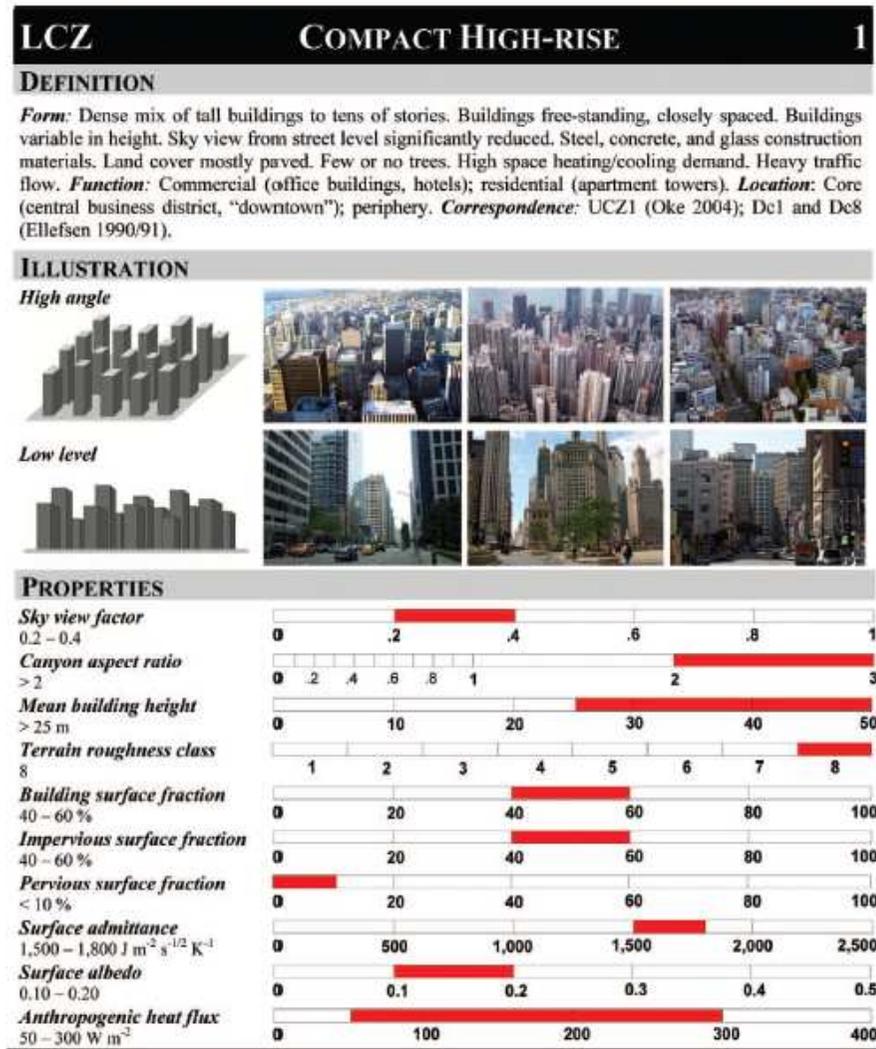
Ao final, as correlações estatísticas também são expostas como método de verificação da relação existente entre os materiais de superfícies, a morfologia urbana e as temperaturas de superfícies.

4.1. Sistema de Classificação das Zonas Climáticas Locais

O novo sistema de classificação das “Zonas Climáticas Locais” (LCZ), de Stewart e Oke (2012) fornece uma estrutura de pesquisa para estudos de ilhas de calor urbanas e padroniza a troca mundial de observações de temperatura urbana (Figura 46). Os dados, a serem identificados em cada área, sintetizam os aspectos que influenciam o campo térmico urbano.

A Tabela 13 serve de base para levantamentos de áreas urbanas para fins de estudos do climar urbano, sendo que no presente trabalho abordamos parte dos aspectos nele apresentados. Vale destacar a escala numérica de medições estabelecida para cada aspecto a ser analisado, as quais configuram os parâmetros do clima urbano estabelecidos por Stewart e Oke (2012). Para as análises das áreas do presente trabalho, alguns parâmetros também foram estabelecidos e adaptados aos aspectos de análise definidos. Pretende-se assim, acrescentar uma análise qualitativa aos dados quantitativos obtidos na pesquisa. Ainda neste sentido, estabelecemos a analogia entre a classificação das LCZs e as respectivas áreas de análise desta tese, listadas na Tabela 14.

Figura 46 – Modelo da Ficha de Dados da Zona Climática Local (LCZ)



Fonte: Stewart e Oke, 2012, p. 1898.

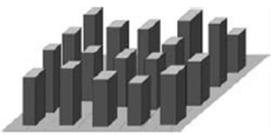
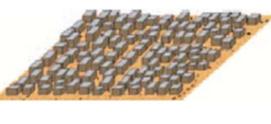
Para compreender e aplicar LCZ de Stewart e Oke (2012) apresentam-se as Tabelas 14 e 15, com as descrições da Classes e Subclasses, respectivamente. Além da Classificação de Davenport et al. (2000), que respalda o conceito da rugosidade do terreno utilizado nas classificações das LCZs (Tabela 16). Ao final, a síntese dos valores das propriedades geométricas e de cobertura superficial das zonas climáticas locais, na Tabela 17, além da síntese dos valores das propriedades térmicas, radiativas e metabólicas, na Tabela 18. Trata-se de uma rica base de pesquisa para a análise do campo térmico urbano, viável para ser aplicada nas diversas formas de cidades existentes e em qualquer localização.

Tabela 13 – Ficha de Dados da Zona Climática Local

CHAVE LCZ	NOME DA ZONA	#
DEFINIÇÃO DA ZONA		
Forma:	Descrição da geometria do edifício, materiais construtivos, cobertura do solo, densidade de árvores, e atividades humanas.	
Função:	Usos da terra provavelmente associados com esta zona	
Localização:	Localização esperada da zona (centro, periferia; cidade, campo).	
Correspondência:	Zonas comparáveis no Sist. de classificação de Oke (2006) e Ellefsen (1991).	
Ilustrações com Imagens da Zona em altura e do ponto de vista do pedestre.		
ILLUSTRATION		
<i>High angle</i>		
<i>Low level</i>		
PROPRIEDADES DA ZONA		
a. Fator Visão do Céu (ψ_{sky})	Fração visível do céu no nível do solo. Varia com a altura e o espaçamento entre os edifícios e árvores. Influencia o aquecimento e o resfriamento da superfície proveniente da radiação solar.	
0 - 1		
b. Proporção H/W	Proporção média entre altura e a largura dos cânions (LCZs 1 - 7) das ruas, espaçamento entre os edifícios e espaçamento entre as árvores ou plantas (LCZs A - F). Influencia o fluxo de ar da superfície e o aquecimento / resfriamento proveniente da radiação solar.	
0 - 3		
c. Altura média dos Edifícios / Altura das Árvores (Z_H)	Média geométrica da altura dos edifícios (LCZ 1 - 10) e altura das árvores ou plantas (LCZ A - F). Influencia a reflectividade da superfície, o fluxo de ar, e a dissipação do calor acima do solo.	
0 - 50m		
d. Classe de Rugosidade do Terreno	Classificação de Davenport et al. (2000) da rugosidade efetiva do terreno (z_0) para paisagens urbanas e rurais. Influencia a reflectividade da superfície, o fluxo de ar, e a dissipação do calor acima do solo. Ver tabela 14.	
0 - 8		
e. Fração da Superfície Construída (λ_B) – 0 – 100%	Proporção da superfície do solo edificada. Influencia a reflectividade da superfície, o fluxo de ar, e a dissipação do calor acima do solo.	
f. Fração da Superfície Impermeável (λ_i) – 0 – 100%	Proporção da superfície do solo com cobertura impermeável (pavimentada ou rocha). Influencia a reflectividade da superfície, disponibilidade de umidade e potencial aquecimento / resfriamento.	
g. Fração da Superfície Permeável (λ_v) – 0 – 100%	Proporção da superfície do solo com cobertura permeável (solo exposto, vegetação e água). Influencia a reflectividade da superfície, disponibilidade de umidade e potencial aquecimento / resfriamento.	
h. Admitância da Superfície (μ)	Habilidade da superfície em receber ou liberar calor em escala local. Influencia o armazenamento de calor na superfície e taxas de aquecimento / resfriamento.	
500 - 2500 $J m^{-2} s^{-1/2} K^{-1}$	Varia com a umidade do solo e a densidade dos materiais. Em copas de árvores densas (LCZ A), a "superfície" é indefinida e a admitância desconhecida.	
i. Albedo	Refletividade de superfície em escala local e sob o céu claro do meio-dia. Influencia o potencial aquecimento radiante da superfície. Varia com a cor da superfície, a umidade e a rugosidade.	
0,02 - 0,5		
j. Fluxo de Calor Atmosférico (Q_F)	Densidade média anual do fluxo de calor antropogênico em escala local. Fontes de calor incluem veículos motores, processos de combustão industrial e doméstica, aquecimento / resfriamento dos espaços e metabolismo humano. Varia significativamente com a latitude, as estações e a densidade da população.	
0 - 400 $W m^{-2}$		

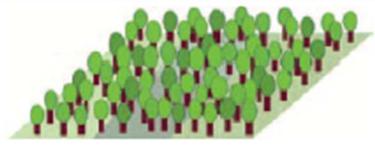
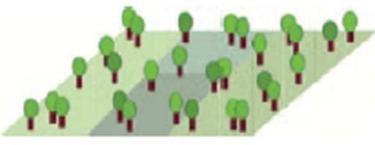
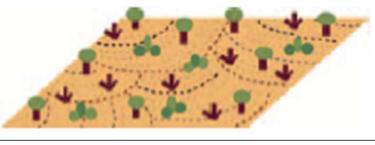
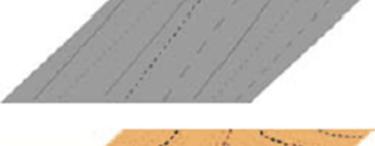
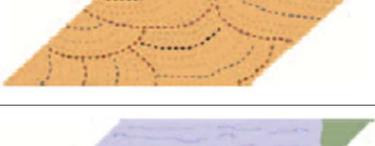
Fonte: Stewart e Oke, 2012, p. 108 do Suplemento. Tradução da autora.

Tabela 14 – Tabela de Classificação das LCZ's e correspondência com as áreas analisadas em Brasília - DF

	ILUSTRAÇÃO	TIPOS DE EDIFÍCIOS	DEFINIÇÃO	ESTUDOS DE CASO EM BRASÍLIA
1		EDIFÍCIOS ALTOS AGRUPADOS	Mistura Densa de edifícios altos com 10 pavimentos. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo pavimentada. Materiais de construção de concreto, aço, pedra e vidro.	ÁGUAS CLARAS (LCZ1), GAMA (LCZ7e1), TAGUATINGA (LCZ7e1)
2		EDIFÍCIOS MÉDIOS AGRUPADOS	Mistura Densa de edifícios médios de 3 a 9 pavimentos. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo pavimentada. Materiais de construção de pedra, tijolo, azulejo e concreto.	
3		EDIFÍCIOS BAIXOS AGRUPADOS	Mistura Densa de edifícios baixos de 1 a 3 pavimentos. Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo pavimentada. Materiais de construção de pedra, tijolo, azulejo e concreto.	TAQUARI (LCZ3 B)
4		EDIFÍCIOS ALTOS ABERTOS	Edifícios altos (10 pavimentos) em arranjo aberto. Cobertura do solo bastante permeável (vegetação rasteira, árvores espalhadas). Materiais de construção em concreto, aço, pedra e vidro.	ESPLANADA DOS MINISTÉRIOS (LCZ4D)
5		EDIFÍCIOS MÉDIOS ABERTOS	Edifícios médios (3-9 pavimentos) em arranjo aberto. Cobertura do solo bastante permeável (vegetação rasteira, árvores espalhadas). Materiais de construção em concreto, aço, pedra e vidro.	SETOR SUDOESTE E NOROESTE
6		EDIFÍCIOS BAIXOS ABERTOS	Edifícios baixos (1-3 pavimentos) em arranjo aberto. Cobertura do solo bastante permeável (vegetação rasteira, árvores espalhadas). Materiais de construção em madeira, tijolo, pedra, azulejo e concreto.	SUPERQUADRAS ASA SUL E ASA NORTE (LCZ6A)
7		BAIXA DENSIDADE LEVE (PRÓXIMAS)	Mistura densa de edifícios de pavimento térreo. Poucas ou nenhuma árvore. A cobertura do solo é dura e compacta. Materiais de construção leves (por exemplo, madeira, palha, metal ondulado).	SOBRADINHO I e II (LCZ7 B); ITAPOÃ (LCZ7)
8		BAIXA DENSIDADE AMPLA (ISOLADA)	Arranjo aberto de grandes edifícios baixos (1-3 pavimentos). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo pavimentada. Materiais de construção de aço, concreto, metal e pedra.	
9		CONSTRUÇÕES ESPARSAS	Arranjo disperso de pequenos ou médios edifícios em um ambiente natural. Abundância de cobertura do solo permeável (plantas baixas, árvores dispersas).	
10		INDÚSTRIA PESADA	Estruturas industriais de alturas baixas e médias (torres, tanques, pilhas). Poucas ou nenhuma árvore. Cobertura do solo pavimentada ou dura e compacta. Materiais de construção de metal, aço e concreto.	

Fonte: Adaptado de Stewart e Oke, 2012, p. 1885. Tradução da autora.

Tabela 15 – Tabela de Subclasses das Zonas Climáticas Locais

	ILUSTRAÇÃO	TIPOS DE COBERTURA DO SOLO	DEFINIÇÃO
A		ARBORIZAÇÃO DENSE	Paisagem fortemente arborizada, com árvores de folha caduca e/ou perene. Solo permeável (vegetação rasteira). A função da zona é floresta natural, cultivo de áreas ou parques urbanos.
B		ARBORIZAÇÃO DISPERSA	Paisagem levemente arborizada, com árvores de folha caduca e/ou perene. Solo permeável (vegetação rasteira). A função da zona é floresta natural, cultivo de áreas ou parques urbanos.
C		CAMPOS E ARBUSTOS	Arranjo aberto de campos, arbustos, árvores baixas e lenhosas. Solo permeável (solo ou areia). A função da zona é mata natural ou agricultura.
D		VEGETAÇÃO RASTEIRA	Paisagem com pouca expressão de grama ou plantas herbáceas / cultivos. Pouca ou nenhuma árvore. A função da zona é pastagem natural, agricultura ou parque urbano.
E		ROCHA EXPOSTA OU PAVIMENTADA	Paisagem com pouca expressão em pedras ou solo pavimentado. Pouca ou nenhuma árvore ou planta. A função da zona é deserto natural (rocha) ou transporte urbano.
F		SOLO OU AREIA EXPOSTOS	Paisagem inexpressiva de solo e areia. Pouca ou nenhuma árvore ou planta. A função da zona é deserto natural ou agricultura.
G		ÁGUA	Grandes corpos d'água abertos, como oceanos e lagos, ou pequenos corpos, como rios, reservatórios e lagoas.

Fonte: Stewart e Oke, 2012, p. 1885. Tradução da autora.

Tabela 16 - Classificação de Davenport para rugosidade do terreno e correspondência LCZ

	CLASSES DE DAVENPORT	COMPRIMENTO DA RUGOSIDADE, Z_0 (m)	DESCRIÇÃO DA PAISAGEM	LCZ CORRESPONDENTE
1	OCEANO	0.0002	Água aberta, planície coberta de neve, deserto sem características, asfalto, e concreto, com aparição de vários quilômetros.	E, F, G
2	PLANO	0.005	Paisagem sem características e sem obstáculos e com pouca ou nenhuma vegetação (por exemplo, pântano, lugar coberto de neve ou pistas de pouso).	E, F
3	ABERTO	0.03	Lugar plano com vegetação rasteira e obstáculos isolados separados por 50 alturas de obstáculos (por exemplo, grama, tundra, pista de aterragem do aeroporto).	D
4	ABERTO APROXIMADAMENTE	0.10	Vegetação rasteiras ou coberturas de plantas. Lugar moderadamente aberto com obstáculos ocasionais (por exemplo, árvores isoladas, edifícios baixos) separados por 20 alturas de obstáculos.	7, C, D
5	RUGOSO	0.25	Vegetação elevada ou culturas de alturas variáveis. Obstáculos dispersos separados por 8 a 15 alturas de obstáculos, dependendo da porosidade (por exemplo, edifícios, cinturões de árvores).	5–10, B, C
6	MUITO RUGOSO	0.5	Paisagem intensamente cultivada com grandes fazendas e aglomerados de floresta separados por 8 alturas de obstáculos. Bosques, pomares. Áreas urbanas com edifícios baixos intercalado por 3 a 7 alturas de construção. Sem árvores altas.	2, 3, 5, 6, 9, 10, B
7	LISO OU FLÚIDO	1.0	Paisagem coberta com grandes obstáculos similares, separados por 1 altura de obstáculo (por exemplo, florestas sazonais). Áreas urbanas densas sem variação significativa de altura dos edifícios.	2, 4
8	CAÓTICO	≥ 2	Paisagem com obstáculos grandes distribuídos irregularmente (por exemplo, áreas urbanas densas com mistura de edifícios de baixos e altos, grandes bosques com muitas clareiras).	1, 4, A

Fonte: Davenport et al., 2000, p. 97. Tradução da autora.

Tabela 17 – Síntese dos valores das propriedades geométricas e de cobertura superficial das zonas climáticas locais.
Todas as propriedades são sem unidade, exceto a altura dos elementos de rugosidade (m).

LOCAL CLIMATE ZONE (LCZ)	FATOR VISÃO DO CÉU ^a	RELAÇÃO W/H ^b	FRAÇÃO DE SUPERFÍCIE DO EDIFÍCIO ^e	FRAÇÃO DE SUPERFÍCIE IMPERMEÁVEL ^f	FRAÇÃO DE SUPERFÍCIE PERMEÁVEL ^g	ALTURA DOS ELEMENTOS DE RUGOSIDADE ^c	CLASSE DE ASPEREZA DO TERR. ^d
LCZ 1	0.2–0.4	> 2	40–60	40–60	< 10	> 25	8
LCZ 2	0.3–0.6	0.75–2	40–70	30–50	< 20	10–25	6–7
LCZ 3	0.2–0.6	0.75–1.5	40–70	20–50	< 30	3–10	6
LCZ 4	0.5–0.7	0.75–1.25	20–40	30–40	30–40	>25	7–8
LCZ 5	0.5–0.8	0.3–0.75	20–40	30–50	20–40	10–25	5–6
LCZ 6	0.6–0.9	0.3–0.75	20–40	20–50	30–60	3–10	5–6
LCZ 7	0.2–0.5	1–2	60–90	< 20	<30	2–4	4–5
LCZ 8	>0.7	0.1–0.3	30–50	40–50	<20	3–10	5
LCZ 9	> 0.8	0.1–0.25	10–20	< 20	60–80	3–10	5–6
LCZ 10	0.6–0.9	0.2–0.5	20–30	20–40	40–50	5–15	5–6
LCZ A	<0.4	>1	<10	<10	>90	3–30	8
LCZ B	0.5–0.8	0.25–0.75	<10	<10	>90	3–15	5–6
LCZ C	0.7–0.9	0.25–1.0	<10	<10	>90	<2	4–5
LCZ D	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<1	3–4
LCZ E	>0.9	<0.1	<10	>90	<10	<0.25	1–2
LCZ F	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	<0.25	1–2
LCZ G	>0.9	<0.1	<10	<10	>90	-	1

Fonte: Stewart e Oke, 2012, p. 1886. Tradução da autora.

Tabela 18 – Síntese dos valores das propriedades térmicas, radiativas e metabólicas das zonas climáticas locais

LOCAL CLIMATE ZONE (LCZ)	ADMITÂNCIA ^h DA SUPERFÍCIE (J m ⁻² s ^{-1/2} K ⁻¹)	ALBEDO DA SUPEFÍCIE ⁱ (adimensional*)	CALOR ANTROPOGÊNICO ^j LIBERADO (W m ⁻²)	* O Albedo é a razão entre a radiação refletida pela superfície e a radiação incidente sobre ela, isto é, radiação dividida por radiação. Sua natureza adimensional permite que ela seja expressa como uma porcentagem, e ela é medida numa escala de zero, para nenhuma reflexão por uma superfície perfeitamente negra, até 1, para uma reflexão perfeita por uma superfície branca.
LCZ 1	1,500–1,800	0.10–0.20	50–300	
LCZ 2	1,500–2,200	0.10–0.20	<75	
LCZ 3	1,200–1,800	0.10–0.20	<75	
LCZ 4	1,400–1,800	0.12–0.25	<50	
LCZ 5	1,400–2,000	0.12–0.25	<25	
LCZ 6	1,200–1,800	0.12–0.25	<25	
LCZ 7	800–1,500	0.15–0.35	<35	
LCZ 8	1,200–1,800	0.15–0.25	<50	
LCZ 9	1,000–1,800	0.12–0.25	<10	
LCZ 10	1,000–2,500	0.12–0.20	>300	
LCZ A	unknown	0.10–0.20	0	
LCZ B	1,000–1,800	0.15–0.25	0	
LCZ C	700–1,500	0.15–0.30	0	
LCZ D	1,200–1,600	0.15–0.25	0	
LCZ E	1,200–2,500	0.15–0.30	0	
LCZ F	600–1,400	0.20–0.35	0	
LCZ G	1,5	0.02–0.10	0	

Fonte: Stewart e Oke, 2012, 1887. Tradução da autora.

4.2. Análise dos Materiais de Superfícies Urbanas

Os materiais construtivos se comportam de acordo com suas propriedades térmicas, sejam elas: o fator solar, o coeficiente de sombreamento, a emitância, a irradiância, a radiosidade, a emissividade, a absorvância, a refletância e a transmitância (OKE, 2006; ROMERO, 2011; LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 2014). As ferramentas de geotecnologia baseiam-se nestas propriedades para identificar o comportamento dos alvos analisados e de suas assinaturas espectrais (JENSEN, 2009). Neste sentido, o método de análise dos materiais de superfícies urbanas, a ser considerado na presente tese, é a Classificação Supervisionada.

“Os sistemas multiespectrais de sensoriamento remoto registram a energia refletida ou emitida de um objeto ou área de interesse em múltiplas bandas (regiões, canais) do espectro eletromagnético. Os sistemas hiperespectrais de sensoriamento remoto registram dados de centenas de bandas. Os sistemas ultraespectrais coletam dados de milhares de bandas” (JENSEN, 2009, p. 195).

O autor explica que: as fotografias aéreas digitalizadas coloridas e infravermelho-coloridas podem ser consideradas como dados multiespectrais de três bandas. As fotografias aéreas coloridas naturais (cor verdadeira) digitalizadas podem ser convertidas para as bandas do

azul, verde e vermelho. Já as fotografias aéreas infravermelho-coloridas podem ser convertidas para as bandas do verde, vermelho e infravermelho próximo. A depender da aplicação, utiliza-se bandas espectrais adicionais, posicionadas em localizações ótimas do espectro eletromagnético.

4.2.1. Classificação Supervisionada dos Materiais de Superfícies Urbanas

A Classificação Supervisionada, a ser utilizada, baseia-se no método Random Forest (Florestas Randômicas) do complemento do Quantum Gis, chamado Dzetsaka¹⁰. Trata-se do processamento de imagens com alta definição (ortofotos) das áreas a serem analisadas e posterior verificação da confiabilidade dos resultados obtidos, por meio da estatística de Kappa. O valor de Kappa é determinado por meio da equação (1) e é comparado em classes de acurácia, sendo que de 80% a 100% a classificação é reconhecida como excelente.

Moreira (2005) afirma a necessidade de elaboração da validação da exatidão da classificação, sendo o meio mais utilizado a construção de uma matriz de erro, a qual, por meio de técnicas de análise multivariada,

¹⁰ <https://github.com/lennekade/dzetsaka>

determina a concordância da classificação com a verdade de campo. A estatística de Kappa (K) é um método muito utilizado para avaliar a concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático, obtido a partir da interpretação visual da imagem de satélite. O valor Kappa é obtido por meio de equações e seu resultado é comparado a valores existentes em uma tabela que qualifica o mapa temático nas classes péssima ($k < 0,00$), ruim ($0,00 < K < 0,20$), razoável ($0,20 < k < 0,40$), boa ($0,40 < K < 0,60$), muito boa ($0,60 < K < 0,80$) e excelente ($0,80 < K < 1,00$).

A classificação supervisionada utiliza algoritmos cujo reconhecimento dos padrões espectrais na imagem se faz com base numa amostra de área de treinamento (treinador), que é fornecida ao sistema de classificação pelo analista. Por meio das classes (copa de árvore, relvado, solo exposto claro, piso cimento, piscina, telha cerâmica, telha cinza, telha escura, telha metálica, solo exposto escuro, rio, lago/lagoa, sombra e asfalto) identificadas no treinador, são determinados valores centrais e a variabilidade em cada banda (R, G, B) para cada classe do treinador. Esta informação permite ao processo determinar a probabilidade de uma dada célula de um pacote de bandas pertencer a uma determinada classe do treinador. A probabilidade depende da distância do valor da célula para o valor central da classe, e o tamanho e forma das classes no espaço espectral (POLIZEL, 2009).

Para avaliar estatisticamente a exatidão do mapeamento temático utiliza-se a estatística de Kappa extraída da matriz de erro, conforme descrito em Landis & Koch (1977). A estatística Kappa pode ser obtida por meio das equações 1, 2 e 3 (Equação 7):

$$K = \frac{Po - Pc}{1 - Pc} \quad (1)$$

$$Po = \frac{\sum_{i=1}^M n_{ii}}{N} \quad (2)$$

$$Pc = \frac{\sum_{i=1}^M n_{i+} n_{+i}}{N^2} \quad (3)$$

Equação 7

Onde Po é a exatidão geral; Pc é a proporção de unidades que concordam por casualidade; M , o número de classes presentes na matriz de erro; n_{ii} , o número de observações na linha i e coluna i ; n_{i+} n_{+i} , os totais marginais da linha i e coluna i , respectivamente; e N , o número de unidades amostrais contempladas pela matriz.

Este método permite a identificação, classificação e mapeamento dos 9 materiais de superfície (variáveis de análise) definidas nas 12 áreas escolhidas em Brasília – DF. São os materiais: Copa de Árvore, Relvado

(vegetação rasteira), Solo exposto, Pavimentação de asfalto, Sombra, Superfície de água, Laje, Telha Cinza (aço e amianto) e Telha cerâmica.

Os 9 materiais de superfície definidos correspondem aos materiais predominantes existentes nas superfícies urbanas, e foram estabelecidos neste estudo mediante apoio do referencial teórico. Estes materiais irão influenciar nas características térmicas locais e por consequência, no processo de formação das ilhas de calor.

4.2.2. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI

Os índices de vegetação são medidas radiométricas adimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade de vegetação verde, incluindo índice de área foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde, e radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFAA, ou APAR, em inglês). Há muitos índices de vegetação, e alguns deles são funcionalmente equivalentes. (JENSEN, 2009).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada ou Normalized Difference Vegetation Index – NDVI foi desenvolvido por Rouse et al. (1974) e consiste em uma equação, que tem como variáveis as bandas do vermelho e infravermelho próximo (Equação 8):

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IR} - \text{R}}{\text{IR} + \text{R}} \quad \text{Equação 8}$$

Onde: IR = Infrared (Infra vermelho próximo);

V = Red (vermelho).

O NDVI é funcionalmente equivalente ao SR – Razão Simples ou Simple Ratio – que é a razão entre o fluxo radiante refletido no infravermelho próximo e o fluxo radiante refletido no vermelho. Este índice fornece valiosas informações sobre a biomassa da vegetação ou sobre o IAF (JENSEN, 2009).

Trata-se de uma “álgebra das bandas” a ser aplicada no processamento das imagens urbanas aéreas (ortofotos com banda do infravermelho), cujo objetivo é identificar os locais onde a fotossíntese é mais intensa. Os valores obtidos são entre 1 e -1, indicando maior ou menor presença de vegetação.

4.3. Análise da Morfologia Urbana

Para caracterizar a morfologia urbana das áreas e relacioná-la ao campo térmico urbano, o fator W/H/L traz as variáveis relevantes ao processo. O fator W corresponde à largura da caixa da rua (incluindo calçadas e leito carroçável). O fator H é a altura dos Edifícios. Santamouris (2006)

inclui à esta relação o fator L, que corresponde ao comprimento dos Cânions (corredores formados pelos edifícios). O fator W/H/L¹¹ tem relação com as questões de ventilação urbana e também envolve a Densidade de Ocupação das áreas, aspectos influenciadores do campo térmico urbano.

4.4. Processamento das imagens Landsat

As imagens termais analisadas são provenientes de sistema de sensoriamento remoto, o qual primeiro detecta a energia eletromagnética que deixa o fenômeno de interesse e atravessa a atmosfera. Segundo Jensen (2009), a energia detectada é registrada como um sinal elétrico analógico, que é normalmente convertido em um valor digital por meio de uma conversão analógico-digital (A para D). Pode ser necessária execução de algum pré-processamento radiométrico e/ou geométrico dos dados digitais medidos para melhorar sua interpretação. Os dados podem

¹¹ No presente estudo, o fator W/H/L foi obtido em levantamentos in loco e conferidos em dados obtidos on line. A medida do W (largura das ruas), por exemplo, pode ser obtida nas Plantas Urbanas e Mapas Articulado disponibilizados pela SEGETH – Secretaria de Gestão do Território e Habitação do DF, com o software Auto Cad para manipular. A divisão interna de algumas quadras, tais como a SQN 213 e o Setor

ser realçados para análise visual humana subsequente ou processados posteriormente usando algoritmos de processamento de imagens digitais.

“A informação biofísica e/ou da cobertura do terreno extraída, usando interpretação visual ou processamento digital de imagens, é distribuída e utilizada para tomar decisões. Espera-se que tais decisões possam resultar em desenvolvimento sustentável” (JENSEN, 2009, p. 195).

As imagens de Landsat processadas foram utilizadas para a obtenção dos mapas termais. O método para analisar o processo de formação das ilhas de calor em Brasília/DF baseia-se em conceitos do sensoriamento remoto, com a utilização do software ENVI, que se destina ao processamento de imagens de satélites, mediante a aplicação de algoritmos de conversões. As etapas são as seguintes:

Noroeste não constam nos mapas SICAD, contudo, no GEOPORTAL do DF está disponível o arquivo “*shape*” contendo os lotes de Brasília. Já os fatores H (altura) e L (comprimento do cânion) têm estimativa precisa com a utilização da ferramenta Street View do Google Earth.

1. Análise das áreas escolhidas com a utilização de Sensoriamento Remoto (ano de 2016);

- a) Obtenção das imagens da banda termal do Landsat em site do governo americano;
- b) Pré-processamento no ENVI, por meio das conversões dos Dados Digitais de Reflectância em Radiância, das conversões dos Dados Digitais de Radiância em Temperatura de Brilho, das conversões das Temperaturas em graus Kelvin em Celsius;
- c) Processamento dos Transectos, gráficos que permitem comparar as temperaturas das superfícies, em escalas aproximadas às ilhas de calor identificadas;
- d) Obtenção do Mapa Termal – em cores referentes às temperaturas;
- e) Análises visuais e estatísticas dos dados obtidos.

Conclusões.

Características do Landsat 8

Disponível desde fevereiro de 2013 e em operação atualmente (Tabela 19).

Tabela 19 - Características do Landsat 8.

Órbita

Circular, Heliosíncrone, Descendente, 98,2° de Inclinação, Período de 99 minutos, Altitude de 705 Km.

Horário de Imageamento

10 h 00 min AM.

Bandas do Sensor

Pancromático P&B: Banda 8; Multiespectral: Bandas 1-7 e 9; Termal: Bandas 10-11.

Resolução Espacial

Pancromático P&B: 15,0 m (bandas 8); Multiespectral: 30,0 m (banda 1-7 e 9); Termal: 100,0 m (bandas 10-11).

Sensibilidade Espectral

Pancromático: 500-680 nm (Banda8); Multiespectral: 430-450 nm (Banda1), 450-510 nm (Banda2), 530-590nm (Banda3), 640-690 nm (Banda4 Vermelho), 850-880 nm (Banda5 Infravermelho próximo), 1570-1650 nm (Banda6 SWIR1), 2110-2290 nm (Banda7 SWIR2), 1360-1380 nm (Banda9 Cirrus); Termal: 10600-11190 nm (Banda10 TIRS1), 11500-12510 nm (Banda11 TIRS2).

Resolução Radiométrica - Quantificação

16 bits por píxel, podendo ser reamostrado a 8 bits a pedido do cliente.

Tamanho de Cena Básica

185,0 x 185,0 km, recortes menores feitos sob medida.

Largura de Faixa Imageada

185 km.

Frequência de Revisita

Aproximadamente 16 dias, dependendo da latitude.

Precisão de Localização

12 m nas bandas 1-2-3-4-5-6-7-8-9 e 41 m nas bandas 10 e 11 de erro circular em 90% dos casos, sem uso de pontos de controle.

Capacidade de Visada Lateral

Não disponível neste sistema.

Estereoscopia

Não disponível neste sistema.

Programação de Imageamento

Não disponível neste sistema.

Fonte: ENGESAT, 2015, sem página. Disponível em:
<http://www.engesat.com.br/satelites/landsat-8/>. Acesso em 30 de maio de 2015.

Exemplo de aplicação do método na cidade de Brasília / DF

Antes do desenvolvimento efetivo da pesquisa fez-se necessário testar o método. Assim, definimos como área de estudo, para o teste, uma região conhecida da Asa Norte, a fim de identificar as temperaturas encontradas. O processamento das imagens (termais de sensoriamento remoto) viabilizou a obtenção das temperaturas de superfícies urbanas nas áreas de análise definidas em Brasília - DF. No próximo capítulo, a descrição do método:

a) Obtenção das imagens da banda termal 10 do Landsat 8 - do dia 06.08.2016 - estação verão.

O Landsat 8 dispõe das bandas termais 10 e 11, sendo que a banda 11 surgiu para estudos de águas abertas, de águas costeiras e continentais. Se o interesse fosse exclusivamente analisar o comportamento térmico do Lago Paranoá ou qualquer outro corpo d'água, por exemplo, a banda 11 seria mais indicada, com comprimentos de onda entre 11,50 e 12,51 micrômetros. A Lei de Wien (BAPTISTA, 2012), ou Lei de Deslocamento, descrita anteriormente, estabelece a razão inversa entre o comprimento de onda e a temperatura dos alvos, de forma que quanto mais quente o alvo mais curto o comprimento de onda. Assim, como nossos alvos são prioritariamente as áreas urbanas, a banda mais indicada

é a 10, que cobre a faixa de 10,60 a 11,19 micrômetros e temperaturas entorno de 300 Kelvin.

As imagens ideais não podem ter nuvens, embora existam alguns recursos de correção atmosférica para determinadas situações. No verão a maioria das imagens têm nuvens, o que pode acarretar em erros de processamento;

b) Pré-processamento no ENVI, por meio das conversões dos Dados Digitais de Reflectância em Radiância, segundo a Equação 9 (USGS, 2015b):

$$L\lambda = MLQ_{cal} + AL \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

$L\lambda$ = Radiância Espectral no Topo da Atmosfera (Watts/ (m²srad μm))

¹² Um pixel é definido como um elemento de cena bidimensional que constitui o menor elemento não-divisível de uma imagem digital. Cada pixel na linha (*i*) e coluna (*j*) na imagem tem um valor de brilho (BV) associado. Alguns cientistas denominam esse valor de número digital (DN). O conjunto de dados pode ser composto por *n* bandas individuais (*κ*) resultantes de um imageamento multiespectral ou hiperespectral. Portanto, é possível identificar o valor de brilho (BV) de um determinado pixel no conjunto de dados por meio de coordenadas de linha (*i*), coluna (*j*) e banda (*κ*), isto é, BV_{*ijk*} (JENSEN, 2009).

ML = Fator multiplicativo para cada banda obtido nos metadados.

AL = Fator aditivo para cada banda obtido nos metadados.

Q_{cal} = Valor digital quantizado e calibrado de cada pixel¹² (DN ou número digital);

c) Pré-processamento no ENVI, por meio das conversões dos Dados Digitais de Radiância em Temperatura de Brilho, segundo a Equação 10 (USGS, 2015b):

$$T = \frac{K_2}{\ln [(K_1 / L\lambda) + 1]} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

T = Temperatura de Brilho (K)

A conversão analógico-digital, que ocorre a bordo do sistema sensor, geralmente cria pixels com uma variação no valor de brilho de 8 a 12 bits, isto é chamado de nível de quantização do dado do sensor remoto. Dados de sensores remotos quantizados para 8 bits têm valor de brilho que variam de 0 a 255 (2⁸). Dados quantizados para 10 bits variam de 0 a 1023 (2¹⁰), etc. Quanto maior for a variação possível de valores de brilho, mais precisas serão as medidas da quantidade de radiação registrada pelo detector. Pode-se pensar a quantização como uma espécie de régua. Podemos obter medidas mais precisas de um objeto usando uma régua que tem 1024 subdivisões do que usando outra régua que tem apenas 256 subdivisões (JENSEN, 2009).

$L\lambda$ = Radiância Espectral no Topo da Atmosfera (Watts/ (m² srad μm))

K_1 = Constante de conversão termal obtido nos metadados (USGS, 2015)

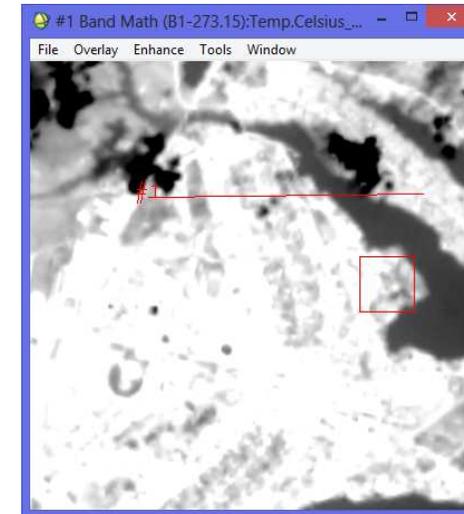
K_2 = Constante de conversão termal obtido nos metadados (USGS, 2015).

d) Pré-processamento no ENVI, por meio das conversões das Temperaturas em graus Kelvin em Celsius, segundo a Equação 11:

$$B1 - 273.15 \quad \text{Equação 11}$$

onde B1 = imagem de Temperatura de Brilho (Figura 47);

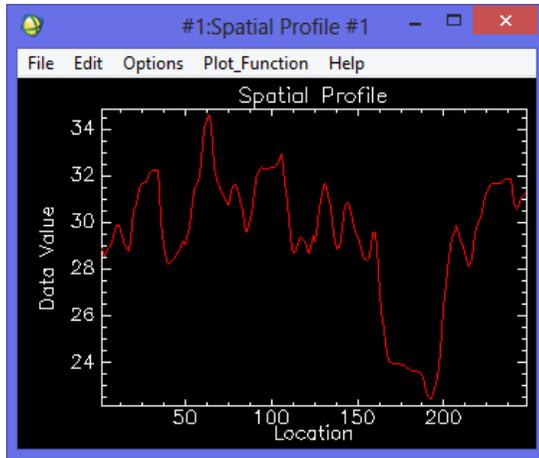
Figura 47 - Imagem da banda Termal do Landsat 8 pré-processada no ENVI



Fonte: elaborada pela autora.

e) Processamento do Transecto (Figura 48), gráfico que permite comparar as temperaturas das superfícies;

Figura 48 - Transecto Setor Noroeste - Asa Norte e Parque Olhos D'água - Lago Paranoá



Fonte: elaborada pela autora.

Transecto

Para a captação desses dados pixel a pixel o método utilizado foi o dos transectos, trata-se de uma reta na cena, com início e fim, e cada ponto que essa reta tocou capta o dado do pixel. Segundo Oliveira e Ganem (2014):

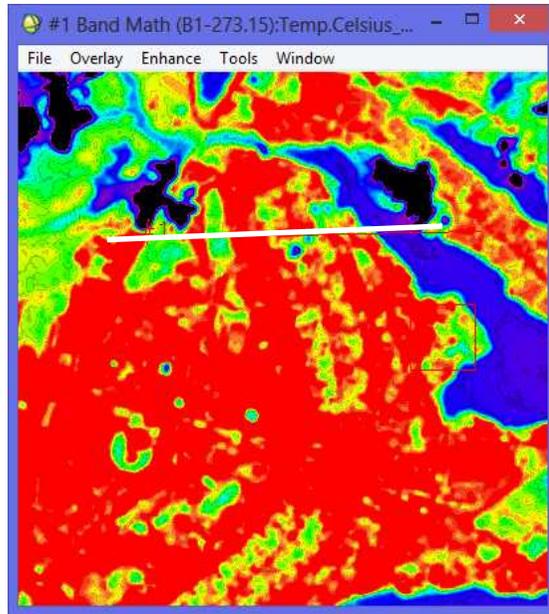
“A partir das imagens já processadas é possível adquirir os dados de cada pixel. Esses dados informam um valor quantificado possível de comparação, isto é, possível devido ao satélite ser sol síncrono, o qual passa pelo Equador às 10h da manhã (USGS, 2013), ou seja, os registros pelo satélite são efetuados na mesma hora do dia, pois para esses registros há a necessidade das mesmas condições de luz, fato esse importante para análises sazonais e multitemporais, pois pode haver a comparação

de variáveis como temperatura sem que haja diferenciação por conta do período do dia. [...] para a temperatura de brilho há um valor real de temperatura, a qual varia de acordo com o alvo. Adensamentos populacionais possuem temperaturas que podem chegar acima dos 40°C, já as áreas bem arborizadas como matas de galeria, unidades de conservação e até mesmo a água terão temperaturas mais amenas” (OLIVEIRA e GANEM, 2014, p. 44 e 45).

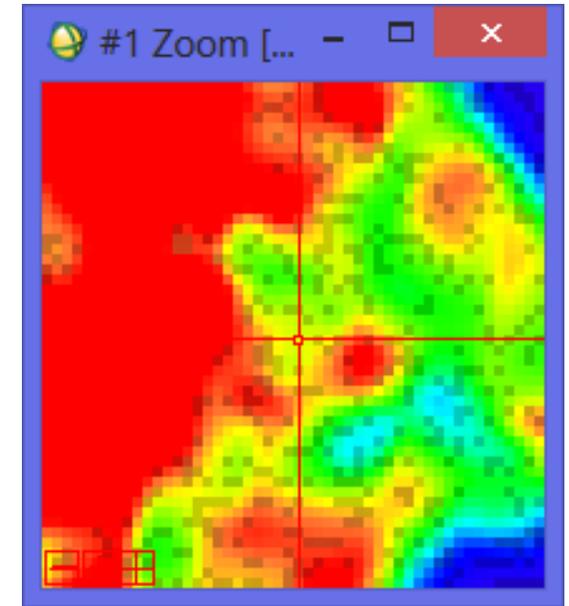
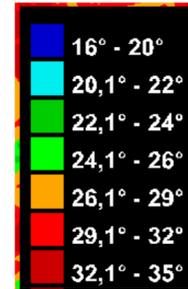
Neste estudo o transecto foi aplicado na imagem da Banda Termal do Landsat 8 (do dia 14 de janeiro de 2005) processada com temperatura de brilho, na área Norte de Brasília: Setor Noroeste - Asa Norte e Parque Olhos D'Água - Lago Paranoá. No presente estudo, o transecto caracteriza a ferramenta essencial da análise do campo térmico urbano. Nele estão contidas informações subliminares tais como: os adensamentos, a presença de vegetação e o conforto térmico das Superquadras, a movimentação de veículos, o movimento pendular (no caso do DF), a localização de Parques e a presença de corpos d'água.

f) Obtenção do Mapa Termal (Figura 49) em cores referentes às respectivas temperaturas.

Figura 49 - Imagem Termal Colorida em função das Temperaturas



Fonte: elaborada pela autora.



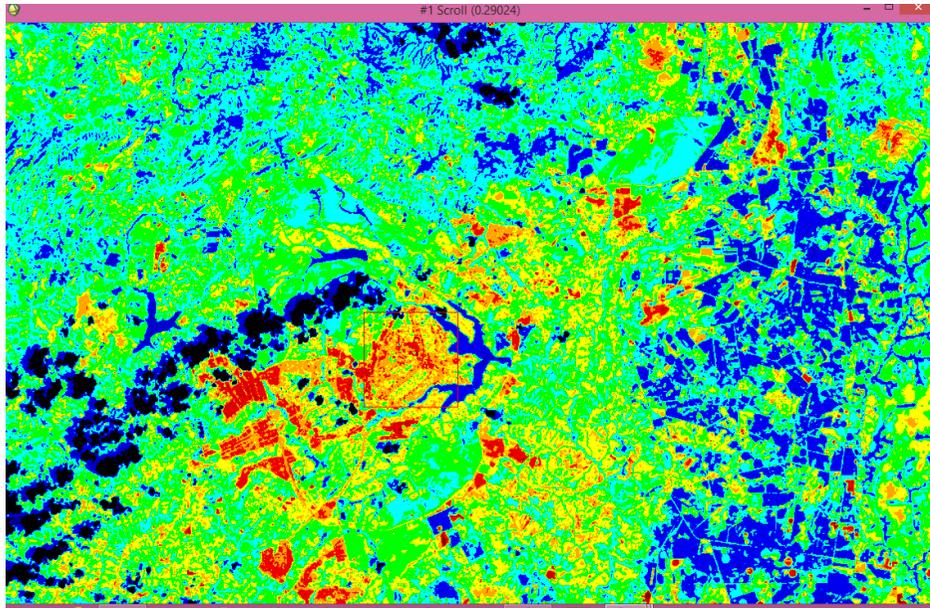
Fonte: elaborada pela autora.

g) Observação do pixel (Figura 50) - detalhe da imagem anterior:

Figura 50 - Pixel da Imagem Termal

h) Observação da imagem da região de Brasília e entorno (Figura 51):

Figura 51 - Imagem termal do Quadrilátero de Brasília / DF



Fonte: elaborada pela autora.

Análise dos resultados preliminares obtidos em Brasília / DF

No estudo de Vianna e Romero (2015), ao observar o comportamento das temperaturas nas superfícies urbanas representadas pelo transecto, nota-se que nas faixas as quais representam a vegetação (Parque Olhos D'água e áreas arborizadas) e a água (Lago Paranoá), as temperaturas são mais baixas - entre 19°C e 26°C. Enquanto nas faixas que representam as vias asfaltadas e os edifícios das superquadras, bem como o atual

adensamento do Setor Noroeste, as temperaturas ficam entre 27°C a 35°C.

Já nas imagens em forma de mapas temáticos, a informação é mais direta e as tonalidades em vermelho evidenciam as áreas edificadas. A aproximação da imagem ao visualizar o pixel, torna possível a identificação de temperaturas de áreas menores, o que é interessante em um debate de escalas (VIANNA e ROMERO, 2015).

Finalmente, a imagem da região permite identificar as diferenças reais de temperaturas entre a área urbana e rural, bem como entre as áreas mais adensadas e as que tem maior presença de vegetação. Os cursos d'água tem evidencia em as escalas de visualização (VIANNA e ROMERO, 2015).

4.5. Correlações Estatísticas

A análise de regressão linear simples é uma técnica estatística para modelagem e investigação de relações entre duas ou mais variáveis. Pode ser usado, também, com as finalidades de otimização ou controle do processo (HINES et.al, 2014). A relação entre estas variáveis é caracterizada por um modelo matemático chamado *equação de*

regressão. Para julgar a adequação de um modelo de regressão avalia-se o *Coefficiente de Determinação* (R^2). Sendo o valor: $0 \leq R^2 \leq 1$.

A Correlação entre duas variáveis de tipo quantitativo descreve a associação entre essas variáveis. Na presença de um conjunto de dados bivariados o primeiro passo na análise desses dados é representá-los num *diagrama de dispersão*. A forma da nuvem de pontos, representada no diagrama, pode mostrar uma associação linear entre as duas variáveis, que pode ser expressa numericamente pelo coeficiente de correlação amostral de Pearson (r) ou pelo seu quadrado, que é o coeficiente de determinação (R^2), mencionado anteriormente. O Coeficiente de correlação (r) é a medida da direção e grau com que duas variáveis, de tipo quantitativo, se associam linearmente (MARTINS, 2017). O r assume valores entre 1 e -1. Quanto mais próximo de 1, mais forte a correlação, que pode ser positiva ou negativa, isto é, crescente ou decrescente.

A Equação 12, que determina o valor de r é:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Equação 12

Em síntese, o coeficiente de correlação r , para o par de variáveis (x, y) , é o quociente entre a covariância amostral das variáveis x e y e o produto dos desvios padrões respectivos.

No presente estudo, utilizaremos as correlações estatísticas para identificar a influência dos materiais de superfícies nas temperaturas e a influência da morfologia urbana nas temperaturas de superfícies.

4.6. Considerações Finais do Capítulo

Para efeito desta tese serão adotados os métodos da Classificação Supervisionada dos materiais de superfícies urbanas, a análise da morfologia urbana e a utilização de imagens termais de Sensoriamento Remoto. O objetivo é relacionar materiais, formas e temperaturas urbanas, para compreender o campo térmico urbano e as ilhas de calor.

Confirma-se a obtenção das temperaturas de forma eficiente por meio do sensoriamento remoto, o que possibilita agilidade à tomada de decisões quanto às questões de planejamento urbano, caracterizando-se assim, como ferramenta para o planejamento urbano. A análise de imagens Landsat, processadas no ambiente ENVI, permite estudos temporais e sazonais de grande utilidade ao conhecimento do processo de urbanização. O presente estudo, contudo, busca expor e desmistificar a

utilização do sensoriamento remoto para análise ambientais urbanas das cidades brasileiras.

Ao final dos processamentos, conclui-se que a ferramenta disponibiliza rapidez e precisão na obtenção dos dados de temperaturas dos materiais de cobertura da superfície terrestre. Com estes dados pretende-se também estabelecer as correlações estatísticas entre: temperaturas e porcentagens de materiais de superfície e entre temperaturas e fator W/H. Os resultados podem refletir e indicar o processo de retirada da vegetação, os adensamentos, as centralidades, os sistemas de fluxos viários e demais atividades antrópicas no Distrito Federal, as quais culminam com a formação das ilhas de calor. Para além das análises, o controle destes indicadores pode ser o caminho para mitigar o fenômeno ilhas de calor.

PARTE III

5. O campo térmico urbano: Ilhas de Calor em Brasília – DF

A cidade é um conjunto de bairros, setores, edifícios, do sistema viário, dos espaços públicos, das áreas livres, e demais áreas de multiplosusos, que fazem dos espaços urbanos um sistema vivo. Questões de ventilação e iluminação naturais, bem como a presença de vegetação (evapotranspiração), tornam-se decisivas à vida nas cidades. A saúde e o bem estar no ambiente urbano têm sido ameaçados por diversas ações humanas, entre elas a degradação ambiental, a especulação imobiliária, o intenso fluxo de veículos, e a falta de prioridade (de maneira geral) à presença de vegetação.

Neste período pós Acordo de Paris (2015), quando parte das Nações estabelecem metas contra o Aquecimento Global, as questões urbanas tornam-se um dos principais alvos. A saúde das cidades está em risco, falta qualidade ambiental urbana. Neste interim que desenvolvemos o presente estudo, promovendo um diagnóstico de Brasília - DF, com enfoque à questão do clima, das temperaturas, dos materiais de revestimentos das superfícies e da morfologia urbana. A metodologia pode ser aplicada em outras cidades, a fim de identificar os locais onde há perda de qualidade ambiental em função do aquecimento.

A análise do clima urbano no contexto de Brasília traz dados importantes para estudos análogos. Cidades com traçados formais podem ser

comparadas ao Plano Piloto, enquanto as cidades de ocupação espontânea (ou mesmo as planejadas, cuja ocupação é menos formal) têm suas características identificadas nas Regiões Administrativas.

O objetivo da pesquisa é relacionar a temperatura, os materiais de superfície e a morfologia urbana no contexto climático de Brasília – DF. Para as duas primeiras frentes de análise utilizamos ferramentas de Geotecnologia. As temperaturas dos meses de agosto e fevereiro de 2016 foram obtidas nos transectos gerados das imagens termais – Banda 10 do Landsat 8. A classificação supervisionada dos materiais de superfície foi realizada em processamentos de Ortofotos no software QGis, além dos levantamentos in loco. Já a análise da morfologia urbana é caracterizada pelo fator W/H/L descrito anteriormente.

As áreas analisadas são: Asa Norte (3 Superquadras), Asa Sul (2 Superquadras), Esplanada dos Ministérios (3 áreas devido à diferença dos materiais de revestimentos das superfícies urbanas), Noroeste, Sudoeste, Gama, Taguatinga, Sobradinho I, Sobradinho II, Setor Taquari (Lago Norte), Águas Claras e Itapoã.

Os materiais analisados são: Copa de Árvore, Relvado (vegetação rasteira), Solo exposto, Pavimentação de asfalto, Sombra, Superfície de água, Laje, Telha Cinza (aço e amianto) e Telha cerâmica. Para efeito desta tese passam a ser mencionados segundo esta classificação.

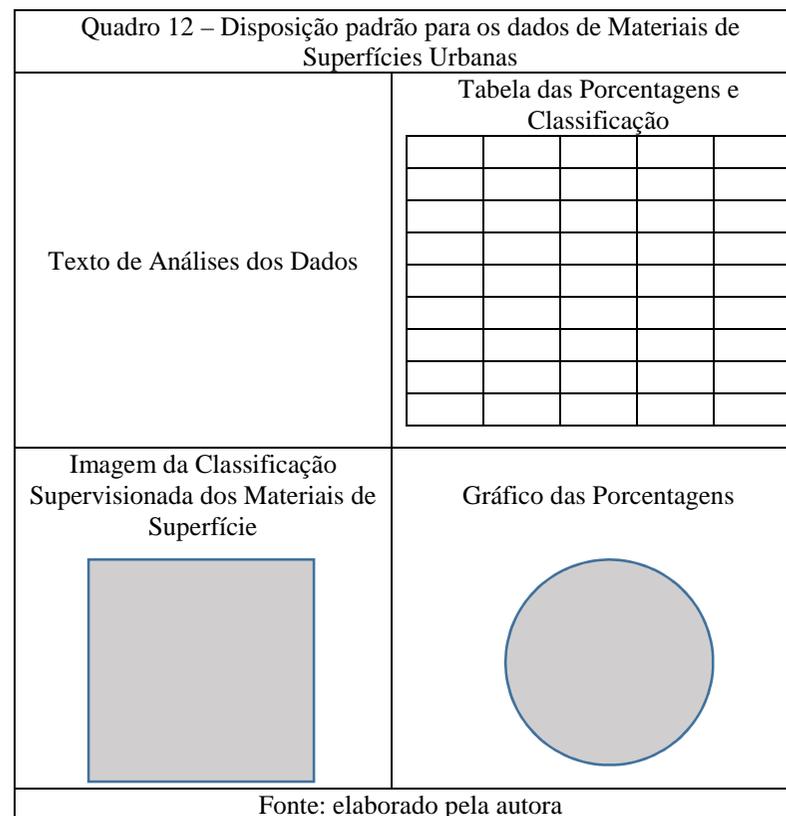
5.1. Análise dos Materiais de Superfícies Urbanas de Brasília - DF

O método definido para a análise dos materiais de superfícies urbanas de Brasília - DF é a Classificação Supervisionada, segundo o método Random Forest (Florestas Randômicas) do complemento do Quantum Gis, chamado Dzetsaka, já descrito no capítulo 4. As bases para o presente trabalho são as ortofotos de agosto de 2015, com resolução de 0,24m, sem incidência de nuvens, cedidas pelo NUGET – Núcleo de Geoprocessamento e Topografia - da TERRACAP – Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal¹³. Embora o software utilizado para os processamentos tenha sido o Quantum Gis, existem softwares desenvolvidos especificamente para este tipo de estudo¹⁴. A classificação supervisionada obteve Kappa (nível de confiabilidade) de 99,96%.

A disposição das informações nas páginas, acerca desta etapa, segue conforme o Quadro 12. Para efeito desta tese, utilizaremos os parâmetros de análise da Figura 52. Ao longo de todo o texto os materiais de superfícies urbanas classificados aparecem com as iniciais maiúsculas, uma vez que admitem a característica de categoria de análise.

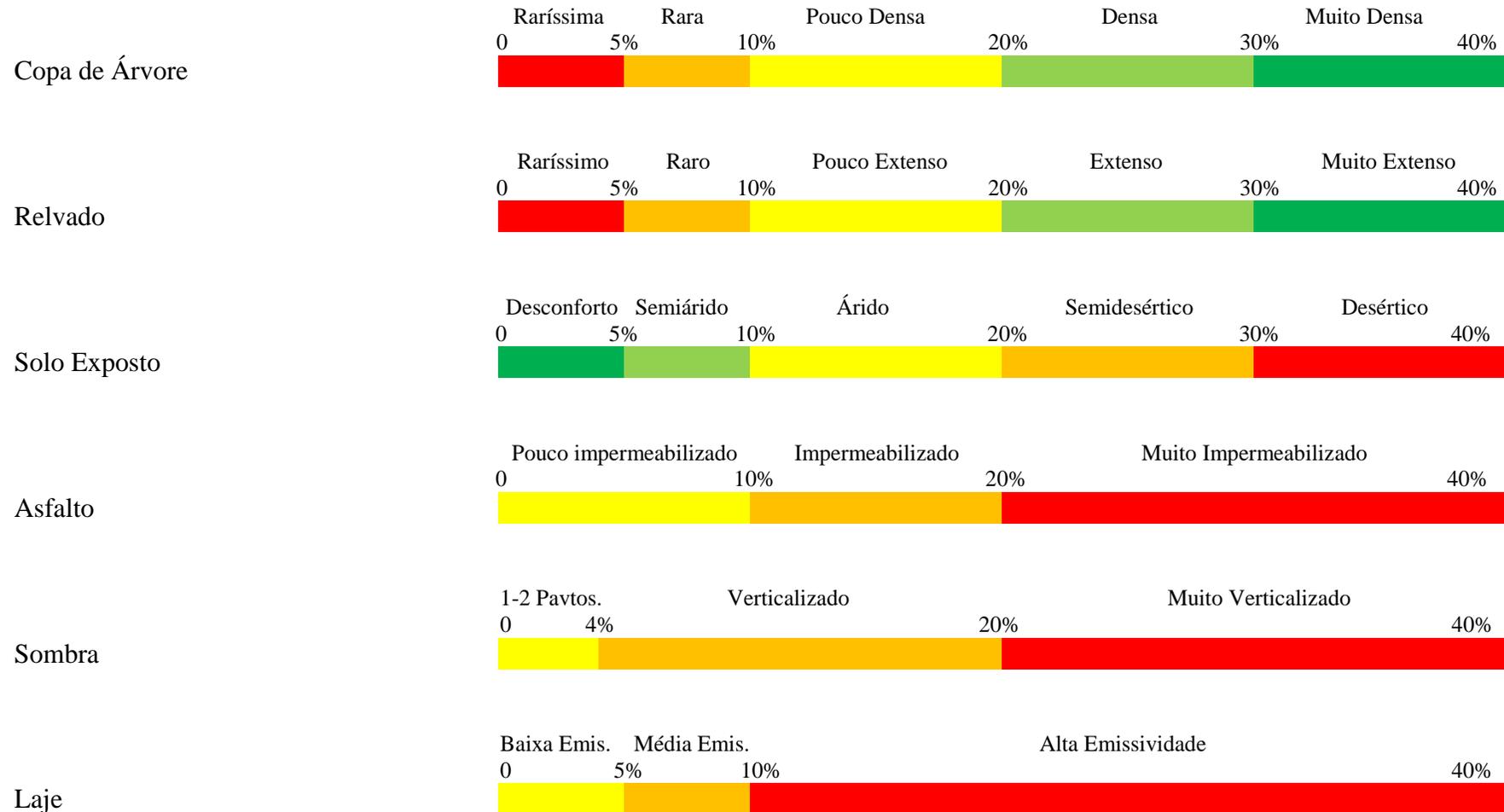
¹³ A CODEPLAN também disponibiliza imagens e informações pelo Geoserviço WMS. Para imagens com extensões em QGIS, ArcGIS ou AutoCad Map 3D, acessar <http://ortofoto.mapa.codeplan.df.gov.br>. Acesso em março de 2017.

Na pós-classificação observamos que alguns materiais apresentam comportamento espectral semelhante, como o exemplo de telha cerâmica e solo exposto, sombra e água, telha cinza e asfalto, o que requer análise mais acurada e caracteriza-se como uma dificuldade do método.



¹⁴ Software Livre para Classificação Supervisionada de Imagens. Acessar: <http://cmq.esalq.usp.br/politicaspUBLICAS/passoaPassoMultispec.pdf>. Acesso em março de 2017.

Figura 52 – Parâmetros de análise dos materiais de revestimentos das superfícies urbanas



Fonte: elaborado pela autora

SQN 206 – Classificação dos Materiais de Superfície

De maneira geral, a presença da vegetação (evapotranspiração) é predominante nas Superquadras, e na SQN 206 o material de superfície com maior porcentagem é Copa de Árvores – 28,29% - seguido por Solo Exposto – 18,51%. Não existe água, nem telha cerâmica, e o material em menor porcentagem é Sombra – 4,67 - devido à reduzida verticalização dos edifícios (Figuras 53, 54 e Tabela 20).

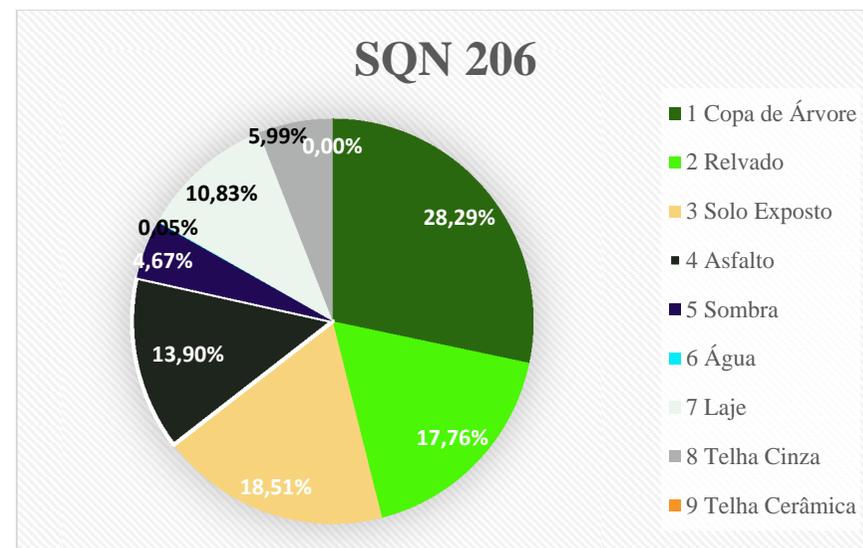
Figura 53 - Classificação Supervisionada da SQN 206



Tabela 20 – Legenda e Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQN 206

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
Verde Escuro	1	Copa de Árvore	28,29%	Densa
Verde Claro	2	Relvado	17,76%	Pouco Extenso
Amarelo	3	Solo Exposto	18,51%	Árido
Preto	4	Asfalto	13,90%	Impermeabilizado
Azul Escuro	5	Sombra	4,67%	Verticalizado
Ciano	6	Água	0,05%	-
Cinza Claro	7	Laje	10,83%	Alta Emissividade
Cinza Escuro	8	Telha Cinza	5,99%	-
Laranja	9	Telha Cerâmica	0,00%	-
		Total	100,00%	-

Figura 54 - Gráfico das Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQN 206



SQN 207 – Classificação dos Materiais de Superfície

Na SQN 207 o material de superfície com maior porcentagem é o Relvado – 29,39% - seguido por solo exposto – 24,02%. Não existe água, nem telha cerâmica, e o material em menor porcentagem é sombra – 2,86% - devido à reduzida verticalização dos edifícios (Figuras 55, 56 e Tabela 21).

Figura 55 - Classificação Supervisionada da SQN 207

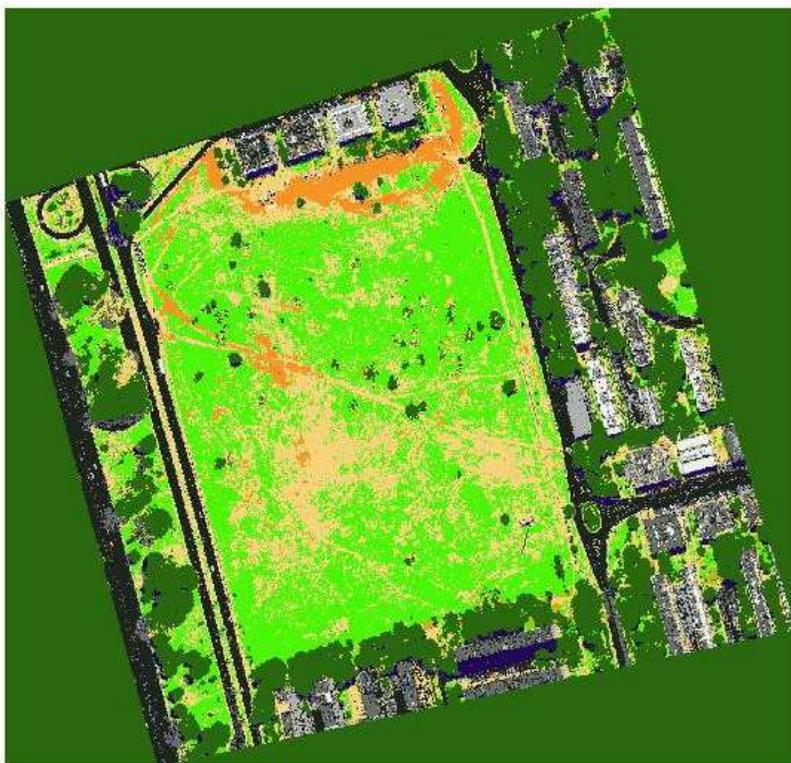
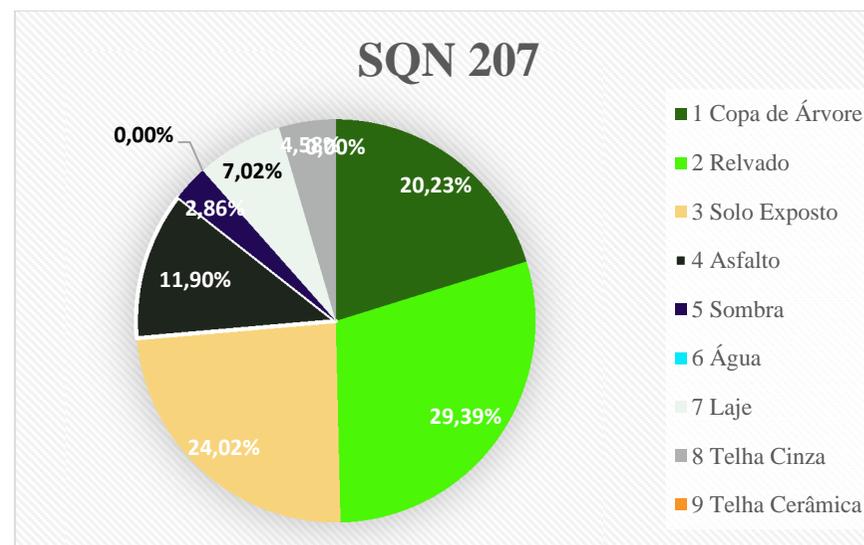


Tabela 21 – Legenda e Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQN 207

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
	1	Copa de Árvore	20,23%	Pouco Densa - Densa
	2	Relvado	29,39%	Extenso - Muito E.
	3	Solo Exposto	24,02%	Semidesértico
	4	Asfalto	11,90%	Impermeabilizado
	5	Sombra	2,86%	1 – 2 Pavimentos
	6	Água	0,00%	-
	7	Laje	7,02%	Média Emissividade
	8	Telha Cinza	4,58%	-
	9	Telha Cerâmica	0,00%	-
		Total	100,00%	-

Figura 56 - Gráfico das Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQN 207



SQN 213 – Classificação dos Materiais de Superfície

Na SQN 213 o material de superfície com maior porcentagem é o Copa de Árvore – 33,89% - seguido por Relvado – 29,56%. Não existe água, nem telha cerâmica, e o material em menor porcentagem é laje impermeabilizada (exposta) – 3,53% - pois as coberturas dos edifícios têm telha de cimento amianto - cinza (Figuras 57, 58 e Tabela 22).

Figura 57 - Classificação Supervisionada da SQN 213

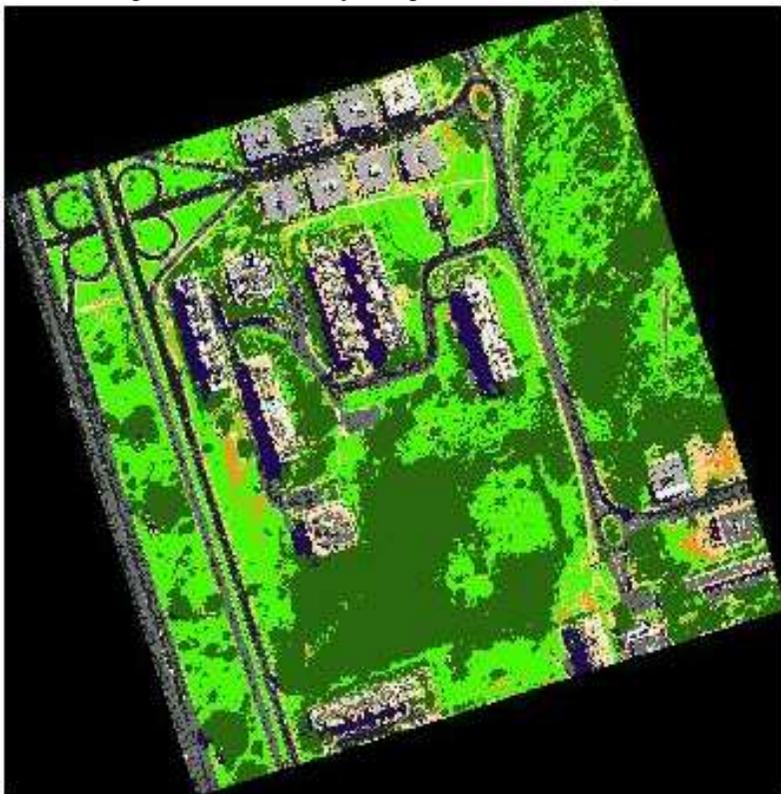
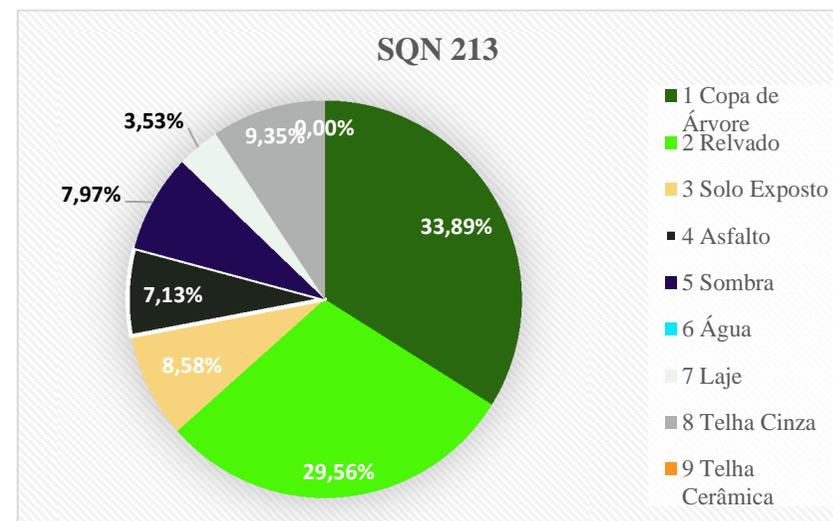


Tabela 22 – Legenda e Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQN 213

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
	1	Copa de Árvore	33,89%	Muito Densa
	2	Relvado	29,56%	Extenso – Muito Extenso
	3	Solo Exposto	8,58%	Semiárido
	4	Asfalto	7,13%	Pouco Impermeabilizado
	5	Sombra	7,97%	Verticalizado
	6	Água	0,00%	-
	7	Laje	3,53%	Baixo Emissividade
	8	Telha Cinza	9,35%	-
	9	Telha Cerâmica	0,00%	-
		Total	100,00%	

Figura 58 - Gráfico das Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQN 213



SQS 108 – Classificação dos Materiais de Superfície

Na SQS 108 o material de superfície com maior porcentagem é Copa de Árvore – 33,73% - seguido por telha cinza – 18,51%. A menor porcentagem é de Água (piscina de um clube) – 0,55% - seguido por telha cerâmica (cobertura de uma edificação do mesmo clube) – 1,78% (Figuras 59, 60 e Tabela 23).

Figura 59 - Classificação Supervisionada da SQS 108

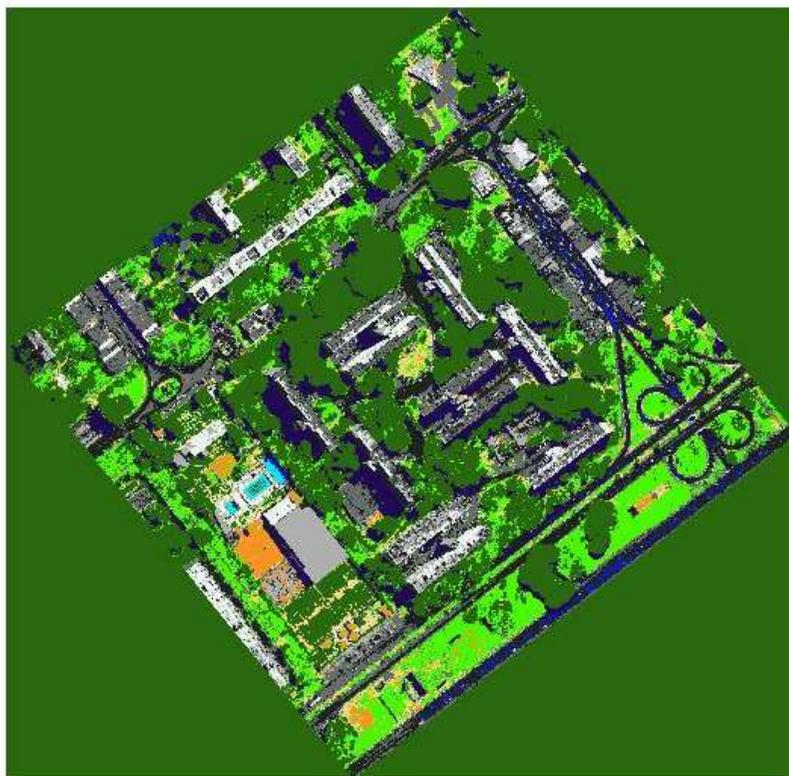
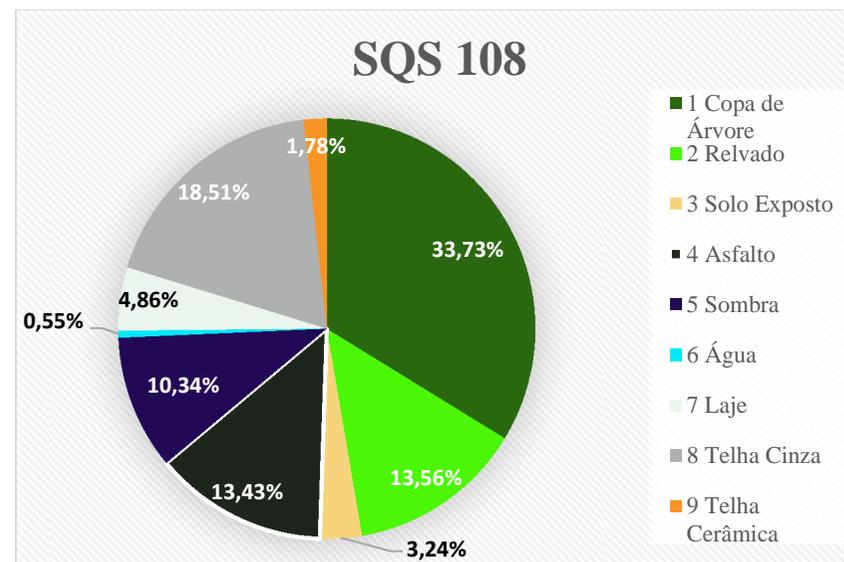


Tabela 23 – Legenda e Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQS 108

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
	1	Copa de Árvore	33,73%	Muito Densa
	2	Relvado	13,56%	Pouco Extenso
	3	Solo Exposto	3,24%	Desconforto
	4	Asfalto	13,43%	Impermeabilizado
	5	Sombra	10,34%	Verticalizado
	6	Água	0,55%	-
	7	Laje	4,86%	Pouca Emissividade
	8	Telha Cinza	18,51%	-
	9	Telha Cerâmica	1,78%	-
		Total	100,00%	-

Figura 60 - Gráfico das Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQS 108



SQS 203 – Classificação dos Materiais de Superfície

Na SQS 203 o material de superfície com maior porcentagem é Copa de Árvore – 38,61% - seguido por asfalto – 17,00%. Não existe água e a menor porcentagem é de Telha Cerâmica (cobertura de uma pequena edificação na via) – 1,80% (Figuras 61, 62 e Tabela 24).

Figura 61 - Classificação Supervisionada da SQS 203

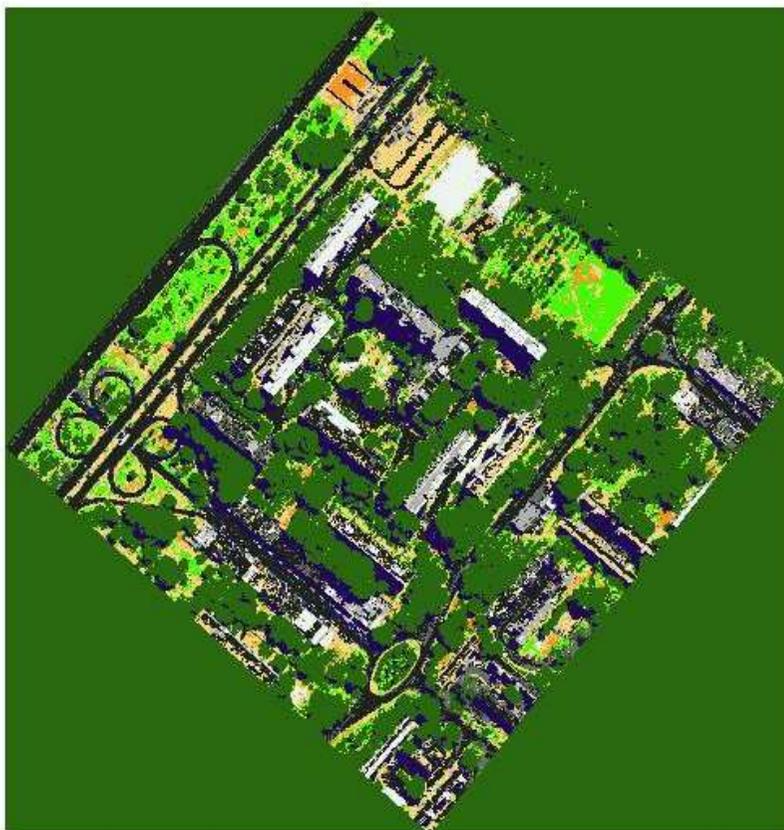
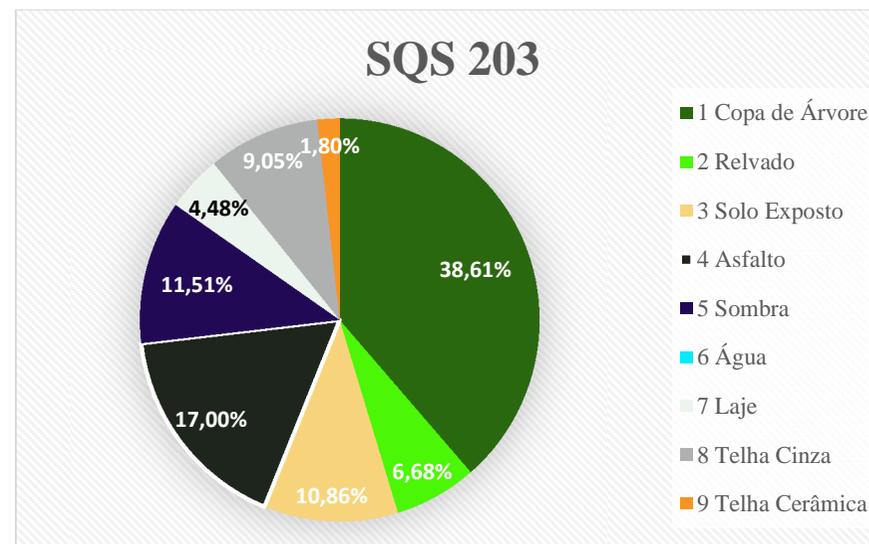


Tabela 24 – Legenda e Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQS 203

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
	1	Copa de Árvore	38,61%	Muito Densa
	2	Relvado	6,68%	Raro
	3	Solo Exposto	10,86%	Semiárido - Árido
	4	Asfalto	17,00%	Impermeabilizado
	5	Sombra	11,51%	Verticalizado
	7	Água	0,00%	-
	8	Laje	4,48%	Baixa Emissividade
	10	Telha Cinza	9,05%	-
	11	Telha Cerâmica	1,80%	-
		Total	100,00%	-

Figura 62 - Gráfico das Porcentagens da Classificação Supervisionada da SQS 203



Ministérios I – Classificação dos Materiais de Superfície

Na Área dos Ministérios I, o material de superfície com maior porcentagem é o Relvado – 27,28% - seguido por asfalto – 20,97%. Não existe telhado cerâmico, nem água e a menor porcentagem é de Solo Exposto – 6,92% (Figuras 63, 64 e Tabela 25).

Figura 63 - Classificação Supervisionada da área Ministérios I

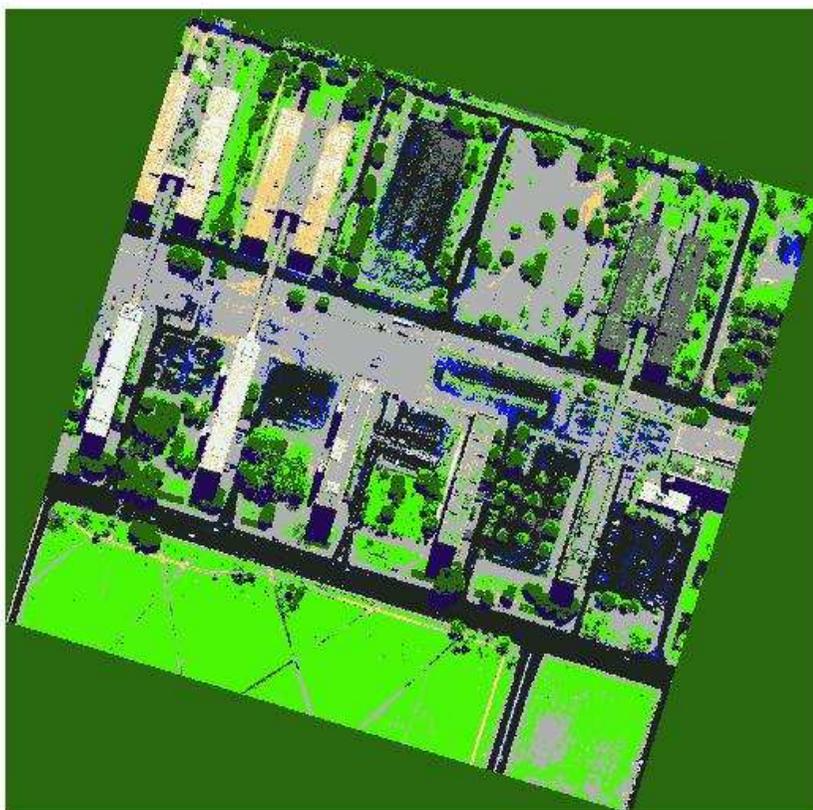
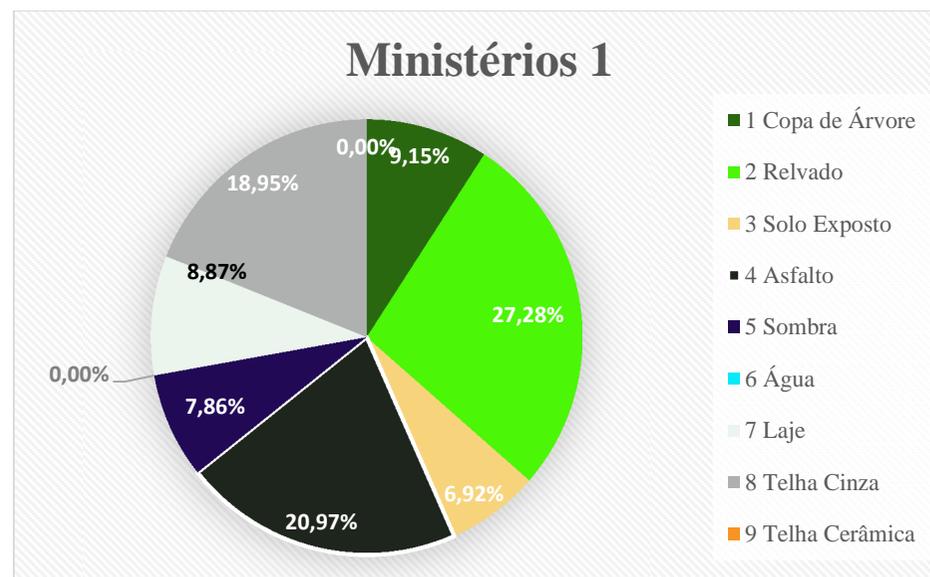


Tabela 25 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada Área dos Ministérios I

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
	1	Copa de Árvore	9,15%	Rara
	2	Relvado	27,28%	Extenso
	3	Solo Exposto	6,92%	Semiárido
	4	Asfalto	20,97%	Muito Impermeabilizado
	5	Sombra	7,86%	Verticalizado
	6	Água	0,00%	-
	7	Laje	8,87%	Média Emissividade
	8	Telha Cinza	18,95%	-
	9	Telha Cerâmica	0,00%	-
		Total	100,00%	-

Figura 64 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada da área Ministérios I



Ministérios II – Classificação dos Materiais de Superfície

Na Área dos Ministérios II, o material de superfície com maior porcentagem é o Relvado – 35,33% - seguido por asfalto – 19,46%. Não existe telhado cerâmico e a menor porcentagem é de água (Palácio do Itamaraty) – 1,68% (Figuras 65 e 66 e Tabela 26).

Figura 65 - Classificação Supervisionada da área Ministérios II

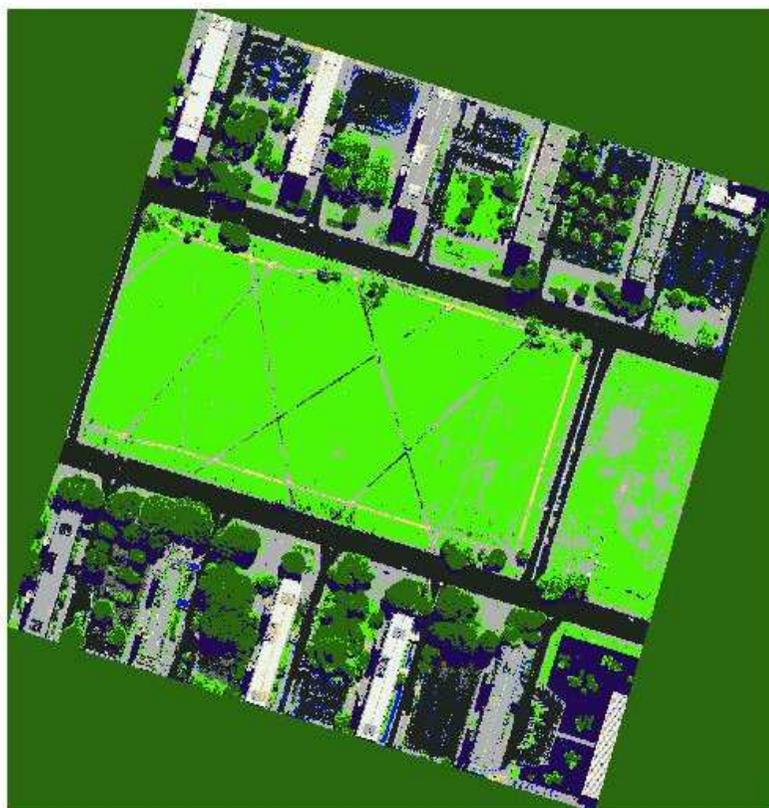
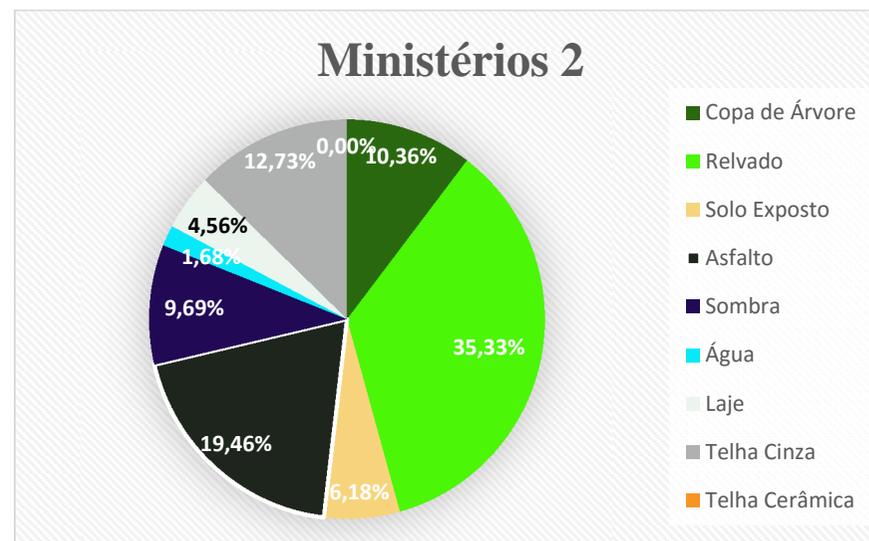


Tabela 26 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada Área dos Ministérios II

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
	1	Copa de Árvore	10,36%	Rara – Pouco Densa
	2	Relvado	35,33%	Muito Extenso
	3	Solo Exposto	6,18%	Semiárido
	4	Asfalto	19,46%	Impermeabilizado – Muito Impermeabilizado
	5	Sombra	9,69%	Verticalizado
	6	Água	1,68%	-
	7	Laje	4,56%	Baixa Emissividade
	8	Telha Cinza	12,73%	-
	9	Telha Cerâmica	0,00%	-
		Total	100,00%	-

Figura 66 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada da área Ministérios II



Ministérios III – Classificação dos Materiais de Superfície

Na Área dos Ministérios III, trocamos a variável telhado cerâmico por Pedra Portuguesa – 9,05% - que é um material característico desta área. A maior porcentagem é de Telha Cinza – 20,91% - seguido por Relvado – 16,29%. A menor porcentagem é de Solo Exposto – 1,92% (Figuras 67 e 68 e Tabela 27).

Figura 67 - Classificação Supervisionada da área Ministérios III

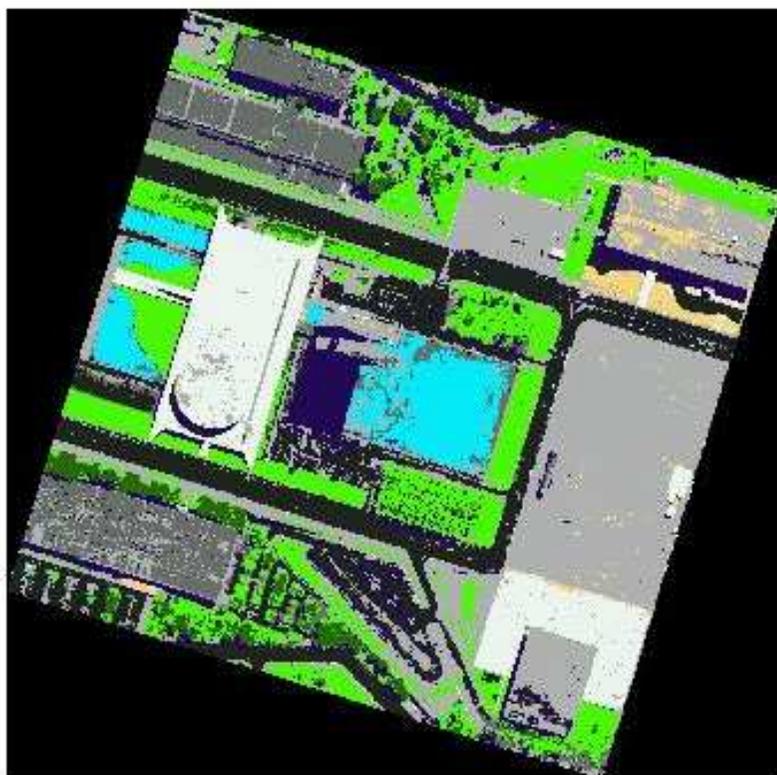
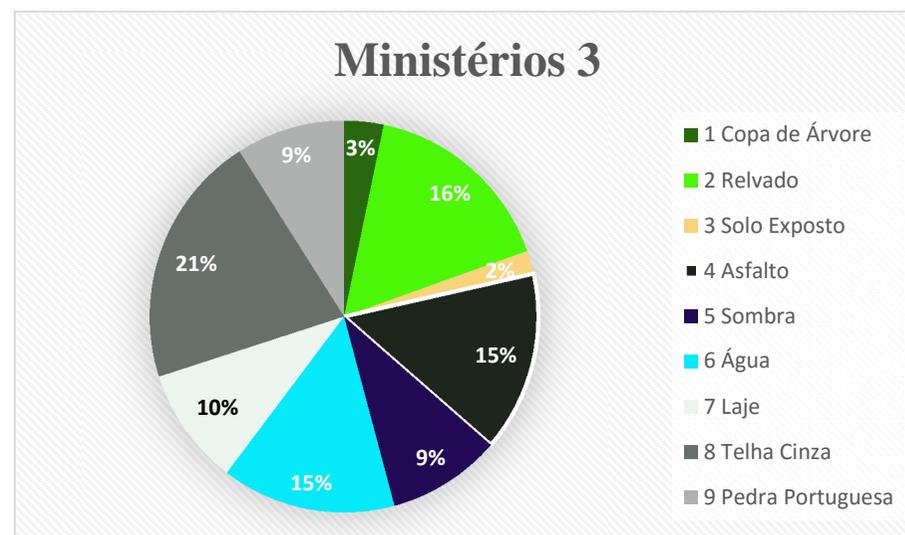


Tabela 27 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada Área dos Ministérios III

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
	1	Copa de Árvore	3,27%	Raríssima
	2	Relvado	16,29%	Pouco Extenso
	3	Solo Exposto	1,92%	Desconforto
	4	Asfalto	14,89%	Impermeabilizado
	5	Sombra	9,45%	Verticalizado
	6	Água	14,49%	-
	7	Laje	9,73%	Média Emissividade
	8	Telha Cinza	20,91%	
	9	Pedra Portuguesa	9,05%	
		Total	100,00%	

Figura 68 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada da área Ministérios III



Setor Noroeste – Classificação dos Materiais de Superfície

No Setor Noroeste, o material de superfície com maior porcentagem é Solo Exposto – 33,45% - seguido por Telha Cinza – 29,00%. Não existe Telha Cerâmica e a porcentagem de água é insignificante. A menor porcentagem é de Sombra – 4,69% - a qual explica a existência de verticalização (Figuras 69, 70 e Tabela 28).

Figura 69 - Classificação Supervisionada do Setor Noroeste

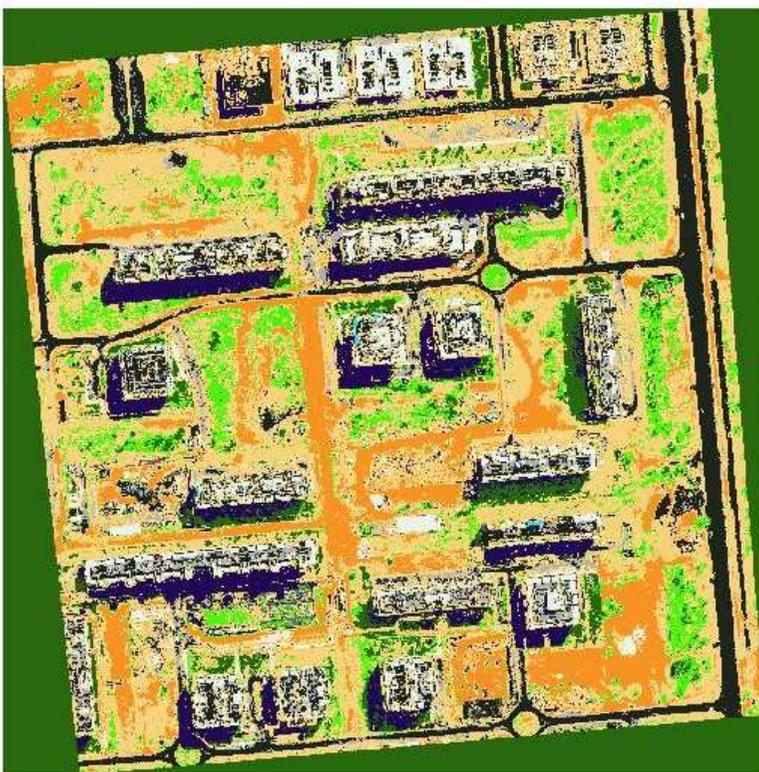
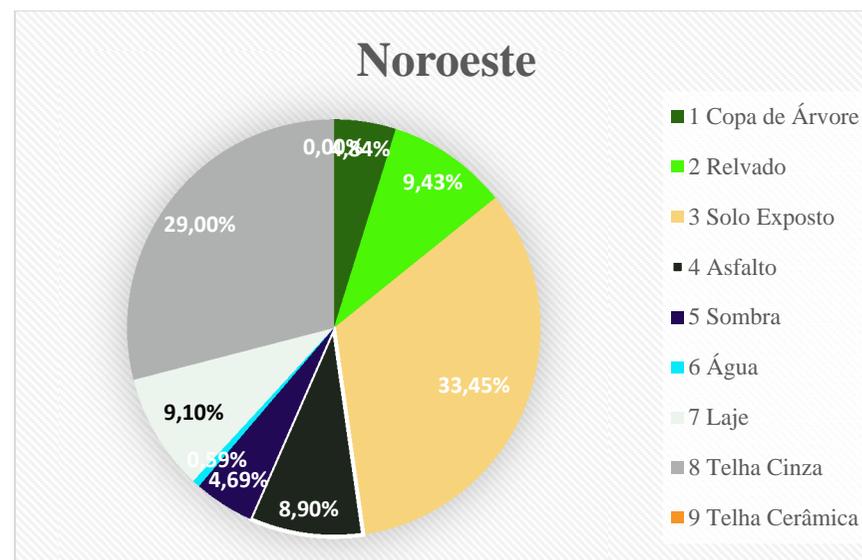


Tabela 28 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada do Setor Noroeste

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
	1	Copa de Árvore	4,84%	Raríssima - Rara
	2	Relvado	9,43%	Raro – Pouco Extenso
	3	Solo Exposto	33,45%	Desértico
	4	Asfalto	8,90%	Pouco Impermeabilizado
	5	Sombra	4,69%	Verticalizado
	6	Água	0,59%	-
	7	Laje	9,10%	Média – Alta Emissividade
	8	Telha Cinza	29,00%	-
	9	Telha Cerâmica	0,00%	-
		Total	100,00%	-

Figura 70 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada do Setor Noroeste



Setor Sudoeste – Classificação dos Materiais de Superfície

No Setor Sudoeste, o material de superfície com maior porcentagem é Solo Exposto – 23,24% - seguido por Copa de Árvore – 18,93%. Não existe Telha Cerâmica e a porcentagem de água é insignificante. A menor porcentagem é de Laje (impermeabilizada) – 6,55% (Figuras 71, 72 e Tabela 29).

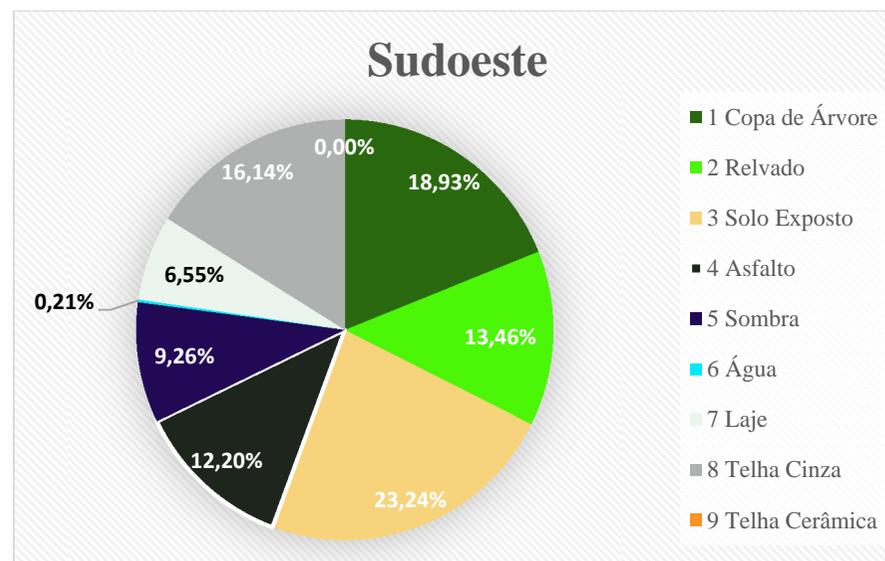
Figura 71 - Classificação Supervisionada do Setor Sudoeste



Tabela 29 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada do Setor Sudoeste

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
	1	Copa de Árvore	18,93%	Pouco Densa
	2	Relvado	13,46%	Pouco Extenso
	3	Solo Exposto	23,24%	Semidesértico
	4	Asfalto	12,20%	Impermeabilizado
	5	Sombra	9,26%	Verticalizado
	6	Água	0,21%	-
	7	Laje	6,55%	Média Emissividade
	8	Telha Cinza	16,14%	-
	9	Telha Cerâmica	0,00%	-
		Total	100,00%	-

Figura 72 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada do Setor Sudoeste



Gama – Classificação dos Materiais de Superfície

No Gama, o material de superfície com maior porcentagem é Telha Cinza – 35,95% - seguido por Telha Cerâmica – 21,74%. A porcentagem de água é insignificante. A menor porcentagem é de Sombra – 2,45% - o que demonstra presença de verticalização (Figuras 73, 74 e Tabela 30).

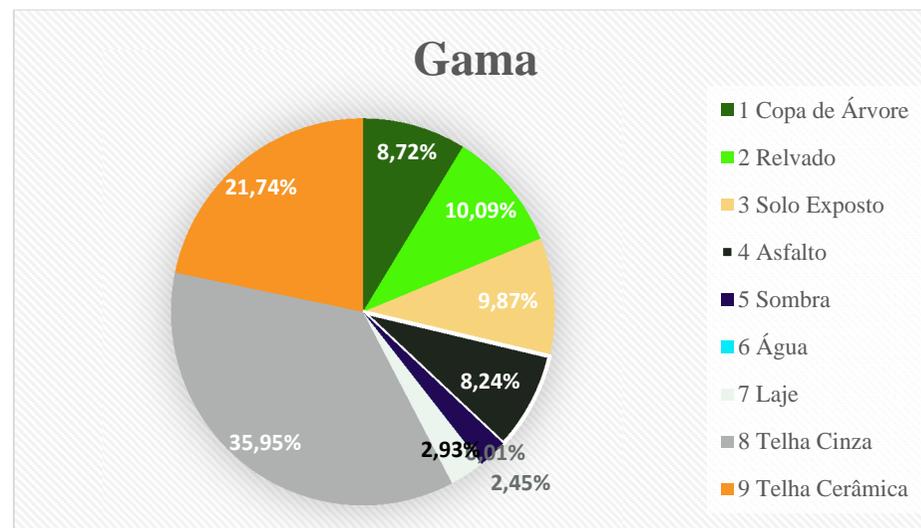
Figura 73 - Classificação Supervisionada da RA Gama



Tabela 30 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Gama

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
	1	Copa de Árvore	8,72%	Rara
	2	Relvado	10,09%	Pouco Extenso
	3	Solo Exposto	9,87%	Semiárido
	4	Asfalto	8,24%	Pouco Impermeabilizado
	5	Sombra	2,45%	1 -2 Pavimentos
	6	Água	0,01%	-
	7	Laje	2,93%	Baixa Emissividade
	8	Telha Cinza	35,95%	-
	9	Telha Cerâmica	21,74%	-
		Total	100,00%	-

Figura 74 - Gráfico das Porcentagens da Classificação Supervisionada da RA Gama



Setor Taguatinga – Classificação dos Materiais de Superfície

Em Taguatinga, o material de superfície com maior porcentagem é Telha Cinza – 34,96% - seguido por Sombra – 21,21% - o que indica verticalização da área central desta RA. Não existe água e as menores porcentagens são de Relvado – 0,79% - e Copa de Árvore – 3,14% - o que prejudica a qualidade ambiental (Figuras 75, 76 e Tabela 31).

Figura 75 - Classificação Supervisionada da RA Taguatinga

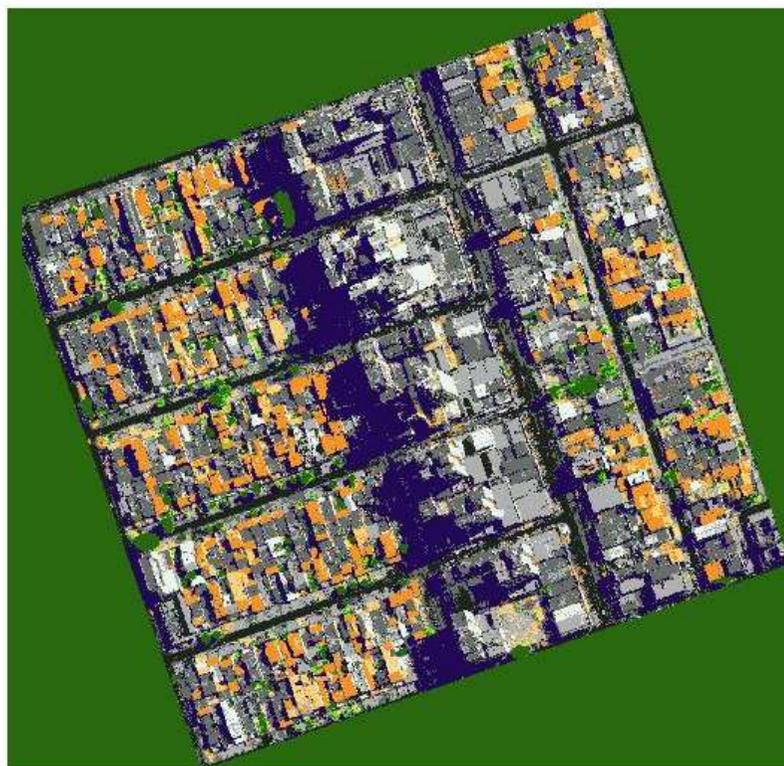
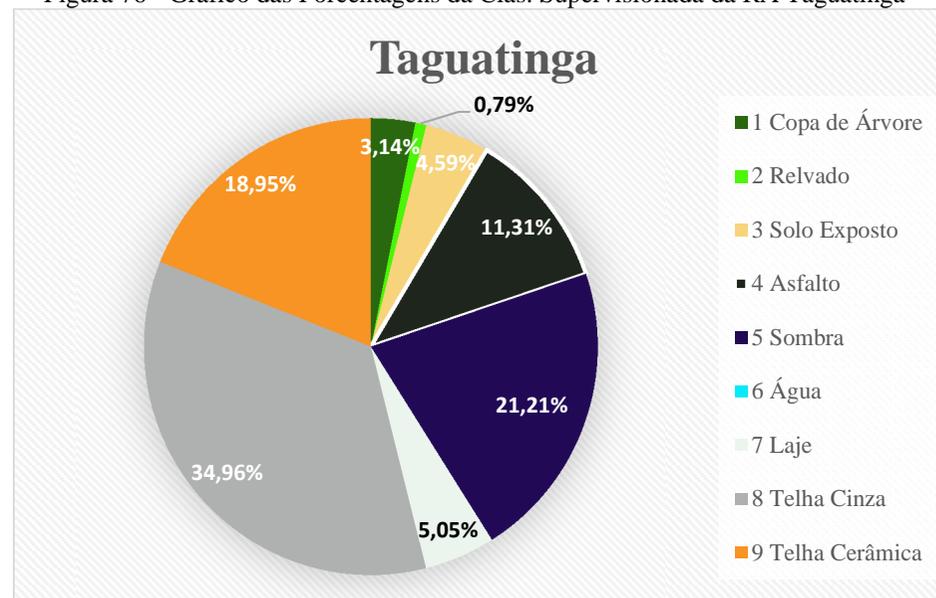


Tabela 31 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Taguatinga

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
	1	Copa de Árvore	3,14%	Raríssima
	2	Relvado	0,79%	Raríssimo
	3	Solo Exposto	4,59%	Desconforto
	4	Asfalto	11,31%	Impermeabilizado
	5	Sombra	21,21%	Muito Verticalizado
	6	Água	0,00%	-
	7	Laje	5,05%	Média Emissividade
	8	Telha Cinza	34,96%	-
	9	Telha Cerâmica	18,95%	-
		Total	100,00%	-

Figura 76 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Taguatinga



Sobradinho I – Classificação dos Materiais de Superfície

Em Sobradinho I, o material de superfície com maior porcentagem é Solo Exposto – 19,98% - seguido por Telha Cinza – 18,94%. A porcentagem de água é insignificante e a menor porcentagem é de Sombra – 2,43% - pois não existe verticalização. As porcentagens de Copa de Árvore – 15,33% - e Relvado – 14,87% - contudo, são significativas (Figuras 77, 78 e Tabela 32).

Figura 77 - Classificação Supervisionada da RA Sobradinho I

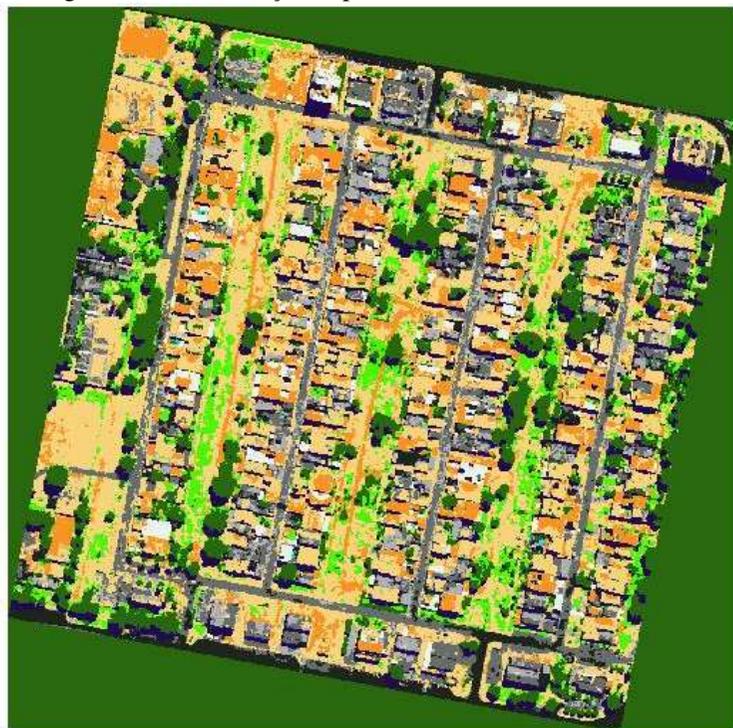
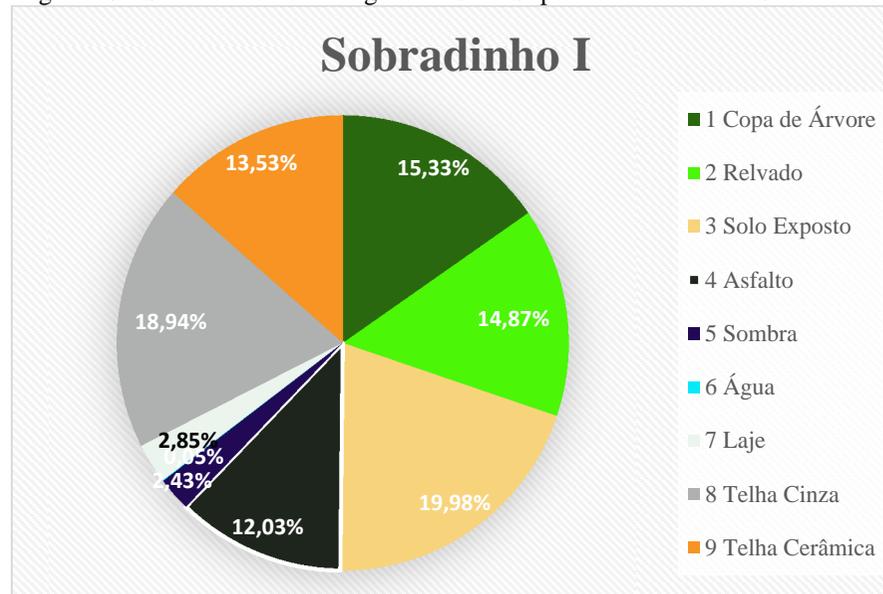


Tabela 32 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Sobradinho I

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
	1	Copa de Árvore	15,33%	Pouco Densa
	2	Relvado	14,87%	Pouco Extenso
	3	Solo Exposto	19,98%	Árido
	4	Asfalto	12,03%	Impermeabilizado
	5	Sombra	2,43%	1 -2 Pavimentos
	6	Água	0,05%	-
	7	Laje	2,85%	Baixa Emissividade
	8	Telha Cinza	18,94%	-
	9	Telha Cerâmica	13,53%	-
		Total	100,00%	-

Figura 78 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Sobradinho I



Sobradinho II – Classificação dos Materiais de Superfície

Em Sobradinho II, o material de superfície com maior porcentagem é Telha Cerâmica – 33,35% - seguido por Asfalto – 15,82%. A porcentagem de água é insignificante e a menor porcentagem é de Sombra – 2,94% - pois não existe verticalização. As porcentagens de Solo Exposto – 15,35% - e Relvado – 11,54% - contudo, são significativas, pois influenciam o campo térmico urbano no período seco do ano (Figuras 79, 80 e Tabela 33).

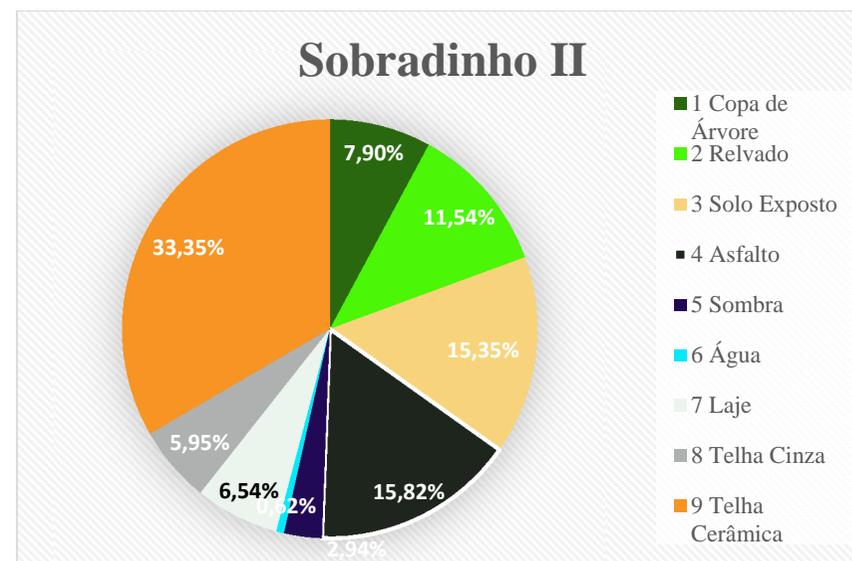
Figura 79 - Classificação Supervisionada da RA Sobradinho II



Tabela 33 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Sobradinho II

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
	1	Copa de Árvore	7,90%	Rara
	2	Relvado	11,54%	Pouco Extenso
	3	Solo Exposto	15,35%	Árido
	4	Asfalto	15,82%	Impermeabilizado
	5	Sombra	2,94%	1 – 2 Pavimentos
	6	Água	0,62%	-
	7	Laje	6,54%	Média Emissividade
	8	Telha Cinza	5,95%	-
	9	Telha Cerâmica	33,35%	-
		Total	100,00%	-

Figura 80 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Sobradinho II



Setor Taquari – Classificação dos Materiais de Superfície

No Setor Taquari, o material de superfície com maior porcentagem é o Relvado – 25,90% - seguido por Telha Cinza – 24,28%. A menor porcentagem é de água (piscinas) – 1,20% - seguida por Sombra – 1,89% - pois não há verticalização. As porcentagens de Solo Exposto – 11,76% e Asfalto – 10,72% - contudo, são significativas, pois influenciam no campo térmico urbano no período seco do ano (Figuras 81, 82 e Tabela 34).

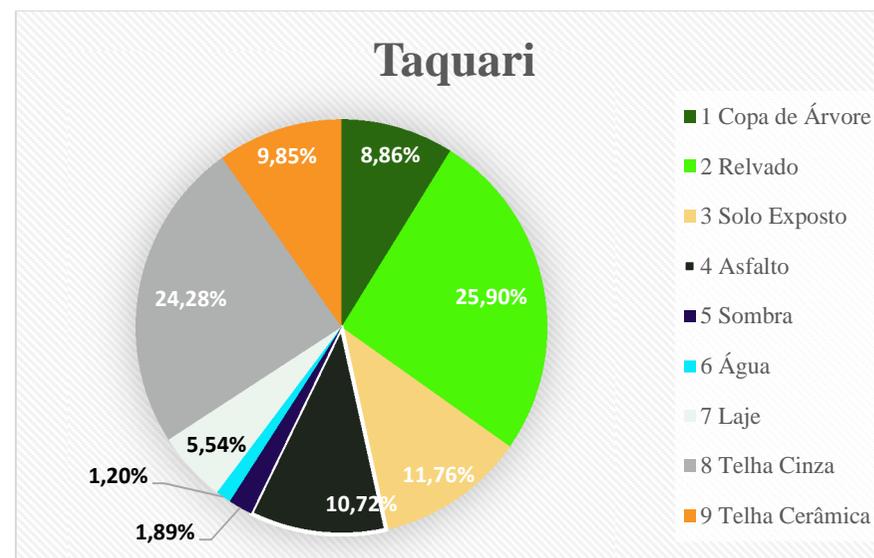
Figura 81 - Classificação Supervisionada do Setor Taquari (RA Lago Norte)



Tabela 34 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada do Setor Taquari

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
	1	Copa de Árvore	8,86%	Rara
	2	Relvado	25,90%	Extenso
	3	Solo Exposto	11,76%	Árido
	4	Asfalto	10,72%	Impermeabilizado
	5	Sombra	1,89%	1 – 2 Pavimentos
	6	Água	1,20%	-
	7	Laje	5,54%	Média Emissividade
	8	Telha Cinza	24,28%	-
	9	Telha Cerâmica	9,85%	-
		Total	100,00%	-

Figura 82 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada do Setor Taquari



Águas Claras – Classificação dos Materiais de Superfície

Em Águas Claras, a maior porcentagem de material de superfície é de Solo Exposto – 29,50% - o que influencia o campo térmico urbano no período seco do ano. A segunda maior porcentagem é de Sombra – 22,37% - o que confirma a característica predominante de verticalização. Não existe telhado cerâmico e a porcentagem de água é insignificante – 0,89%. A menor porcentagem é de Copa de Árvore – 2,50% - o que reduz a qualidade ambiental (Figuras 83, 84 e Tabela 35).

Figura 83 - Classificação Supervisionada da RA Águas Claras

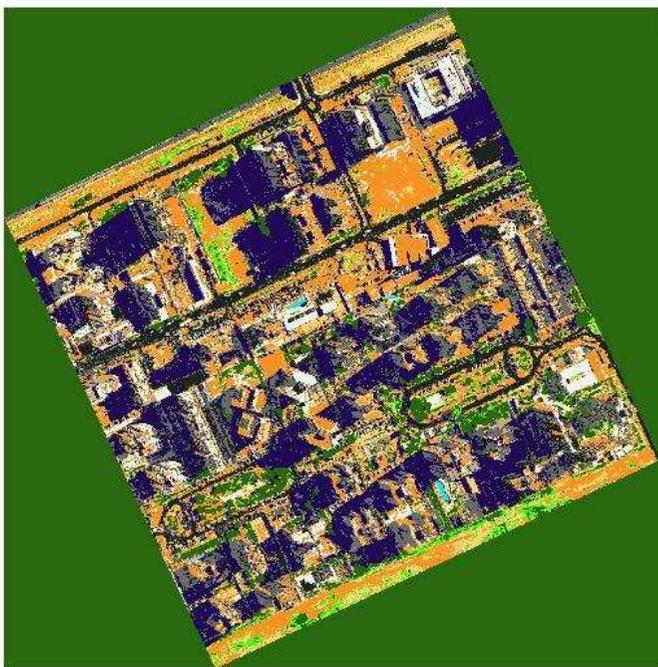
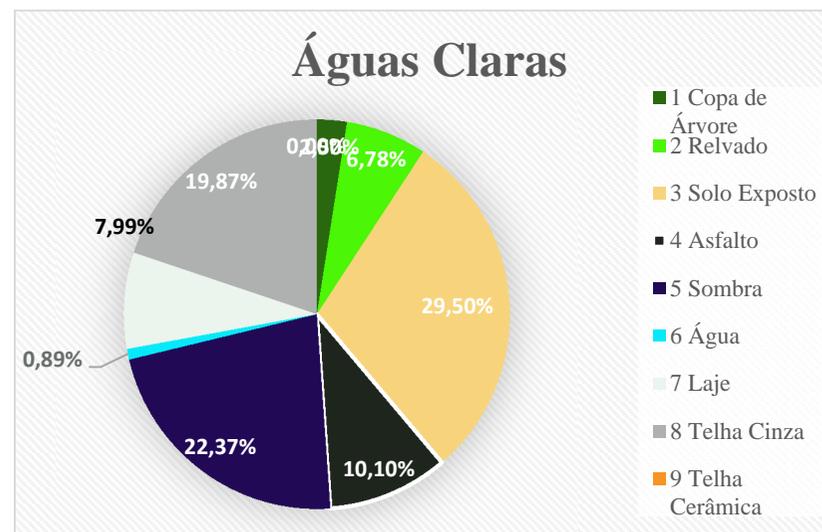


Tabela 35 – Legenda e Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Águas Claras

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
	1	Copa de Árvore	2,50%	Raríssima
	2	Relvado	6,78%	Raro
	3	Solo Exposto	29,50%	Semidesértico
	4	Asfalto	10,10%	Impermeabilizado
	5	Sombra	22,37%	Muito Verticalizado
	6	Água	0,89%	-
	7	Laje	7,99%	Média Emissividade
	8	Telha Cinza	19,87%	-
	9	Telha Cerâmica	0,00%	-
		Total	100,00%	-

Figura 84 - Gráfico das Porcentagens da Clas. Supervisionada da RA Águas Claras



Itapoã – Classificação dos Materiais de Superfície

Em Itapoã, a maior porcentagem de material de superfície é de Telha Cinza (cimento amianto) – 36,92% - o que caracteriza a intensa ocupação dos lotes e alta emissividade e albedo. A 2ª maior porcentagem é de Asfalto – 21,71% - o que indica alta impermeabilização. Não existe água e a menor porcentagem é de Sombra – 1,84 – pois não há verticalização. A porcentagem de Copa de Árvore – 8,31% - não é significativa para o equilíbrio ambiental da área (Figuras 85, 86 e Tabela 36).

Figura 85 - Classificação Supervisionada da RA Itapoã

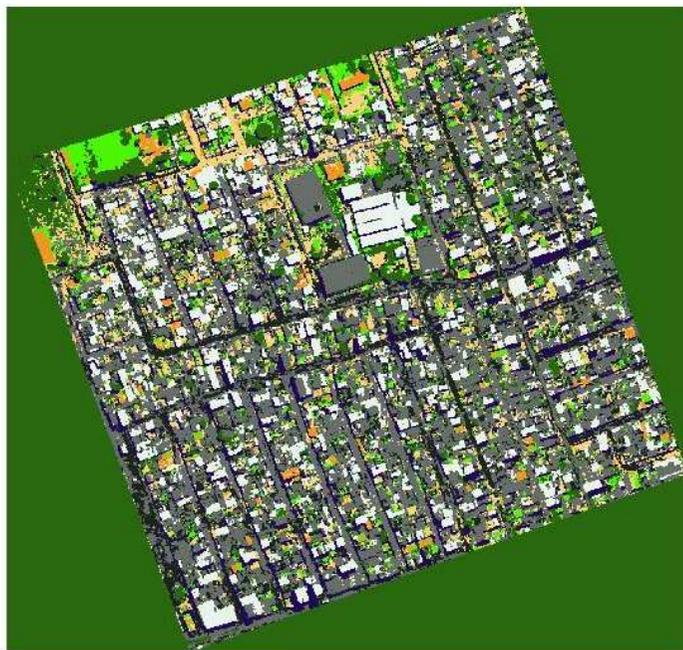
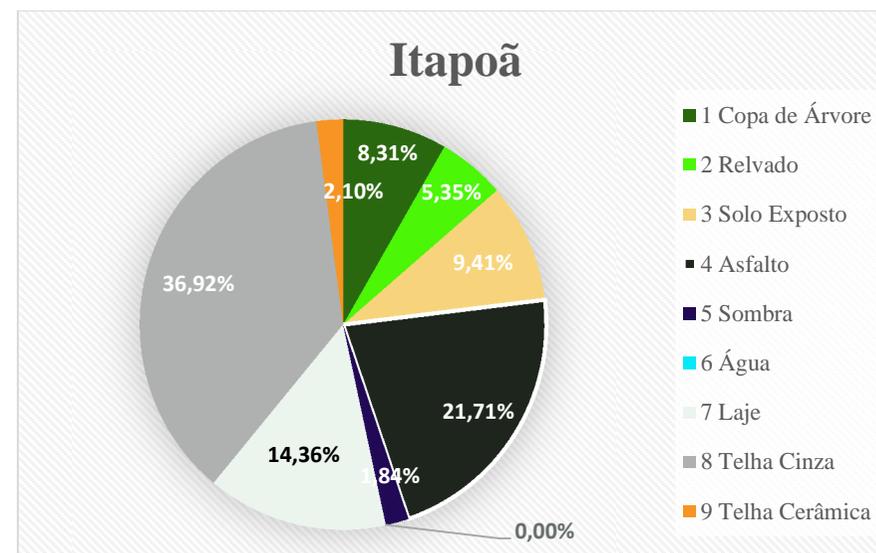


Tabela 36 – Legenda e Porcentagens da Classificação Supervisionada da RA Itapoã

Cor	Classe	Cobertura do Solo	Proporção na Paisagem	Classificação
	1	Copa de Árvore	8,31%	Rara
	2	Relvado	5,35%	Raro
	3	Solo Exposto	9,41%	Semiárido
	4	Asfalto	21,71%	Muito Impermeabilizado
	5	Sombra	1,84%	1 – 2 Pavimentos
	6	Água	0,00%	-
	7	Laje	14,36%	Alta Emissividade
	8	Telha Cinza	36,92%	-
	9	Telha Cerâmica	2,10%	-
		Total	100,00%	-

Figura 86 - Gráfico das Porcentagens da Classificação Supervisionada da RA Itapoã

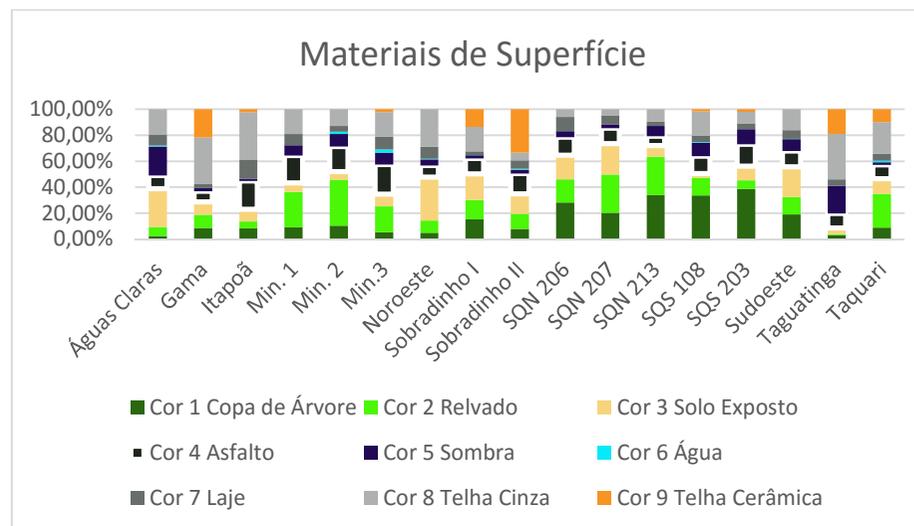


5.1.1. Síntese dos Resultados das Classificações Supervisionadas

Para comparar as classificações supervisionadas dos materiais de revestimentos das superfícies urbanas, entre as diversas áreas analisadas, o critério será a maior e a menor presença de determinados materiais, além de apontar as principais diferenças entre Plano Piloto e Regiões Administrativas.

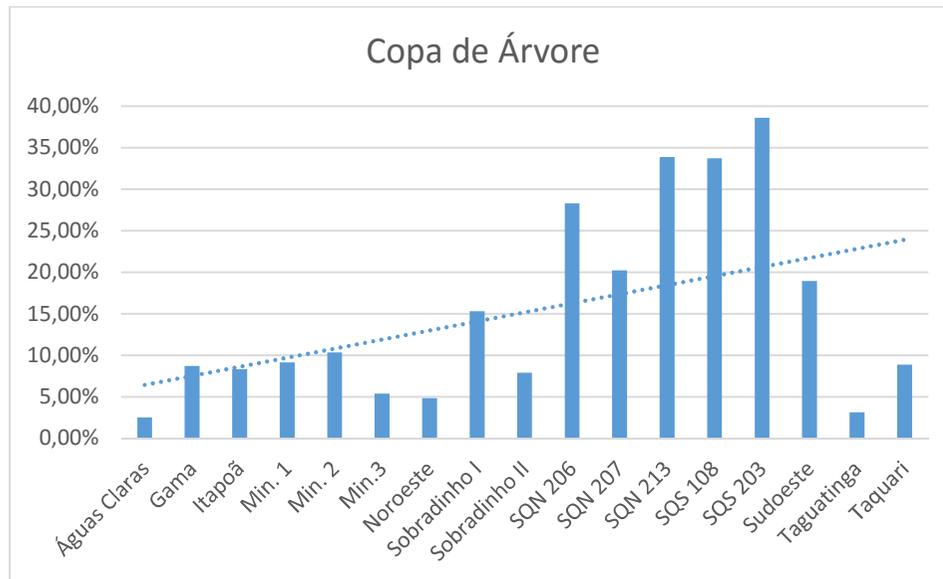
A primeira vista, a principal diferença entre Plano Piloto e Regiões Administrativas é a presença de vegetação (evapotranspiração), tanto em porcentagem de Copas de Árvores, quanto relvado. No Plano Piloto as porcentagens destes dois materiais são significativamente maiores. Inversamente, nas Regiões Administrativas as porcentagens de Telha Cinza é que se destacam (Figura 87).

Figura 87 - Gráfico Comparativo das Porcentagens da Classificação Supervisionada



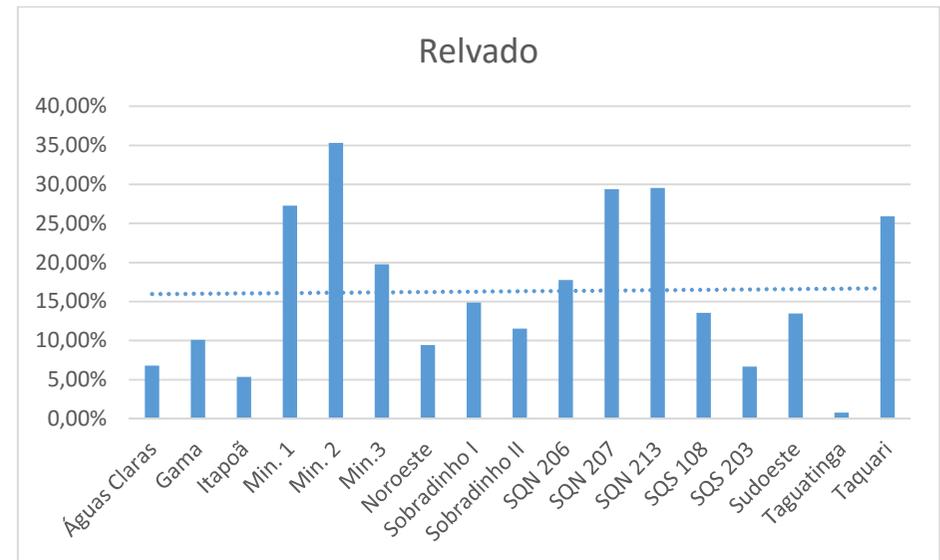
No Plano Piloto, as maiores porcentagens de Copas de Árvores estão nas Superquadras, enquanto as menores porcentagens do material encontram-se nas áreas dos Ministérios (Figura 88). A SQS 203 é a Superquadra dotada de maior porcentagem de Copas de Árvores. As porcentagens mínimas de Copas de Árvore, contudo, encontram-se nas Regiões Administrativas com maior densidade de ocupação e cuja morfologia urbana apresenta verticalização, como em Águas Claras e Taguatinga. Isto caracteriza a diminuição da qualidade ambiental nas Regiões Administrativas com alta densidade.

Figura 88 – Gráfico Comparativo das Porcentagens de Copa de Árvore



Quanto ao material de superfície relvado (vegetação rasteira), a área dos Ministérios, seguida da SQN 207 e SQN 213 é que apresentam maior porcentagem, enquanto a RA de Taguatinga e Itapoã apresentam as menores. Isto caracteriza a maior impermeabilização do solo nas Regiões Administrativas (Figura 89).

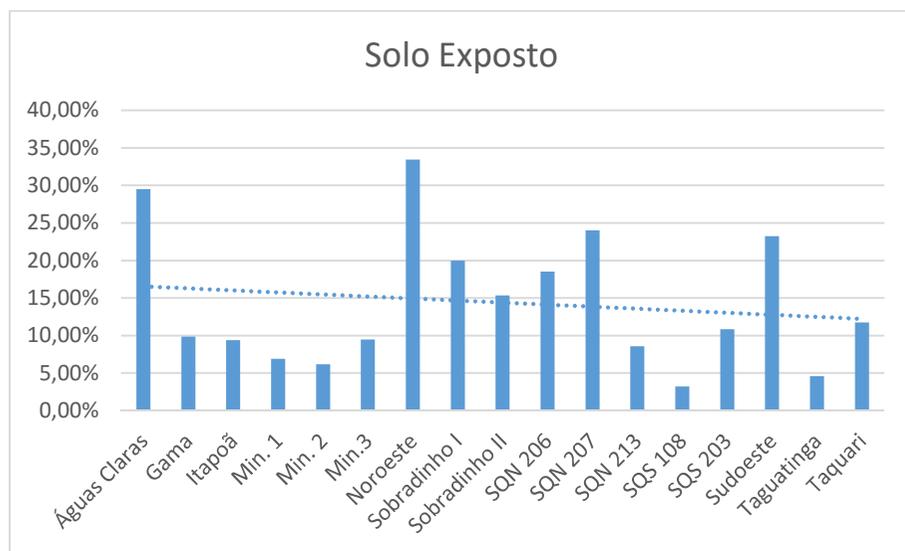
Figura 89 - Gráfico Comparativo das Porcentagens de Relvado



Quanto ao solo exposto, o Setor Noroeste e Águas Claras têm maior porcentagem. Neste sentido, a falta de prioridade com as questões ambientais, no Planejamento Urbano, manifesta-se tanto no Plano Piloto, quanto na RA. Observando as principais características do Setor Noroeste e de Águas Claras, observamos que são as áreas de ocupação mais recente do DF, sendo que a primeira é parte do Plano Piloto e a segunda é uma Região Administrativa. Isto indica que as atuais pressões do mercado imobiliário podem ser motivadoras do aparente descaso ambiental. Para efeito desta tese, na etapa que trata da classificação supervisionada dos materiais de superfície, segundo a variável Sombra,

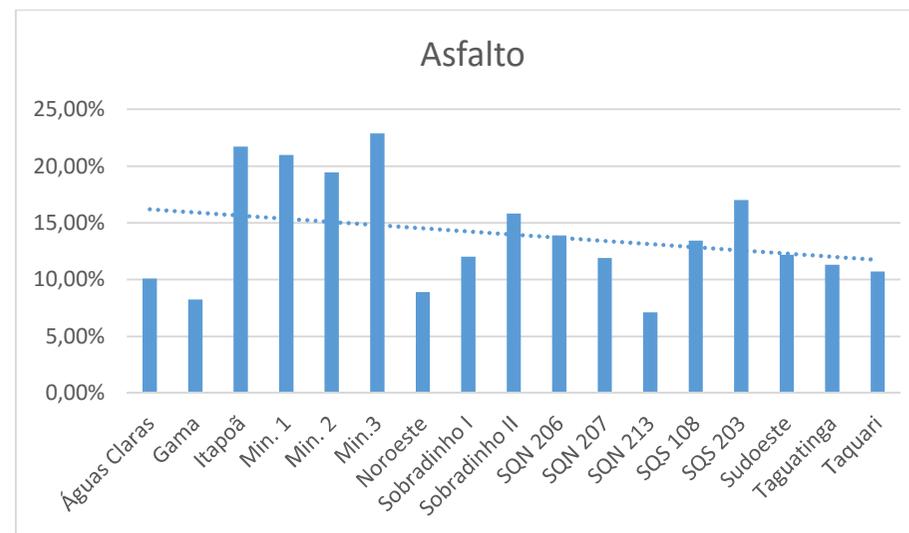
o Setor Noroeste está classificado como “Verticalizado” (seis pavimentos – cerca de 20 metros) e Águas Claras como “Muito Verticalizado” (acima de 20 pavimentos – alturas superiores a 60 metros). Além disto, conforme já mencionado, Águas Claras também apresenta a menor porcentagem de Copa de Árvore (evapotranspiração), o que configura um processo de ocupação urbana descompromissado com as questões ambientais. Tratam-se de áreas verticalizadas, com baixa porcentagem de vegetação e alta porcentagem de solo exposto (Figura 90).

Figura 90 - Gráfico Comparativo das Porcentagens de Solo Exposto



Além da maior porcentagem de relvado, a área dos Ministérios tem também a maior porcentagem de asfalto (Figura 91). No período seco, estes fatores fazem da Esplanada dos Ministérios um ambiente urbano árido e pouco confortável para permanência. Na etapa de análise do campo térmico, do presente estudo, abordaremos os parâmetros de classificação das temperaturas das áreas analisadas, quando esta questão será retomada.

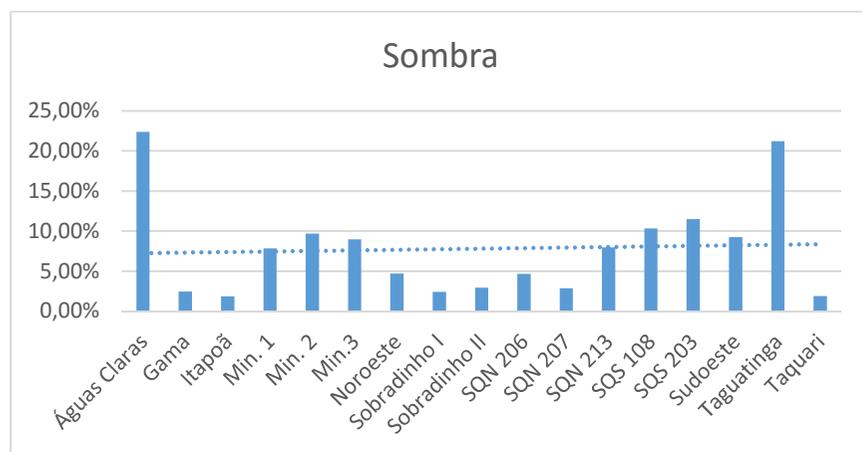
Figura 91 - Gráfico Comparativo das Porcentagens de Asfalto



Águas Claras, seguido por Taguatinga têm as maiores porcentagens de sombra, indicando a maior verticalização (Figura 92). Este é também um diferencial entre Plano Piloto e Regiões Administrativas, onde o primeiro

tem limitações de alturas dos edifícios - definidas pela Lei de Uso e Ocupação do Solo – LUOS (PLC 079/2013)¹⁵ - e Plano de Preservação do Conjunto Urbanístico de Brasília - PPCUB (PLC 52/2012 e PLC 78/2013)¹⁶ - o que favorece as baixas densidades, e portanto, o equilíbrio ambiental urbano. No que se refere a Águas Claras e Taguatinga, os índices de ocupação permitidos pela LUOS (Anexos II e XXIII), contudo, são exceções às regras para as demais Regiões Administrativas, que de maneira geral não são verticalizadas.

Figura 92 - Gráfico Comparativo das Porcentagens de Sombra

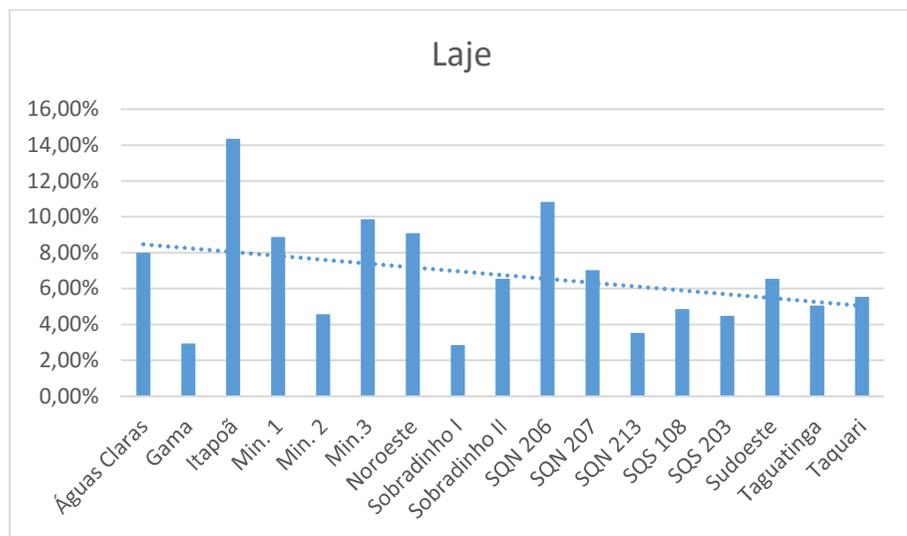


Itapoã apresenta a maior porcentagem de laje (Figura 93) e telha cinza (alta emissividade) e é o segundo colocado em porcentagem de asfalto, o que caracteriza a intensa impermeabilização desta área. Contudo, considerando o material Laje impermeabilizada especificamente, as demais áreas do ranking são do Plano Piloto (média emissividade), uma vez que este material é característico dos edifícios modernistas. Nas Regiões Administrativas existem maior porcentagem de telha cinza, de maneira geral, que no Plano Piloto, o que também é devido as formas de ocupação do território urbano e às tipologias dos edifícios. Sobradinho II tem maior porcentagem de telha cerâmica, sendo que nas áreas do Plano Piloto este tipo de cobertura praticamente inexistente. Esta característica demonstra que, os padrões construtivos e materiais utilizados nas Regiões Administrativas, assemelham-se aos utilizados nas cidades tradicionais. Enquanto a configuração urbana e os materiais construtivos de Brasília são referências para os bairros e cidades “planejadas”.

¹⁵ <http://www.segeth.df.gov.br/luos-2/>. Acesso em abril de 2018.

¹⁶ <http://www.segeth.df.gov.br/ppcub-3/>. Acesso em abril de 2018.

Figura 93 - Gráfico Comparativo das Porcentagens de Laje



Em síntese, do ponto de vista dos materiais de superfícies urbanas, nota-se que no Plano Piloto predomina a presença de vegetação (evapotranspiração), tanto do relvado, quanto das Copas de Árvores, o que a identifica como cidade jardim. Devido ao período seco, este relvado transforma-se em solo exposto (alto albedo e emissividade), o que influencia a elevação das temperaturas nestes locais (saldo de radiação de ondas longas e curtas), caracterizando-os como prováveis “ilhas de calor”. Assim, as extensas áreas verdes (de vegetação rasteira) do Plano Piloto precisam ser reavaliadas do ponto de vista da qualidade ambiental. O caminho seria a arborização e manutenção destas áreas. A

presença de vegetação (evapotranspiração) densa contribui para amenizar as temperaturas, como veremos nas próximas etapas deste estudo.

Em termos dos materiais construtivos utilizados nos edifícios, observamos que devido aos grades afastamentos e baixas densidades do Plano Piloto, a influencia é menor do que a da vegetação. Contudo, estes materiais de revestimentos de fachadas serão analisados posteriormente, na sequência deste estudo, nas imagens da câmera termográfica.

Inversamente ao Plano Piloto, quanto aos materiais de revestimentos das superfícies urbanas nas Regiões Administrativas, o predomínio é da impermeabilização do solo. Devido ao maior adensamento, não apenas em áreas verticalizadas como Águas Claras e Taguatinga, mas em áreas de ocupação horizontal, onde não há recuos suficientes, nem frontais, nem laterais, como Itapoã, por exemplo. No quesito presença de vegetação (evapotranspiração) nas Regiões Administrativas, contudo, a exceção é Sobradinho I, que apresenta porcentagem próxima às das melhores áreas do Plano Piloto para Copas de Árvore. O desenho urbano das áreas habitacionais desta Região Administrativa destina grandes áreas internas para vegetação (evapotranspiração). Contemporânea ao desenvolvimento de Brasília, Sobradinho I, difere-se das demais Regiões Administrativas quanto às características de qualidade ambiental.

A análise quantitativa, da influencia dos materiais de revestimentos de superfícies urbanas sobre as temperaturas, será abordada na sequência deste estudo, no capítulo sobre as correlações estatísticas, ao final. No próximo capítulo, a análise morfológica das áreas amostrais, caracterizada no fator W/H.

5.1.2. Correlação entre o NDVI e Copa de Árvore

O processamento do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI, no presente trabalho, tem como base as ortofotos de agosto de 2015, com resolução de 0,24m, sem incidência de nuvens, cedidas pelo NUGET – Núcleo de Geoprocessamento e Topografia - da TERRACAP – Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal. O processamento do NDVI é possível nestas ortofotos uma vez que têm a banda do infravermelho. O software utilizado para os processamentos foi o Quantum Gis, comando Calculadora Raster. Os resultados para as áreas analisadas no DF estão na Tabela 37.

Para correlacionar o NDVI com as porcentagens de Copa de Árvores específicas de cada área analisada (Tabela 36), fizemos o buffer (de 5 metros para cada lado) dos transectos¹⁷(ver imagens dos Anexos I e II).

Tabela 37 – Correlação entre NDVI e Porcentagem de Copa de Árvore

ÁREA	NDVI ¹⁸	Copa de Árvore
SQS_108	0,327900747	33,73%
SQN_206	0,322947395	28,29%
Sudoeste	0,309692791	18,93%
Sobradinho_I	0,287730007	15,33%
SQN_213	0,256439388	33,89%
Gama	0,21446217	8,72%
SQS_203	0,205956906	38,61%
Sobradinho_II	0,203708832	7,90%
SQN_207	0,202539798	20,23%
Taguatinga	0,159504063	3,14%
Águas Claras	0,140134643	2,50%
Noroeste	0,114453103	4,84%
Taquari	0,104741628	8,86%
Min_I	0,103516932	9,15%
Itapoã	0,06996591	8,31%
	R	0,664681351

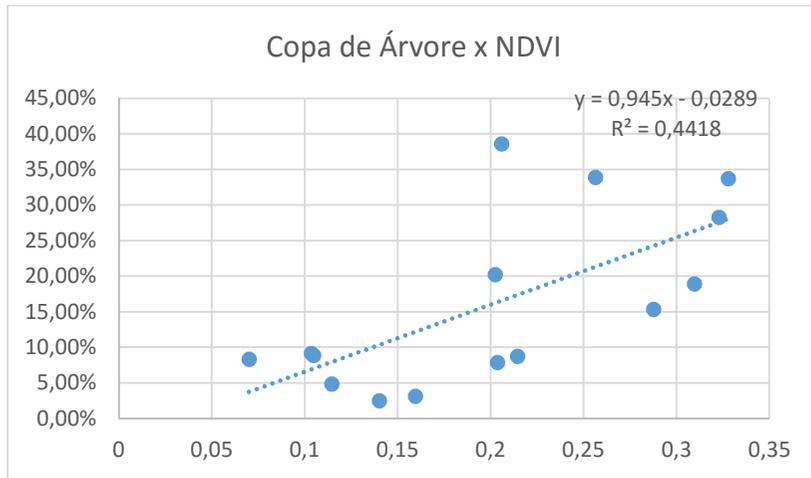
Fonte: elaborada pela autora.

¹⁷ O comando Estatística por Zona do menu Raster – Qgis – gera os índices de vegetação dos transectos, que por sua vez aparecem na tabela de atributos do arquivo “shape”.

¹⁸ Valor médio para o buffer estabelecido.

A correlação entre os Índices de Vegetação encontrados e a porcentagem Copa de Árvore é moderada e ascendente (Figura 94), cujo coeficiente de correlação (r) é 0,6647 e coeficiente de determinação (R^2) é 0,4418.

Figura 94 – Gráfico de Correlação entre Copa de Árvore e NDVI



Fonte: elaborado pela autora.

Assim, o NDVI representa um importante indicador para a análise ambiental urbana, do conforto térmico e da espacialidade da vegetação.

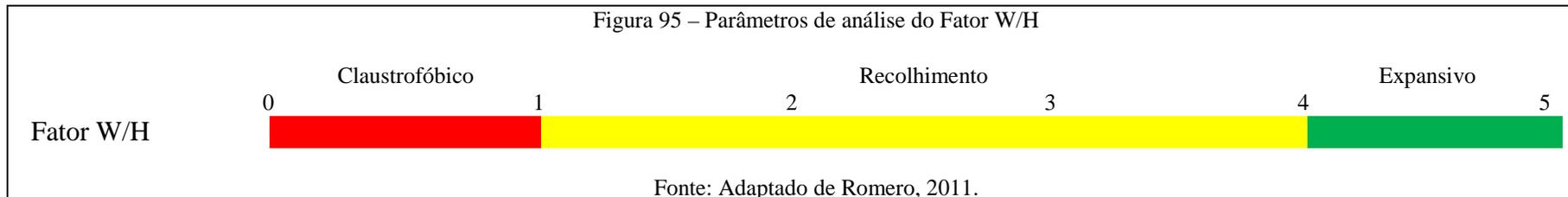
5.2. Análise da Morfologia Urbana de Brasília - DF

Para caracterizar a morfologia urbana das áreas e relacioná-la ao campo térmico urbano, utilizamos o fator W/H. O fator W corresponde à largura da caixa da rua (incluindo calçadas e leito carroçável). O fator H é a altura dos Edifícios. Este fator caracteriza os cânions urbanos, tem relação com as questões de ventilação urbana e também relaciona-se à Densidade de Ocupação das áreas, aspectos influenciadores do campo térmico urbano.

Para efeito desta tese o fator W/H é classificado segundo Romero (2011), que estabelece (Figura 95):

- $W \leq H$ ambientes urbanos claustrofóbicos;
- $1H \leq W \leq 4H$ ambientes urbanos de recolhimento; e
- $W \geq 4H$ ambientes urbanos expansivos.

Figura 95 – Parâmetros de análise do Fator W/H



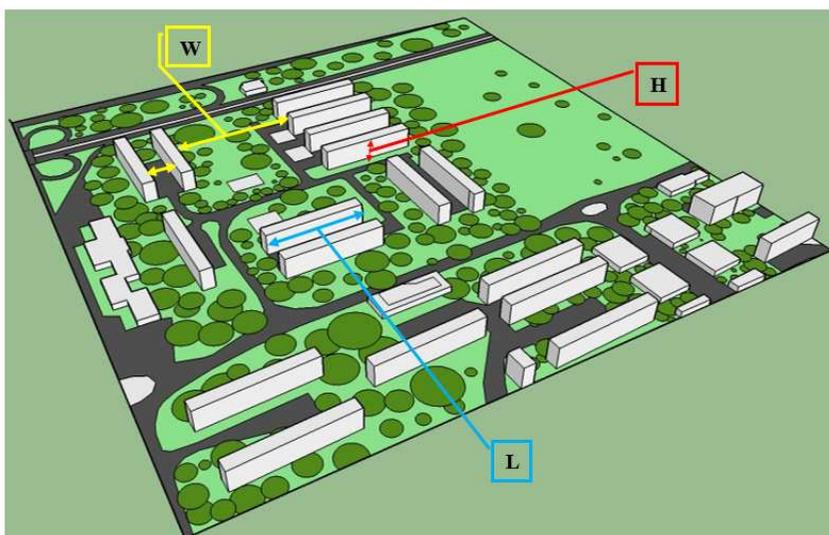
Fonte: Adaptado de Romero, 2011.

SQN 206

A data da construção da SQN 206 é de 1977 – 78 e foi projetada por Marcílio Mendes Ferreira (MAGALHÃES, 2009).

Típica Superquadra da Asa Norte de Brasília, a SQN 206 faz divisa com a SQN 205, a SQN 207 e a SQN 406. O acesso principal para a SQN 206 é pela Via ERL – Norte (Eixinho). As zonas de uso dividem-se entre comercial e residencial, entremeadas pelas áreas verdes e “cinturões” formados pela arborização. Os blocos de apartamentos têm seis pavimentos e pilotis (Figura 96).

Figura 96 - Fator W/H/L da SQN 206



Segundo a classificação proposta por Romero (2011), a relação W/H na SQN 206 indica dois tipos de ambientes urbanos: ambiente de recolhimento para o fator $W=H$ e ambiente expansivo para o $W=5H$ (Tabela 38).

Tabela 38 – Tabela dos Fatores W/H/L da SQN 206

	Pontos	W	H	W/H	L	W/H/L
SQN 206	1	22	21	1,047619048	80	0,013095238
	2	105	21	5	80	0,0625

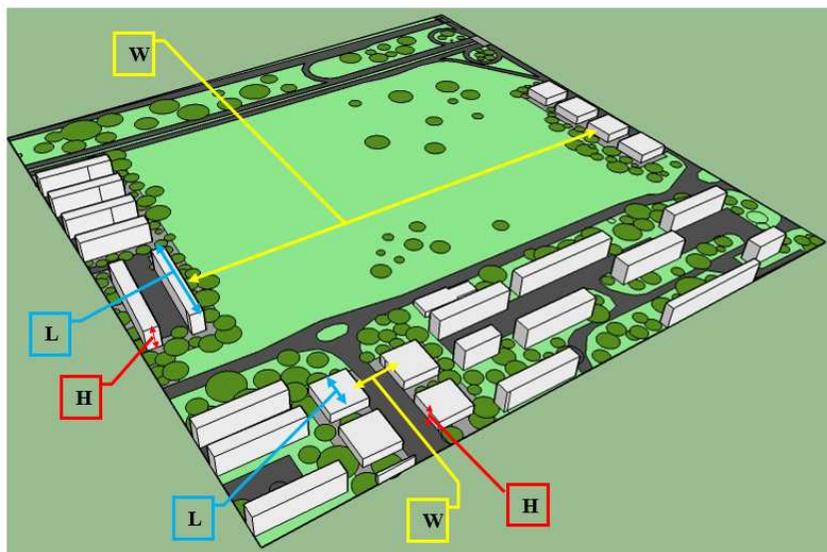
A percepção in loco é de temperaturas amenas e embora tenha características típicas das Superquadras do Plano Piloto, a área comercial da SQN 206 difere-se das demais com fachadas fora dos padrões convencionais. Este aspecto peculiar, contudo, não influencia nas questões de análise deste estudo.

SQN 207

Superquadra da Asa Norte de Brasília, a SQN 207 faz divisa com a SQN 206, a SQN 208 e SQN 407. O acesso principal para a SQN 207 é pela Via ERL – Norte (Eixinho).

Embora tenha os edifícios da área comercial, os quais fazem divisa com a SQN 208, a SQN 207 é a única Superquadra do Plano Piloto que ainda não foi ocupada e caracteriza-se por uma grande área de vegetação rasteira (Relvado) no meio da Asa Norte (Figura 97).

Figura 97 - Fator W/H/L da SQN 207



Segundo a classificação proposta por Romero (2011), a relação W/H na SQN 207 indica ambiente de recolhimento na área comercial, com o fator $W=2H$, e ambiente expansivo na área sem ocupação, com o fator $W \geq 4H$ (Tabela 39).

Tabela 39 – Tabela dos Fatores W/H/L da SQN 207

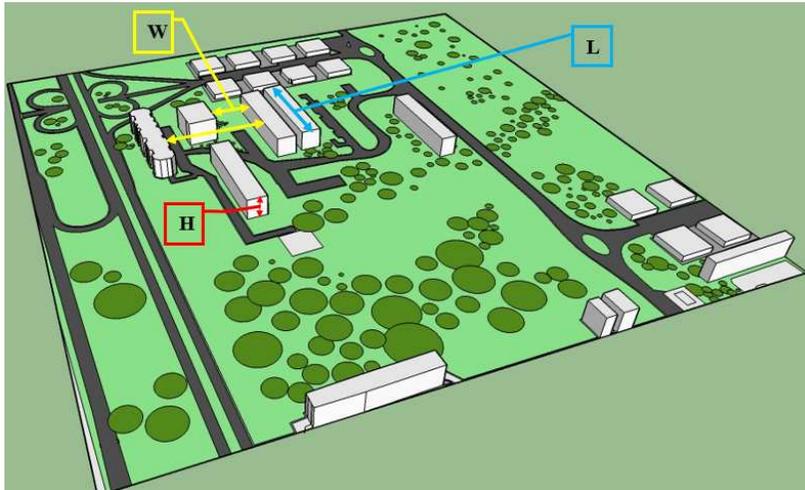
	Pontos	W	H	W/H	L	W/H/L
SQN 207	Comercial	24	10	2,4	27	0,088888889
	Quadra	400	21	19,04	80	0,23809524

No período seco do ano – dos meses de junho a setembro – esta área alcança altas temperaturas, caracterizando-se como uma ilha de calor urbana. Isto comprova que não apenas as altas densidades provocam aquecimento das áreas, mas locais sem vegetação ou com solo exposto (alto albedo e emissividade) também são nocivos ao campo térmico urbano (saldo de radiação de ondas longas e curtas).

SQN 213

Também situada na Asa Norte de Brasília, a SQN 213 faz divisa com o Parque Olhos D'água e uma densa área arborizada. O acesso principal é pela Via ERL – Norte (Eixinho). Semelhantermente, as zonas de uso dividem-se entre área comercial e residencial, e os blocos de apartamentos têm seis pavimentos e pilotis. Esta quadra, contudo, diferencia-se pelo menor número de edifícios e maior área verde (Figura 98).

Figura 98 - Fator W/H/L da SQN 213



Segundo a classificação proposta por Romero (2011), a relação W/H na SQN 213 indica ambiente urbano de recolhimento para os fatores $W=H$ e $W=3H$ (Tabela 40).

Tabela 40 – Tabela dos Fatores W/H/L da SQN 213

	Pontos	W	H	W/H	L	W/H/L
SQN 213	1	20	21	0,952380952	90	0,010582011
	2	30	21	1,428571429	90	0,015873016
	3	60	21	2,857142857	90	0,031746032

A SQN 213, diferente da demais Superquadras, não apresenta o ambiente urbano expansivo, pois é lindeira à uma densa massa arbórea de

preservação, e a área destinada aos edifícios é menor. Isto a torna um ambiente urbano privilegiado do ponto de vista da Qualidade Ambiental.

SQS 108

Típica Superquadra da Asa Sul de Brasília, a SQS 108 tem como acesso principal a Via ERL – Sul (Eixinho) e faz divisa com as quadras SQS 107, SQS 109 e SQS 308. As zonas de uso dividem-se entre comercial e residencial, entremeadas pelas áreas verdes e “cinturões” formados pela arborização. Os blocos de apartamentos têm seis pavimentos e pilotis (Figura 99).

Figura 99 - Fator W/H/L da SQS 108



Segundo a classificação proposta por Romero (2011), a relação W/H na SQS 108 indica ambiente urbano de recolhimento para os fatores W=H e W=3H (Tabela 41).

Tabela 41 – Tabela dos Fatores W/H/L da SQS 108

	Pontos	W	H	W/H	L	W/H/L
SQS 108	1	20	21	0,952380952	80	0,011904762
	2	62	21	2,952380952	80	0,036904762

Um das primeiras superquadras de Brasília, a SQS 107 e a SQS 108 datam de 1959 e foram projetadas por Oscar Niemayer. O racionalismo característico do Plano Piloto manifestava-se, assim, em tais superquadras, as quais deveriam servir de referência para as demais. Contudo, a SQS 308 (1959) é que recebe o título de “Quadra Modelo”. Esta superquadra foi projetada para o Banco do Brasil e teve como autores Marcelo Campello e Sérgio Rocha, além do paisagismo de Burle Marx. A disposição interna da quadra tem propriedades peculiares em relação aos espaços públicos, e ao invés dos tradicionais 11 blocos de apartamentos das demais, nesta constam apenas 09 (MAGALHÃES, 2009).

SQS 203

Também típica Superquadra da Asa Sul de Brasília, a SQS 203 tem como acesso principal a Via ERL – Sul (Eixinho) e faz divisa com as quadras SQS 202, SQS 204 e SQS 403. As zonas de uso dividem-se entre comercial e residencial, entremeadas pelas áreas verdes e “cinturões” formados pela arborização. Os blocos de apartamentos têm seis pavimentos e pilotis.

Segundo a classificação proposta por Romero (2011), a relação W/H na SQS 203 indica dois tipos de ambientes urbanos: ambiente de recolhimento para o fator W=H e ambiente expansivo para o W=5H (Tabela 42).

Tabela 42 – Tabela dos Fatores W/H/L da SQS 203

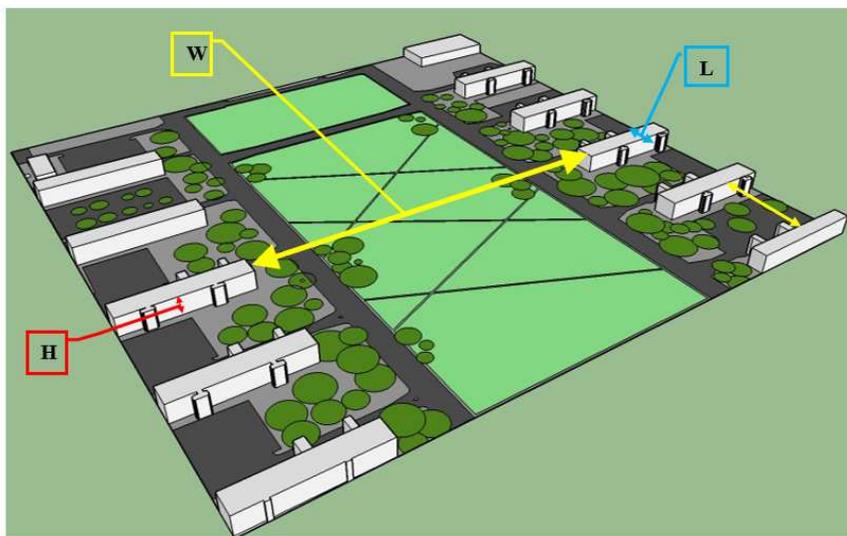
	Pontos	W	H	W/H	L	W/H/L
SQS 203	1	20	21	0,952380952	84	0,011337868
	2	100	21	4,761904762	84	0,056689342

As características históricas e projetuais das superquadras da Asa Sul as tornam importantes referências dos aspectos morfológicos da Arquitetura de Brasília.

Ministérios

Lugar simbólico da Capital Federal, a Esplanada dos Ministérios exerce importante influência ao campo térmico urbano do Plano Piloto. A extensa área entre os edifícios, aberta, desocupada, própria para abrigar as manifestações populares, é também grande área de vegetação rasteira (Relvado), a qual no período seco do ano alcança elevadas temperaturas (Figura 100).

Figura 100 - Fator W/H/L da área dos Ministérios



Segundo a classificação proposta por Romero (2011), a relação W/H na Área dos Ministérios indica dois tipos de ambientes urbanos: ambiente

de recolhimento para o fator $W=2H$ e ambiente expansivo para o $W \geq 4H$. Na área dos Ministérios, $W=5H$ e $W=10H$ (Tabela 43).

Tabela 43 – Tabela dos Fatores W/H/L da Área dos Ministérios

	Pontos	W	H	W/H	L	W/H/L
Ministérios	1 - Ministérios	310	30	10,33333333	18	0,574074074
	2 - Anexos	80	15	5,333333333	20	0,266666667
	3 - Câmara	150	74	2,027027027	50	0,040540541

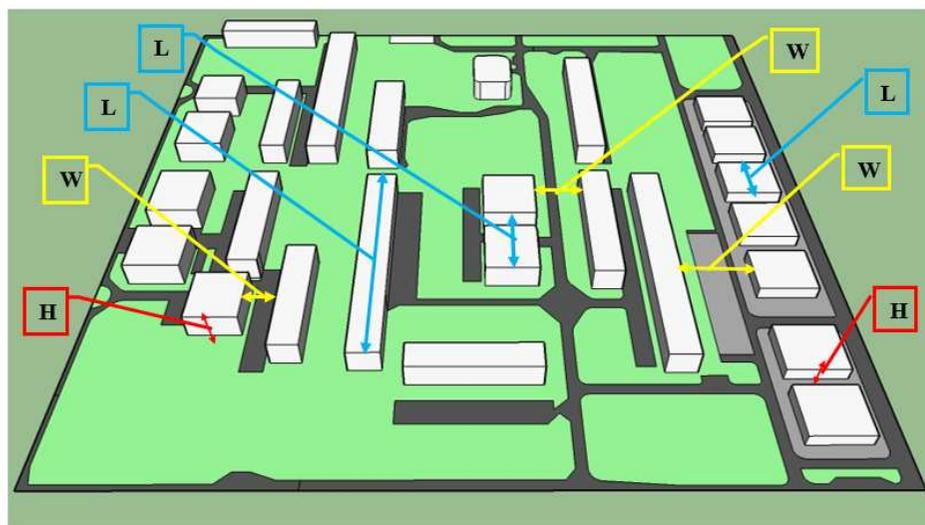
Quanto ao fator W/H da área dos Ministérios, os valores são bem diferentes entre as três áreas amostrais analisadas, uma vez a Esplanada é uma área simbólica, atípica aos padrões de ocupações de áreas urbanas das cidades, mesmo das planejadas. Contudo, a análise desta área é importante do ponto de vista da Qualidade Ambiental Urbana, sobretudo devido à grande influência térmica que exerce sobre o microclima local.

Setor Noroeste

A concepção do Setor Noroeste faz parte do Projeto Brasília Revisitada, elaborado entre 1985 e 1987 pelo urbanista Lucio Costa (CODEPLAN, 2018), e é a área de ocupação mais recente do Plano Piloto. Os lotes do Setor Noroeste começaram a ser comercializados em 2008 e a execução

das obras tem sido alvo de várias críticas do ponto de vista da Arquitetura e do Planejamento Urbano (Figura 101). O Setor surgiu com a proposta de seguir o modelo das Superquadras típicas de Brasília, mas dentro de uma visão de sustentabilidade. A abertura das quadras e execução dos edifícios, contudo, não têm correspondido às expectativas. Conceitualmente, a implantação do Setor deveria considerar os impactos causados pela abertura das vias e retiradas da vegetação nativa, entre outras questões tais como o assoreamento. Contudo, desde a infraestrutura urbana, as obras tem sido alvo de críticas por especialistas da área e até mesmo de ações judiciais (JANUZZI, 2016).

Figura 101 - Fator W/H/L do Setor Noroeste



Segundo a classificação proposta por Romero (2011), a relação W/H no Setor Noroeste indica dois tipos de ambientes urbanos: ambiente de recolhimento para os fatores $W=1,25H$ e $W=1,70H$, e ambiente expansivo para o fator $W=5H$ (Tabela 44).

Tabela 44 – Tabela dos Fatores W/H/L do Setor Noroeste

	Pontos	W	H	W/H	L	W/H/L
Setor	1 - Entre Blocos	30	24	1,25	160	0,0078125
	2 - Vias	40	24	1,666666667	36	0,046296296
	3 - Comercial	60	12	5	36	0,138888889

O Marketing elaborado entorno do conceito de “Bairro Sustentável”, “Primeiro Bairro Ecológico do Brasil” fez com que os preços das áreas do Setor Noroeste ficassem elevados, tornando-se o metro quadrado mais caro de Brasília. Este fato, contudo, fez com que as áreas ficassem estagnadas, pouca procura por compradores e conseqüentemente as obras paradas, sendo que atualmente ainda estão em andamento. Menos da metade das quadras estão executadas e com moradores (JANUZZI, 2016).

A ocupação atual, contudo, já permite uma avaliação do que virá a caracterizar o Setor. O local é dotado de pouca ou nenhuma arborização e extensas áreas de vegetação rasteira, a qual transforma-se em solo

exposto (alto albedo e emissividade) no período seco do ano, o que torna o Setor Noroeste um campo térmico urbano prejudicado (saldo de radiação de ondas longas e curtas). Somando-se a isto, os materiais de revestimentos dos edifícios, tais como as fachadas inteiras em vidros reflexivos, em alguns casos orientadas à Oeste e Norte, contrariam os princípios bioclimáticos e prejudicam o conforto térmico.

Setor Sudoeste

Apesar de estar previsto no Projeto Brasília Revisitada, do urbanista Lucio Costa, de 10 de julho de 1989, a região só começou a ser habitada em 1993, com a construção dos primeiros prédios residenciais (Figura 102) e comerciais (CODEPLAN, 2018).

Figura 102 - Fator W/H/L do Setor Sudoeste



Segundo a classificação proposta por Romero (2011), a relação W/H no Setor Sudoeste indica apenas ambiente urbano de recolhimento para os fatores $W=1,70H$ e $W=3,8H$ (Tabela 45).

Tabela 45 – Tabela dos Fatores W/H/L do Setor Sudoeste

	Pontos	W	H	W/H	L	W/H/L
Setor Sudoeste	1	35	21	1,666666667	80	0,020833333
	2	80	21	3,80952381	80	0,047619048

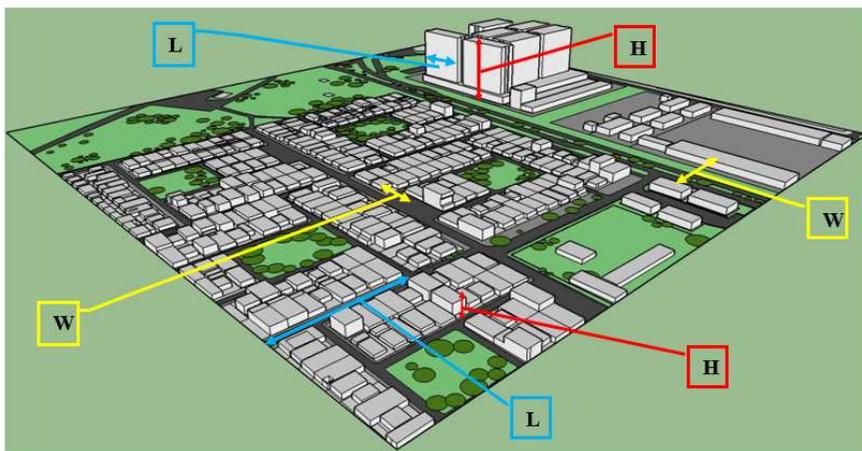
O Setor Sudoeste faz divisa com o Parque da Cidade e é considerado como uma das melhores áreas do Plano Piloto, tanto em termos de qualidade das habitações, quanto da prestação de serviços existentes no local. Do ponto de vista ambiental, assemelha-se às Superquadra da Asa Sul, contudo, apresenta menor quantidade da presença de vegetação (evapotranspiração). Isto demonstra que o projeto original do Plano Piloto de Brasília tem características que foram se perdendo ao longo do tempo, em seus desdobramentos, como ocorre no Setor Sudoeste e no Setor Noroeste (neste em maiores proporções).

Gama:

Situada na porção Sudoeste do Distrito Federal, a Região Administrativa “do Gama”, como é popularmente chamada, pode ser visualizada desde a imagem aérea de 1964 (Figura 31), o que comprova sua origem e desenvolvimento simultâneos ao Plano Piloto.

Esta Região Administrativa, assim como as outras do Distrito Federal (exceto o Plano Piloto), foi criada para alojar as pessoas residentes em invasões ou núcleos populacionais provisórios, solução encontrada para abrigar o excedente populacional em virtude da construção de Brasília, surgindo, então, as denominadas "cidades-satélites" (Figura 103), conforme a Lei Número 3751, de 13 de abril de 1960 (CODEPLAN, 2018).

Figura 103 - Fator W/H/L da Região Administrativa Gama



Segundo a classificação proposta por Romero (2011), a relação W/H no Gama indica dois tipos de ambientes urbanos: ambiente de recolhimento para o fator $W=2H$ e ambiente claustrofóbico para o $W=0,2H$ e $W=0,7H$ (Tabela 46).

Tabela 46 – Tabela dos Fatores W/H/L da Região Administrativa do Gama

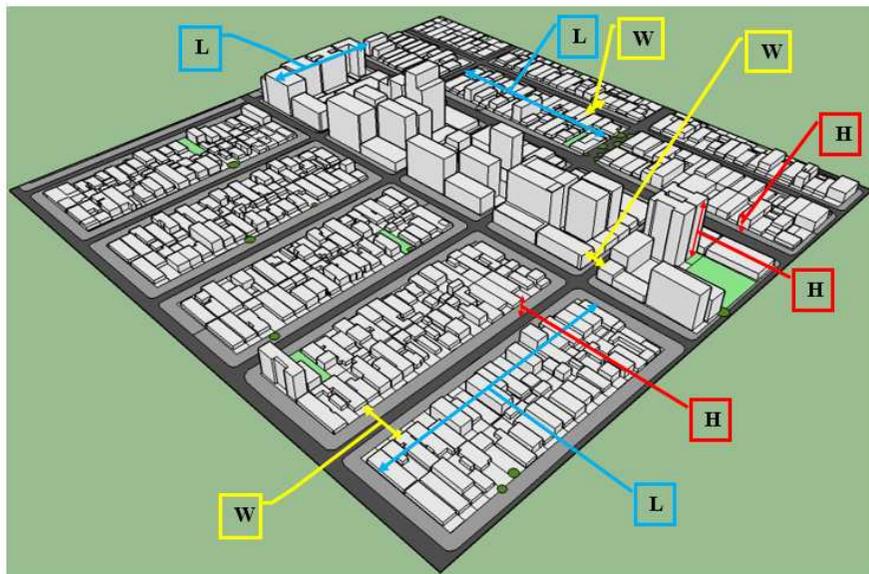
	Pontos	W	H	W/H	L	W/H/L
Gama	1	6,5	3	2,166666667	100	0,021666667
	2	13	66	0,196969697	40	0,004924242
	3	47	66	0,712121212	40	0,01780303

Esta RA tem áreas cujas densidades de ocupação são diferentes. Apesar do ambiente predominante ser o de recolhimento, os ambientes claustrofóbicos estão em meio as áreas verticalizadas.

Taguatinga

Situada na porção Oeste do Plano Piloto, Taguatinga foi fundada em 05 de junho de 1958, antes mesmo da inauguração de Brasília, a qual teve projeto iniciado em 1956 por Lucio Costa e foi inaugurada em 21 de abril de 1960. A então cidade de Taguatinga (Figura 104) abrigaria a população de trabalhadores participantes da construção da capital federal.

Figura 104 - Fator W/H/L da Região Administrativa Taguatinga



Segundo a classificação proposta por Romero (2011), a relação W/H em Taguatinga indica os três tipos de ambientes urbanos: ambiente expansivo para o fator $W=4H$ (residências unifamiliares), ambiente de recolhimento para o fator $W=2,5H$ (residências unifamiliares com ruas mais estreitas), e ambiente claustrofóbico para o fator $W=0,3H$, que apresenta-se na área verticalizada (Tabela 47).

Tabela 47 – Tabela dos Fatores W/H/L da Região Administrativa Taguatinga

	Pontos	W	H	W/H	L	W/H/L
Taguatinga	1	25	6	4,166666667	200	0,020833333
	2	12	39	0,307692308	105	0,002930403
	3	15	6	2,5	180	0,013888889

Diferente das demais Regiões Administrativas do DF, a história de Taguatinga é anterior à mudança da Capital Federal para Brasília, tem origem em um núcleo Bandeirante que ocupou a região em 1749. Dois séculos mais tarde, a construção de Brasília vem consolidar Taguatinga, que abrigou parte do contingente de operários (CODEPLAN, 2018).

Sobradinho I

Situada na porção Nordeste do DF, Sobradinho surgiu da necessidade de alojar as famílias imigrantes do Nordeste de Goiás, da Bahia e de outros estados. Essas pessoas foram transferidas para as margens da antiga estrada que ligava a cidade goiana de Planaltina à nova capital (Figura

105). Esta RA foi fundada no dia 13 de maio de 1960 (CODEPLAN, 2018).

Figura 105 - Fator W/H/L da Região Administrativa Sobradinho I



Segundo a classificação proposta por Romero (2011), a relação W/H em Sobradinho I indica dois tipos de ambientes urbanos: ambiente de recolhimento para o fator $W=3H$ (área residencial) e ambiente expansivo para o $W=6,67H$ - largas áreas verdes entre as quadras residenciais (Tabela 48).

Tabela 48 – Tabela dos Fatores W/H/L da Região Administrativa Sobradinho I

	Pontos	W	H	W/H	L	W/H/L
Sobrad. I	1	10	3	3,333333333	360	0,009259259
	2	40	6	6,666666667	360	0,01851852

Esta é uma RA diferente das demais no quesito desenho urbano.

Sobradinho II

Sobradinho II, também conhecido como Setor Oeste de Sobradinho, surgiu devido a uma situação crítica com relação ao crescimento populacional, pois diversos lotes residenciais abrigavam diversas famílias (Figura 106). Com o passar dos anos houve o inchaço populacional, dentro de uma área que não possuía ainda projeto de expansão territorial. Em 1990, o então Governador do Distrito Federal, Joaquim Roriz instituiu um programa habitacional para a população de baixa renda, sendo implantados assentamentos em diversas cidades do Distrito Federal (CODEPLAN, 2018).

Figura 106 - Fator W/H/L da Região Administrativa Sobradinho II



Segundo a classificação proposta por Romero (2011), a relação W/H em Sobradinho II indica ambiente urbano expansivo, com fator $W=5H$. Não há verticalização e as vias são largas (Tabela 49).

Tabela 49 – Tabela dos Fatores W/H/L da Região Administrativa Sobradinho II.

	Pontos	W	H	W/H	L	W/H/L
Sobrad. II	1	15	3	5	110	0,045454545

A forma de ocupação do espaço urbano pelas habitações em Sobradinho II é mais densa que em Sobradinho I. Embora as vias sejam mais largas, não há destinação de áreas verdes entre as quadras e a presença de arborização significativa ocorre apenas na área de preservação adjacente à RA (situada entre Sobradinho I e II).

Setor Taquari

O Setor Habitacional Taquari pertence a região administrativa do Lago Norte, no Distrito Federal, foi implantado em 2002, e é formado basicamente por residências unifamiliares de padrão médio-alto (Figura 107), comércio local e equipamentos comunitários (CODEPLAN, 2018).

Figura 107 - Fator W/H/L do Setor Taquari (Região Administrativa Lago Norte)



Segundo a classificação proposta por Romero (2011), a relação W/H no Setor Taquari indica ambiente urbano de recolhimento para o fator $W=2,7H$. As residências são unifamiliares, em sua maioria de dois pavimentos (Tabela 50).

Tabela 50 – Tabela dos Fatores W/H/L do Setor Taquari (Região Administrativa Lago Norte)

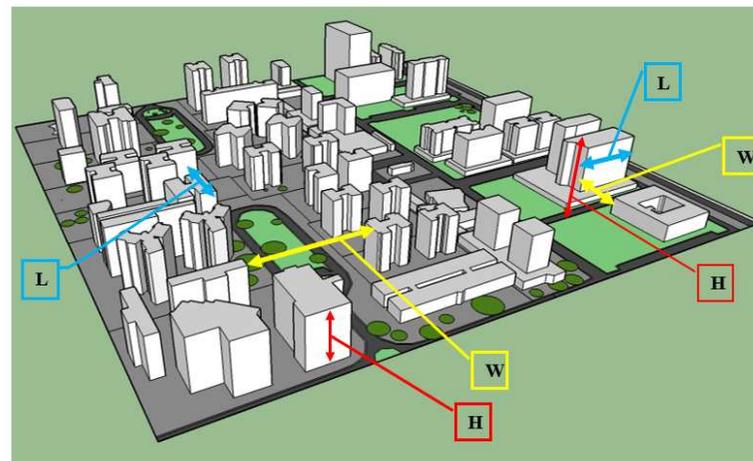
	Pontos	W	H	W/H	L	W/H/L
S. Taquari	1	16	6	2,666666667	230	0,011594203

Típico bairro residencial de cidades convencionais, a análise do Setor Taquari torna-se importante. É também uma área pouco adensada, pertencente ao Plano Piloto, mas isolada do ponto de vista espacial, o que a confere identidade própria.

Águas Claras

Popularmente denominada de Manhattan Candanga, a RA Águas Claras situa-se na porção Oeste do DF. Originalmente Águas Claras era um bairro de Taguatinga. Em dezembro de 1992 a Lei Distrital n.º 385 autorizou a implantação do bairro e aprovou o respectivo plano de ocupação. Projetada pelo arquiteto e urbanista Paulo Zimbres, Águas Claras começou a ser construída logo após sua criação (Figura 108). Tornou-se região administrativa do Distrito Federal a partir de 2003, por meio da Lei Distrital n.º 3153, de 06 de maio (CODEPLAN, 2018).

Figura 108 - Fator W/H/L da Região Administrativa Águas Claras



Segundo a classificação proposta por Romero (2011), a relação W/H em Águas Claras indica dois tipos de ambientes urbanos: ambiente de recolhimento para o fator $W=1,42H$ (praça) e ambiente claustrofóbico para o $W=0,62H$ e $W=0,67$ - entre os edifícios (Tabela 51).

Tabela 51 – Tabela dos Fatores W/H/L da Região Administrativa Águas Claras

	Pontos	W	H	W/H	L	W/H/L
Águas Claras	1	37	48	0,77083333	23	0,03351449
	2	85	48	1,77083333	36	0,04918981
	3	40	48	0,83333333	25	0,03333333

Em um período de tempo inferior a 10 anos, a verticalização e consequente alta densidade populacional de Águas Claras eram realidade. A região administrativa notabilizou-se pelo seu crescimento

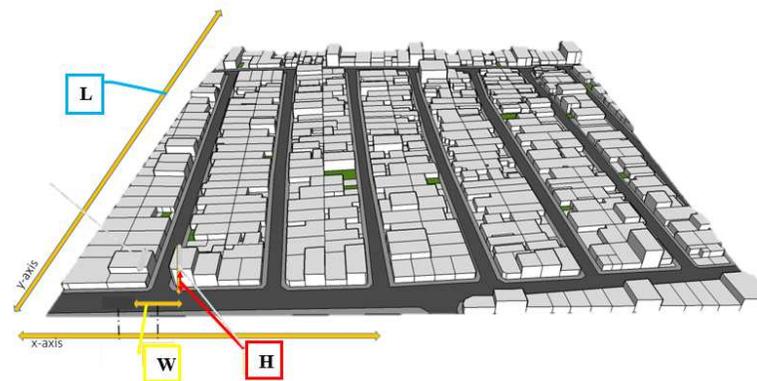
acelerado, com grandes e diversificados empreendimentos imobiliários surgindo a cada mês.

Itapoã

A RA de Itapoã situa-se na porção Leste do DF. A ocupação da área, anteriormente pertencente a Sobradinho, mas mais próxima da região administrativa do Paranoá, começou como uma invasão irregular. Sem medidas por parte do Governo do Distrito Federal (GDF), a invasão cresceu, trazendo migrantes de várias partes do Brasil. Para legalmente poder atender à população, em 3 de janeiro de 2005, o GDF criou a região administrativa de Itapoã, oferecendo assim melhores condições (CODEPLAN, 2018).

Sob o ponto de vista morfológico, a ocupação de Itapoã é uma das mais deficientes. As ruas estreitas, cujas calçadas praticamente inexistem (Figura 109). O padrão construtivo das habitações, ocupando o lote quase que em sua totalidade, sem ventilação natural e pouca iluminação. Não existem áreas verdes e a impermeabilização do solo é quase total.

Figura 109 - Fator W/H/L da Região Administrativa Itapoã



Segundo a classificação proposta por Romero (2011), a relação W/H em Itapoã ambientes urbanos de recolhimento para o fator $W=2H$. Não há verticalização (Tabela 52).

Tabela 52 – Tabela dos Fatores W/H/L da Região Administrativa Itapoã

	Pontos	W	H	W/H	L	W/H/L
Itapoã	1	8	3	2,67	260	0,01025641

Embora não haja verticalização, a RA tem média densidade – cerca de 50 339 habitantes (Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílio - PDAD 2010/2011). De acordo com dados do GDF, atualmente, há na região um posto de saúde, três escolas, áreas de lazer e coleta de esgoto. O

abastecimento de água e eletricidade, segundo a administração regional, atinge 100% da cidade.

Segundo orientações de moradores locais, sob o ponto de vista da segurança, é preciso ter cuidado para circular em Itapoã em horários pouco movimentados.

5.2.1. Síntese dos Resultados para o fator W/H

Para os resultados das relações W/H das áreas analisadas, a maioria caracteriza-se por ambientes de recolhimento, isto é, com fator $1H \leq W \leq 4H$. São as áreas: SQN 206, SQN 207 (área comercial), SQN 213, SQS 108, SQS 203, área entre os blocos dos edifícios dos Ministérios, Setor Noroeste, Setor Sudoeste, Gama, Taguatinga, Sobradinho I (ruas internas), Águas Claras (praça), Setor Taquari e Itapoã.

Como ambientes expansivos, isto é, $W \geq 4H$, apresentam-se: SQN 206 (área interna da quadra), SQN 207 (toda a área destinada aos blocos que ainda não existem), SQS 203 (área interna da quadra), a Esplanada dos Ministérios, o Setor Noroeste (área comercial), Taguatinga (ruas mais antigas, da área de residências térreas), Sobradinho I (área verde interna das quadras residenciais), Sobradinho II (vias internas largas).

E finalmente, como exemplos de ambientes urbanos claustrofóbicos - $W \leq H$ - no DF, temos: as áreas verticalizadas de Águas Claras, Taguatinga e Gama.

De maneira geral, a disposição dos edifícios em Brasília - DF, mesmo nas áreas mais adensadas permitem ventilação moderada, diferente por exemplo, dos cânions urbanos dos centros tradicionais brasileiros, como o da Avenida Paulista, na capital de São Paulo, caracterizado por um longo corredor de vento.

Ao final deste estudo apresenta-se a correlação estatística entre o fator W/H e as temperaturas médias das superfícies urbanas das áreas analisadas. Tais correlações consideram os dados da Tabela 53. Na sequência da análise, apresenta-se o campo térmico urbano.

Tabela 53 – Tabela do fator W/H/L das 17 áreas analisadas						
	Pontos	W	H	W/H	L	W/H/L
SQN 206	1	22	21	1,047619048	80	0,013095238
	2	105	21	5,000000000	80	0,062500000
SQN 207	Comercial	24	10	2,400000000	27	0,088888889
	Quadra	400	21	19,040000000	80	0,238095240
SQN 213	1	20	21	0,952380952	90	0,010582011
	2	30	21	1,428571429	90	0,015873016
	3	60	21	2,857142857	90	0,031746032
SQS 108	1	20	21	0,952380952	80	0,011904762
	2	62	21	2,952380952	80	0,036904762
SQS 203	1	20	21	0,952380952	84	0,011337868
	2	100	21	4,761904762	84	0,056689342
Ministérios	1 - Ministérios	310	30	10,333333333	18	0,574074074
	2 - Anexos	80	15	5,333333333	20	0,266666667
	3 - Câmara	150	74	2,027027027	50	0,040540541
Setor Noroeste	1 - Entre Blocos	30	24	1,250000000	160	0,007812500
	2 - Vias	40	24	1,666666667	36	0,046296296
	3 - Comercial	60	12	5,000000000	36	0,138888889
Setor Sudoeste	1	35	21	1,666666667	80	0,020833333
	2	80	21	3,809523810	80	0,047619048
Gama	1	6,5	3	2,166666667	100	0,021666667
	2	13	66	0,196969697	40	0,004924242
	3	47	66	0,712121212	40	0,01780303
Taguatinga	1	25	6	4,166666667	200	0,020833333
	2	12	39	0,307692308	105	0,002930403
	3	15	6	2,500000000	180	0,013888889
Sobrad. I	1	10	3	3,333333333	360	0,009259259
	2	40	6	6,666666667	360	0,037037037
Sobrad. II	1	15	3	5,000000000	110	0,045454545
Setor Taquari	1	16	6	2,666666667	230	0,011594203
Águas Claras	1	37	48	0,770833333	23	0,03351449
	2	85	48	1,770833333	36	0,04918981
	3	40	48	0,833333333	25	0,033333333
Itapoã	1	6	3	2,000000000	260	0,007692308

Fonte: elaborada pela autora

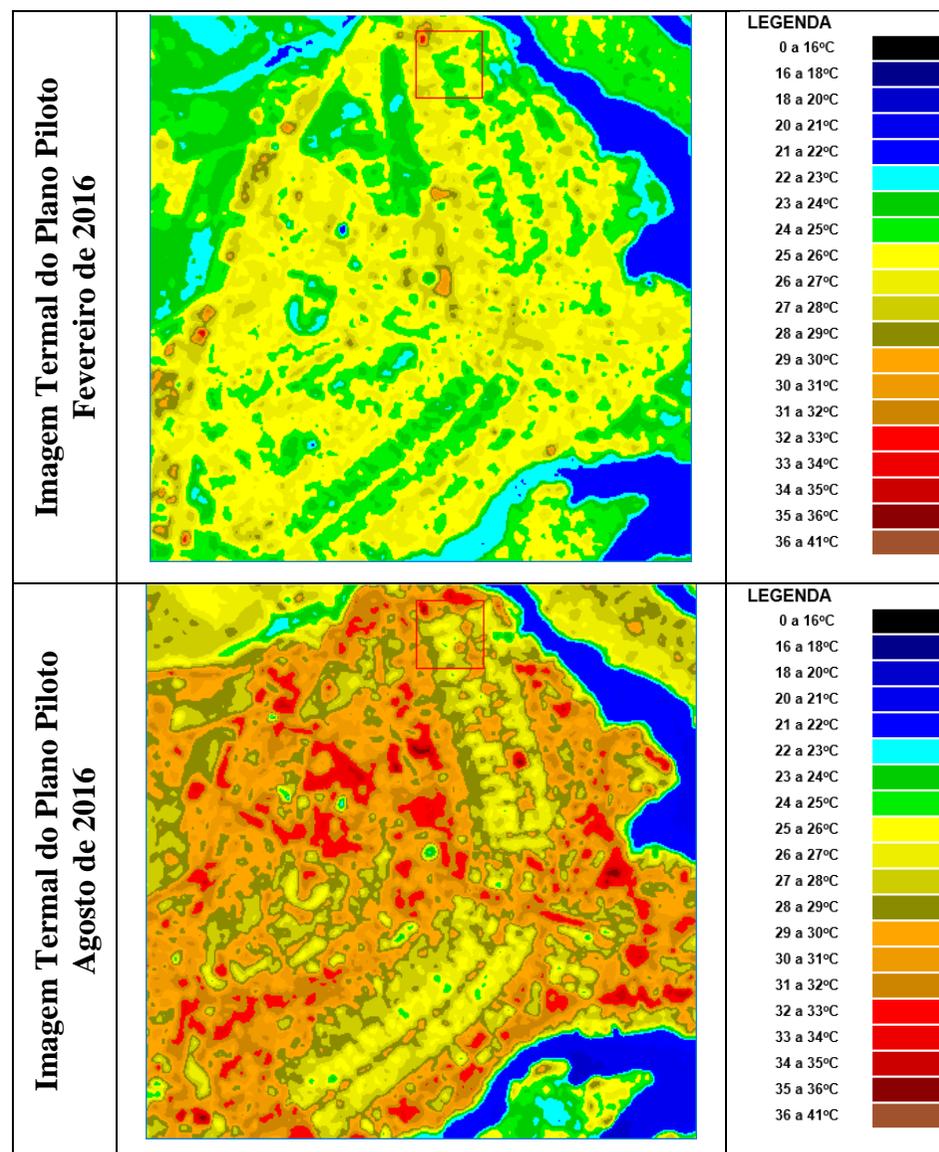
5.3. Análise do Campo Térmico Urbano: Ilhas de Calor de Brasília

O ambiente da cidade sofre influência tanto do clima preexistente quanto de modificações climáticas introduzidas pela urbanização. Os principais elementos do clima considerados para o conforto humano e para o espaço construído são: radiação solar, temperatura do ar, pressão do ar, ventos, umidade atmosférica, condensações e precipitações (ROMERO, 2001).

As formas construídas afetam o clima local, modificam os fluxos de ar, o transporte do calor atmosférico e os saldos de radiação de ondas curtas e longas. Monitorar as temperaturas das superfícies urbanas é um dos meios para compreender o maior ou menor aquecimento das áreas. Neste sentido, a análise de imagens termais de sensoriamento remoto é o procedimento metodológico indicado.

As imagens termais Landsat 8 (banda 10), dos meses de fevereiro e agosto de 2016, foram obtidas no site do governo norte americano¹⁹ e processadas no software ENVI. Destas imagens foram recortadas as 17 áreas amostrais definidas em 12 Regiões de Brasília – DF, assim como foram extraídos os transectos. Estes, junto aos Mapas Termiais, compõem a análise multisazonal. Na Figura 110, da imagem termal do Plano Piloto de Brasília - DF, observa-se por exemplo, maior aquecimento da Asa Norte em relação à Asa Sul.

Figura 110 - Imagens Termiais do Plano Piloto de Brasília – DF



¹⁹ www.earthexplorer.usgs.gov

Fonte: elaborado pela autora.

Posteriormente, estes dados serão correlacionados com os materiais das superfícies urbanas e com o fator W/H, em análises estatísticas (R^2).

Para efeito da análise do campo térmico, as informações levantadas estão dispostas conforme o Quadro 13. Quanto às imagens das escalas locais das áreas analisadas, obtidas com a Câmera termográfica Flir Thermal Imaging Camera for R&D: SC620, a disposição segue conforme o Quadro 14. É importante registrar que tanto a imagem fotográfica, quanto a imagem termográfica, foram obtidas simultaneamente com a mesma câmera, sendo que a obtenção das temperaturas aproxima-se dos alvos, isto é, a imagem termal é um “zoom” da imagem fotográfica. Estas imagens buscam os pontos mais aquecidos do campo térmico das áreas, apontados na análise dos mapas termais descrita anteriormente. Elas também permitem observar as temperaturas das superfícies urbanas sob o ponto de vista do pedestre, além de relacioná-las com o fator W/H, o qual caracteriza morfologicamente as respectivas áreas.

Nas imagens da Câmera Termográfica apresentadas neste trabalho, algumas informações estão dispostas, tais como: a data e o horário do registro, a legenda das temperaturas na lateral esquerda e outras. Em algumas áreas estas informações não aparecem devido à configuração da máquina, que não estava programada para expor os dados. São as áreas: SQN 206, SQN 207 e SQN 213. Nas imagens destas áreas, considerar a data de 04 de outubro de 2017, às 10:00 h, e para a legenda das

temperaturas, considerar na escala de cores, de azul a amarelo entre 16 a 24°C, e de amarelo a vermelho entre 24 e 32°C. Já as imagens do Setor Sudoeste, Águas Claras e Itapoã foram feitas no período noturno, para avaliação do efeito ilhas de calor neste horário. A escala de cores e temperaturas, contudo, é a mesma.

Para efeito desta tese, as temperaturas observadas foram classificadas conforme a Figura 111, sendo que as classificações aparecem ao longo de todo o texto com iniciais maiúsculas, pois assumem a característica de categoria da temperatura. Em relação à análise dos transectos faz-se necessário significar dois termos que são correntemente utilizados, tais como: picos e vales. Picos são os pontos mais altos do gráfico e indicam as temperaturas mais altas do transecto. Vales são os pontos mais baixos dos gráficos e indicam, portanto, as temperaturas mais baixas dos transectos.

Das imagens termais e transectos, é possível obter a análise sazonal das temperaturas (Quadros 15, 17, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39, 41, 43, 45 e 47). Em síntese, a maior incidência dos raios solares e a diminuição da umidade do ar fazem com que as temperaturas no mês de agosto sejam mais elevadas que as do mês de fevereiro.

Nas imagens da Câmera Termográfica da SQN 206 (Quadro 16), assim como nas demais (Quadros 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 44, 46 e 48), é possível observar o maior aquecimento do asfalto,

seguido pelas fachadas dos edifícios, sendo que a vegetação apresenta temperaturas mais baixas. Nota-se ainda, que a maior presença de vegetação (evapotranspiração) na área residencial proporciona temperaturas mais amenas que as temperaturas da área comercial.

Quadro 13 – Disposição Padrão dos dados termais a serem analisados			Legenda das Temp.
Ortofoto da Área	Imagem Termal de Fevereiro de 2016	Imagem Termal de Agosto de 2016	
	 Temperatura Média – °C – Classificação	 Temperatura Média – °C – Classificação	
Transectos para Análise Sazonal		Texto de análises dos dados termais obtidos	
Fonte: elaborado pela autora			

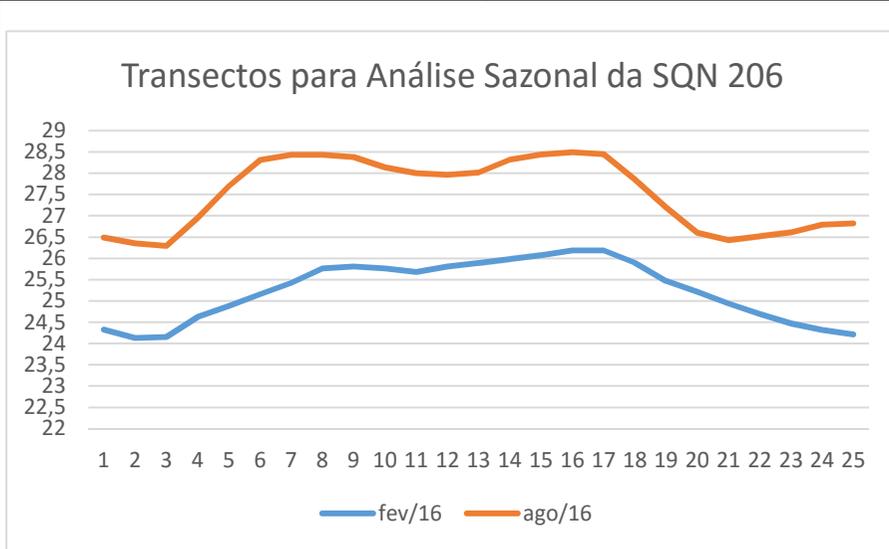
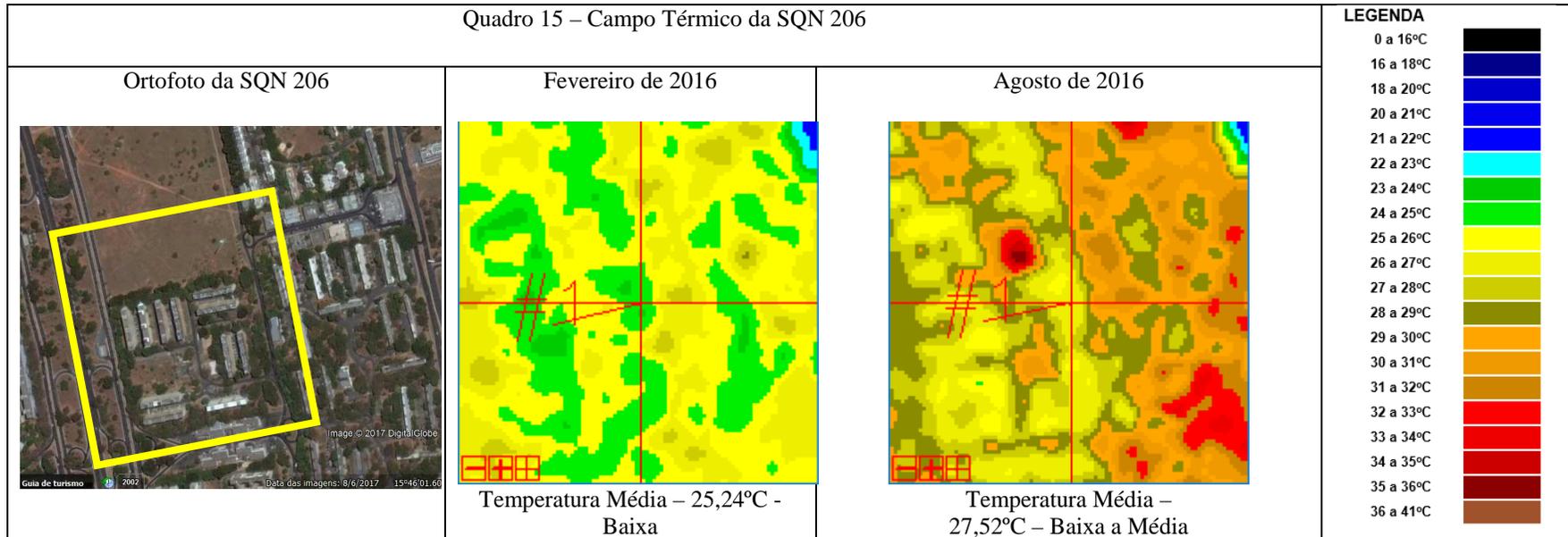
Quadro 14 – Imagens da Área obtidas com a Câmera Termográfica			
Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
Identificação da Área			Texto de análises das Imagens
Identificação da Área			Texto de análises das Imagens
Fonte: elaborado pela autora			

Figura 111 – Parâmetros de análise das temperaturas em Graus Celsius (°C)



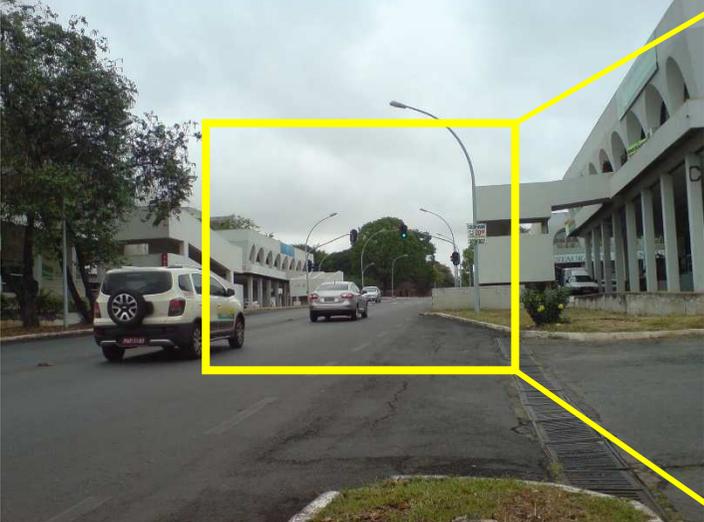
Fonte: elaborado pela autora.

Quadro 15 – Campo Térmico da SQN 206

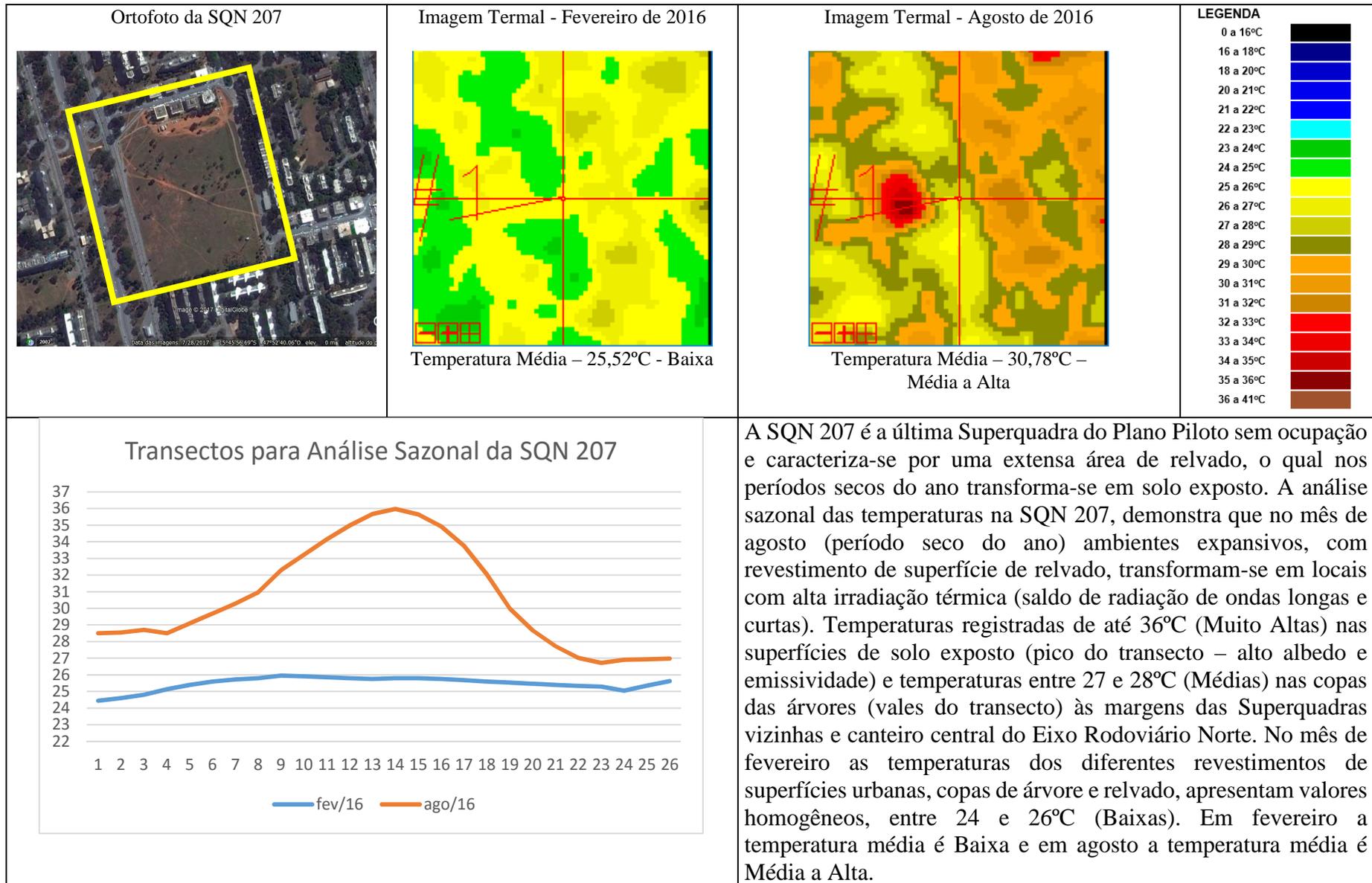


A maior incidência dos raios solares e a diminuição da umidade do ar fazem com que as temperaturas no mês de agosto sejam mais elevadas que as do mês de fevereiro. Esta característica será observada em todas as áreas. Em relação à SQN 206, nos transectos, os picos refletem as temperaturas do solo exposto e relvado, enquanto os vales referem-se às copas de árvore. Temperaturas máximas entre 28 e 28,5°C (Média) no mês de agosto e 26°C (Baixa) no mês de fevereiro. Mínimas de 26 e 26,5°C (Baixa a Média) no mês de agosto e 24°C (Baixa) no mês de fevereiro. Em fevereiro a temperatura média é Baixa e em agosto a temperatura média é Baixa a Média.

Quadro 16 – Imagens da SQN 206 obtidas com a Câmera Termográfica

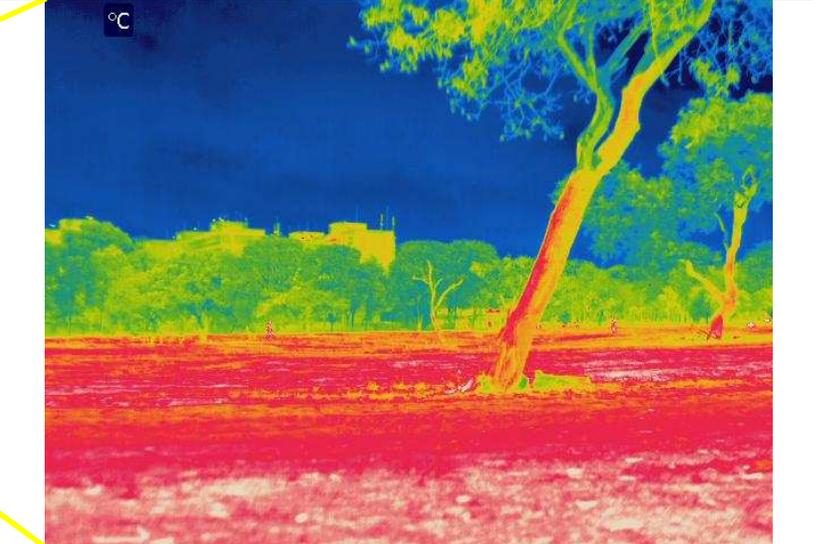
Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
Cânion na área residencial SQN 206			<p>Temperaturas mais amenas devido à presença de vegetação / evapotranspiração (16°C) próxima às fachadas dos edifícios residenciais – cerca de 24°C – e temperaturas mais elevadas – até 30°C – no estacionamento (asfalto).</p>
Área comercial da SQN 206			<p>Temperaturas mais elevadas entre 24°C (nas fachadas dos edifícios comerciais) e 32°C (no asfalto), principalmente devido às grandes áreas impermeabilizadas.</p>

Quadro 17 – Campo Térmico da SQN 207

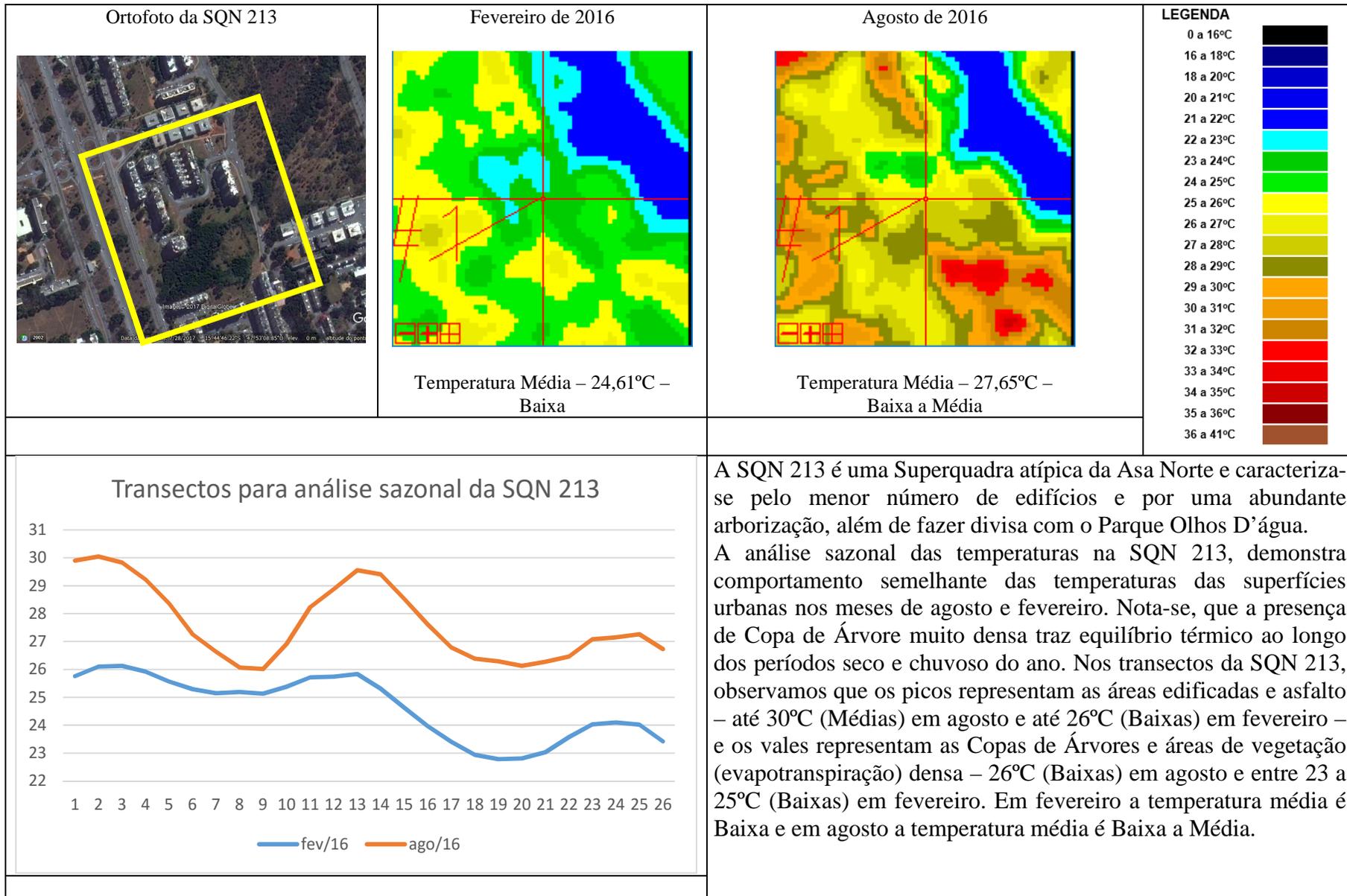


Nas imagens obtidas com a câmera termográfica, da SQN 207 (Quadro 18), no dia de 04 de outubro de 2017, às 10:15 h, é possível observar o maior aquecimento do solo exposto (alto albedo e emissividade), com até 32°C (Alta), e temperaturas mais baixas nas copas das árvores, com cerca de 24°C (Baixa). Analogamente, a SQN 207 caracteriza as extensas áreas verdes, de vegetação rasteira (Relvado), as quais no período das chuvas conferem uma paisagem inigualável à Brasília, no período seco, contudo, transformam-se em áreas aquecidas (saldo de radiação de ondas longas e curtas).

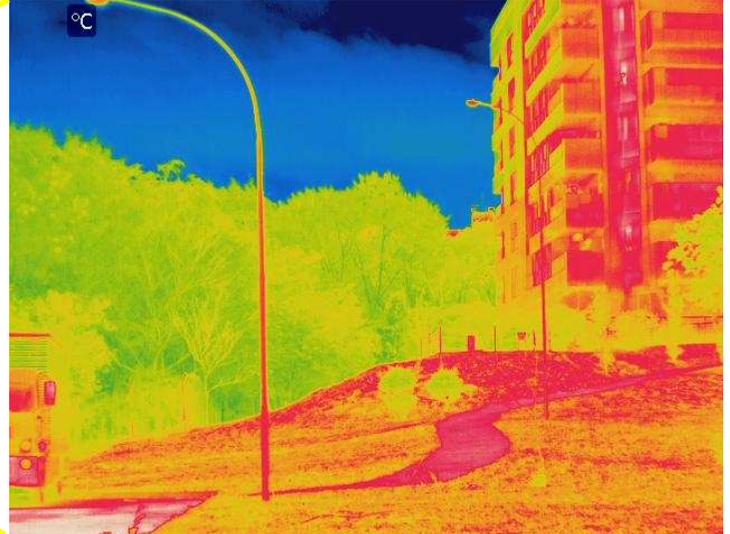
Quadro 18 – Imagens da SQN 207 obtidas com a Câmera Termográfica

Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais
Solo Exposto na SQN 207		

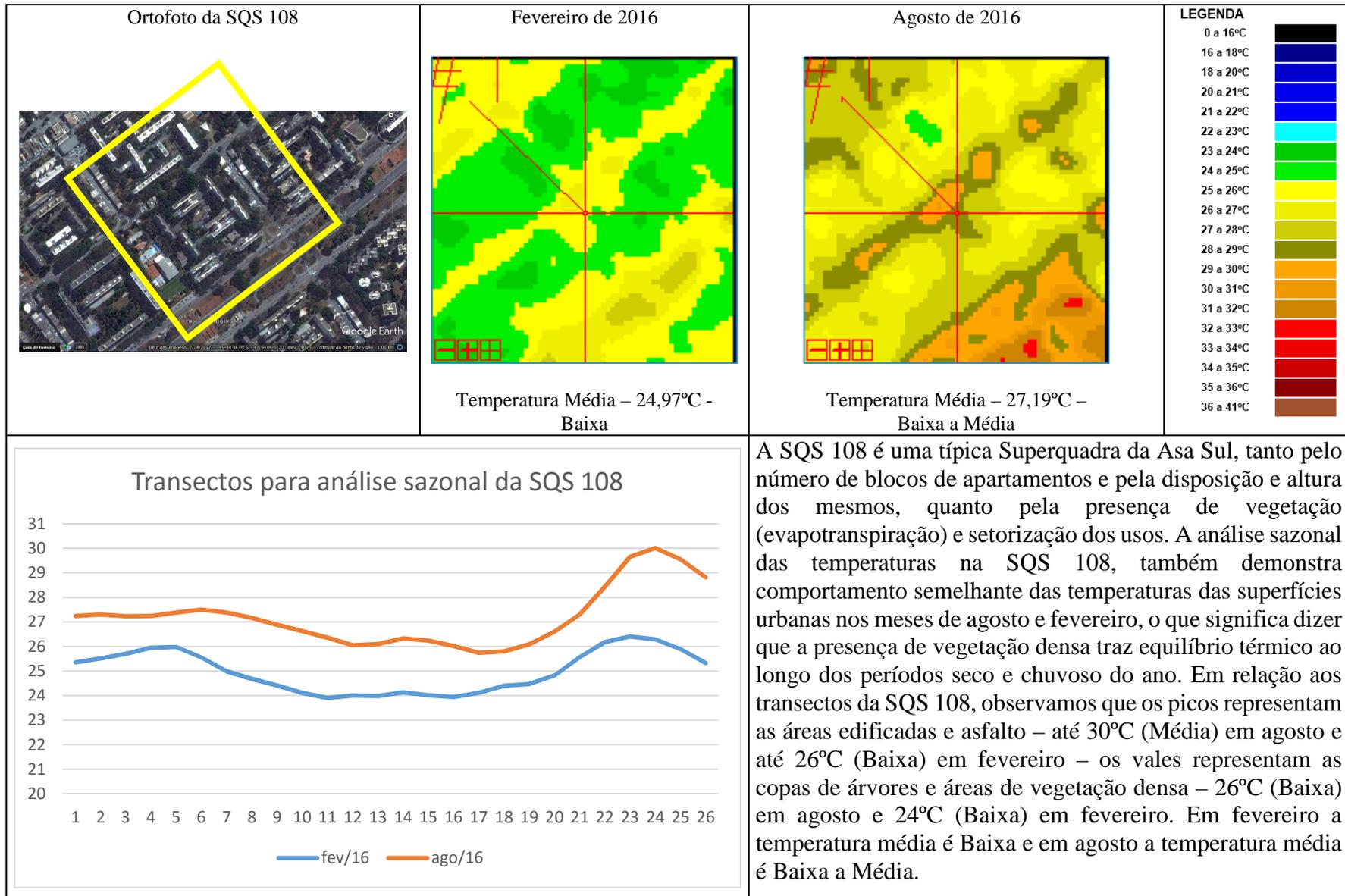
Quadro 19 – Campo Térmico da SQN 213



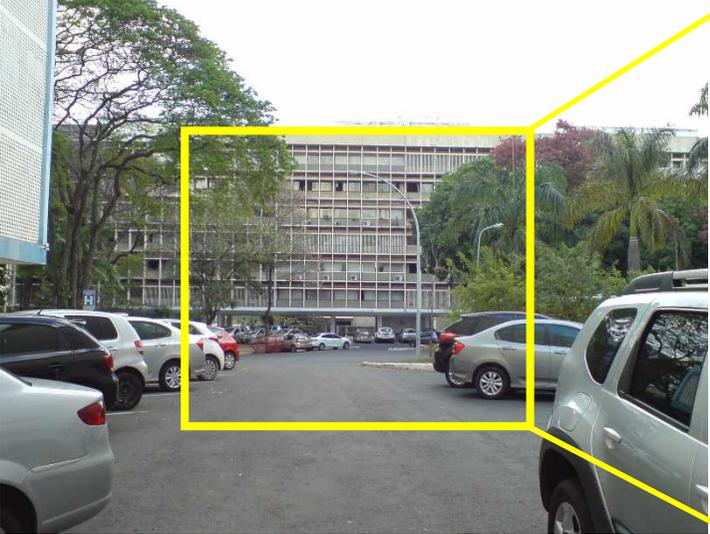
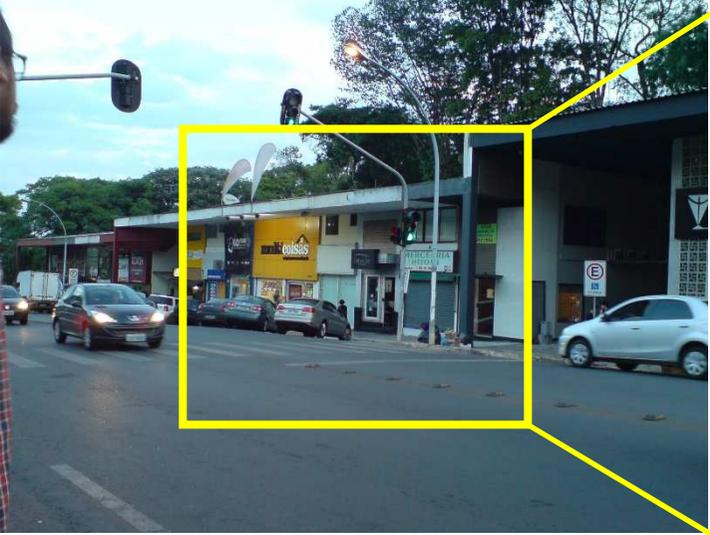
Quadro 20 – Imagens da SQN 213 obtidas com a Câmera Termográfica

Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
<p>Presença significativa de arborização na área residencial SQN 213</p>			<p>Temperaturas elevadas nas superfícies de relvado e asfalto, com até 30°C (Média a Alta), e temperaturas mais baixas nas copas das árvores, com cerca de 24°C.</p>
<p>Área comercial da SQN 213</p>			<p>Temperaturas elevadas na área comercial, com maiores superfícies pavimentadas e a circulação de automóveis.</p>

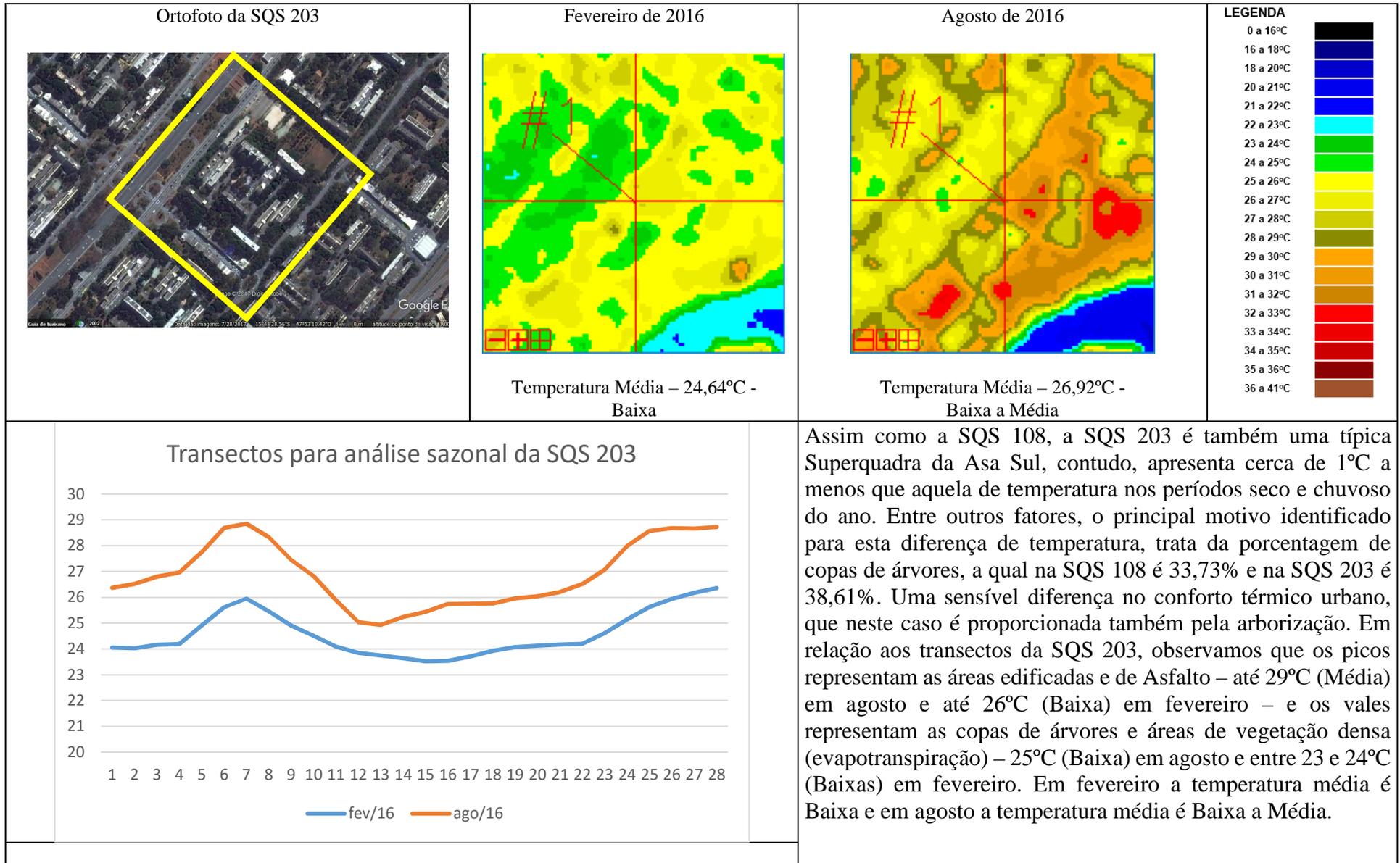
Quadro 21 – Campo Térmico da SQS 108



Quadro 22 – Imagens da SQS 108 obtidas com a Câmera Termográfica

Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
Área residencial SQS 108			<p>Influência positiva da presença de arborização junto às fachadas dos edifícios residenciais, amenizando as temperaturas das superfícies - próximo a 25°C.</p>
Área comercial da SQS 108			<p>Maior aquecimento das fachadas dos Edifícios da área comercial - entre 28 a 29°C.</p>

Quadro 23 – Campo Térmico da SQS 203



Quadro 24 – Imagens da SQS 203

Configuração / integração entre os Edifícios e a Vegetação na SQS 203



Cânions Urbanos – SQS 203



Presença de Vegetação próximo às fachadas na SQS 203



Área Comercial da SQS 203

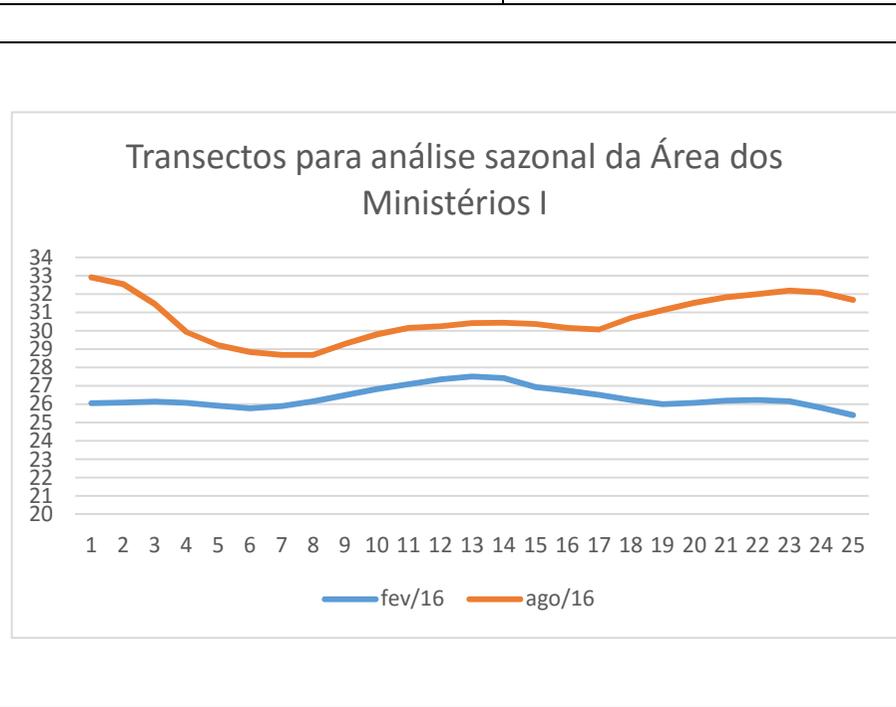
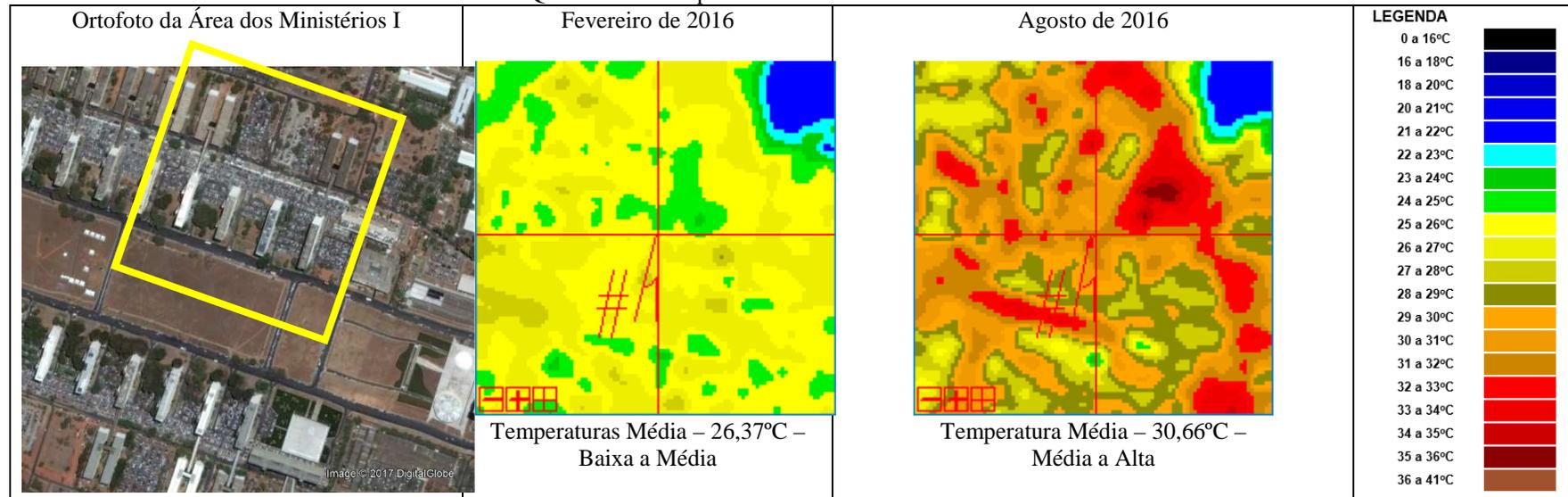


Copas de Árvores protegendo os passeios públicos da SQS 203



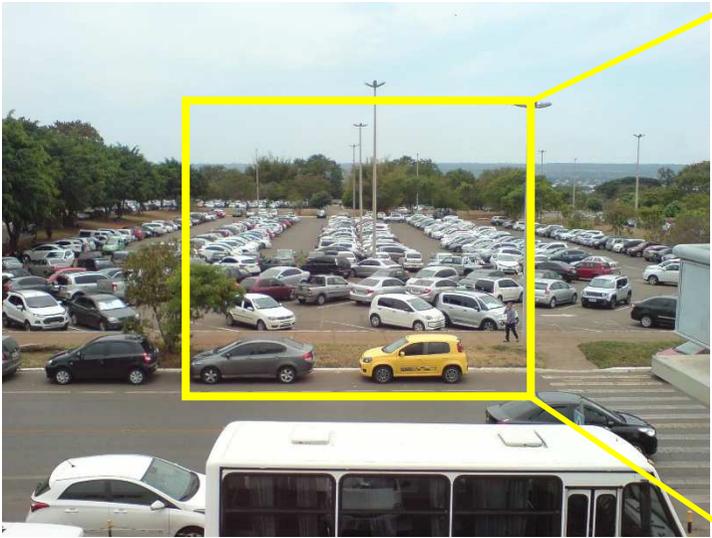
Fonte das Imagens: Acervo Pessoal, 2017.

Quadro 25 – Campo Térmico da Área dos Ministérios I

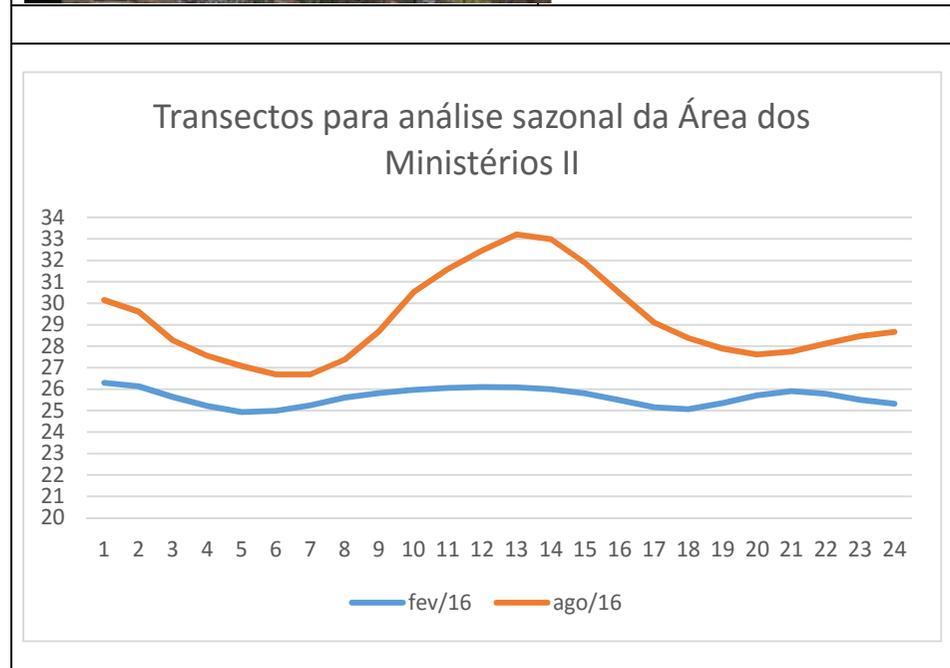
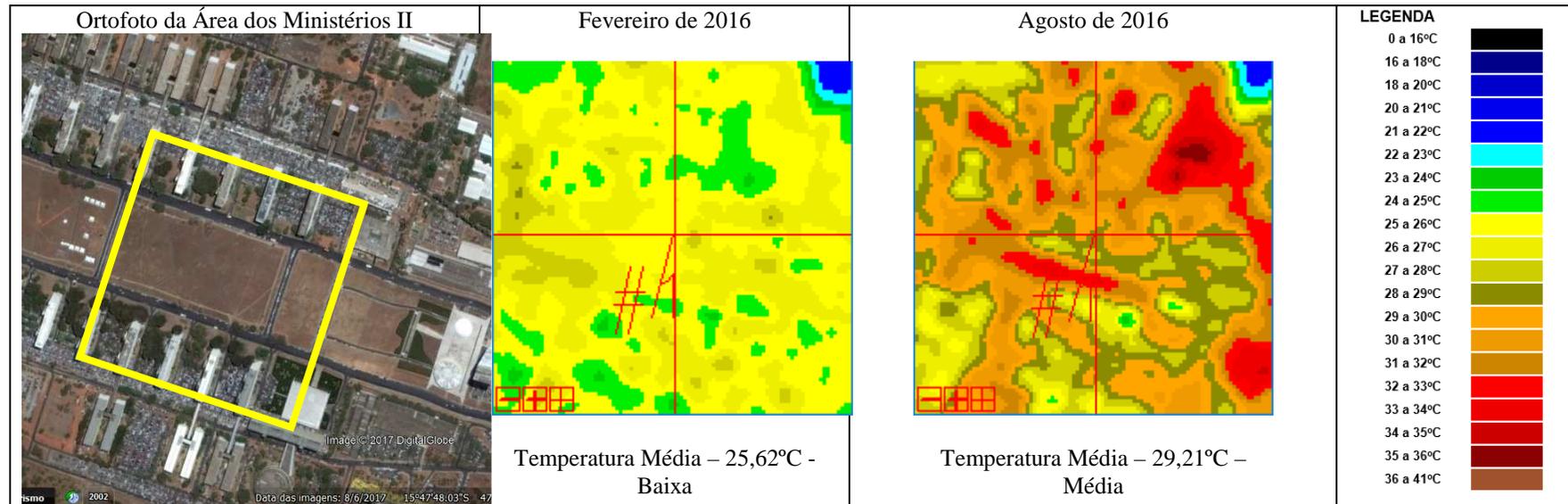


A Área dos Ministérios I abrange os edifícios dos Anexos e seus respectivos estacionamentos, o que torna o cenário árido e de temperaturas mais elevadas. No mês de agosto (período seco do ano) ambientes expansivos, com revestimento de superfície de relvado, transformam-se em locais com alta irradiação térmica (saldo de radiação de ondas longas e curtas). Nos transectos, os picos são as temperaturas de até 33°C (Altas) nas superfícies de solo exposto e asfalto (alta emissividade e albedo) e os vales, entre 29 e 30°C (Médias) as copas das Árvores situadas nas calçadas dos Ministérios. O centro do transecto refere-se às coberturas dos edifícios, marcando entre 30 e 31°C (Médias a Altas). No mês de fevereiro as temperaturas dos diferentes revestimentos de superfícies urbanas apresentam valores um pouco mais homogêneos, relvado com 26°C (Baixa) e copas de árvores, entre 25 e 26°C (Baixas), sendo que calçadas e coberturas dos edifícios entre 27 e 28°C (Baixas a Médias). Em fev. a temp. média é classificada como Baixa a Média e em ago. a temp. média é classificada como Média a Alta.

Quadro 26 – Imagens da Área dos Ministérios I obtidas com a Câmera Termográfica

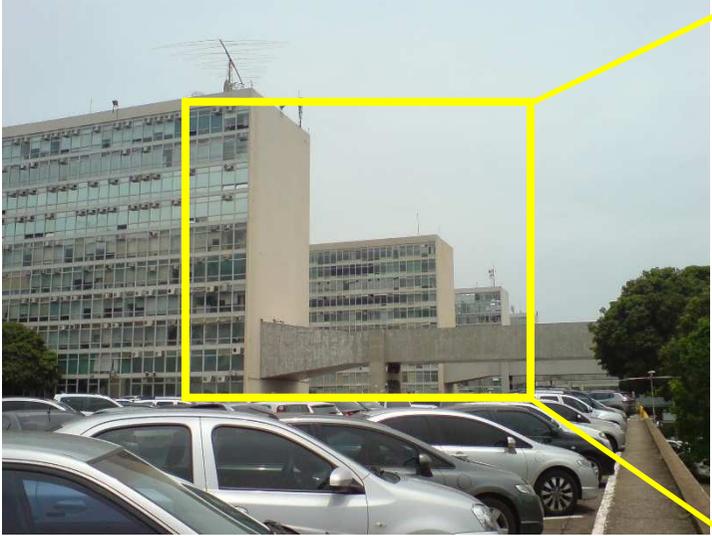
Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
Anexos aos Ministérios		 <p> Ponto 25.1 °C Caixa 37.3 Máx. 37.5 Mín. 16.5 Méd. 25.4 Círculo 32.2 Máx. 32.2 Mín. 22.2 Isotérmica Nível 27.4 Diferença Pt. - Ref 5.1 FLIR Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95 04/10/2017 11:25 14.5 </p>	Temperaturas das fachadas dos Ministérios próximas dos 27, 4°C, com áreas de sombra e elementos aquecidos até cerca de 37°C.
Estacionamento dos Anexos		 <p> Ponto 38.8 °C Caixa 47.7 Máx. 51.0 Mín. 23.6 Méd. 34.7 Círculo 49.8 Máx. 49.8 Mín. 27.8 Isotérmica Nível 27.4 Diferença Pt. - Ref 18.2 FLIR Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95 04/10/2017 11:32 22.3 </p>	Temperaturas extremamente elevadas – acima de 40°C, na extensa área de asfalto, sem arborização.

Quadro 27 – Campo Térmico da Área dos Ministérios II

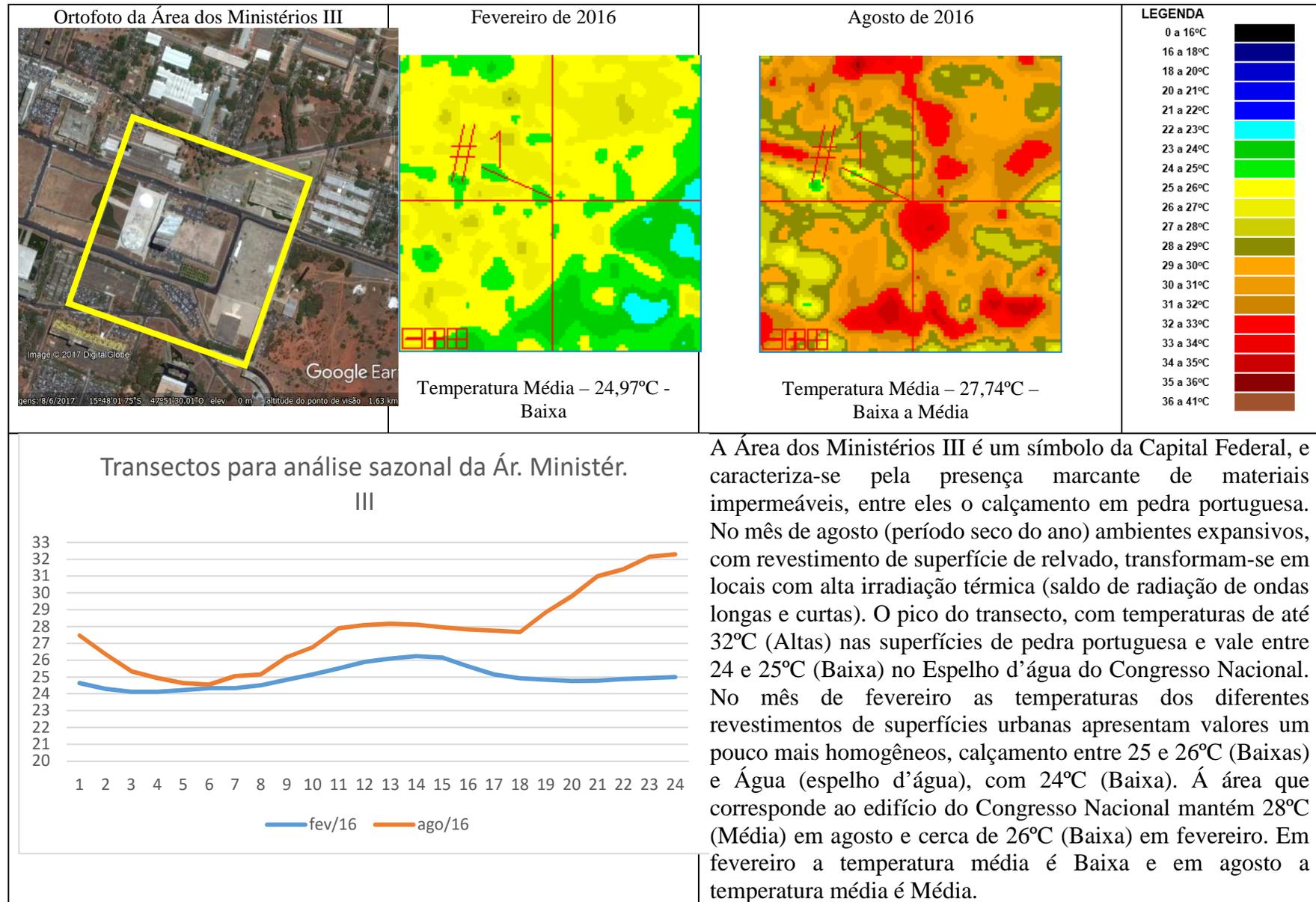


A Área dos Ministérios II caracteriza-se por uma extensa área de relvado, a qual nos períodos secos do ano transforma-se em solo exposto. O transecto desta área assemelha-se ao transecto da SQN 207. No mês de agosto (período seco do ano) ambientes expansivos, com revestimento de superfície de relvado, transformam-se em locais com alta irradiação térmica (saldo de radiação de ondas longas e curtas). O pico do transecto, com temperaturas de até 33°C (Altas) nas superfícies de solo exposto (alta emissividade e albedo) e vales entre 27 e 28°C (Baixa a Média) nas copas das árvores, nas calçadas dos Ministérios. No mês de fevereiro as temperaturas dos diferentes revestimentos de superfícies urbanas apresentam valores um pouco mais homogêneos, relvado com até 26°C (Baixa) e Copas de Árvores 25°C (Baixas). Analogamente à SQN 207, a área dos Ministérios II também representa as grandes áreas de vegetação rasteira do Plano Piloto de Brasília. Em fevereiro a temperatura média é Baixa e em agosto a temperatura média é Média.

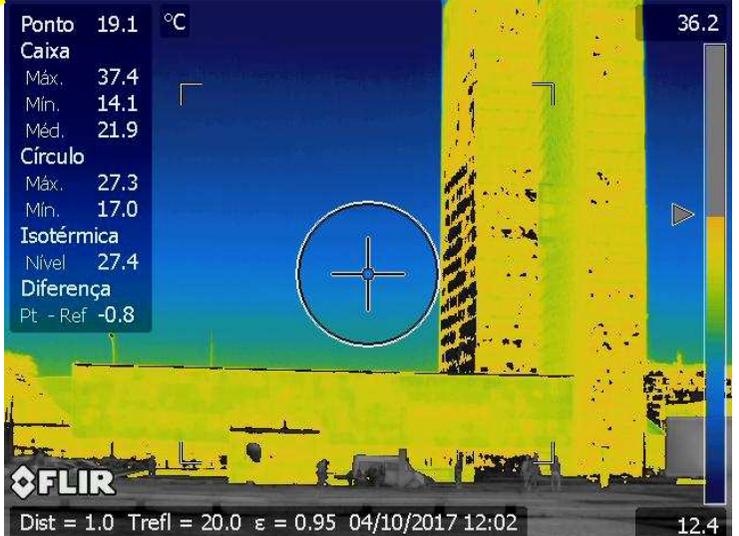
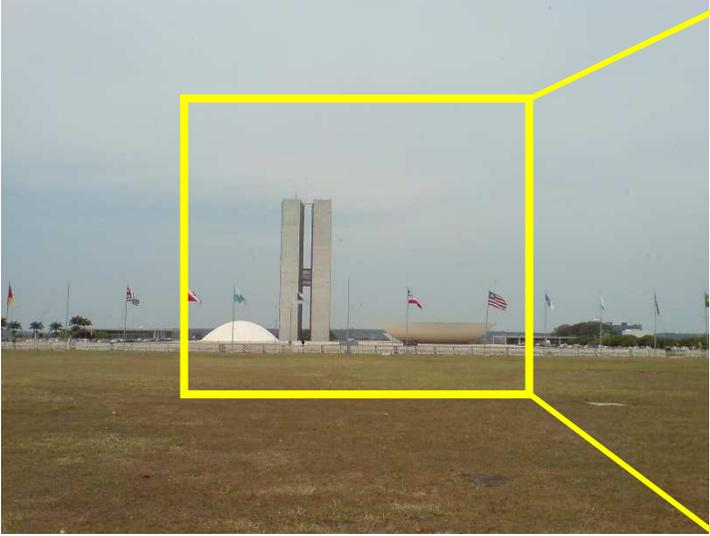
Quadro 28 – Imagens da Área dos Ministérios II obtidas com a Câmera Termográfica

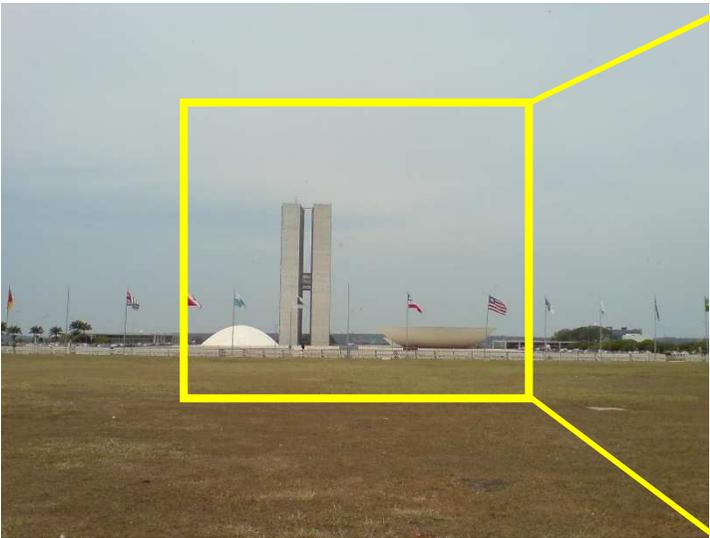
Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
Ministérios			<p>Temperaturas das fachadas dos Ministérios próximas dos 27, 4°C, com elementos aquecidos até cerca de 32°C.</p>
Ministérios			<p>Temperaturas das fachadas dos Ministérios próximas dos 27, 4°C, com elementos aquecidos até cerca de 32°C.</p>

Quadro 29 – Campo Térmico da Esplanada dos Ministérios III

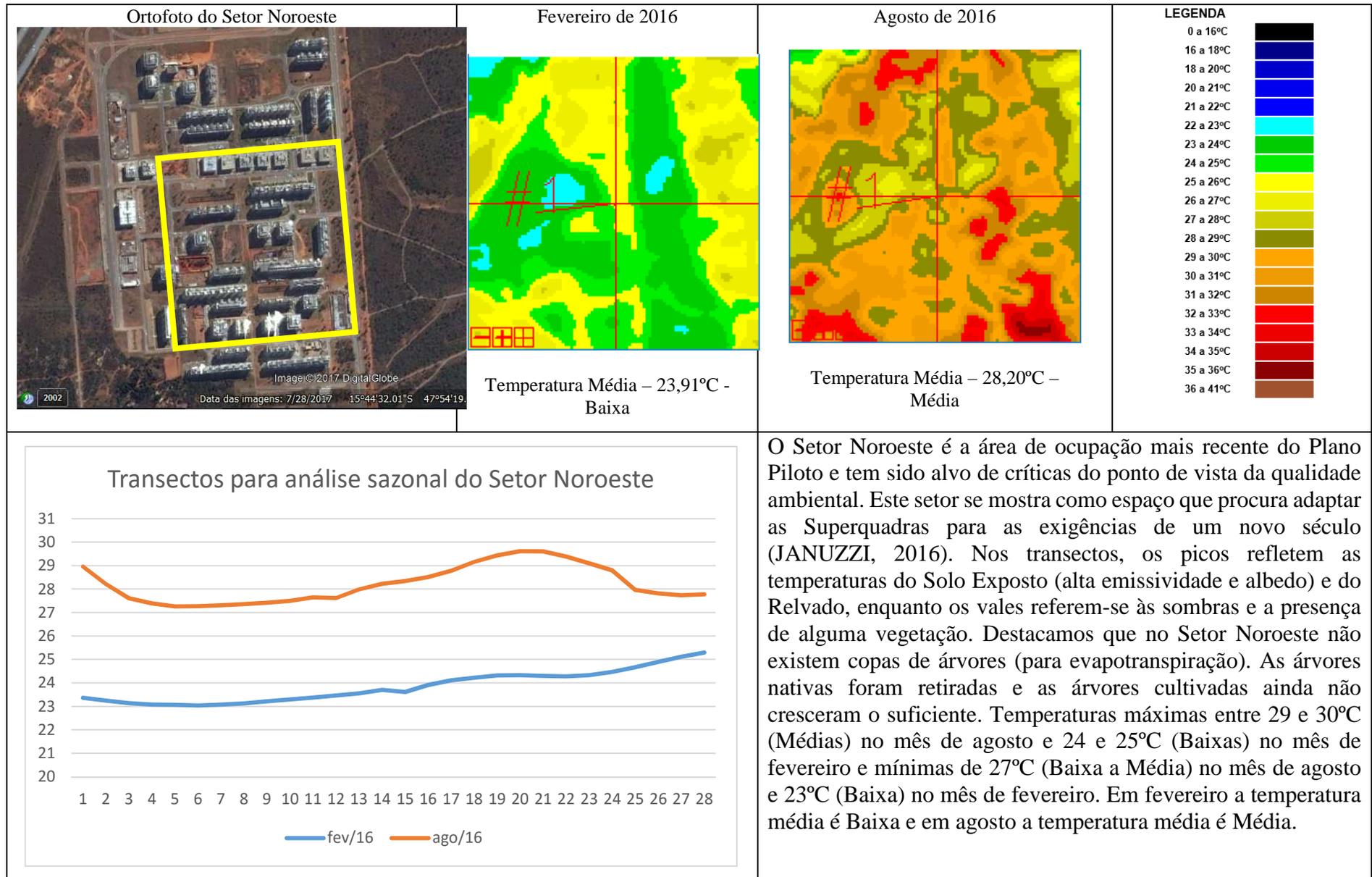


Quadro 30 – Imagens da Área dos Ministérios III obtidas com a Câmera Termográfica

Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
Vista Posterior do Câmara dos Deputados		 <p> Ponto 19.1 °C Caixa 36.2 Máx. 37.4 Min. 14.1 Méd. 21.9 Círculo Máx. 27.3 Min. 17.0 Isotérmica Nível 27.4 Diferença Pt - Ref -0.8 FLIR Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95 04/10/2017 12:02 12.4 </p>	<p>Temperaturas das fachadas do Congresso Nacional próximas dos 27, 4°C, com elementos aquecidos até cerca de 36°C.</p>
Vista Frontal do Congresso Nacional		 <p> Ponto 19.3 °C Caixa 39.0 Máx. 35.4 Min. 13.9 Méd. 20.6 Círculo Máx. 25.8 Min. 17.2 Isotérmica Nível 27.4 Diferença Pt - Ref -0.6 FLIR Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95 04/10/2017 12:10 11.8 </p>	<p>Temperaturas das fachadas dos Ministérios próximas dos 27, 4°C.</p>

Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
Vista Posterior do Câmara dos Deputados		 <p> Ponto 19.2 °C Caixa 28.7 Máx. 37.0 Mín. 14.0 Méd. 21.9 Círculo Máx. 27.2 Mín. 17.0 Isotérmica Nível 27.4 Diferença Pt - Ref -0.7 Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95 04/10/2017 12:02 14.8 </p>	Temperaturas das fachadas do Congresso Nacional próximas dos 27, 4°C, com elementos aquecidos até cerca de 36°C.
Vista Frontal do Congresso Nacional		 <p> Ponto 19.1 °C Caixa 28.3 Máx. 35.5 Mín. 13.6 Méd. 20.6 Círculo Máx. 25.7 Mín. 16.3 Isotérmica Nível 27.4 Diferença Pt - Ref -0.9 Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95 04/10/2017 12:11 14.4 </p>	Temperaturas das fachadas dos Ministérios próximas dos 27, 4°C.

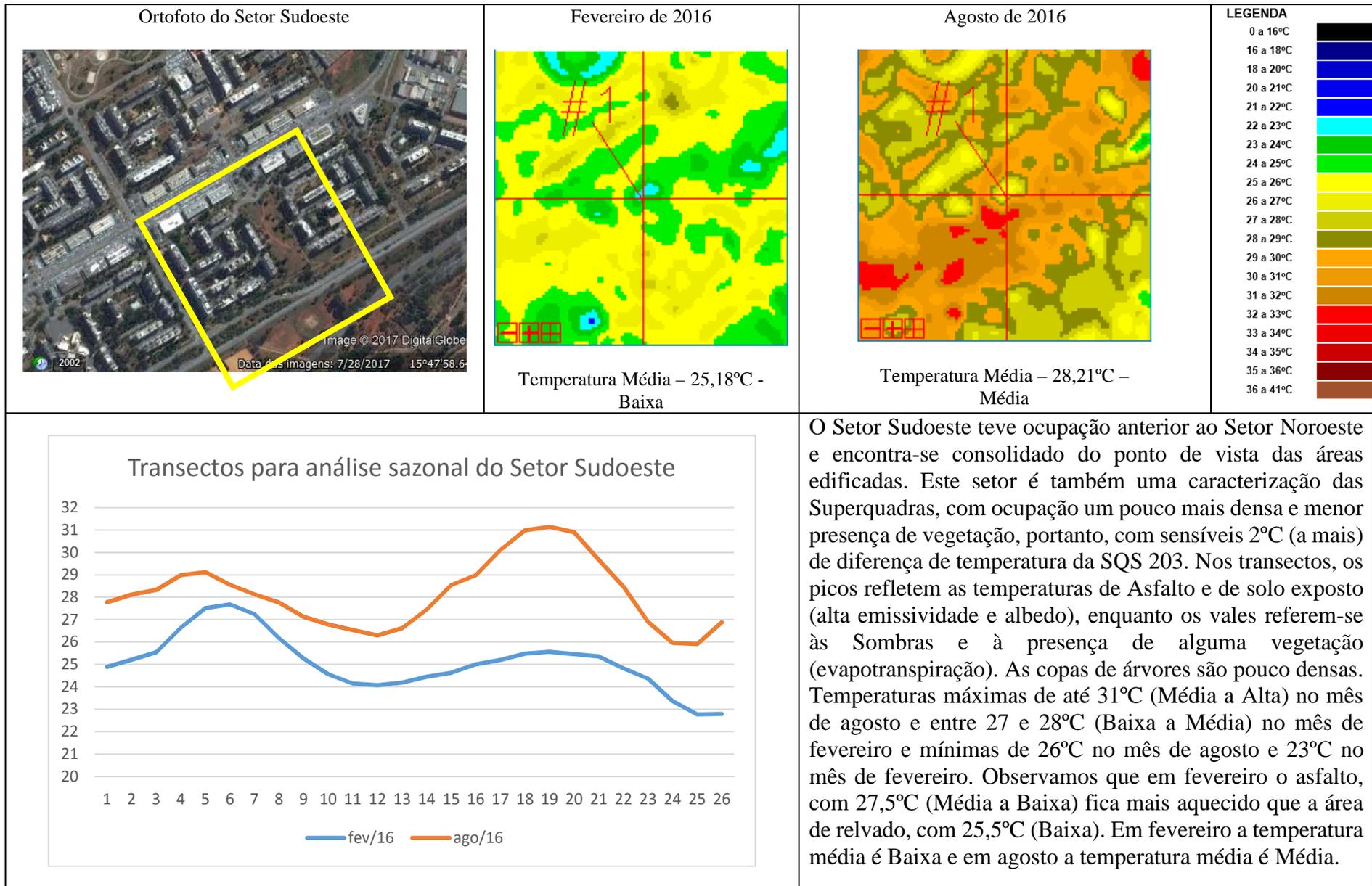
Quadro 31 – Campo Térmico do Setor Noroeste



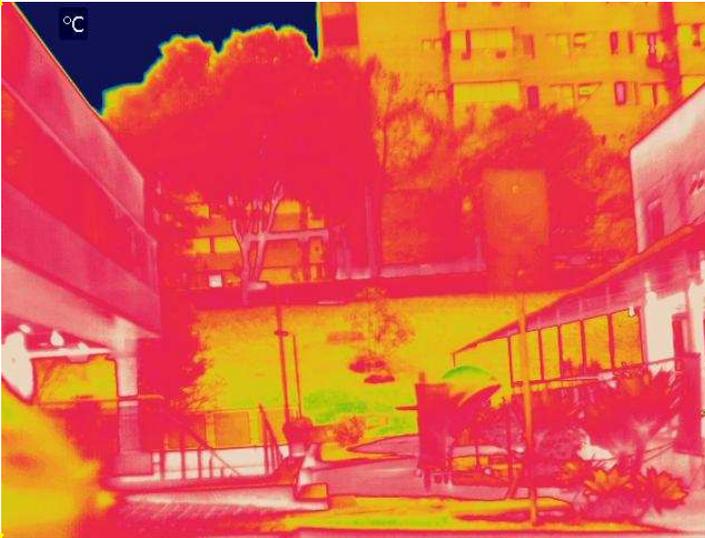
Quadro 32 – Imagens do Setor Noroeste obtidas com a Câmera Termográfica

Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
Setor Noroeste – Bloco de Apartamentos			<p>Incidência solar na fachada leste de um edifício residencial no Setor Noroeste. Os materiais de revestimento são porcelanato e vidro fumê, atingindo temperaturas elevadas – próximo de 40°C. Enquanto a fachada sul, com os mesmos materiais, mantêm temperaturas entre 24 a 30°C.</p>
Setor Noroeste – Bloco Comercial			<p>Incidência solar na fachada norte de um edifício comercial no Setor Noroeste. Os materiais de revestimento são porcelanato e vidro fumê, atingindo temperaturas entre 26 e 27°C. Enquanto nas sombras, no interior do edifício, identificamos cerca de 23°C.</p>

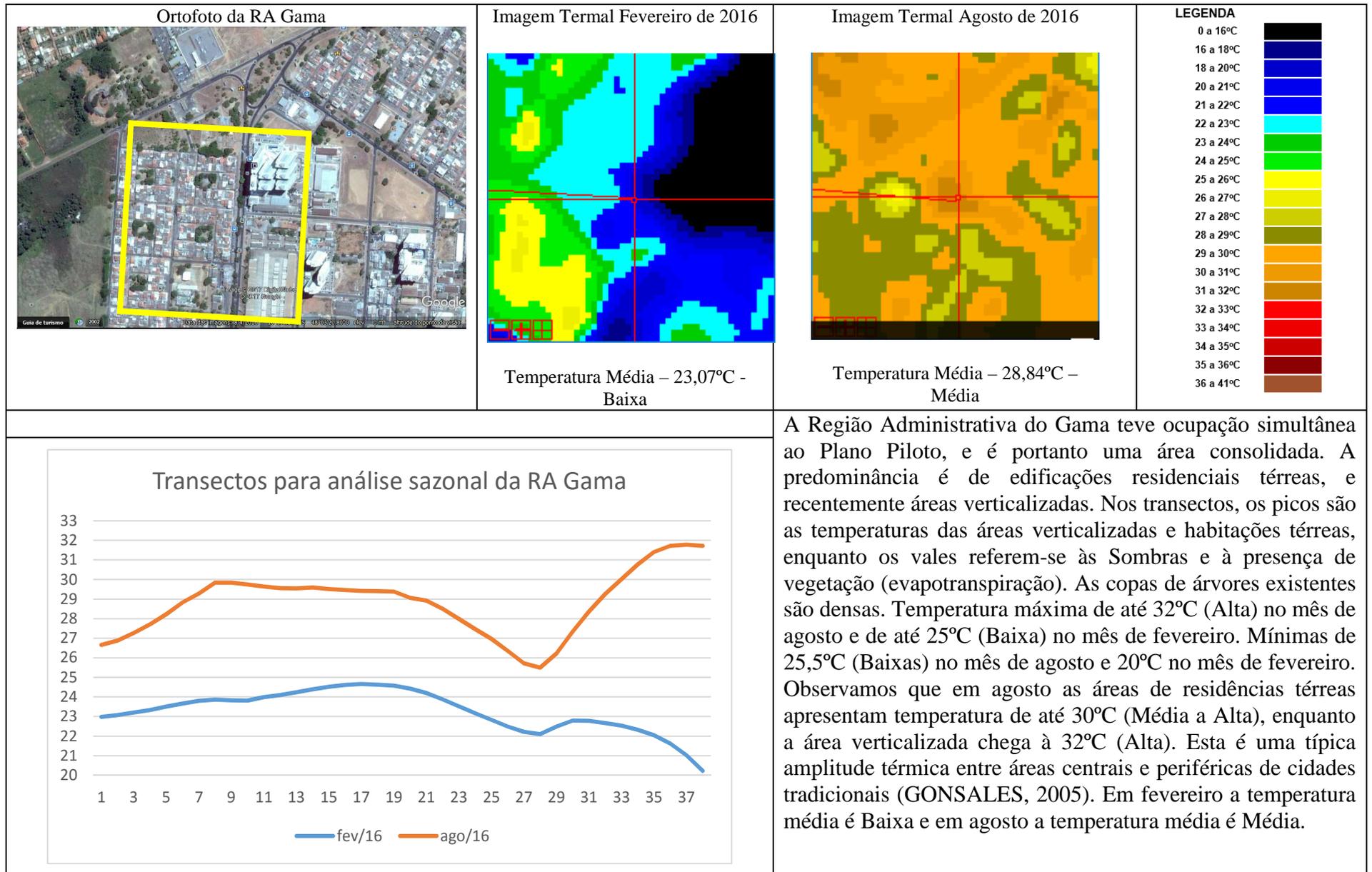
Quadro 33 – Campo Térmico do Setor Sudoeste



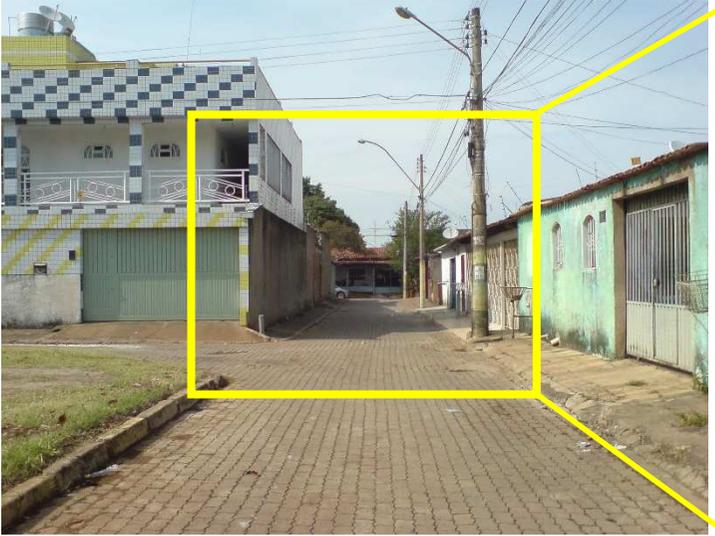
Quadro 34 – Imagens do Setor Sudoeste obtidas com a Câmera Termográfica

Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
Setor Sudoeste – Área Comercial			<p>Campo térmico urbano observado no período noturno. Asfalto nos estacionamentos das áreas comerciais, como protagonista das temperaturas de superfície – cerca de 32°C. Enquanto o revestimento das fachadas se mantém entre 27 e 28°C.</p>
Setor Sudoeste – Blocos Comerciais			<p>Calçadas e fachadas entre os edifícios das áreas comerciais, com temperaturas de cerca de 32°C. Enquanto o revestimento das fachadas dos edifícios residenciais, ao fundo, se mantém entre 27 e 28°C. As árvores no período noturno também atingem altas temperaturas, enquanto o relvado se mantém entre 25 e 26°C.</p>

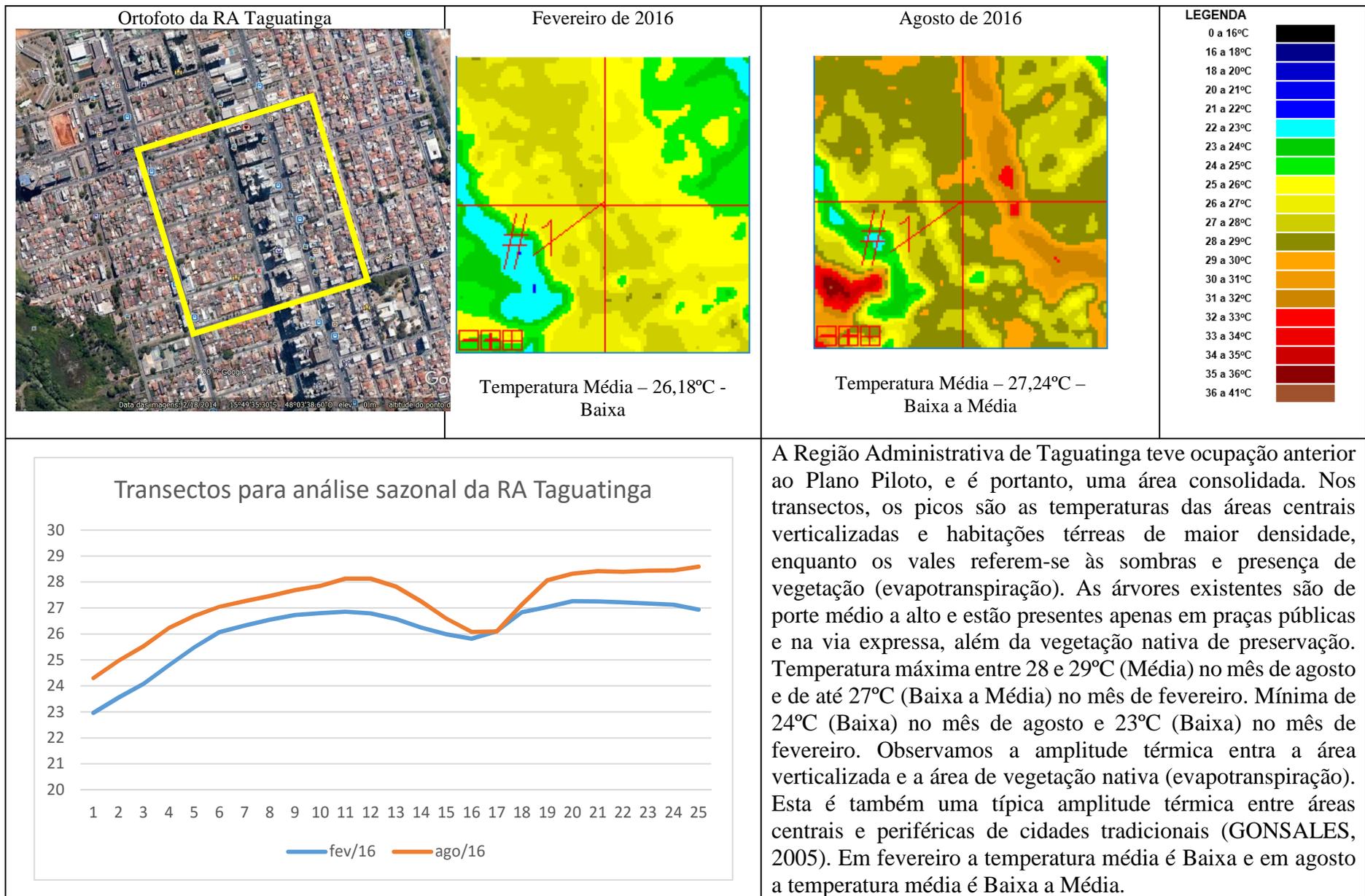
Quadro 35 – Campo Térmico da Região Administrativa do Gama



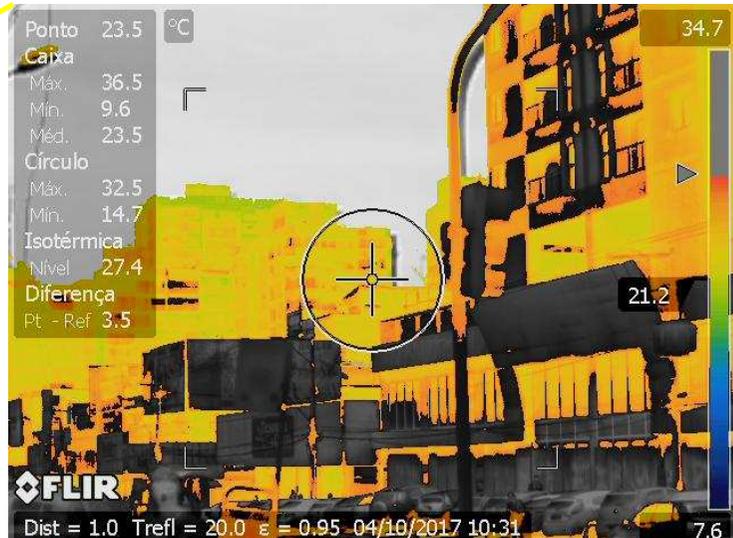
Quadro 36 – Imagens da Região Administrativa Gama obtidas com a Câmera Termográfica

Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
Gama – Área Residencial de baixa densidade			<p>A diversidade dos materiais traz significado a esta análise. Observamos que a porção do portão de aço, no canto inferior esquerdo da imagem, o qual recebe incidência solar, atinge temperatura próxima dos 28°C. Alguns materiais, como antenas de TV e janelas - extrapolam os 32°C. Enquanto na sombra observamos cerca de 16°C.</p>
Gama – Área Comercial e Residencial de alta densidade			<p>Observamos grande amplitude térmica entre os materiais de superfície das fachadas dos edifícios da área comercial – entre 18 a 27,4°C. Esta é uma fachada Oeste, contudo a imagem foi feita no período da manhã, quando aí não há incidência solar. Mesmo assim, registramos 27,4°C para os vidros e próximo dos 18°C para as alvenarias.</p>

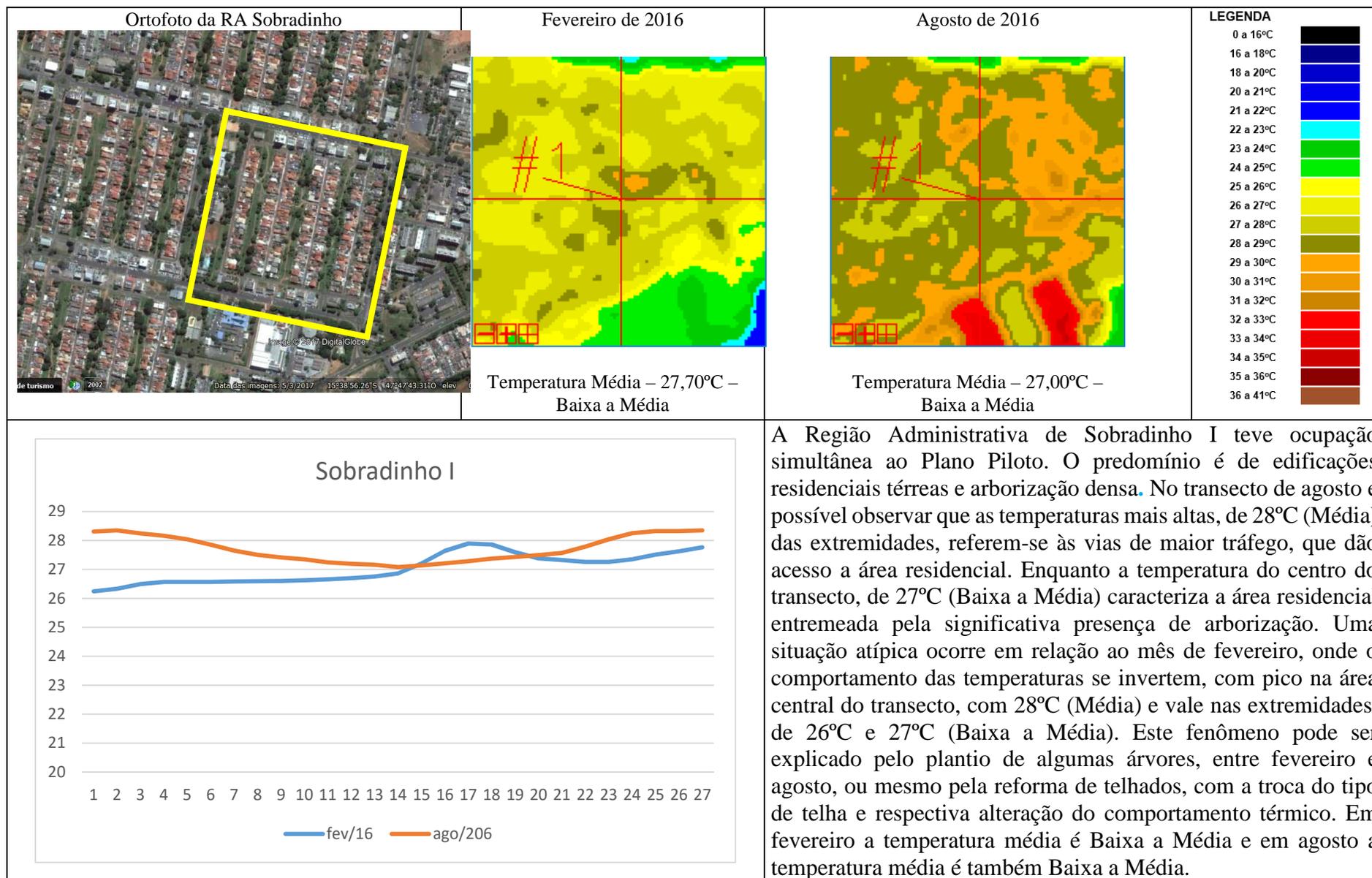
Quadro 37 – Campo Térmico da Região Administrativa Taguatinga



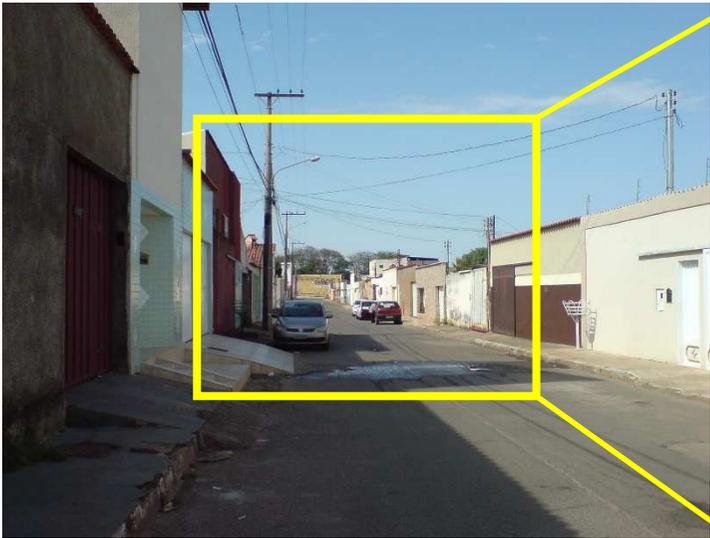
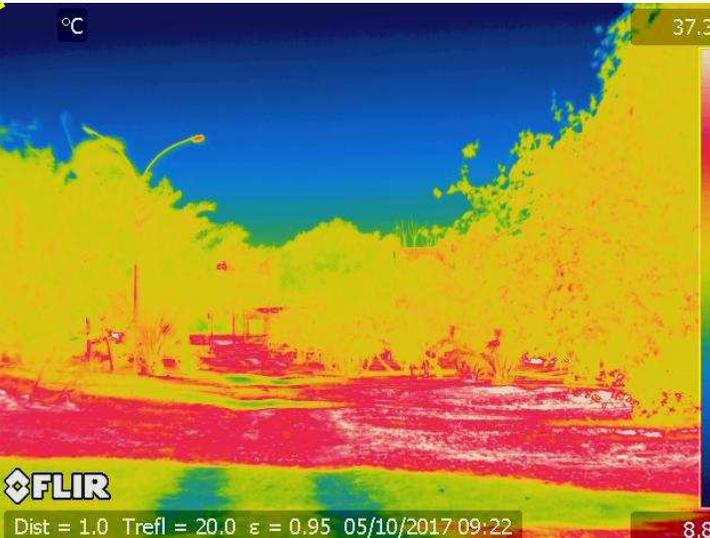
Quadro 38 – Imagens da Região Administrativa Taguatinga obtidas com a Câmera Termográfica

Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
Taguatinga – Área Residencial		 <p> Ponto 24.2 °C Caixa Máx. 33.5 Mín. 12.9 Méd. 22.8 Círculo Máx. 33.3 Mín. 18.4 Isotérmica Nível 27.4 Diferença Pt. - Ref 4.1 </p> <p> FLIR Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95 04/10/2017 10:11 10.1 </p>	<p>Calçada e telhado cerâmico têm temperaturas de 27,4°C (Média), mas atinam até os 32,4°C (Alta) em alguns pontos. Enquanto as fachadas apresentam os 27,4°C (Média) nos vidros e entre os 21 e 24°C (Baixa) nas alvenarias.</p>
Taguatinga – Área Comercial		 <p> Ponto 23.5 °C Caixa Máx. 36.5 Mín. 9.6 Méd. 23.5 Círculo Máx. 32.5 Mín. 14.7 Isotérmica Nível 27.4 Diferença Pt. - Ref 3.5 </p> <p> FLIR Dist = 1.0 Trefl = 20.0 ε = 0.95 04/10/2017 10:31 7.6 </p>	<p>Maior aquecimento das fachadas dos Edifícios da área comercial verticalizada - entre 21,2°C e 27,4°C (Média), sendo que em alguns pontos atinge os 34,7°C (Muito Alta), em superfícies de aço e vidro.</p>

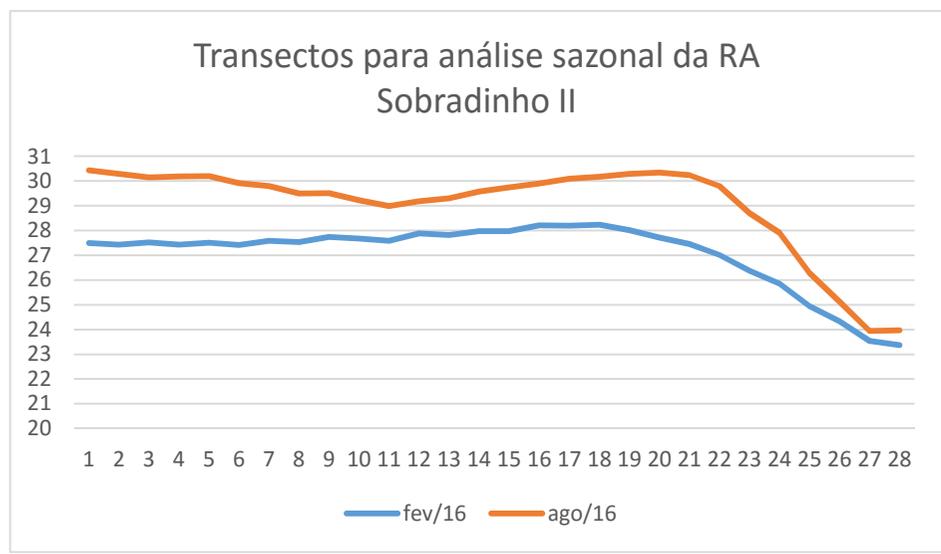
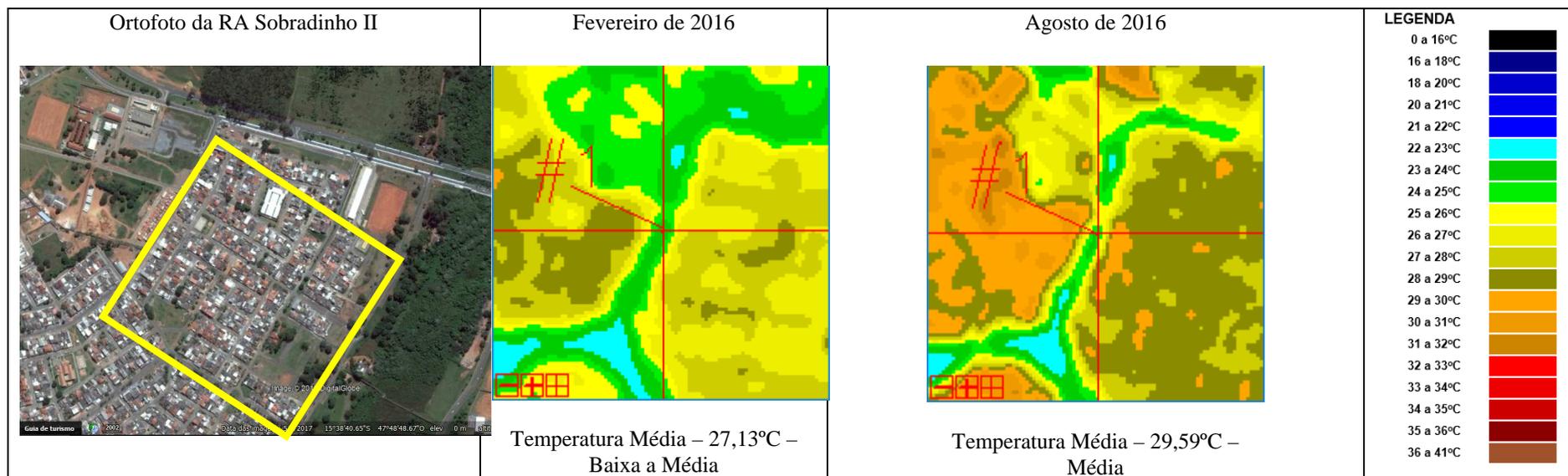
Quadro 39 – Campo Térmico da Região Administrativa Sobradinho I



Quadro 40 – Imagens da Região Administrativa Sobradinho I obtidas com a Câmera Termográfica

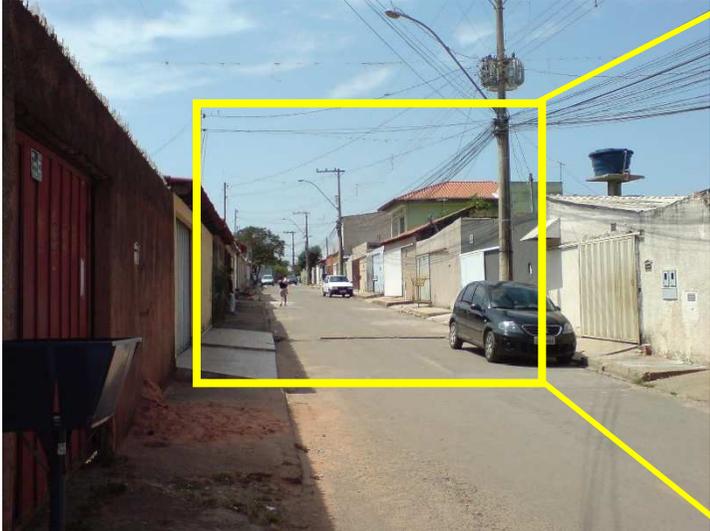
Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
Sobradinho I – Área Residencial			<p>Fachadas sem incidência solar do lado esquerdo da imagem, com temperaturas entre 25 e 26°C. Enquanto as fachadas recebendo incidência solar, do lado direito da imagem, com temperaturas atingindo os 44°C, em materiais como aço dos portões e vidros das janelas. As alvenarias entre 28 e 32°C.</p>
Sobradinho I – Área Verde entre quadras			<p>Aquecimento das superfícies de solo exposto, recebendo incidência solar – cerca de 32°C, e alguns pontos de até 37,3°C. Enquanto nas árvores identificamos cerca de 23°C e na sombra entre 17 e 20°C. Amplitude térmica é de até 15°C entre a superfície de solo exposto e a sombra.</p>

Quadro 41 – Campo Térmico da Região Administrativa Sobradinho II

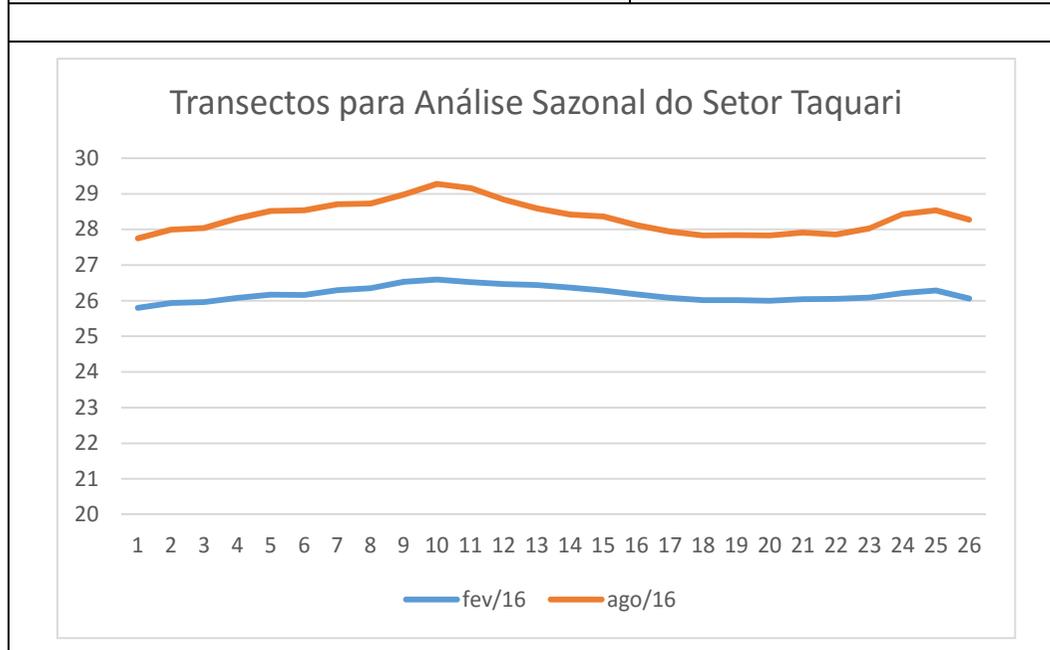
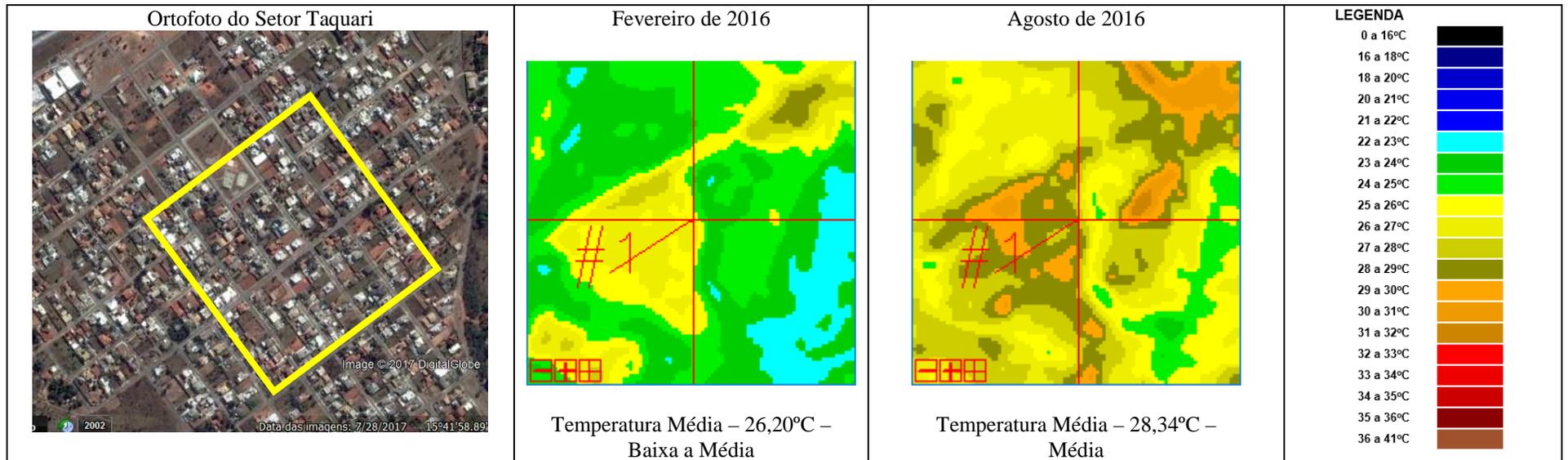


A Região Administrativa de Sobradinho II caracteriza-se por abrigar a população excedente de Sobradinho I. Trata-se de uma área legalizada pelo governo tempos após a ocupação. A predominância é de edificações residenciais térreas, e baixa porcentagem de vegetação, sendo copa de árvore (7,90%) - Rara e relvado (11,54%) - Pouco Extenso. Nos transectos, os picos são as temperaturas das áreas habitacionais térreas, enquanto os vales referem-se à área de preservação / vegetação (evapotranspiração). Temperatura máxima entre 30 e 31°C (Média a Alta) no mês de agosto e acima de 28°C (Média) no mês de fevereiro. Mínimas de 24°C (Baixa) no mês de agosto e 23,5°C (Baixa) no mês de fevereiro. Observamos que em agosto, a temperatura máxima de Sobradinho II é superior à máxima de Sobradinho I em 2°C. Isto ocorre devido à forma de ocupação mais densa de Sobradinho II, além da inexistência das áreas internas das quadras com arborização e maior porcentagem de copa de árvore (15,33%) - classificação Pouco Densa, que apresenta-se em Sobradinho I. Em fevereiro a temperatura média é Baixa a Média e em agosto a temperatura média é Média.

Quadro 42 – Imagens da Região Administrativa Sobradinho II obtidas com a Câmera Termográfica

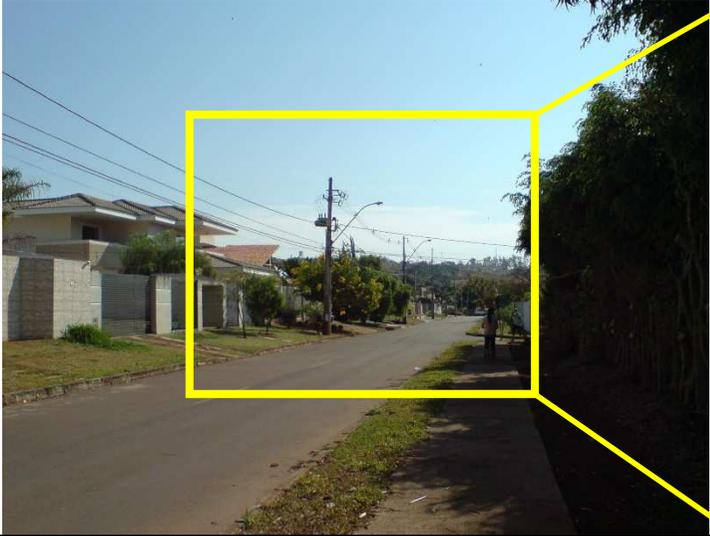
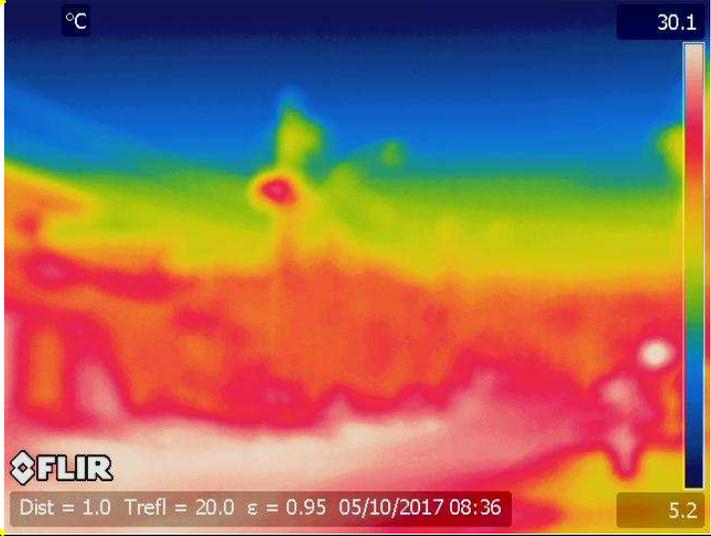
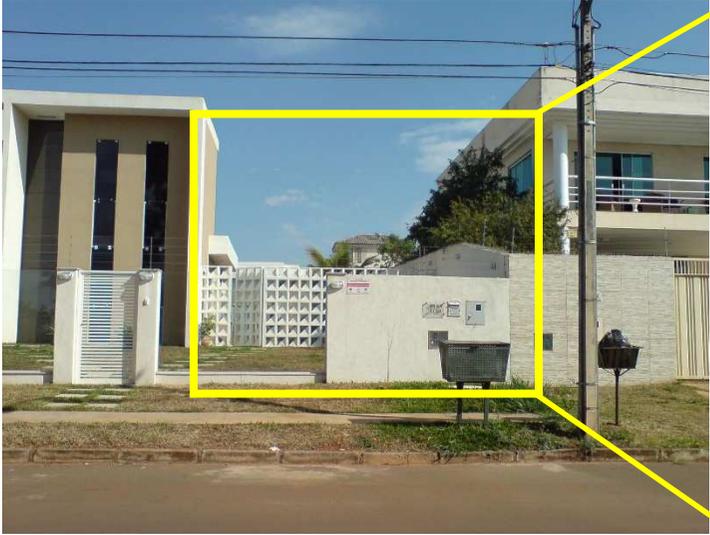
Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
Sobradinho II – Área Residencial			<p>Fachadas sem incidência solar do lado esquerdo da imagem, com temperaturas de 22°C. Enquanto as fachadas recebendo incidência solar, do lado direito da imagem, com temperaturas atingindo os 46°C, em materiais como aço dos portões e vidros das janelas. As alvenarias entre 32 e 34°C.</p>
Sobradinho II – Área Comercial			<p>Na área comercial de Sobradinho II, maior aquecimento das superfícies de asfalto, com temperaturas a partir de 37°C até 46°C em alguns locais. O mesmo vale para o ponto de ônibus e meio fio (concreto) e orelhões (aço). Alta emissividade e albedo. Enquanto nas fachadas dos edifícios apresenta-se temperaturas entre 27 e 28°C.</p>

Quadro 43 – Campo Térmico do Setor Taquari - Região Administrativa do Lago Norte

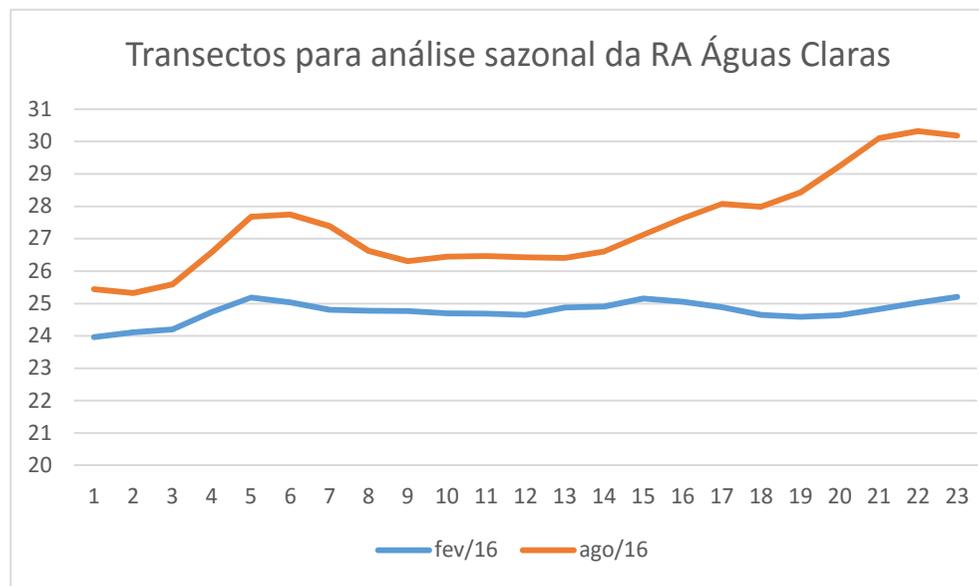
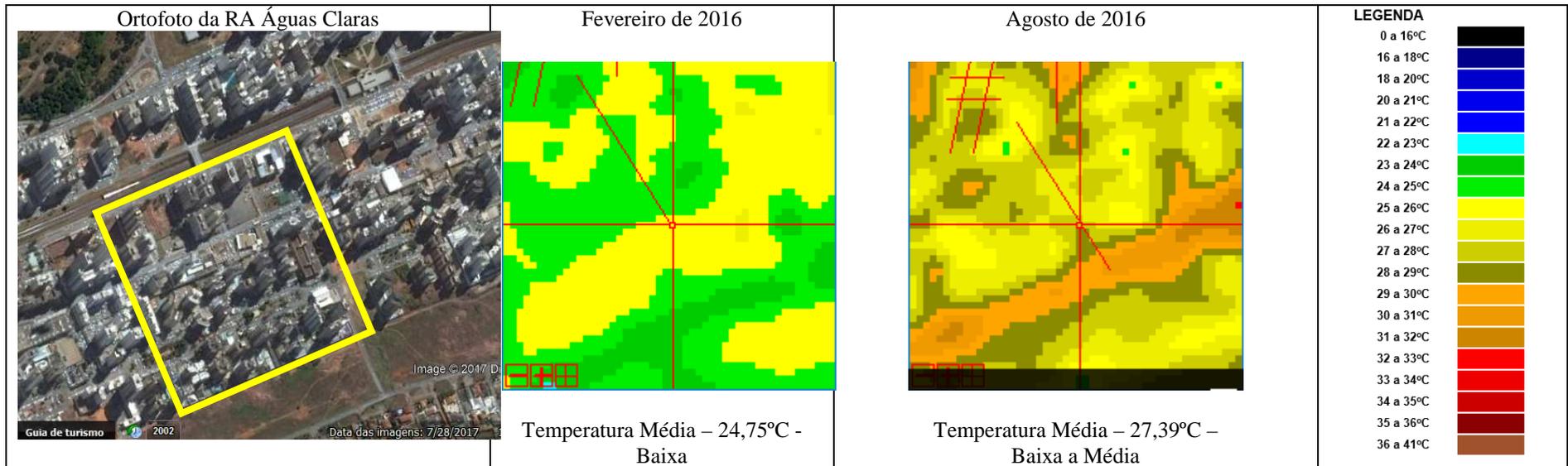


O Setor Taquari é uma das áreas analisadas de ocupação mais recente. As formas predominantes são edificações residenciais unifamiliares de dois pavimentos. Nos transectos, observamos o equilíbrio térmico nas duas épocas, o que demonstra homogeneidade no comportamento dos materiais de revestimentos das superfícies urbanas neste local. Os picos são as temperaturas das áreas de habitações e asfalto, enquanto os vales referem-se à presença de vegetação (evapotranspiração). Temperatura máxima de até 29°C (Média) no mês de agosto e de 26,5°C (Baixa a Média) no mês de fevereiro. Mínimas de 28°C (Média) no mês de agosto e 26°C (Baixa) no mês de fevereiro. Esta área assemelha-se aos típicos bairros de classe média alta das cidades tradicionais (GONSALES, 2005) e as temperaturas máximas atingidas são ainda inferiores às de áreas densas como Sobradinho II, por exemplo. Em fevereiro a temperatura média é Baixa a Média e em agosto a temperatura média é Média.

Quadro 44 – Imagens do Setor Taquari (Região Administrativa Lago Norte) obtidas com a Câmera Termográfica

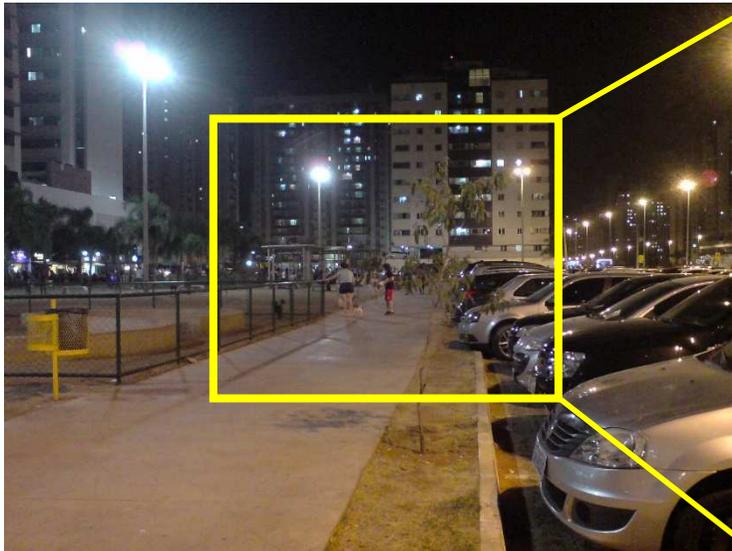
Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
Taquari - Área Residencial			<p>Temperaturas do asfalto atingindo 30°C, relvado próximo dos 26°C e árvores 24°C. Sombras, no canto inferior direito da imagem, de 18°C. A média entre as temperaturas de asfalto e relvado (materiais predominantes) é 28°C, o que coincide com as temperaturas dos vales do transecto de agosto.</p>
Taquari - Área Residencial			<p>Temperatura de 19°C da alvenaria na sombra (lateral direita da imagem termal), muro frontal com temperaturas entre 27 e 34°C (quadros de medições metálicos) e alvenaria da fachada da residência com 34,9°C, voltada diretamente para a incidência solar. Amplitude térmica de mais de 15°C devido à incidência solar.</p>

Quadro 45 – Campo Térmico da Região Administrativa de Águas Claras

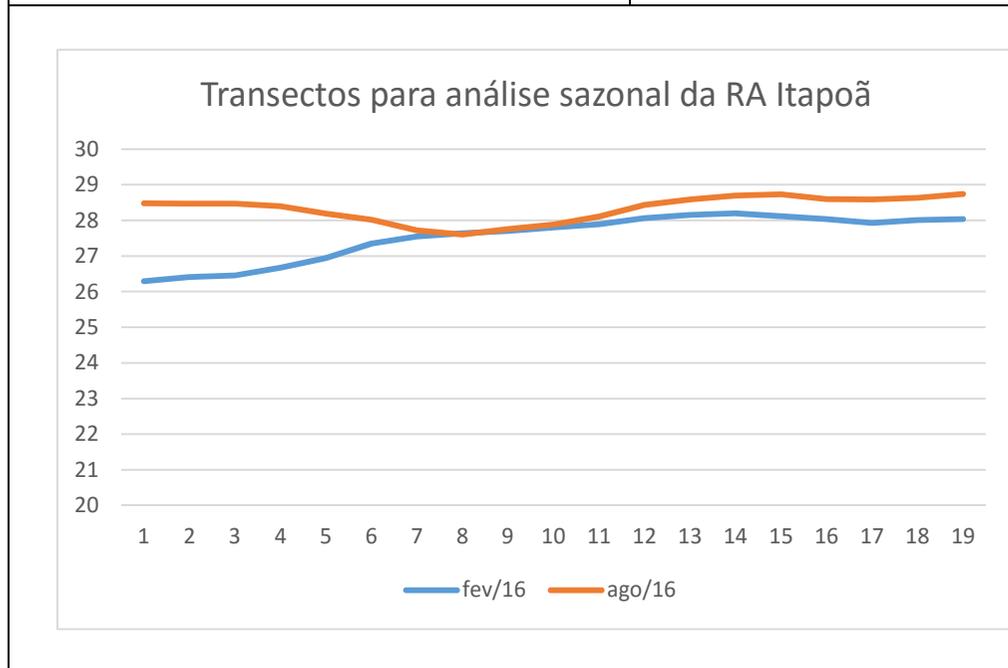
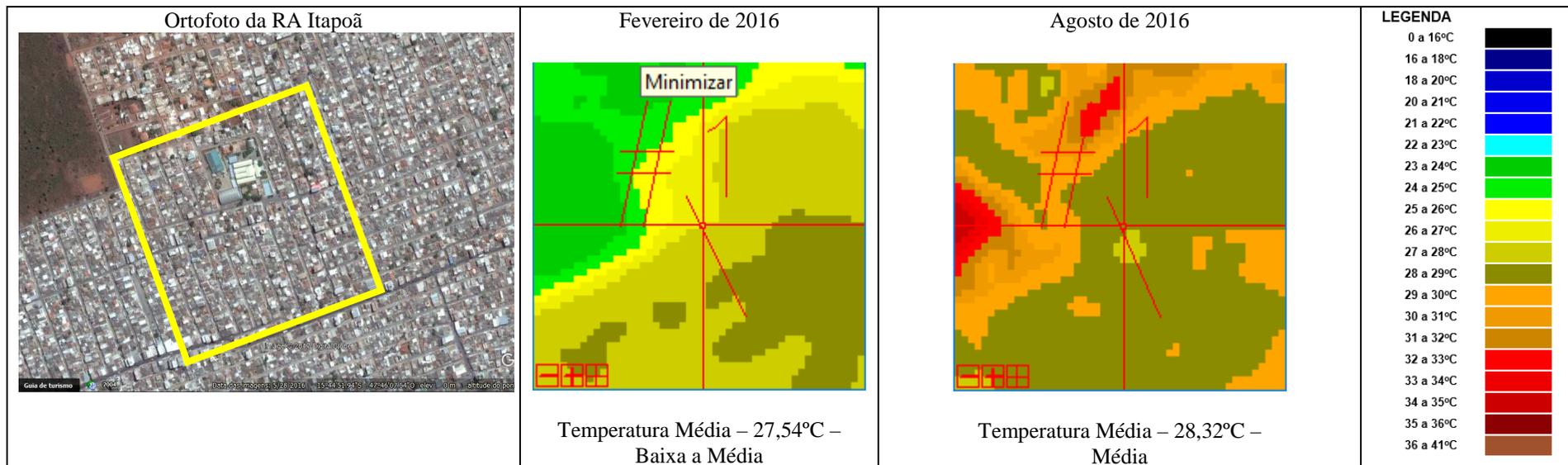


A Região Administrativa de Águas Claras teve ocupação recente e acelerada. Nos transectos, os picos são as temperaturas das áreas verticalizadas, enquanto os vales referem-se às sombras e presença de vegetação (evapotranspiração). Existem raríssimas árvores (copa de árvore 2,5%), as quais são de porte médio a alto e situam-se nas praças públicas e/ou áreas de convivência. Observamos a temperatura máxima de 30°C (Média) no mês de agosto e de 25°C (Baixa) no mês de fevereiro. Mínima de 25,5°C (Baixa) no mês de agosto e 24°C (Baixa) no mês de fevereiro. Em agosto as áreas verticalizadas demonstram a tendência ao efeito ilhas de calor, com amplitudes térmicas de cerca de 5°C, entre edifícios e as áreas de sombra. Este é um típico comportamento de materiais de superfícies urbanas em áreas densas e verticalizadas, em cidades de médio e grande porte (GARTLAND, 2010). Eis o saldo entre a radiação de ondas curtas e a liberação de ondas longas, promovido pela emissividade dos materiais de superfícies urbanas. Em fev. a temp. média é Baixa e em agosto a temp. média é Baixa a Média (observar também a figura 122, com temp. de superfícies urbana máximas).

Quadro 46 – Imagens da Região Administrativa Águas Claras obtidas com a Câmera Termográfica

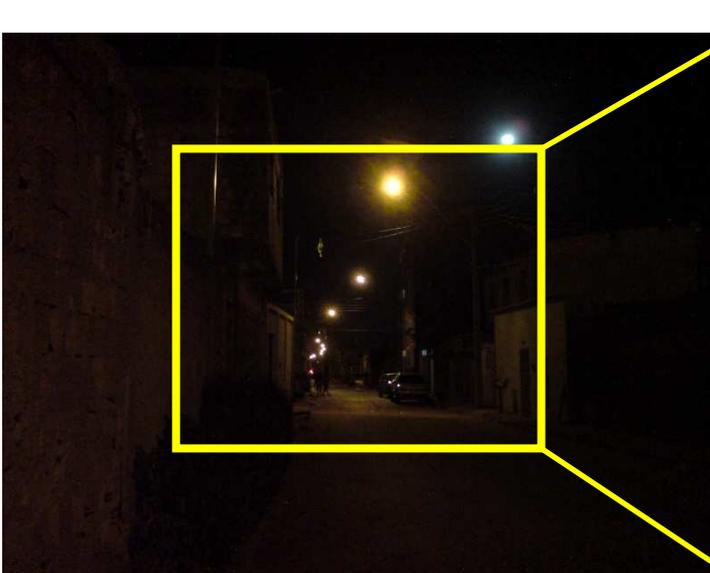
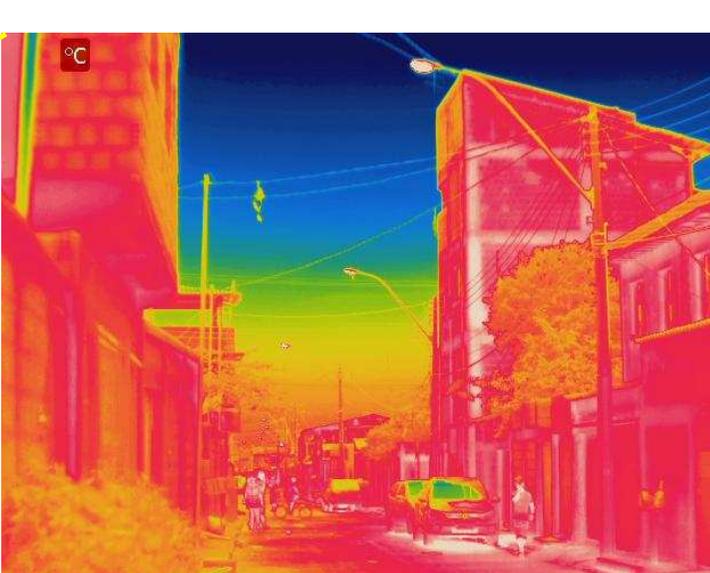
Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
Águas Claras – Praça em Área Residencial			<p>Em Águas Claras as temperaturas das fachadas ficam entre 25 (alvenarias) e 30°C (vidros). Enquanto nas calçadas (cimento – alta emissividade e albedo) a temperatura aproxima-se dos 32°C, e o relvado adjacente à esta mantém entre 19 e 20°C. Amplitude térmica de cerca de 12°C.</p>
Águas Claras – Praça em Área Residencial			<p>Praça de convivência em Águas Claras. Detalha da amplitude térmica existente entre o relvado (cerca de 20°C) e a calçada de cimento (de até 31,3°C – alta emissividade e albedo). 11,3°C de amplitude térmica.</p>

Quadro 47 – Campo Térmico da Região Administrativa Itapoã



A Região Administrativa de Itapoã teve ocupação recente e é também uma área legalizada pelo governo tempos após a ocupação. A predominância é de alta densidade de ocupação por edificações residenciais térreas e inexistência de vegetação (evapotranspiração). Nos transectos, os picos são as temperaturas das áreas de habitações térreas, enquanto os vales referem-se às raras árvores existentes, que são de porte médio e estão na praça pública. A temperatura máxima é de 29°C (Média) no mês de agosto e de 28°C (Média) no mês de fevereiro. Mínimas de 27,5°C (Baixa a Média) no mês de agosto e 26°C (Baixa) no mês de fevereiro. As temperaturas dos materiais de superfícies urbanas são homogêneas. Isto ocorre devido à pouca diversidade de materiais de revestimentos das superfícies urbanas no local. Em Itapoã observa-se a predominância por habitações leves, pela impermeabilização do solo e pouca presença de vegetação, típicos de ocupações urbanas sem planejamento (STEWART E OKE, 2012). Em fevereiro a temperatura média é Baixa a Média e em agosto a temperatura média é Média.

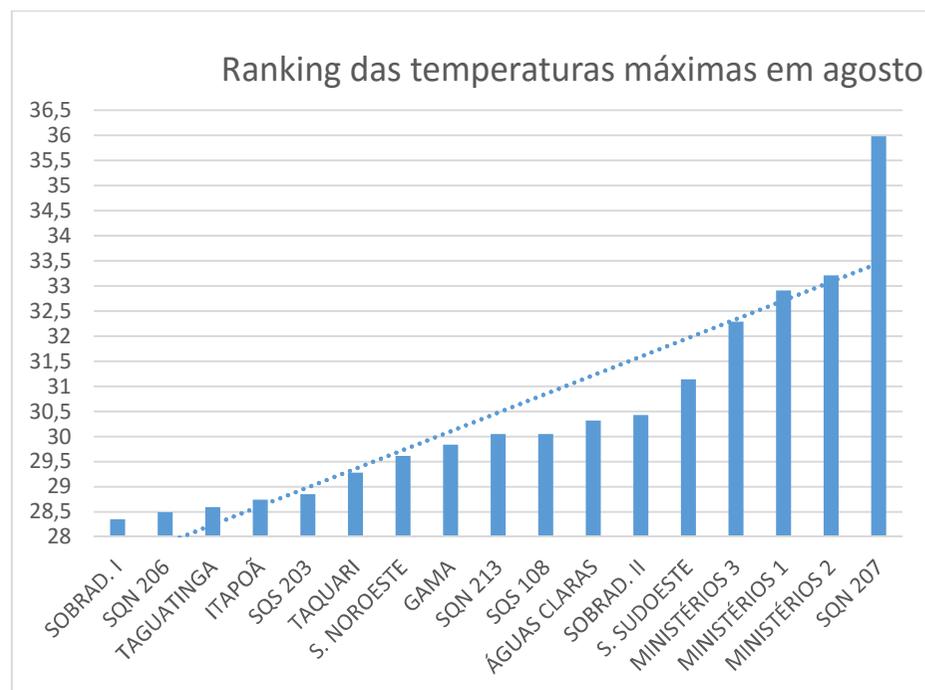
Quadro 48 – Imagens da Região Administrativa Itapoã obtidas com a Câmera Termográfica

Área	Imagens fotográficas	Imagens Termais	Obs.:
Itapoã – Área Residencial			<p>Campo térmico urbano observado no período noturno. Predominância do asfalto como material de superfície urbana – cerca de 32°C. Observamos que à noite as temperaturas das alvenarias das fachadas ficam homogêneas com as temperaturas do asfalto.</p>
Itapoã – Área Residencial			<p>Idem à análise anterior, com destaque para a árvore, com temperaturas entre 24 e 25°C. É interessante observar que os vidros dos carros (próximos dos 24°C) têm comportamento térmico diferente dos vidros das edificações (cerca de 32°C). Talvez pelo uso de películas ou pelo uso de ar condicionado.</p>

5.3.1. Síntese das Temperaturas de Superfície encontradas

Por meio das imagens termais foi possível obter a temperatura radiante da superfície urbana, destacando a diferença entre as áreas mais arborizadas e maior conforto térmico e as menos arborizadas e menor conforto térmico, assim como os locais com materiais mais homogêneos e mais heterogêneos. No gráfico (Figura 112), o ranking das temperaturas máximas em agosto de 2016, obtidas nos transectos das imagens termais. Observamos que quanto mais expansiva a área, menos ocupada por edifícios, maior área de relvado, menor presença de arborização, mais altas são as temperaturas. As tabelas completas, com as temperaturas dos transectos de todas as áreas estão no Anexo III.

Figura 112 – Gráfico do ranking das Temperaturas Máx. de Agosto em Brasília – DF, obtidas das Imagens Termiais – Banda 10 - Landsat 8



Quanto as imagens da câmera termográfica, permitem observar as diferenças entre as temperaturas dos materiais de revestimentos das fachadas com precisão. Embora a data e o horário de alguns registros tenham sido diferentes, é possível identificar a relação entre as temperaturas, como por exemplo, na área dos Ministérios, onde a temperatura atingida pelo edifício do Congresso Nacional é a mesma observada nos transectos – entre 27 e 28°C.

Já no Setor Noroeste os materiais das fachadas leste dos edifícios, por exemplo, diante da incidência solar por volta das 11:00 h, apresentam temperaturas ainda mais elevadas que as identificadas nos transectos das imagens termais Landsat.

No Setor Sudoeste a temperatura do asfalto é a mesma identificada na imagem termográfica noturna de outubro e no transecto da imagem termal Landsat de agosto – entre 32 e 33°C. Nestas imagens noturnas é possível ainda observar o comportamento das árvores, cujas temperaturas se elevam em relação ao dia.

Em Taguatinga a isoterma de 27,4°C, registrada na câmera termográfica, assemelha-se às temperaturas verificadas no transecto de agosto, da imagem termal Landsat.

Já em Sobradinho I, as temperaturas registradas na câmera termográfica, por exemplo, extrapolaram as temperaturas obtidas nas imagens termais Landsat. Contudo, retomando a análise do transecto de agosto em Sobradinho I, observamos que o transecto apresente uma “homogeneização” das temperaturas dos diferentes tipos de materiais, refletindo as próprias trocas térmicas que ocorrem entre eles. Assim, no transecto, temos temperaturas pico de 28°C e temperaturas vale de 27°C, enquanto na imagem termográfica de outubro, temos a temperatura de 32°C para o material solo exposto (alta emissividade e albedo) e 23°C

para as copas de árvores. Desta forma, se considerarmos os dados obtidos com as duas frentes: a temperatura média do transecto é de 27,5°C e a temperatura média entre os principais materiais da imagem termográfica é de 27,5°C. Isto confirma a relação entre as duas ferramentas para obtenção das temperaturas dos materiais de superfícies urbanas e serve de reflexão para as demais áreas de análise.

Outra peculiaridade da análise sazonal de Sobradinho I é que amplitude térmica entre os meses de fevereiro e agosto é menos de 1°C, isto é, em fevereiro a média das temperaturas é de 27,00°C e em agosto é de 27,70°C. A imagem termal do mês de agosto, contudo, demonstra o maior aquecimento de algumas áreas adjacentes à área analisada. Estas áreas mais aquecidas são as que não têm de arborização densa e os revestimentos de superfície predominantes são asfalto e telhas de aço.

Em síntese, a lição de Sobradinho I é que onde há predominância de arborização densa, as temperaturas se equilibram entre o período seco e o período chuvoso do ano, não ocorrendo grandes amplitudes térmicas.

Em Sobradinho II, as temperaturas dos materiais são superiores as de Sobradinho I. Considerando as imagens da câmera termográfica, as alvenarias das fachadas das casas, por exemplo, apresentam temperaturas de 28 a 32°C em Sobradinho I e de 32 a 34°C em Sobradinho II. Nas duas

áreas existe uma diferença sensível entre as temperaturas do asfalto da área residencial (34°C) e da área comercial (37°C).

Em Taquari observamos amplitude térmica de cerca de 15°C entre fachadas sombreadas e fachadas que recebem incidência solar. Em Águas Claras observamos amplitude térmica de cerca de 12°C entre a superfície de calçada (cimento – alta emissividade e albedo) e relvado adjacente. Em Itapoã as temperaturas das superfícies urbanas apresentam-se homogeneizadas. Os materiais de revestimento assemelham-se, isto é, predomina a impermeabilização por asfalto e calçadas em cimento (alta emissividade e albedo), além das fachadas em alvenarias. Não existe relvado e as árvores que existem são insignificantes. Finalmente, uma característica que aparece nas imagens da câmera termográfica de outras áreas. Trata-se do comportamento térmico do vidro dos automóveis, que é diferente do comportamento dos vidros nos edifícios, pois aqueles apresentam temperaturas mais baixas, talvez devido ao uso de películas ou pelo uso de ar condicionado.

Os gráficos (Figuras 113 a 116) referem-se às médias das temperaturas e às amplitudes térmicas entre os materiais de superfície de cada área, obtidas dos transectos, das imagens termais dos meses de fevereiro e agosto, respectivamente.

Figura 113 – Gráfico das Temperaturas Médias de Agosto em Brasília – DF, obtidas das Imagens Termais – Banda 10 - Landsat 8

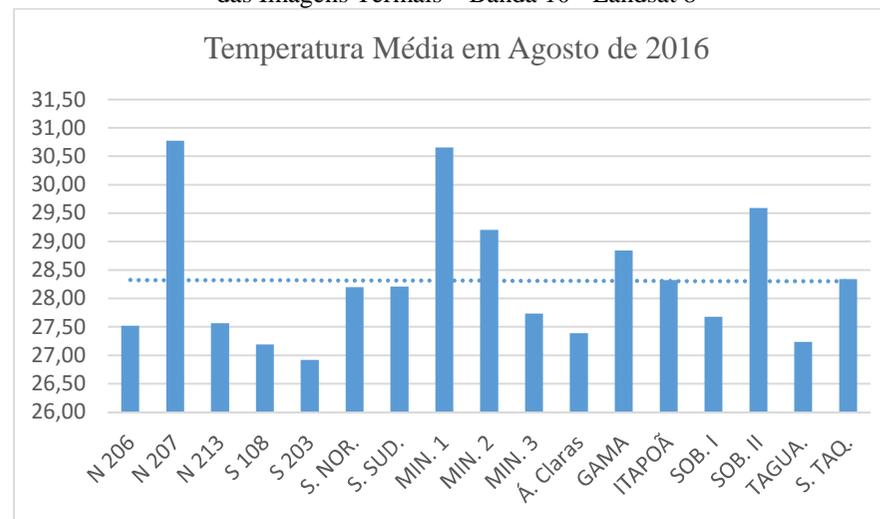


Figura 114 – Gráfico da Amplitude Térmica em Agosto em Brasília – DF, obtidas das Imagens Termais – Banda 10 - Landsat 8

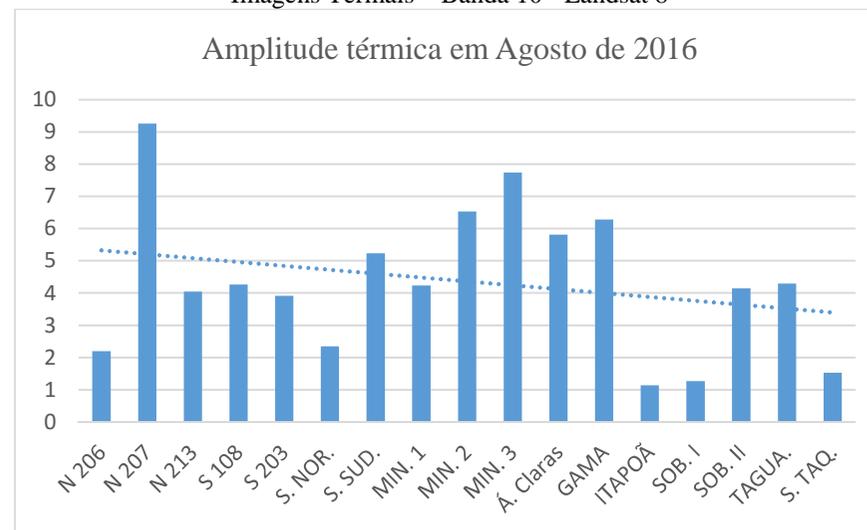


Figura 115 – Gráfico das Temperaturas Médias de Fevereiro em Brasília – DF, obtidas das Imagens Termiais – Banda 10 - Landsat 8

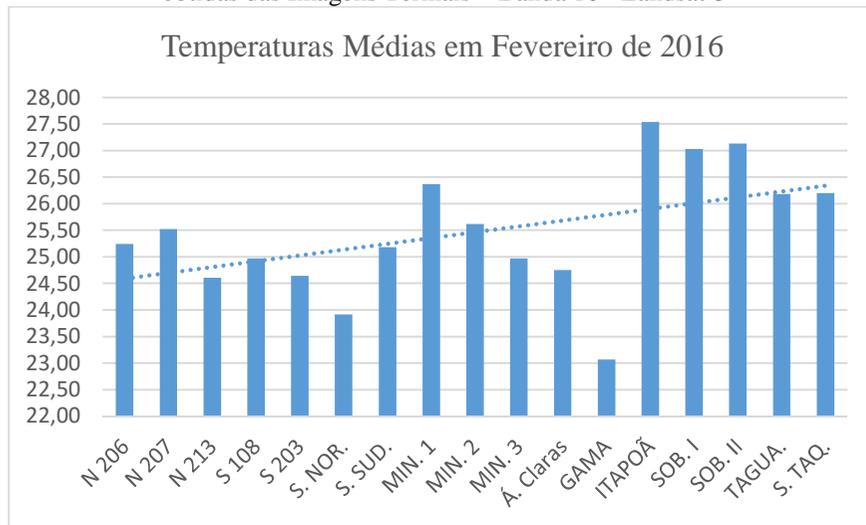
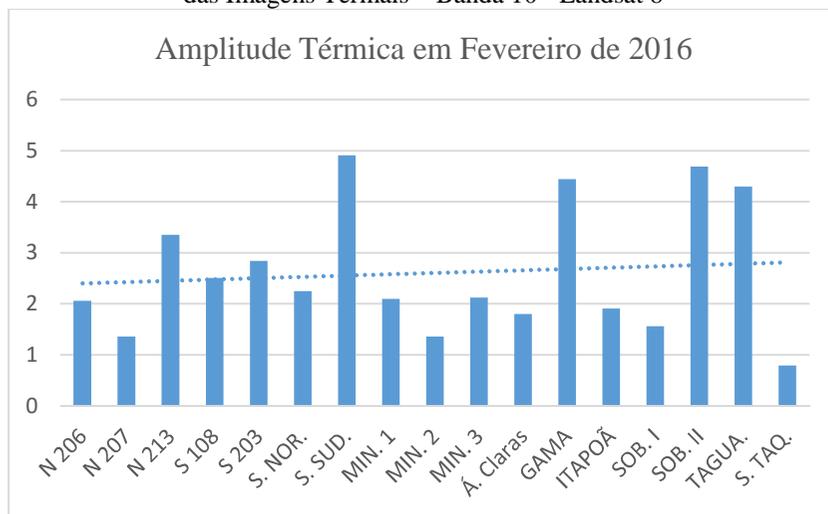


Figura 116 – Gráfico da Amplitude Térmica em Fevereiro em Brasília – DF, obtidas das Imagens Termiais – Banda 10 - Landsat 8



5.4. Considerações Finais do Capítulo

Para identificar as combinações favoráveis e desfavoráveis, entre os materiais de superfície urbana, o fator W/H e as temperaturas no DF, faremos a síntese dos resultados destas três variáveis nas 17 áreas de análise.

Na SQN 206, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é copa de árvore – 28,29%, fatores W=H e W=5H, indicando ambientes de recolhimento e expansivo, respectivamente. As temperaturas médias são 25,24°C em fevereiro e 27,52°C em agosto. As temperaturas dos materiais de superfície da área residencial são mais amenas que as temperaturas da área comercial, principalmente devido à maior presença de vegetação (evapotranspiração).

Na SQN 207, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é Relvado – 29,39%, fatores W=2H, na área comercial e $W \geq 4H$, em toda a área desocupada, indicando ambientes de recolhimento e expansivo, respectivamente. As temperaturas médias são 25,52°C em fevereiro e 30,78°C em agosto. Esta Superquadra tem o mesmo comportamento térmico das extensas áreas verdes, de vegetação rasteira (Relvado), as quais no período das chuvas conferem uma paisagem inigualável à Brasília, no período seco, contudo, transformam-se em áreas aquecidas.

Na SQN 213, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é copa de árvore – 33,89%, fatores $W=H$ e $W=3H$, indicando ambientes de recolhimento. As temperaturas médias são 24,61°C em fevereiro e 27,65°C em agosto. As temperaturas das superfícies ficam equilibradas ao longo do período seco e chuvoso. Esta Superquadra identifica-se com as áreas urbanas lindeiras a Parques e/ou áreas de preservação, com presença abundante de arborização, além das densidades habitacionais média a baixa, onde as temperaturas mantêm maior equilíbrio. Assim como o maior aquecimento das áreas centrais, onde existe maior impermeabilização do solo e influência dos automóveis.

Na SQS 108, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é copa de árvore – 33,73%, fatores $W=H$ e $W=3H$, indicando ambientes de recolhimento. As temperaturas médias são 24,97°C em fevereiro e 27,19°C em agosto. A presença de vegetação densa (evapotranspiração) proporciona temperaturas amenas e traz equilíbrio térmico ao longo dos períodos seco e chuvoso do ano.

Na SQS 203, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é copa de árvore – 38,61%, fatores $W=H$ e $W=3H$, indicando ambientes de recolhimento. As temperaturas médias são 24,64°C em fevereiro e 26,92°C em agosto. A presença de vegetação

densa (evapotranspiração) proporciona temperaturas amenas e traz equilíbrio térmico ao longo dos períodos seco e chuvoso do ano. Assim como a SQS 108, a SQS 203 é também uma típica Superquadra da Asa Sul, contudo, apresenta cerca de 1°C a menos que aquela de temperatura nos períodos seco e chuvoso do ano. Entre outros fatores, o principal motivo identificado para esta diferença de temperatura, trata da porcentagem de copas de árvores. Uma sensível diferença no conforto térmico urbano, que neste caso é proporcionada também pela arborização.

Na Área dos Ministérios I, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é o Relvado – 27,28%, para o fator $W=2H$ a indicação de ambiente de recolhimento e para o fator $W\geq 4H$ ($W=5H$ e $W=10H$) ambiente expansivo. As temperaturas médias são 26,37°C em fevereiro e 30,66°C em agosto. Esta área abrange os edifícios dos Anexos e seus respectivos estacionamentos, o que torna o cenário árido e de temperaturas mais elevadas.

Na Área dos Ministérios II, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é o Relvado – 35,33%, para o fator $W=2H$ a indicação de ambiente de recolhimento e para o fator $W\geq 4H$ ($W=5H$ e $W=10H$) ambiente expansivos. As temperaturas médias são 25,62°C em fevereiro e 29,21°C em agosto. Analogamente à SQN 207, a

área dos Ministérios II também representa as extensas áreas verdes, de vegetação rasteira (Relvado), as quais no período das chuvas conferem uma paisagem inigualável à Brasília, no período seco, contudo, transformam-se em áreas aquecidas.

Na Área dos Ministérios III, que abrange o Congresso Nacional, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é o Telha Cinza – 20,91%, para o fator $W=2H$ a indicação de ambiente de recolhimento e para o fator $W \geq 4H$ ($W=5H$ e $W=10H$) ambiente expansivo. As temperaturas médias são 24,97°C em fevereiro e 27,74°C em agosto. Trocamos a variável telhado cerâmico por Pedra Portuguesa – 9,05% - material característico desta área, que é simbólica da Capital Federal, e caracteriza-se pela presença marcante de superfícies impermeáveis e de extenso espelho d'água, materiais de importante análise.

No Setor Noroeste, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é Solo Exposto – 33,45% (alta emissividade e albedo), fatores $W=1,25H$ e $W=1,70H$, indicando ambientes de recolhimento e fator $W=5H$, indicando ambiente expansivo. As temperaturas médias são 23,91°C em fevereiro e 28,20°C em agosto. Este setor caracteriza-se como uma Superquadra com uma visão do atual do mercado capitalista da construção sustentável. Materiais de

revestimentos das fachadas de elevada absorção térmica e descompromissados com a orientação solar.

No Setor Sudoeste, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é Solo Exposto – 23,24%, fator $W=1,70H$, indicando ambientes de recolhimento e fator $W=3,8H$, indicando ambiente expansivo. As temperaturas médias são 25,18°C em fevereiro e 28,21°C em agosto. Este setor é também uma Superquadra, com ocupação um pouco mais densa e menor presença de vegetação (evapotranspiração), portanto, com sensíveis 2°C de diferença de temperatura da SQS 203.

No Gama, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é Telha Cinza – 35,95%, fator $W=2H$, indicando ambientes de recolhimento e fator $W=0,2H$ e $W=0,7H$, indicando ambiente claustrofóbico. As temperaturas médias são 23,07°C em fevereiro e 28,84°C em agosto. Observamos que em agosto, as áreas de residências térreas mantem temperatura de até 30°C, enquanto a área verticalizada chega à 32°C. Esta é uma típica amplitude térmica entre áreas centrais e periféricas de cidades tradicionais.

Em Taguatinga, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é Telha Cinza – 34,96%, fator $W=4H$ (residências unifamiliares) indicando ambiente expansivo, fator $W=2,5H$ (residências unifamiliares com ruas mais estreitas), indicando ambiente de

recolhimento, e para o fator $W=0,3H$ (área verticalizada) ambiente claustrofóbico. As temperaturas médias são $26,18^{\circ}\text{C}$ em fevereiro e $27,24^{\circ}\text{C}$ em agosto. Observamos a amplitude térmica entre a área verticalizada e a área de vegetação nativa (evapotranspiração), Nas margens desta RA. Este comportamento térmico das superfícies urbanas é típico entre áreas centrais e periféricas de cidades tradicionais.

Em Sobradinho I, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é Solo Exposto – $19,98\%$, fator $W=3H$ (área residencial) indicando ambiente de recolhimento e fator $W=6,67H$ (largas áreas verdes entre as quadras residenciais), indicando ambiente de expansivo. As temperaturas médias são $27,03^{\circ}\text{C}$ em fevereiro e $27,68^{\circ}\text{C}$ em agosto. A predominância é por edificações residenciais térreas e arborização densa. A principal lição extraída desta área é a baixa amplitude térmica entre os períodos seco e chuvoso – menos de 1°C - devido à presença de arborização.

Em Sobradinho II, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é Telha Cerâmica – $33,35\%$, fator $W=5H$ (área residencial) indicando ambiente expansivo. As temperaturas médias são $27,13^{\circ}\text{C}$ em fevereiro e $29,59^{\circ}\text{C}$ em agosto. Não há verticalização e as vias são largas. Observamos que em agosto, a temperatura máxima de Sobradinho II é superior à máxima de Sobradinho I em 2°C , o que é

explicado com a forma de ocupação, mais densa e sem as áreas internas das quadras densamente arborizadas.

No Setor Taquari, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é Relvado – $25,90\%$, fator $W=2,7H$ (área residencial) indicando ambiente de recolhimento. As temperaturas médias são $26,20^{\circ}\text{C}$ em fevereiro e $28,34^{\circ}\text{C}$ em agosto. Esta área assemelha-se aos típicos bairros de classe média alta das cidades tradicionais, com vias largas e residências de dois pavimentos. As temperaturas máximas atingidas são ainda inferiores às de áreas densas como Sobradinho II, por exemplo.

Em Águas Claras, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é Solo Exposto – $29,50\%$ (alta emissividade e albedo), fator $W=1,42H$ (praça), indicando ambiente de recolhimento e fator $W=0,62H$ e $W=0,67$ (entre os edifícios) indicando ambiente claustrofóbico. As temperaturas médias são $24,75^{\circ}\text{C}$ em fevereiro e $27,39^{\circ}\text{C}$ em agosto. Observamos que em agosto, as áreas verticalizadas demonstram uma tendência ao efeito “ilhas de calor”, com amplitudes térmicas de cerca de 5°C , entre edifícios e áreas arborizadas. Este é um típico comportamento de materiais de superfícies urbanas em áreas densas e verticalizadas, em cidades de médio e grande porte.

Em Itapoã, o material de revestimento de superfície urbana com maior porcentagem é Telha Cinza (cimento amianto – alta emissividade e albedo) – 36,92%, fator $W=2H$ indicando ambiente de recolhimento. As temperaturas médias são 27,54°C em fevereiro e 28,32°C em agosto. Não há verticalização e as vias são estreitas. As temperaturas dos materiais de superfícies urbanas demonstram homogeneidade, o que caracteriza a predominância da impermeabilização do solo e pouca presença de vegetação (evapotranspiração) na área, típicos de ocupações urbanas não planejadas.

Com base na síntese dos dados obtidos na pesquisa (Tabela 54), estabelecemos ranking das médias das temperaturas do mês de agosto (gráfico da Figura 117) nas áreas analisadas. As extremidades do gráfico X indicam as áreas mais aquecidas e as menos aquecidas, o que permite identificar as características em comum entre as mesmas, de forma a

apontar o que de fato deve ser controlado em relação aos materiais de superfícies e a morfologia urbana no DF.

Figura 117 – Gráfico do ranking das Temperaturas Médias de Agosto em Brasília, obtidas das Imagens Termiais – Banda 10 - Landsat 8

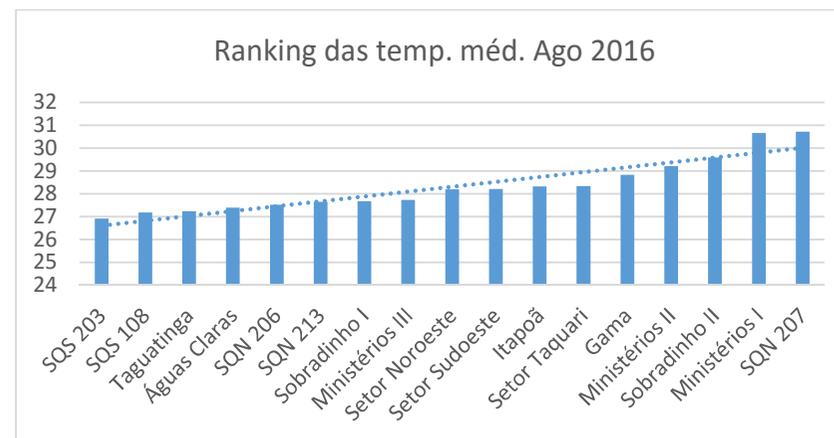


Tabela 54 – Tabela Síntese dos Resultados da Porcentagem de Materiais, Fator W/H, Temp. Méd. Agosto e Temp. Méd. Fevereiro

ÁREA	%	MAT. PRED.	W/H (W≤4H) recolhimento	W/H (W≥4H) expansivo	W/H (W≤H) claustrofóbico	TEMP. MÉD. FEV	TEMP. MÉD. AGO
SQN 206	28,29	Copa de Árvore	1,05	5	-	25,24	27,52
SQN 207	29,39	Relvado	2,40	19,43	-	25,52	30,72
SQN 213	33,89	Copa de Árvore	1,43 e 2,85	-	0,95 (~ recolhimento)	24,61	27,65
SQS 108	33,73	Copa de Árvore	2,95	-	0,95 (~ recolhimento)	24,97	27,19
SQS 203	38,61	Copa de Árvore	-	4,76	0,95 (~ recolhimento)	24,64	26,92
Ministérios I	27,28	Relvado	-	10,33	-	26,37	30,66
Ministérios II	35,33	Relvado	-	5,33	-	25,62	29,21
Ministérios III	20,91	Telha Cinza	2,03	-	-	24,97	27,74
Setor Noroeste	33,45	Solo Exposto	1,25 e 1,67	5	-	23,91	28,20
Setor Sudoeste	23,24	Solo Exposto	1,67 e 3,81	-	-	25,18	28,21
Gama	35,95	Telha Cinza	2,17	-	0,20 e 0,71	23,07	28,84
Taguatinga	34,96	Telha Cinza	2,5	4,17	0,31	26,18	27,24
Sobradinho I	19,98	Solo Exposto	3,33	6,67	-	27,03	27,68
Sobradinho II	33,35	Telha Cerâmica	-	5	-	27,13	29,59
Setor Taquari	25,90	Relvado	2,67	-	-	26,20	28,34
Águas Claras	29,50	Solo Exposto	1,77	-	0,77 e 0,83	24,75	27,39
Itapoã	36,95	Telha Cinza	2,67	-	-	27,54	28,32

Fonte: elaborada pela autora.

Na tabela 49 temos o ranking entre as temperaturas das áreas analisadas e suas respectivas características, relativas aos materiais predominantes de revestimentos das superfícies urbanas e fatores W/H.

Importa observar, nos destaques em verde e laranja da Tabela 49, que entre as áreas de temperaturas mais amenas predomina o material copa de árvores e entre as áreas de temperaturas mais elevadas predomina o material Relvado, o qual no período seco transforma-se em solo exposto (alta emissividade e albedo).

Em relação à morfologia das áreas analisadas, neste estudo caracterizada pelo fator W/H (destaques em amarelo na Tabela 55), temos entre as temperaturas mais elevadas a predominância de ambientes expansivos ($W \geq 4H$) e entre as temperaturas mais amenas a predominância de ambientes de recolhimento. Assim, no contexto climático de Brasília, as melhores proporções W/H estão entre 0,95 e 2,95 ($W \leq 3H$).

Desta maneira, a primeira lição obtida da síntese deste estudo é que ambientes expansivos, com revestimento de superfície de relvado, transformam-se em locais com alta irradiação térmica, no período seco do ano. Esta conclusão coloca em questão as extensas áreas de vegetação rasteira do Plano Piloto de Brasília, as quais, diante da ótica da sustentabilidade urbana, deveriam receber densa arborização. Ousamos falar não apenas da SQN 207, mas também da Esplanada dos Ministérios, que mesmo expressando o caráter simbólico da Capital Federal, adotaria

características de Parque Urbano, mais benéfico do ponto de vista da Qualidade Ambiental.

Tabela 55 – Tabela do Ranking das Temperaturas de Agosto - Materiais e Fator W/H

	ÁREA	TEMP. MÉD. AGO	MAT. PRED.	W/H ($W \leq 4H$) recolhimento	W/H ($W \geq 4H$) expansivo
1	SQS 203	26,92	Copa de Árvore	0,95	4,76
2	SQS 108	27,19	Copa de Árvore	0,95 e 2,95	
3	Taguatinga	27,24	Telha Cinza	2,50	4,17
4	Águas Claras	27,39	Solo Exposto	0,83 e 1,77	
5	SQN 206	27,52	Copa de Árvore	1,05	5,00
6	SQN 213	27,65	Copa de Árvore	1,43 e 2,85	
7	Sobradinho I	27,68	Solo Exposto	3,33	6,67
8	Min. III	27,74	Telha Cinza	2,03	
9	S Noroeste	28,2	Solo Exposto	1,25 e 1,67	
10	S Sudoeste	28,21	Solo Exposto	1,67 e 3,81	
11	Itapoã	28,32	Telha Cinza	2,67	
12	S Taquari	28,34	Relvado	2,67	
13	Gama	28,84	Telha Cinza	0,71 e 2,17	
14	Min. II	29,21	Relvado		5,33
15	Sobradinho II	29,59	Telha Cerâmica		5
16	Min. I	30,66	Relvado		10,33
17	SQN 207	30,72	Relvado	2,4	19,43

Fonte: elaborada pela autora.

A segunda lição vem das Superquadras, tanto as da Asa Sul, quanto as da Asa Norte, comprovando que a presença de arborização densa proporciona o equilíbrio das temperaturas entre o período seco e o período chuvoso do ano. Neste caso, quando falamos de amplitude térmica, referimo-nos também às diferenças de temperaturas entre os diferentes materiais de superfície da mesma área em um único período, seja ele chuvoso ou seco. Além da diferença natural de temperatura, que ocorre entre os meses de fevereiro e agosto devido a mudança de umidade no ar. Soma-se à isto a configuração urbana de ambientes urbanos de recolhimento, com a proporção equilibrada entre o fator W (largura do cânion) e H (altura dos edifícios), também favorecem as temperaturas amenas, devido à ocorrência de insolação e ventilação naturais em medidas adequadas.

As áreas comerciais das Superquadras, de maneira geral, são mais áridas, não têm presença de arborização e os materiais de superfícies impermeabilizam o solo. Nas Regiões Administrativas esta é também uma característica observada. Analogamente, tanto nas cidades planejadas, quanto em cidades tradicionais, as áreas centrais urbanas não contam com arborização significativa. Assim, pelo equilíbrio das temperaturas urbanas nestas áreas, indica-se a destinação de áreas específicas para arborização, não apenas pelo sombreamento dos passeios, mas também pela influência que exerce no clima urbano.

Das Regiões Administrativas a lição mais importante é quanto à forma de ocupação do solo urbano. As circunstâncias em que as áreas de Sobradinho II e Itapoã, por exemplo, foram habitadas, demonstram muito do que acontece na maioria das áreas urbanas ocupadas sem planejamento. Os programas habitacionais para a população de baixa renda, instituídos pelo Governo do DF na década de 1990, buscaram suprir as demandas crescentes por moradia, mas foram totalmente descompromissados com as questões de cunho ambiental. Neste estudo foi possível avaliar as consequências.

Embora Sobradinho II tenha sido um “assentamento” planejado, a alta demanda por espaço para habitações tirou de questão a presença de áreas para vegetação (evapotranspiração). Esta característica, que poderia ser uma herança de Sobradinho I, demonstrou diferença de temperatura significativa no período seco – cerca de 2°C a mais. Sobradinho I, embora tenha dado origem à Sobradinho II, tem características de desenho urbano diferentes, sob uma ótica mais consciente do ponto de vista da necessidade da presença de vegetação (evapotranspiração) dentro das áreas urbanas e não apenas nas áreas de preservação ambiental.

No caso de Itapoã as circunstâncias foram ainda piores. Trata-se de uma área de invasão, instituída como Região Administrativa em 2005 a fim de legalizar a prestação de serviços do Governo do DF à população da área. Não houve planejamento e o desenho urbano foi definido

informalmente, pela ocupação espontânea dos espaços. Ruas estreitas, lotes pequenos, inexistência de afastamentos. Casas com pé direito (altura entre o piso e forro) baixo, sem laje e telhas de cimento amianto – alta emissividade e albedo. Não há verticalização, contudo, mas a ocupação por habitações térreas é densa. Uma grande massa de habitações construídas, alta impermeabilização do solo. Não há presença de vegetação (evapotranspiração). Apenas em uma praça, próximo à uma escola, observamos a presença de alguma arborização. Aridez, talvez seja a característica que resume.

Diante dos resultados obtidos na pesquisa, concluímos que a Qualidade do Ambiente Urbano, principalmente no que se refere ao clima, está vinculada à maneira como o “exploramos”. Ao Planejamento Urbano não é mais suficiente estabelecer as Zonas de Preservação Ambiental (Lei de Zoneamento) ou baixos índices de ocupação e exigências por recuos e afastamentos (Lei de Uso do Solo). Faz-se necessário exigir a presença de vegetação densa (evapotranspiração) entre as áreas destinadas à habitação e também comércio. A sustentabilidade urbana precisa manifestar-se em forma de Lei. As preocupações ambientais precisam ser colocadas em prática.

6. Correlações Estatísticas Aplicadas

A análise de regressão linear simples é uma técnica estatística para modelagem e investigação de relações entre duas ou mais variáveis. Pode ser usado, também, com as finalidades de otimização ou controle do processo (HINES et.al, 2014). A relação entre estas variáveis é caracterizada por um modelo matemático chamado *equação de regressão*. Para julgar a adequação de um modelo de regressão avalia-se o *Coefficiente de Determinação* (R^2). Sendo o valor: $0 \leq R^2 \leq 1$.

A Correlação entre duas variáveis de tipo quantitativo descreve a associação entre essas variáveis. Na presença de um conjunto de dados bivariados o primeiro passo na análise desses dados é representá-los num *diagrama de dispersão*. A forma da nuvem de pontos, representada no diagrama, pode mostrar uma associação linear entre as duas variáveis, que pode ser expressa numericamente pelo coeficiente de correlação amostral de Pearson (r) ou pelo seu quadrado, que é o coeficiente de determinação (R^2), mencionado anteriormente. O Coeficiente de correlação (r) é a medida da direção e grau com que duas variáveis, de tipo quantitativo, se associam linearmente (MARTINS, 2017). O r assume valores entre 1 e -1. Quanto mais próximo de 1, mais forte a correlação, que pode ser positiva ou negativa, isto é, crescente ou decrescente.

A Equação 12, que determina o valor de r é:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Equação 12

O coeficiente de correlação r , para o par de variáveis (x , y), é o quociente entre a covariância amostral das variáveis x e y e o produto dos desvios padrões respectivos.

No âmbito da análise do campo térmico urbano de Brasília – DF, interessa-nos identificar a relação existente entre os materiais de superfícies e as temperaturas e a relação entre a morfologia urbana e as temperaturas de superfícies.

6.1. Correlações entre Materiais e Temperaturas Superficiais Urbanas

As correlações estatísticas compõem a análise quantitativa das variáveis materiais de superfícies urbanas e temperaturas. Buscamos compreender a influência que os materiais de superfície exercem nas temperaturas, e diante do que foi abordado sobre o processo de formação das Ilhas de Calor Urbanas em Brasília - DF, partimos do princípio de que as maiores porcentagens de materiais influenciam as maiores temperaturas

detectadas e estabelecemos as correlações. O raciocínio estatístico, então, considera a correlação entre o ranking das porcentagens dos materiais e o ranking das temperaturas nos meses de fevereiro e agosto de 2016.

Para o desafio de correlacionar os dados de cada área, tais como: os 9 tipos de materiais de superfície urbana, definidos na pesquisa, com os cerca de 25 pontos de temperaturas, obtidas nos processamentos das imagens termais, fez-se necessário alguns ajustes.

O primeiro ajuste consistiu em verificar a importância de cada material de superfície urbana em sua respectiva área, e se as porcentagens eram significativas. A partir desta primeira análise houve a exclusão da Água das correlações, o que reduziu o número de materiais para 8. Em algumas áreas, onde a Telha Cerâmica apresentou porcentagem 0 (zero), também foi excluída, o que reduziu o número de materiais para 7, nestes casos.

O segundo ajuste foi em relação às temperaturas obtidas nos transectos, as quais identificavam cerca de 25 pontos em cada área de análise, e por isso tiveram que ser reduzidas para 8 temperaturas médias em alguns casos, ou 7 temperaturas médias em outros.

Houve uma análise de exceção, que foi a área denominada Ministérios III, na qual consideramos o material Pedra Portuguesa, de porcentagem

significativa nesta área, e que não é identificada nas demais áreas analisadas.

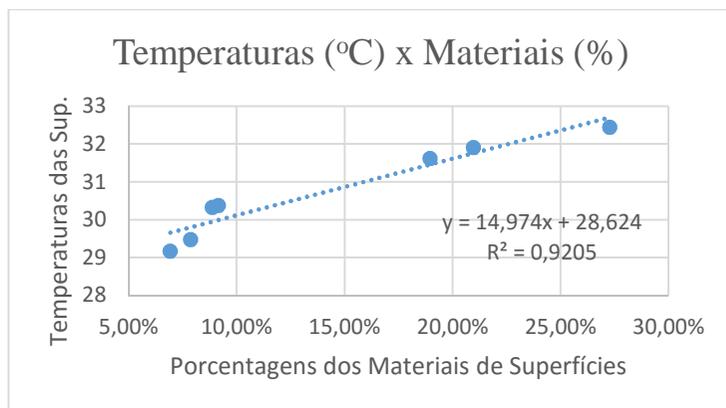
Apresentamos o exemplo de correlação entre materiais de superfície urbana e as temperaturas da área Ministérios I na Tabela 56. O coeficiente de Correlação (R) para as temperaturas do mês de agosto é 0,96 e para o mês de fevereiro é 0,97, o que significa dizer que ao utilizarmos os materiais de superfície para explicar as temperaturas 100 vezes, iremos acertar entre 96 e 97 vezes. As tabelas de correlações das demais áreas analisadas neste trabalho estão no Anexo IV.

Tabela 56 – Tabela das Correlações entre Materiais e Temp. da Á. Ministérios I

Materiais Ministérios I	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016
Relvado	27,28%	32,45	27,44
Asfalto	20,97%	31,91	26,64
Telha Cinza	18,95%	31,62	26,61
Copa de Árvore	9,15%	30,38	26,12
Laje	8,87%	30,33	26,08
Sombra	7,86%	29,48	25,91
Solo Exposto	6,92%	29,17	25,7
Telha Cerâmica	0,00%	-	-
Água	0,00%	-	-
R		0,959450474	0,972144753

Ao aplicar o método de Regressão Linear, observamos que a relação entre materiais de superfície urbana e temperaturas é forte e crescente. O coeficiente de determinação (R^2) está próximo de 1 (0,92), portanto está ótimo. Isso significa que o modelo é bom e uma variável explica a outra satisfatoriamente, em 92% das vezes. Apresentamos o diagrama de dispersão (Figura 118), a equação de regressão e o Coeficiente de Determinação.

Figura 118 – Correlação entre Temperaturas Médias de Agosto em Brasília e Materiais de Superfície



Coeficiente de Correlação - Plano Piloto

As correlações entre materiais de superfície e temperaturas do Plano Piloto têm alto valor positivo, uma média de 0,94 para o mês de agosto e 0,90 para o mês de fevereiro, o que indica forte dependência entre as

características consideradas (Tabela 57). De maneira geral, as correlações para o mês de agosto são ainda melhores que as do mês de fevereiro.

Tabela 57 – Tabela das Correlações entre Materiais e Temperaturas das Áreas analisadas do Plano Piloto

Áreas	R - Ago/2016	R - Fev/2016
SQN 206	0,9282	0,9469
SQN 207	0,9904	0,8233
SQN 213	0,9686	0,7272
SQS 108	0,9444	0,9385
SQS 203	0,8373	0,9231
Ministérios I	0,9594	0,9721
Ministérios II	0,9626	0,8142
Ministérios III	0,9244	0,9465
Setor Noroeste	0,9022	0,9009
Setor Sudoeste	0,9619	0,9716

Fonte: elaborada pela autora.

Coeficiente de Correlação - Regiões Administrativas

Embora estejam um pouco abaixo dos valores obtidos no Plano Piloto, as correlações entre materiais de superfície e temperaturas nas Regiões Administrativas têm médio a alto valor positivo, 0,89 no mês de agosto

e 0,80 no mês de fevereiro, o que também indica forte dependência entre as características consideradas (Tabela 58). De maneira geral, as correlações para o mês de agosto continuam sendo melhores que as do mês de fevereiro.

Tabela 58 – Tabela das Correlações entre Materiais e Temperaturas das Áreas analisadas das Regiões Administrativas

Áreas	R - Ago/2016	R - Fev/2016
Gama	0,8819	0,7867
Taguatinga	0,8744	0,7177
Sobradinho I	0,9302	0,7830
Sobradinho II	0,7799	0,7638
Setor Taquari	0,9680	0,9311
Águas Claras	0,9873	0,8852
Itapoã	0,8332	0,7263

Fonte: elaborada pela autora.

Confirmada a existência de correlação estatística entre os materiais de revestimentos das superfícies urbanas e as temperaturas de Brasília - DF, algumas considerações podem ser feitas. Primeiro, o fato dos resultados para o Plano Piloto serem melhores que os resultados para as Regiões Administrativas não significa dizer que as proporções são mais adequadas, ou que proporcionam maior conforto térmico, mas significa que uma variável explica a outra de maneira mais consistente. Significa

ainda que a influência do campo térmico urbano (temperaturas) devido às formas de revestimento das superfícies é maior no Plano Piloto.

Os resultados das correlações nos permitem afirmar que o traçado, o qual deu origem ao Plano Piloto, bem como o Planejamento Urbano que o desenvolveu, estavam dotados de intenções assertivas do ponto de vista da qualidade ambiental. Contudo, estas intenções não ficaram tão explícitas nos resultados das correlações dos dados referentes às Regiões Administrativas, que embora tenham surgido mediante planejamento, como soluções para evitar a concentração da população na área central do DF, não refletem a qualidade ambiental com a mesma consistência.

6.1.1. Síntese dos resultados das correlações entre materiais e temperaturas

A área do Ministérios e a SQN 207 têm maior porcentagem de vegetação rasteira e asfalto, o que está refletido nas temperaturas mais altas. Na sequência das temperaturas elevadas, temos o Setor Noroeste com maior porcentagem de solo exposto (alta emissividade e albedo). Observamos que as correlações são ainda mais fortes nas áreas que apresentam altas temperaturas.

A SQS 203, representando as superquadras, tem maior porcentagem de copa de árvore e por consequência as temperaturas mais amenas. Apesar

de forte, a correlação desta área é a de menor valor entre as áreas do Plano Piloto, o que confirma que as correlações são ainda mais fortes nas áreas onde os materiais de superfície contribuem ao aquecimento.

Águas Claras, seguido por Taguatinga têm as maiores porcentagens de sombra, o que indica a verticalização e adensamento. Águas Claras é a área de correlação mais forte entre as Regiões Administrativas. A SQN 207 é a área de correlação mais forte entre as áreas do Plano Piloto.

Finalmente, Sobradinho II (maior porcentagem de telha cerâmica) e Itapoã (maiores porcentagens de laje e telha cinza), que apresentam intensa impermeabilização do solo. Observamos que a correlação destas áreas, apesar de serem fortes são a de menor valor entre as Regiões Administrativas. Nestas áreas específicas, a qualidade ambiental urbana é complementarmente explicada com as questões morfológicas de ocupação do território urbano.

No próximo capítulo, a correlação entre o fator W/H as temperaturas das superfícies urbanas das áreas analisadas em Brasília – DF.

6.2. Correlação entre o fator W/H e Temperatura

Para compreender a influência das questões morfológicas, aqui representadas pelo fator W/H, e as temperaturas urbanas, buscamos

estabelecer a correlação estatística entre estas variáveis. Ainda diante do que foi abordado sobre o processo de formação das Ilhas de Calor Urbanas em Brasília - DF, a correlação proposta é entre o valor das temperaturas máximas atingidas no mês de agosto de 2016, em cada área de análise, e seus respectivos valores de fator W/H. Segue a Tabela 59 com os valores considerados.

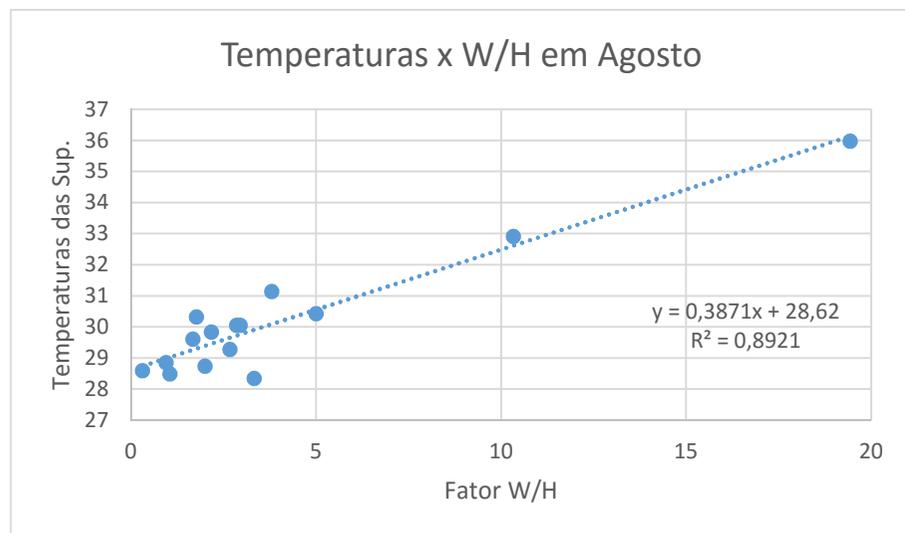
Tabela 59 – Tabela das Correlações entre Fator W/H e Temperaturas Agosto

Áreas	W/H	Temperatura Máx. Ago/2016
Sobradinho I	3,33	28,35
SQN 206	1,05	28,49
Taguatinga	0,31	28,59
Itapoã	2,00	28,74
SQS 203	0,95	28,85
Taquari	2,67	29,28
Setor Noroeste	1,67	29,61
Gama	2,17	29,84
SQN 213	2,85	30,05
SQS 108	2,95	30,05
Águas Claras	1,77	30,32
Sobradinho II	5,00	30,43
S. Sudoeste	3,80	31,14
Ministérios I	10,33	32,91
SQN 207	19,43	35,98
R		0,94

Fonte: elaborada pela autora.

De acordo com o gráfico de Regressão Linear (Figura 119), a correlação entre o fator W/H e as temperaturas (de agosto) das superfícies urbanas em Brasília é forte e crescente, sendo o coeficiente de correlação (R) 0,94. O coeficiente de determinação R^2 indica que 89,21% das vezes, o fator W/H explica a temperatura da superfície urbana.

Figura 119 – Correlação entre Temperaturas Máx. de Agosto em Brasília e Fator W/H



A mesma correlação proposta é entre o valor das temperaturas máximas atingidas no mês de fevereiro de 2016, em cada área de análise, e seus respectivos valores de fator W/H. Segue a Tabela 60 com os valores considerados.

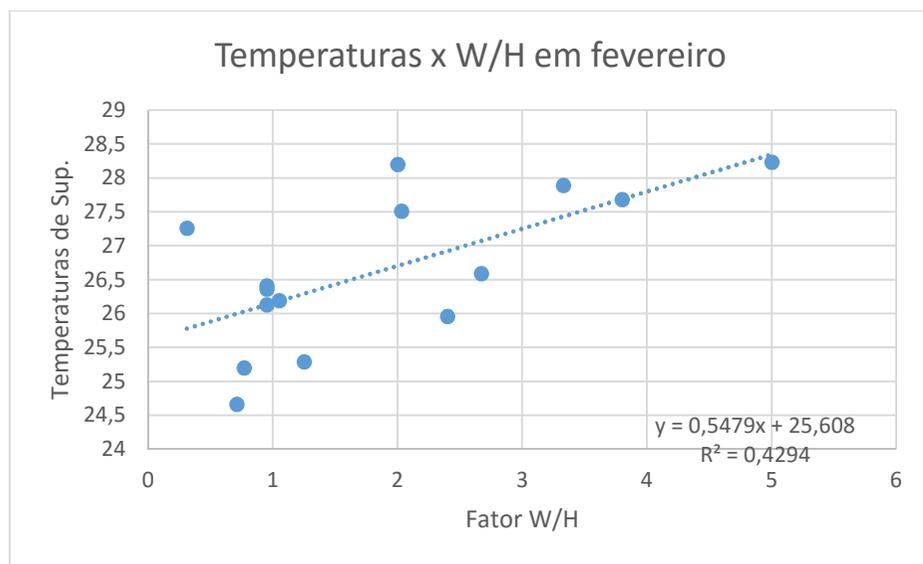
Tabela 60 – Tabela das Correlações entre Fator W/H e Temperaturas Fevereiro

Áreas	W/H	Temperatura Máxima em Fevereiro/2016
Gama	0,71	24,66
Águas Claras	0,77	25,20
S. Noroeste	1,25	25,29
SQN 207	2,40	25,96
SQN 213	0,95	26,13
SQN 206	1,05	26,19
SQS 203	0,95	26,36
SQS 108	0,95	26,41
Taquari	2,67	26,59
Taguatinga	0,31	27,26
Ministérios I	2,03	27,51
S. Sudoeste	3,80	27,68
Sobradinho I	3,33	27,89
Itapoã	2,00	28,20
Sobradinho II	5,00	28,23
R		0,65

Fonte: elaborada pela autora.

De acordo com o gráfico de Regressão Linear (Figura 120), a correlação entre o fator W/H e as temperaturas (de fevereiro) das superfícies urbanas em Brasília é moderada e crescente, sendo o coeficiente de correlação (R) 0,65. O coeficiente de determinação R^2 indica que 42,94% das vezes, o fator W/H explica a temperatura da superfície urbana.

Figura 120 – Correlação entre Temperaturas Máximas de Fevereiro em Brasília e Fator W/H



Assim como no caso das porcentagens dos materiais, as correlações do fator W/H também são mais fortes com às temperaturas mais altas - do mês de agosto (período seco) – do que no mês de fevereiro (período chuvoso). Isto demonstra que o aquecimento das áreas urbanas está mais relacionado à morfologia que as temperaturas de conforto. Além disto, comprova que as formas urbanas controlam o maior ou menor aquecimento das temperaturas. Estas correlações, entre fator W/H e temperaturas e entre materiais e temperaturas, complementam-se, o que pode ser observado na síntese final dos resultados.

6.3. Considerações finais do capítulo

O método das correlações estatísticas apresenta-se como uma ferramenta simples e eficiente para demonstrar matematicamente as relações existentes entre os materiais de superfícies e as temperaturas urbanas, bem como entre estas e o fator W/H.

As correlações entre materiais de superfície e temperaturas são fortes e ascendentes, sendo que no Plano Piloto apresentam a média de 0,94 em agosto e de 0,90 em fevereiro, e nas áreas das Regiões Administrativas a média de 0,89 em agosto e de 0,80 em fevereiro. Observamos que as correlações são ainda mais fortes nas áreas que apresentam altas temperaturas. Águas Claras é a área de correlação mais forte entre as Regiões Administrativas. A SQN 207 é a área de correlação mais forte entre as áreas do Plano Piloto.

Já para as correlações entre temperaturas e fator W/H, os resultados são: 0,94 em agosto e 0,65 em fevereiro. Concluímos que o clima urbano pode ser influenciado segundo boas práticas de uso e ocupação do solo, contudo, a legislação que o disciplina não contempla o campo térmico de forma eficiente.

7. Considerações Finais

A experiência de observar, mensurar e avaliar o clima urbano, nos faz compreender que este sofre influências definitivas das atividades humanas. A identificação das temperaturas das superfícies urbanas é essencial e caracteriza-se como ponto de partida para a pesquisa das demais variáveis e desenvolvimento das análises como um todo. A escala local do clima, ou escala da cidade, influenciada pela ação antrópica é o cenário.

No caso de Brasília – DF (Plano Piloto e Regiões Administrativas), cuja morfologia urbana é polinucleada, a ilha de calor segue tal descentralização. Esta configuração diferencia-se de centros tradicionais, como por exemplo, da região metropolitana de São Paulo, com centro e periferia bem definidos, tanto do ponto de vista de uso e ocupação do solo, quanto do maior aquecimento do centro em detrimento dos arredores. Na escala vertical, a ilha de calor em São Paulo é em forma de domo central, o que não ocorre em Brasília. Até mesmo a morfologia urbana das Regiões Administrativas diferenciam-se entre si. Tal característica demonstra o quanto as cidades diferenciam-se e têm identidades próprias, o que precisa ser considerado no planejamento urbano e na elaboração de políticas públicas.

O acelerado e impactante processo de urbanização traz a demanda por ações rápidas, no sentido de mitigar o clima artificial e até desértico,

criado nas cidades. O uso de ferramentas de geotecnologias para obtenção de dados precisos, somados a levantamentos de campo bem executados, fundamentam as análises necessárias para as devidas tomadas de decisões a respeito das alterações do clima urbano.

Na era da chamada “Quarta Revolução Industrial”, a convergência para o uso das tecnologias digitais é um caminho sem volta (SCHWAB, 2016). O ideal seria que a liderança desta revolução fosse da pesquisa científica, mas trata-se de um amplo contexto. Novas tecnologias estão fundindo os mundos físico, digital e biológico de forma a criar grandes promessas e possíveis perigos. No âmbito da arquitetura e do Urbanismo, existe uma tendência à utilização de simulações computacionais para o estudo das interferências no clima urbano. Estas simulações recebem dados de input de acordo com o clima e as características geográficas dos locais a serem analisados. Os resultados destes estudos, portanto, são oriundos de realidades virtuais, processadas segundo determinados algoritmos. Caso a pesquisa de campo não desenvolva-se em paralelo, corre-se o risco de perigosas abstrações, o que do ponto de vista didático não é bom. É preciso que se tenha consciência dos dados utilizados e obtidos nas simulações.

Muitas são as vantagens das simulações, mas algumas limitações também podem ser apontadas, dentre elas a limitação da área de análise. Novos softwares e plug-ins de softwares existentes, contudo, têm

chegado ao mercado com estas questões superadas. Como é o caso o UMEP – Urban Multi-scale Environmental Predictor – plugin do QGis, também software livre. Esta ferramenta pode ser usada para uma variedade de aplicações relacionadas ao conforto térmico externo, consumo de energia urbana, mitigação de mudanças climáticas, entre outras, e será utilizada em trabalhos futuros oriundos deste.

Do ponto de vista acadêmico, o presente trabalho tem caráter interdisciplinar, integrando a área de geociências com a área de arquitetura e urbanismo. Os experimentos baseiam-se no uso de ferramentas de geotecnologias e não têm caráter de simulação, mas de identificação e mensuração das variáveis que influenciam o clima urbano de Brasília DF. Trata-se de um diagnóstico preciso, cujos dados levantados poderão servir de dados de inputs seguros para futuras simulações. São as ferramentas utilizadas: o software Quantum Gis – QGis - para a realização da classificação supervisionada dos materiais de superfícies e obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI; o software ENVI, para o processamento das imagens termais Landsat; e da câmera termográfica, para obtenção das temperaturas das fachadas.

Observar as áreas urbanas, em imagens de satélite, causa verdadeiro fascínio aos pesquisadores e abre um leque de possibilidades de análise. O domínio de grandes áreas de análise é a primeira vantagem. O desafio,

contudo, é extrair as informações científicas destas imagens. Ao final das análises, a comprovação estatística destes dados demonstra que as ferramentas de geotecnologias são adequadas ao estudo das questões ambientais urbanas, principalmente no que se refere às análises termais.

Diante deste “Laboratório Avançado de Desenho Urbano”, que é o Distrito Federal, é importante observar o quanto as áreas do Plano Piloto se destacam em relação às áreas das Regiões Administrativas. Embora estas tenham permitido várias análises, os dados do Plano Piloto, contudo, são sempre mais significativos. Esta característica fica comprovada na análise estatística. Do ponto de vista da qualidade ambiental urbana, o Plano Piloto deixa diversas lições, entre elas as baixas densidades e a presença preponderante de arborização densa nas Superquadras. Do ponto de vista da sustentabilidade, contudo, algumas características poderiam ser questionadas, entre elas o alto custo da infraestrutura, o que não é objeto do presente estudo.

A síntese dos resultados das três frentes de análise: materiais de superfície urbana, fator W/H e temperaturas no DF - nas 17 áreas - comprovou a correlação existente entre as mesmas, sejam elas favoráveis ou desfavoráveis. Ambientes urbanos expansivos, com maiores porcentagens de relvado ou solo exposto, apresentam as temperaturas de superfícies mais elevadas. Enquanto os ambientes urbanos de características morfológicas de acolhimento, com maiores porcentagens

de copas de árvores, apresentam as temperaturas de superfícies menos elevadas. De maneira geral, a disposição dos edifícios em Brasília – DF é interessante, mesmo nas áreas mais adensadas permitem ventilação moderada, diferente por exemplo, do cânion urbano da Avenida Paulista, na capital de São Paulo, caracterizado por um longo corredor de vento.

Em relação às temperaturas das superfícies, observamos que quanto mais expansiva a área, menos ocupada por edifícios, maior área de relvado, menor presença de arborização, mais altas são as temperaturas. Logo no início das análises, nos primeiros processamentos, observamos que a Asa Norte é pouco mais aquecida que a Asa Sul, o que é devido à pequena diferença de densidade de arborização. Outro aspecto interessante observado ainda nestes primeiros processamentos, foi a diferença de temperatura entre as Superquadras das 400 (quatrocentas) e as demais adjacentes. Estas têm temperaturas superiores de 1 a 2°C, devido, principalmente à maior densidade construída. Os edifícios das “400” têm três pavimentos, enquanto as demais têm seis pavimentos. Esta informação fica clara no primeiro transecto exposto.

O registro das temperaturas no período noturno, com a câmera termográfica, demonstra algumas características peculiares do fenômeno ilhas de calor. À noite ocorre uma homogeneização das temperaturas, isto é, as trocas térmicas fazem com que materiais como asfalto e alvenaria das fachadas apresentem temperaturas semelhantes. As árvores

apresentam temperaturas mais elevada à noite. Durante o dia ocorrem alguns contrastes nas temperaturas das superfícies, explícitos principalmente entre a vegetação (evapotranspiração) e as edificações.

As imagens da câmera termográfica permitem observar as diferenças entre as temperaturas dos materiais de revestimentos das fachadas com precisão. Embora a data e o horário de alguns registros tenham sido diferentes, é possível identificar a relação entre as temperaturas. Em Sobradinho I, por exemplo, as temperaturas registradas na câmera termográfica são mais elevadas que as temperaturas obtidas nas imagens termais Landsat. Contudo, retomando a análise do transecto de agosto em Sobradinho I, observamos que o transecto apresente uma “homogeneização” das temperaturas dos diferentes tipos de materiais, refletindo as próprias trocas térmicas que ocorrem entre eles. Assim, no transecto, temos temperaturas pico de 28°C e temperaturas vale de 27°C, enquanto na imagem termográfica de outubro, temos a temperatura de 32°C para o material solo exposto (alta emissividade e albedo) e 23°C para as copas de árvores. Desta forma, se considerarmos os dados obtidos com as duas frentes: a temperatura média do transecto é de 27,5°C e a temperatura média entre os principais materiais da imagem termográfica é de 27,5°C. Isto confirma a relação entre as duas ferramentas para obtenção das temperaturas dos materiais de superfícies urbanas e serve de reflexão para as demais áreas de análise.

Outra peculiaridade da análise sazonal de Sobradinho I é que amplitude térmica entre os meses de fevereiro e agosto é menos de 1°C, isto é, em fevereiro a média das temperaturas é de 27,00°C e em agosto é de 27,70°C. A imagem termal do mês de agosto, contudo, demonstra o maior aquecimento de algumas áreas adjacentes à área analisada. Estas áreas mais aquecidas são as que não têm de arborização densa e os revestimentos de superfície predominantes são asfalto e telhas de aço. A lição de Sobradinho I é que onde há predominância de arborização densa, as temperaturas se equilibram entre o período seco e o período chuvoso do ano, não ocorrendo grandes amplitudes térmicas.

Em Sobradinho I e II, observamos que o campo térmico urbano reflete as características sócio-espacial de ocupação do território urbano. Sobradinho II surgiu em função da demanda habitacional gerada após a ocupação de Sobradinho I. A morfologia original (Sobradinho I) acompanhava a ideia da cidade jardim, resguardando áreas internas das quadras residenciais para arborização densa, enquanto na segunda (Sobradinho II) estas áreas inexistem. Como reflexo deste processo, em Sobradinho II, as temperaturas dos materiais de superfícies urbanas são superiores as de Sobradinho I. Das imagens da câmera termográfica, temos que as alvenarias das fachadas das casas, por exemplo, apresentam temperaturas de 28 a 32°C em Sobradinho I e de 32 a 34°C em Sobradinho II. Nas duas áreas existe uma diferença sensível entre as

temperaturas do asfalto da área residencial (34°C) e da área comercial (37°C). Comprova-se a diminuição da qualidade ambiental urbana e a alteração do campo térmico urbano em função das questões sócio-espaciais de ocupação do território.

Para observar a relação existente entre os materiais de revestimentos das superfícies urbanas e as temperaturas, estabelecemos as correlações estatísticas entre tais variáveis. Observamos que a área dos Ministérios e a SQN 207 têm maior porcentagem de vegetação rasteira e asfalto, o que está refletido nas temperaturas mais altas. Na sequência das temperaturas elevadas, temos o Setor Noroeste com maior porcentagem de solo exposto (alta emissividade e albedo). Estas correlações estatísticas apresentam-se ainda mais fortes para as áreas com altas temperaturas. A prova deste fato é que a correlação para a SQS 203 (representando as superquadras), apesar de forte é a mais baixa entre as das áreas do Plano Piloto, afinal nesta Superquadra a maior porcentagem é de copas de árvore e por isso as temperaturas são mais amenas. As correlações estatísticas entre temperaturas e materiais de superfícies nas áreas do Plano Piloto têm valores em média de 0,94 para o mês de agosto e de 0,90 para o mês de fevereiro.

Ainda sobre a correlação estatística entre materiais de superfícies e temperaturas, Águas Claras e Taguatinga têm as maiores porcentagens de sombra, o que indica a verticalização e adensamento. Águas Claras é

a área de correlação mais forte entre as Regiões Administrativas. Em Sobradinho II (maior porcentagem de telha cerâmica) e Itapoã (maiores porcentagens de laje e telha cinza – alta emissividade), que apresentam intensa impermeabilização do solo, observamos que a correlação, apesar de fortes são a de menor valor entre as Regiões Administrativas. As correlações nas áreas das Regiões Administrativas têm valores em média de 0,89 para o mês de agosto e de 0,80 para o mês de fevereiro. Nestas áreas específicas, a qualidade ambiental urbana é complementarmente explicada com as questões morfológicas de ocupação do território urbano.

Da mesma maneira que em relação aos materiais de superfície, as correlações entre as temperaturas das áreas analisadas e o fator W/H também são mais fortes com às temperaturas mais altas - do mês de agosto (período seco) – do que no mês de fevereiro (período chuvoso). Os coeficientes de correlação (r) são: 0,94 no mês de agosto e 0,65 no mês de fevereiro.

Observamos que as áreas mais novas do Plano Piloto, como os Setores Noroeste e Sudoeste, não “herdaram” a personalidade das tradicionais Superquadras de Brasília. Houve o que podemos chamar de “involução”, ou retrocesso da boa arquitetura, dotada de princípios bioclimáticos, principalmente no que diz respeito às questões ambientais. Nestes novos setores existem extensas áreas de solo exposto (alta emissividade e

albedo), as áreas de arborização no Sudoeste são mais restritas, e no Setor Noroeste elas inexistem. A especulação imobiliária influenciou inclusive nos materiais de revestimento destes novos edifícios, os quais em sua maioria (com destaque os do Setor Noroeste) têm as envoltórias de materiais inadequados, tais como vidros reflexivos, em fachadas inteiras, voltadas para o oeste. Estas características fazem com tais Setores tenha cerca de 1°C a mais de temperatura do que as Superquadras no mês de agosto, período mais seco do ano.

Ao final deste estudo, a primeira diretriz de reabilitação urbana sugerida seria a arborização da SQN 207 e da Área dos Ministérios, assim como das extensas áreas de vegetação rasteira em Brasília. Conforme já mencionado, as superfícies de relvado tendem a tornarem-se em superfícies de solo exposto (alta emissividade e albedo) no período seco do ano, que também é o de temperaturas mais elevadas. Assim, a eliminação destas áreas iria contribuir positivamente ao clima urbano do DF. É fato que o caráter simbólico da Explanada dos Ministérios faz desta diretriz um desafio, contudo, é um apelo dos novos paradigmas ambientais, e porque não dizer, do urbanismo sustentável.

Este mesmo Programa de Arborização Urbana deveria ser aplicado nas Regiões Administrativas. No caso de Águas Claras, existe raríssima arborização e apenas nas praças entre os edifícios. A pouca densidade destas copas de árvores não as fazem significativas no contexto do

microclima daquele local. As áreas de solo exposto (alta emissividade e albedo) em Águas Claras são extensas e também necessitam de arborização densa. Lá, existe adensamento devido à verticalização e o problema do conforto térmico no interior dos apartamentos é ainda maior do que nas áreas públicas entre os edifícios. Observamos que os afastamentos existentes entre os edifícios permitem a ventilação, a alta impermeabilização do solo e a escassez de vegetação (evapotranspiração), contudo, prejudicam a qualidade do microclima local. A crítica do urbanismo sustentável aos grandes adensamentos, proporcionados pela verticalização, trata de problemas ainda maiores gerados do ponto de vista da infraestrutura e da mobilidade urbana (trânsito e transporte público). Contudo, estes são aspectos que extrapolam a nossa abordagem.

Tal qual Sobradinho I, Taguatinga é uma experiência positiva de desenho urbano entre as Regiões Administrativas. Na primeira predominam as baixas densidades e presença de vegetação densa (evapotranspiração), enquanto na segunda temos a mistura de áreas unifamiliares e áreas centrais mais adensadas, com presença de verticalização. O que falta, contudo, em Taguatinga, é justamente a presença de arborização densa. Assim, esta seria também uma RA a receber um Programa de Arborização.

Ao final, observa-se que o método utilizado para a análise do campo térmico urbano de Brasília – DF - pode ser igualmente aplicado em outras cidades, conforme o processamento das imagens termais do Landsat 8 expostas no Anexo V. As cidades de Belo Horizonte - MG, Goiânia - GO, Palmas – TO, Cingapura – Ásia e Nova York – EUA – apresentam campos térmicos diversos, o que demonstra ser também uma forma de identidade urbana. Esta “identidade termal urbana” demanda uma nova visão em relação aos aspectos legais de gestão do espaço urbano e caracteriza um importante tema para estudos futuros.

No caso específico do Brasil, a linha do Equador corta quatro Estados brasileiros: Amazonas, Pará, Amapá e Roraima. A grande maioria dos Estados brasileiros são, portanto, de baixas latitudes. Este fator é determinante para o nosso clima tropical. A alta incidência solar em todo o território é um fator relevante e precisa ser considerado não só no projeto das edificações, mas também no parcelamento de novas áreas e na reabilitação de áreas consolidadas da cidade.

Em trabalhos futuros, a sugestão é que se estabeleça um plano de medições e observações das temperaturas do ar e das superfícies urbanas, com a utilização de termo-higrômetros e da câmera termográfica. Para o caso da comparação com imagens de satélite termais, tal qual o presente estudo, o desafio é distribuir os equipamentos de maneira simultânea, nas áreas a serem analisadas, no mesmo horário em que é realizado o

imageamento (por volta das 10:00 horas da manhã). As medições devem ocorrer também em horários como o amanhecer e o anoitecer, para possibilitar as observações do comportamento térmico das superfícies urbanas. A diversidade de áreas analisadas e a riqueza de detalhes vai depender da quantidade de equipamentos disponíveis, além do tamanho e organização da equipe.

Os resultados obtidos podem levar a estabelecer um Zoneamento do Clima Urbano, a exemplo do trabalho de Stewart e Oke (2012) com as Zonas Climáticas Locais. Este zoneamento pode ser exposto em um mapa síntese das imagens, em estilo de cartografia temática. Além disto, os resultados também serviriam para quantificar índices, taxas, áreas mínimas e máximas de determinados materiais que compõem as superfícies urbanas, de maneira que influenciem positivamente o campo térmico. Tal estudo deveria ser realizado como subsídio aos aspectos ambientais dos Planos Diretores Municipais, com ênfase à mitigação do processo de formação de ilhas de calor.

Os Planos Diretores dos Municípios (incluindo a Lei de Uso do Solo, a Leis de Zoneamento e o Código de Obras) visam contemplar parte das questões ambientais urbanas. Entre as Zonas de Uso do solo Urbano, a Lei de Zoneamento determina a Zona de Preservação Ambiental, que são as faixas de preservação dos cursos de água, as quais não podem ser edificadas e devem manter a vegetação nativa (evapotranspiração).

A Lei de uso do Solo, de cada Município, tem a função de estabelecer os requisitos mínimos a serem cumpridos por cada edificação, a fim de garantir características de ventilação e iluminação naturais, além da permeabilidade do solo. Entre estes requisitos, temos: os recuos e afastamentos mínimos das edificações em relação às vias, os afastamentos entre as edificações, o índice de ocupação (quantas vezes a área do lote é permitido que se construa, que irá refletir na altura dos edifícios), a taxa de ocupação (porcentagem de área ocupada do lote pela projeção do térreo do edifício) e a porcentagem mínima de área permeável dos lotes a serem edificados, o que favorece à questão da drenagem urbana, por sua vez inserida nas questões ambientais.

Já na escala do edifício, o Código de Obras, de cada Município, contempla as áreas mínimas de aberturas para ventilação e iluminação naturais. Muito tem sido falado sobre os chamados “edifícios passivos”, adequados às características locais, além da eficiência energética em edifícios, com enfoque maior na parte de instalações. O Zoneamento Bioclimático (NBR 15220/2005) é um bom exemplo do que tem sido feito em relação à prática da boa arquitetura, com diretrizes de projeto baseadas nas características climáticas de cada Estado brasileiro.

O projeto de novos loteamentos deve considerar a Lei Federal de Parcelamento do Solo Urbano 6766/79, alterada pela Lei 9785/99, que por sua vez dispõe maiores competências aos Estados e Distrito Federal

para elaborarem normas complementares, principalmente no que se refere às áreas de proteção ambiental. Esta Lei não estipula área mínima de reserva ambiental em novos loteamentos. Cada Região/Estado adota uma normativa para regulamentar esta área mínima, o que pode estar no Plano Diretor de cada Município, por exemplo. Observamos alguns exemplos onde, genericamente, a porcentagem destinada à área verde está incluída nas áreas públicas municipais, isto é, podem ser parcialmente utilizadas para implantação de equipamentos urbanos e comunitários, e não ultrapassam 15% da área do parcelamento. No Estado de Goiás, por exemplo, esta área de reserva “pode ser”, inclusive, interna ou externa ao perímetro do loteamento. Desta forma observamos, que o caráter destas áreas de reserva (da presença de vegetação para a evapotranspiração) estipuladas por estas normativas, embora seja ambiental, não contempla as questões do campo térmico ou do clima urbano.

Assim, compreendendo as relações entre as temperaturas, os materiais de superfícies, as formas urbanas e que o clima urbano pode ser influenciado segundo boas práticas de ocupação do solo, refletimos que em relação ao campo térmico, a legislação que disciplina o uso e ocupação do solo, não está totalmente adequada. A discussão sobre a eficiência energética dos edifícios amplia-se, agora, para a discussão sobre a eficiência energética dos espaços urbanos, que por sua vez, incluem questões de saúde pública.

A arquitetura sustentável traz o caráter dos edifícios passivos, adequados às características locais, com enfoque ao clima. Da mesma forma, o urbanismo sustentável demanda por cidades adequadas aos climas locais. O aquecimento de áreas urbanas, devido à alta incidência solar, demanda por critérios mais complexos do ponto de vista do desenho e planejamento urbano. A saúde nas cidades depende também da qualidade de vida da população. A existência de áreas de preservação, tal como resguardam as Leis atuais, são privilégios que precisam ser mantidos. Contudo, a presença de arborização densa em meio às áreas de habitações e áreas comerciais ainda não são exigidas, assim como os materiais de revestimentos das superfícies urbanas também não são considerados. As leis precisam ser revisadas segundo novos paradigmas.

Referências Bibliográficas

Almeida, Josefa Morgana Viturino de. **Mudanças Climáticas no Distrito Federal**. Tese de Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande, 2017.

Assis, Eleonora Sad de. **Impactos da Forma Urbana na Mudança Climática: Método para a previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano**. Tese de Doutorado. FAU / USP. São Paulo, 2000.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6023**: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro; 2002.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro; 2002.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220**: Desempenho Térmico de Edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro; 2005.

Acioly, Cláudio e Davidson, Forbes. **Densidade Urbana: um instrumento de planejamento e gestão urbana**. Tradução Cláudio Acioly. Mauad: Rio de Janeiro, 1998.

BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em junho de 2018.

Baptista, Gustavo Macedo. **Sensores Imageadores na faixa do Termal (8 - 14 µm)**. In: Meneses, Paulo Roberto; Almeida, Tati. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. UnB e CNPQ. Brasília, 2012.

Baptista, Gustavo Macedo. **Ilhas Urbanas de Calor**. Scientific American Brasil. Revista Digital. Editora Moderna: São Paulo, ano 1, nº. 2, p. 24-31, 2010. Disponível em: https://issuu.com/ed_moderna/docs/aula2_final_bx?e=2064801/6634353. Acesso em 06 de fevereiro de 2017 às 11:34 h.

Baptista, Gustavo Macedo; Lombardo, Magda Adelaide; Bias, Edilson de Souza. **Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos**. Universidade Católica de Brasília. Universidade Estadual Paulista. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 1741 – 1748.

Becker, Clara. **Revista Veja Brasília**. Disponível em: <http://vejabrasilia.abril.com.br/materia/cidade/muito-alem-de-um-jardim/>. Acesso em 27 de junho de 2014 às 11:30 h.

- Bertaud, Alain. **Brasilia Spatial Structure: Between the Cult of Design and Markets**. Artigo apresentado no Seminário Internacional Brasília Metropolitana 2050: Preservação e Desenvolvimento. Brasília, abril de 2010.
- Bias, Edilson de Souza. **Vantagens e Limitações das Imagens de Alta Resolução como Suporte ao Planejamento Urbano: O Exemplo de Sobradinho – Distrito Federal**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, fevereiro de 2003.
- Bruand, Yves. **Arquitetura Contemporânea no Brasil**. 3ª Edição. São Paulo: Editora Perspectiva S. A., 1997.
- Chandler, T. J. **The Climate of London**. University College London. Hutchinson of London, 1965, 289p.
- CODEPLAN – Companhia de Planejamento do Distrito Federal. **Estudos Urbanos e Ambientais do DF e RAs**. Disponível em: <http://www.codeplan.df.gov.br/publicacoes-disponiveis/>. Acesso em junho de 2018.
- CODEPLAN – Companhia de Planejamento do Distrito Federal. **O Relatório técnico sobre a nova capital da República**. Relatório Belcher, 4. E. Brasília: GDF/Codeplan, 1994.
- CODEPLAN – Companhia de Planejamento do Distrito Federal. **Relatório do Plano Piloto de Brasília**. Elaborado pelo ArPDF, DePHA – Brasília: GDF, 1991. 76p.
- Davenport, A. G., S. B. Grimmond, T. R. Oke, and J. Wieringa, 2000: **Estimating the roughness of cities and sheltered country**. Preprints, *12th Conf. On Applied Climatology*, Asheville, NC, Amer. Meteor. Soc., 96–99.
- Duarte, Denise Helena Silva. **Padrões de Ocupação do Solo e Microclimas Urbanos na Região de Clima Tropical Continental**. Tese de Doutorado. FAU / USP. São Paulo, 2000.
- Edwards, Brian. **Guia Básica de la sostenibilidad**. Editorial Gustavo Gili, SA. Barcelona, 2004.
- Ellefsen, R. **Mapping and measuring buildings in the urban canopy boundary layer in ten US cities**. *Energ. Buildings*, **15–16**, 1025–1049, 1990/91.
- Fraidenraich, N.; Lyra, F. **Energia solar: fundamentos e tecnologias de converso heliotérmica e fotovoltaica**: Ed universitária da UFPE. Recife, 1995.
- ENGESAT. Soluções em Imagens de Satélite. **Características do Landsat 8**. Disponível em:

<http://www.engesat.com.br/satelites/landsat-8/>. Acesso em 30 de maio de 2015.

ENVI. **Environment for Visualizing Images**. Versão 4.8. Software utilizado nos processamentos das imagens termais da banda 10 do Landsat 8, em 2015.

EPA. United States Environmental Protection Agency. **Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies**. Washington, 2008. Disponível em: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>. Acesso em agosto de 2017.

Franco, Maria A. R. **Desenho Ambiental**. São Paulo: Annablume Editora, 1997. p. 207.

Figueiredo, Divino. **Apostila de Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, Setembro de 2005.

Gartland, Lisa. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Tradução Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

Gonsales, Célia Helena Castro. **Cidade moderna sobre cidade tradicional: movimento e expansão** – parte 2. Arquitectos, São Paulo, ano 05, n. 059.04, Vitruvius, abr. 2005. Disponível em:

<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.059/473>. Acesso em abril de 2017.

Gonzales, Suely Franco Netto. **As formas concretas da segregação residencial em Brasília**. In: BICCA, Paulo; PAVIANI, Aldo. Brasília, ideologia e realidade: espaço urbano em questão. São Paulo, SP: Projeto Editores Associados, Brasília, DF: CNPq, 1985. p. 81-100.

Gonzales, Suely Franco Netto. **Anotações para uma Metodologia** In: GONZALES, Suely Franco Netto; FRANCISCONI, Jorge Guilherme; PAVIANI, Aldo. Planejamento e Urbanismo na Atualidade Brasileira: objeto, teoria e prática. 1ª. Edição: São Paulo; Rio de Janeiro: Livre Expressão Editora, 2013.

Grimmond, C. S. B. **Progress in measuring and observing the urban atmosphere**. Theoretical and applied climatology, 84, 3-22, 2006.

Heikkinen, Niina. **O fenômeno da Ilhas de Calor Urbana**. Scientific American Brasil. Revista Digital. Publicado em 25 de novembro de 2014. Disponível em: http://www2.uol.com.br/sciam/noticias/o_fenomeno_da_ilha_de_calor_urbana.html. Acesso em 06 de fevereiro de 2017 às 11:34 h.

Hillier, Bill e Hanson, Julienne. **The Social Logic of Space**. Bartlett School of Architecture and Planning. University College London. Cambridge University Press, 1984.

Hines, William W.; Montgomery, Douglas C.; Goldsman, David M.; Borrer, Connie M. **Probabilidade e Estatística na Engenharia**. Tradução: Flores, Vera R. L. F. Revisão técnica: Farias, Ana Maria L. de. Editora LTC. Rio de Janeiro, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dados Geográficos de Brasília / DF**. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?lang=&codmun=530010&search=distrito-federal|brasilia|infograficos:-dados-gerais-do-municipio>. Acesso em 28 de maio de 2015.

IBRAM. Instituto Brasília Ambiental. Disponível em: <http://www.ibram.df.gov.br/>. Acesso em Acesso em 01 de dezembro de 2014.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas de Brasília / DF**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/>. Acesso em dezembro de 2014.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Levantamento do Comportamento da Chuva, Temperatura e Umidade em Brasília – DF, em Janeiro de 2017**. Disponível em:

http://www.inmet.gov.br/portal/notas_tecnicas/nota_tecnica_DF_01-2017.pdf. Acesso em junho de 2018.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 1ª. Edição. 2006.

Januzzi, Vinicius Prado. **O céu e a Terra. O Setor Noroeste e seus primeiros moradores**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Antropologia Social da Universidade de Brasília, 2016.

Jatobá, Sérgio Ulisses. **Densidades Urbanas nas Regiões Administrativas do Distrito Federal**. Companhia de Planejamento do Distrito Federal – CODEPLAN. Brasília, fevereiro de 2017.

Jensen, John R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução português 2 Ed. Parêntese Editora. São José dos Campos SP, 2009, 598p.

Katzschner, L. **Urban climate studies as tools for urban planning and architecture**. Tradução de José Dias de Medeiros e Roseane de Medeiros Vidal. DARQ/CT/UFRN. Anais IV ENCAC, p. 49-58. Salvador, 1997.

Kon, Nelson. Fotógrafo Profissional. Disponível em: <http://www.nelsonkon.com.br/>. Acesso em junho de 2015.

- Lamberts, Roberto; Dutra, Luciano; Pereira, Fernando O. R. P. **Eficiência Energética na Arquitetura (1ª EDIÇÃO). São Paulo: PW, 1997. 192p.**
- Lamberts, Roberto; Dutra, Luciano; Pereira, Fernando O. R. P. **Eficiência Energética na Arquitetura (3ª EDIÇÃO). ANO: 2014. Editora: ELETROBRAS/PROCEL.**
- Landis, J. R.; Koch, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**. Arlington, v. 33, n.1, p.159-174, 1977.
- Landsberg, Helmut Erich. **The climate of towns**. Man 's role in changing the face of the earth, Hutchinson, London, 1956. pp. 584-603.
- Landsberg, Helmut Erich. **The Urban Climate**. Institute for Physical Science and Technology. University of Maryland. Academic Press, Inc: London, 1981.
- Lefebvre, Henri. **A Revolução Urbana**. Tradução de Sérgio Martins. Ed. UFMG, Belo Horizonte, 2004.
- Li, Xian-Xiang; Norford, Leslie K. **Evaluation of cool/green roof in mitigating urban heat island in a tropical city, Singapore**. Third International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island October 13-15, 2014, Venezia. Proceedings. P. 1373-1384.
- Lombardo, Magda Adelaide. **Ilha de Calor nas Metrôpoles. O exemplo de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC, 1985. 244 p.
- Lombardo, Magda Adelaide. **Ilhas de Calor e Resiliência Urbana**. Ciclo de Palestras do Laboratório de Sustentabilidade aplicado à Arquitetura e ao Urbanismo. Auditório da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Evento exibido online no dia 20 de junho de 2018.
- Lovelock, J. E. **Gaia. Um Novo Olhar Sobre a Vida na Terra**. Oxford: Universidade Imprensa, 1979.
- Magalhães, Carlos Henrique. **Os blocos de superquadra: um tipo da modernidade**. Mdc. Revista de Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 02 de junho de 2009.
- Martins, Maria Eugênia Graça (2014). **Coefficiente de Correlação Amostral** (PDF). Revista de Ciências Elementar. p.1. Consultado em 19 de maio de 2017.
- Masson, V.; Grimmond C. S. B.; Oke, T. R. **Evaluation of the Town Energy Balance (TEB) Scheme with Direct Measurements from Dry Districts in Two Cities**. American Meteorological Society, May 2002.
- Medeiros, Valério. **Urbis Brasiliae: o labirinto das cidades brasileiras**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2013.

- Meneses, Paulo R. e Almeida, Tati de. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. UnB. CNPq. Brasília, 2012.
- Mirzaei, Parham A. **Recent challenges in modeling of urban heat island**. In: Sustainable Cities and Society 19 (2015) 200–206. Elsevier. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/82182222.pdf>. Acesso em agosto de 2017.
- Monteiro, Carlos Augusto de Figueiredo e Mendonça, Francisco. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.
- Moreira, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologia de Aplicação**. 3ª Edição. Universidade Federal de Viçosa, 2005. 320p.
- Mostafavi, Mohsen e Doherty, Gareth. **Urbanismo Ecológico**. Tradução Joana Canedo. Editora Gustavo Gili: São Paulo, 2014.
- Nobre, Carlos. **Conversa sobre o Sistema Terra**. IEA. Instituto de Estudos Avançados da USP. Evento exibido online no dia 10 de abril de 2018. Acesso: <http://iea.usp.br/eventos/conversa-sobre-o-sistema-terra>.
- Oke, Tim R. **Initial Guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. Instruments and observing methods**. Report n. 81. World Meteorological organization. Canadá, 2006.
- Oke, Tim R. **Street design and urban canopy layer climate**. Energy and Building, v. 11, n.1 – 3, p. 103-113, 1988.
- Oke, Tim R. **Boundary layer climates**. 2ª Edição. Londres: Routledge, 1987.
- Oliveira, Leonardo Pinto de. **Determinação de Parâmetros para Avaliação da Poluição Visual Urbana**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, 2003.
- Oliveira, Marcell Terra e Ganem, Khalil Ali. **Análise Sazonal da Relação entre sequestro florestal de carbono e ilhas de calor urbanas nas metrópoles de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Brasília**. Trabalho de Conclusão de Curso de Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Brasília, dezembro de 2014.
- Odum, Eugene. **Desenvolvimento e Evolução no Ecossistema: In Ecologia**. Rio de Janeiro. Editora Guanabara, 1988.
- Paviani, Aldo. **Neourbanismo e a Evolução das Metrópoles**. In: GONZALES, Suely Franco Netto; FRANCISCONI, Jorge Guilherme; PAVIANI, Aldo. Planejamento & Urbanismo na

- Atualidade Brasileira: objeto, teoria e prática. 1ª. Edição. São Paulo, Rio de Janeiro: Livre Expressão, 2013.
- Paviani, Aldo. "**Próteses**" urbanas em Brasília. *Minha Cidade*, São Paulo, ano 09, n. 107.06, Vitruvius, jun. 2009 <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/09.107/1845>. Acesso em 06 de fevereiro de 2017 às 17:00 h.
- Pereira Filho, Augusto José. **O aquecimento global não é o vilão da crise hídrica de São Paulo**. Revista Veja, São Paulo, 8 de fevereiro de 2015. Disponível em: <http://veja.abril.com.br/ciencia/o-aquecimento-global-nao-e-o-vilao-da-crise-hidrica-de-sao-paulo/>. Acesso em 01 de março de 2017 às 11:42 h.
- Polizel, Jefferson Lordelo. **Geotecnologias e Clima Urbano: Aplicação dos Recursos de Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas na cidade de Piracicaba – SP**. Tese de Doutorado, ESALQ - USP. São Paulo, 2009.
- Priyadarsini, Rajagopalan; Hien, Wong Nyuk; David, Cheong Kok Wai. **Microclimatic modeling of the urban thermal environment of Singapore to mitigate urban heat island**. A School of Architecture and Building, Deakin University, 1 Gheringhap Street, Geelong, Victoria 3217, Australia. Department of Building, National University of Singapore, Singapore. March 2008. Solar Energy 82 (2008) 727–745. Available online at www.sciencedirect.com. Acesso em maio de 2015.
- PROTERM – DF. **Projeto de Monitoramento do Campo Térmico do Distrito Federal**. Disponível em: <http://www.ibram.df.gov.br/informacoes/meio-ambiente/proterm-df.html>. Acesso em 01 de dezembro de 2014.
- Ribeiro, Rômulo José da C.; Holanda, Frederico R. B. **Urban Morphology and Thermal Comfort in the Cities**. Universidade de Brasília, 2005. Disponível em: <http://spacesyntax.tudelft.nl/media/Long%20papers%20I/romuluri-beiro.pdf>. Acesso em 10 de abril de 2017.
- Ribeiro, Rômulo José da C.; Holanda, Frederico R. B. de; Romero, Marta A. B.; Baptista, Gustavo M. de M.; Bias, Edilson de S. **O Perfil Urbano e o Comportamento Socioeconômico no DF**. Revista Paranoá, Cadernos de Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 2005.
- Ribeiro, Rômulo José da C. **Índice Composto de Qualidade de Vida Urbana – Aspectos de Configuração Espacial, Socioeconômicos e Ambientais Urbanos**. Tese de Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, aprovada em agosto de 2008.

- Rogers, Richard. **Cidade para um pequeno planeta**. Editorial Gustavo Gili. Barcelona, 2012.
- Romero, Marta Adriana Bustos. **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001.
- Romero, Marta Adriana Bustos. **Arquitetura do Lugar: uma visão bioclimática da sustentabilidade em Brasília**. 1a. Edição. Nova Técnica Editorial: São Paulo, 2011.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. and D. W. Deering. **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS**. Proceedings. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351, 3010-3017, 1974.
- Rueda, Salvador. **Modelos e indicadores para ciudades más sostenibles**. Indicadores de huella y calidad ambiental urbana. Barcelona: Fundació Fórum Ambiental, 1999.
- Ruiz, Ângela. **O legado do El Niño 2015**. Clima Tempo. Publicado em 22 de setembro de 2016 às 09:26. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/noticia/2016/09/22/o-legado-do-el-nino-2015-0199>. Acesso em junho de 2018.
- Santamouris, Mat. *et al.* **Environmental Design of Urban Buildings: An Integrated Approach**. London: Earthscan / James & James, London, 2006.
- Schwab, Klaus. **The Fourth Industrial Revolution**. Crown Business. ISBN 978-1-5247-5886-8. 2016.
- Schwab, Klaus. **A Quarta Revolução Industrial**. Edipro: 1ª Edição. 2016. 160p.
- SEGETH. Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação. **Legislação e Geoportal**. Disponível em: <http://www.segeth.df.gov.br/>. Acesso em abril de 2017.
- Secretaria de Mobilidade do s-Distrito Federal. **Rede de Integração do Transporte Público do Distrito Federal**. Fonte: <http://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2016/05/24/capital-tera-277-km-de-rede-integrada-de-transporte-publico/>. Acesso em 21 de março de 2017 às 9:015 h.
- Silva, Caio Frederico e. **O conforto térmico de cavidades urbanas: contexto climático do Distrito Federal**. Tese de Doutorado pelo PPG FAU UnB. Brasília, abril de 2013.
- Spirn, Anne W. **O Jardim de Granito: A Natureza no Desenho da Cidade**. São Paulo: Edusp, 1995.
- Stewart, I. D. e Oke, T. R. **Local Climate Zones for Urban Temperature Studies**. Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, British Columbia, Canada. American Meteorological Society, 2012.

TERRACAP. Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal. **Ortofotos** com banda no infravermelho e resolução de 0,24m, sem incidência de nuvens, cedidas pelo NUGET – Núcleo de Geoprocessamento e Topografia, em agosto de 2015.

USGS (United States Geological Survey). **Dados geográficos de Brasília / DF e imagens Landsat 8**. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_ldcm.php>. Acesso em 28 de maio de 2015.

USGS (United States Geological Survey). **Using the USGS Landsat 8 Product**. Disponível em: <https://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php>. Acesso em 28 de maio de 2015.

Universidade de São Paulo - USP. Faculdade de Saúde Pública. **Guia de Apresentação de Teses**. 2ª. Edição atualizada. São Paulo, 2017. Disponível em: www.biblioteca.fsp.usp.br/guia. Acesso em abril de 2018.

Viana, Bento. Fotógrafo Profissional. Disponível em: <http://bentoviana.com.br/portfolio-bento-viana/>. Acesso em junho de 2015.

Vianna, Elen e Romero, Marta. **O processo de formação das Ilhas de Calor em Brasília/DF**. 4ª Conferência do PNUM Morfologia

Urbana e os Desafios da Urbanidade Brasília, 25 e 26 de junho de 2015.

Vianna, Elen e Romero, Marta. **The process of formation of heat islands: a parallel between Brasilia and Singapore**. 4th International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, 30-31 May and 1 June 2016, National University of Singapore, Singapore.

Theis, Ivo M. **Crescimento Econômico e Demanda Energética no Brasil**. Editora da UFSC. Florianópolis, 1990.

Velasco, Valquíria. **Marcha para o Oeste**. Universidade Veiga de Almeida. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.infoescola.com/historia-do-brasil/marcha-para-o-oeste/>. Acesso em abril de 2017.

Vidal, J. W. B.; Vasconcellos, G. F. **Poder dos Trópicos: meditação sobre a alienação energética na cultura brasileira**. São Paulo: Editora Casa Amarela, 2004.

Voogt, J. A. **How researchers measure urban heat islands**. 2007. Disponível em: <http://www.epa.gov/heatIsl/resources/pdf/EPA_How_to_measure_a_UHI.pdf>. Acesso em: 09 de agosto 2017

Voogt, J. A.; Oke, T. R. **Thermal remote sensing of urban climates**. Remote Sensing of Environment, v.86, p.370- 384, 2003.

Yildiz, Nalan Demircioglu; AVDAN, Uğur; YILMAZ, Sevgi; DAĞLIYAR, Ayse; MATZARAKIS, Andreas. **Thermal Band Analysis of Different Land Uses in Urban Spaces and its Effects**. Third International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island October 13-15, 2014, Venezia. Proceedings. P. 547-557.

Referências Bibliográficas Complementares

Bertaud, Alan. **Comparative average population densities in built-up areas in 58 metropolitan areas in “Order Without Design”**. 2012. Disponível em: <http://alainbertaud.com>.

Bertaud, Alain e Malpezzi, Stephen. **The Spatial Distribution of Population in 48 World Cities: Implications for Economies in Transition**. The Center for Urban Land Economics Research. The University of Wisconsin. 2003. Disponível em: <http://alainbertaud.com>.

Del Rio, Vicente e Siembieda, William. **Desenho Urbano Contemporâneo no Brasil**. Editora: LTC. 1ª Edição, 2013. 306p.

Fitz, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160 p.

Gehl, Jan. **Cidades para pessoas**. São Paulo. Editora Perspectiva. 2013. 280p.

Jacobs, Jane. **Morte e vida nas grandes cidades**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 2009. 528p.

Kneib, Érika Cristine. **Projeto e Cidade: centralidades e mobilidade urbana**. Érika Cristine Kneib, Organizadora. Goiânia: Gráfica UFG, 2014.

Leite, Carlos e Awad, Juliana di Cesare Marques. **Cidades Sustentáveis, cidades Inteligentes: desenvolvimento sustentável num planeta urbano**. Porto Alegre: Bookman, 2012. 264p.

Manso, Celina F. A. **Goiânia, uma concepção urbana, moderna contemporânea - um certo olhar**. Edição do autor, Goiânia; 1ª edição, 2001. 266p.

Mostafavi, Mohsen e Doherty, Gareth. **Urbanismo Ecológico**. Barcelona: Editora Gustavo Gili, 2014. 656p.

Moura, Ana Clara Mourão. **Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano**. 2. Ed. Belo Horizonte: Ed. Da autora, 2005. 294p.

Rolnik, Raquel. **O que é Cidade**. Editora Brasiliense: São Paulo, Coleção Primeiros Passos, 1995.

Santamouris, Mat. *et al.* **Energy and Climate in the Urban Built Environment**. London: Earthscan/James & James, 2001.

Santamouris, Mat; Denia Kolokotsa. **Urban Climate Mitigation Techniques**. Nova York: Earthscan from Routledge, 2016.

Sartori, M. G. B. **O clima de Santa Maria, RS: do Regional ao Urbano**. Dissertação de mestrado pelo Departamento de Geografia – FFLCH/USP. São Paulo, 1979.

Sartori, M. G. B. **Clima e percepção**. Tese de Doutorado pelo Departamento de Geografia – FFLCH/USP. São Paulo, 2000.

Anexos

Anexo I

Demarcações lineares no Google Earth Pro (arquivos de extensão kmz), referentes ao posicionamento dos transectos.
Imagens das referências para o buffer (de 5 metros para cada lado) do NDVI de cada área analisada, produzido no QGis

Figura 121 – Transecto em Águas Claras



Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

Figura 122 - Transecto no Gama



Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

Figura 123 - Transecto em Itapoã



Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

Figura 124 - Transecto na área dos Ministérios I



Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

Figura 125 - Transecto na área dos Ministérios II



Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

Figura 126 - Transecto na área dos Ministérios III



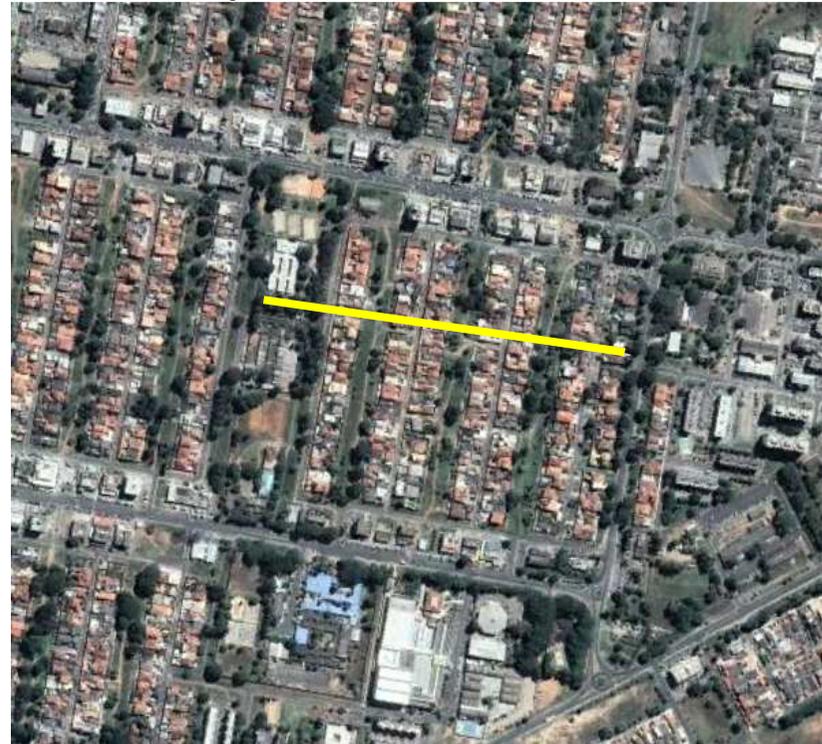
Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

Figura 127 - Transecto no Setor Noroeste



Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

Figura 128 - Transecto em Sobradinho I



Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

Figura 129 - Transecto em Sobradinho II



Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

Figura 130 - Transecto na SQN 206



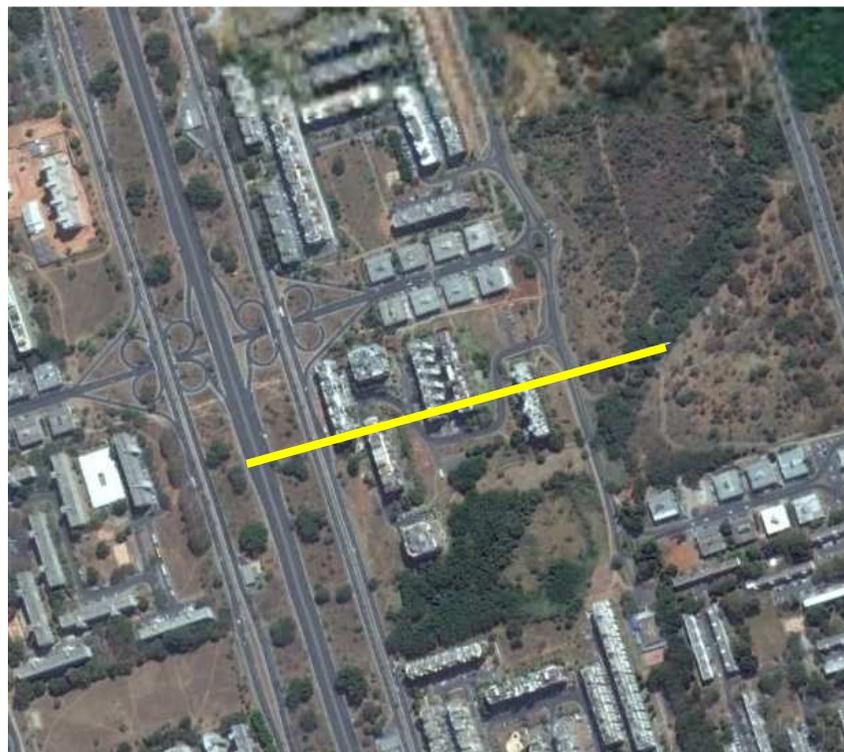
Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

Figura 131 - Transecto na SQN 207



Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

Figura 132 - Transecto na SQN 213



Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

Figura 133 - Transecto na SQS 108



Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

Figura 134 - Transecto na SQS 203



Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

Figura 135 - Transecto no Setor Sudoeste



Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

Figura 136 - Transecto em Taguatinga



Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

Figura 137 - Transecto no Setor Taquari



Fonte: Google Earth Pro. Acesso em março de 2018.

ANEXO II – Exemplos de Imagens NDVI - ortofotos com banda no infravermelho após o processamento no QGis

Figura 138 – Imagem NDVI de Sobradinho I



Figura 139 – Imagem NDVI do Setor Sudoeste



Fonte: NUGET – Núcleo de Geoprocessamento e Topografia - da TERRACAP – Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal, 2015.

ANEXO III - Tabela 61 e 62 –Temperaturas dos meses de Fevereiro e Agosto dos Transectos obtidos nas imagens termais Landsat

Fev./16	N 206	N 207	N 213	S 108	S 203	S. NOR.	S. SUD.	MIN. 1	MIN. 2	MIN. 3	Á. Claras	GAMA	ITAPOÃ	SOB. I	SOB. II	TAGUA.	S. TAQ.
1	24,33	24,6	26,1	25,51	24,19	23,08	24,89	26,05	26,29	24,63	23,8	24,39	27,53	26,33	27,49	22,96	25,8
2	24,13	24,81	26,13	25,7	24,91	23,07	25,21	26,1	26,13	24,29	23,96	24,52	27,53	26,49	27,43	23,55	25,93
3	24,15	25,13	25,92	25,95	25,62	23,04	25,54	26,14	25,63	24,12	24,11	24,62	27,53	26,57	27,52	24,08	25,96
4	24,62	25,39	25,57	25,98	25,95	23,08	26,64	26,08	25,21	24,12	24,2	24,66	26,29	26,57	27,43	24,8	26,08
5	24,88	25,59	25,29	25,55	25,45	23,13	27,51	25,91	24,93	24,22	24,74	24,63	26,41	26,57	27,51	25,48	26,17
6	25,16	25,73	25,15	24,99	24,9	23,21	27,68	25,77	24,99	24,33	25,18	24,58	26,46	26,58	27,42	26,07	26,16
7	25,42	25,8	25,19	24,68	24,51	23,29	27,24	25,9	25,25	24,34	25,03	24,43	26,67	26,59	27,58	26,32	26,3
8	25,76	25,96	25,13	24,41	24,09	23,37	26,17	26,16	25,6	24,51	24,81	24,2	26,94	26,6	27,53	26,55	26,35
9	25,81	25,91	25,38	24,11	23,85	23,46	25,26	26,5	25,81	24,83	24,78	23,88	27,35	26,62	27,74	26,73	26,53
10	25,76	25,85	25,71	23,9	23,75	23,55	24,56	26,83	25,96	25,15	24,77	23,52	27,55	26,66	27,67	26,8	26,59
11	25,68	25,8	25,74	24	23,64	23,7	24,15	27,1	26,05	25,51	24,7	23,17	27,64	26,7	27,59	26,86	26,52
12	25,81	25,75	25,83	23,98	23,52	23,61	24,07	27,36	26,1	25,89	24,69	22,83	27,7	26,75	27,89	26,79	26,47
13	25,89	25,8	25,31	24,13	23,54	23,91	24,19	27,51	26,08	26,09	24,65	22,49	27,8	26,86	27,82	26,58	26,44
14	25,98	25,79	24,63	24,01	23,71	24,11	24,45	27,43	26	26,24	24,88	22,22	27,89	27,2	27,98	26,24	26,37
15	26,07	25,76	23,97	23,94	23,93	24,22	24,63	26,94	25,8	26,15	24,91	22,1	28,06	27,64	28,21	25,99	26,29
16	26,19	25,68	23,4	24,11	24,07	24,32	25	26,75	25,48	25,63	25,15	22,49	28,15	27,89	28,23	25,82	26,18
17	26,19	25,6	22,94	24,4	24,13	24,33	25,2	26,51	25,16	25,15	25,05	22,79	28,2	27,86	28,01	26,11	26,08
18	25,9	25,54	22,78	24,47	24,17	24,3	25,48	26,23	25,06	24,92	24,89	22,78	28,12	27,59	27,72	26,84	26,02
19	25,47	25,47	22,81	24,82	24,2	24,28	25,56	26	25,35	24,83	24,65	22,67	28,04	27,38	27,45	27,04	26,02
20	25,21	25,4	23,03	25,56	24,61	24,33	25,46	26,07	25,71	24,76	24,59	22,53	27,93	27,32	27,01	27,26	26
21	24,94	25,34	23,57	26,18	25,15	24,47	25,36	26,2	25,9	24,78	24,64	22,33	28,01	27,26	26,38	27,25	26,04
22	24,69	25,29	24,03	26,41	25,63	24,67	24,82	26,24	25,78	24,88	24,83	22,04	28,04	27,26	25,85	27,22	26,05
23	24,47	25,05	24,1	26,29	25,93	24,89	24,37	26,17	25,5	24,94	25,02	21,62	27,53	27,35	24,94	27,17	26,09
24	24,32	25,35	24,02	25,89	26,18	25,11	23,36	25,81	25,32	24,99	25,2	21,02	27,53	27,51	24,34	27,13	26,21
25	24,21	25,62	23,42	25,32	26,36	25,29	22,77	25,41	25,32	24,97	25,6	20,22	27,53	27,62	23,54	26,94	26,29
MÉDIA	25,24	25,52	24,61	24,97	24,64	23,91	25,18	26,37	25,62	24,97	24,75	23,07	27,54	27,03	27,13	26,18	26,20
MÁXIMA	26,19	25,96	26,13	26,41	26,36	25,29	27,68	27,51	26,29	26,24	25,6	24,66	28,2	27,89	28,23	27,26	26,59

MÍNIMA	24,13	24,6	22,78	23,9	23,52	23,04	22,77	25,41	24,93	24,12	23,8	20,22	26,29	26,33	23,54	22,96	25,8
AMPL.	2,06	1,36	3,35	2,51	2,84	2,25	4,91	2,1	1,36	2,12	1,8	4,44	1,91	1,56	4,69	4,3	0,79
Ago./16	N 206	N 207	N 213	S 108	S 203	S. NOR.	S. SUD.	MIN. 1	MIN. 2	MIN. 3	Á. Claras	GAMA	ITAPOÃ	SOB. I	SOB. II	TAGUA.	S. TAQ.
1	26,49	28,54	30,05	27,3	26,96	27,39	27,78	32,91	30,15	28,01	24,51	28,84	28,32	28,31	30,43	24,3	27,75
2	26,35	28,7	29,83	27,23	27,75	27,26	28,12	32,54	29,61	27,47	25,44	29,51	28,32	28,35	30,29	24,97	27,99
3	26,29	28,51	29,22	27,24	28,69	27,27	28,33	31,46	28,27	26,35	25,32	29,46	28,32	28,24	30,15	25,53	28,04
4	26,95	29,1	28,37	27,38	28,85	27,31	28,99	29,93	27,55	25,34	25,59	29,42	28,48	28,16	30,18	26,23	28,31
5	27,7	29,68	27,26	27,5	28,33	27,36	29,12	29,22	27,08	24,93	26,58	29,4	28,47	28,04	30,2	26,69	28,52
6	28,31	30,29	26,63	27,38	27,44	27,42	28,56	28,84	26,68	24,64	27,68	29,38	28,47	27,85	29,91	27,05	28,54
7	28,43	30,96	26,07	27,16	26,82	27,5	28,13	28,69	26,68	24,55	27,75	29,07	28,4	27,65	29,8	27,26	28,71
8	28,43	32,29	26,01	26,88	25,89	27,65	27,77	28,68	27,37	25,05	27,39	28,93	28,19	27,5	29,5	27,46	28,73
9	28,38	33,21	26,92	26,63	25,04	27,62	27,13	29,28	28,69	25,15	26,62	28,5	28,02	27,41	29,51	27,69	28,98
10	28,14	34,14	28,23	26,36	24,93	27,98	26,78	29,81	30,51	26,18	26,31	27,98	27,72	27,35	29,23	27,85	29,28
11	28	34,98	28,88	26,05	25,24	28,22	26,53	30,16	31,59	26,77	26,45	27,47	27,6	27,24	28,99	28,13	29,16
12	27,96	35,67	29,56	26,1	25,44	28,34	26,29	30,25	32,46	27,9	26,47	26,96	27,76	27,19	29,18	28,13	28,83
13	28,02	35,98	29,41	26,33	25,74	28,51	26,62	30,42	33,21	28,08	26,43	26,35	27,88	27,16	29,3	27,82	28,59
14	28,32	35,64	28,53	26,24	25,75	28,78	27,45	30,44	32,98	28,17	26,41	25,72	28,11	27,08	29,57	27,25	28,42
15	28,44	34,93	27,61	26,02	25,76	29,16	28,55	30,38	31,88	28,11	26,6	25,5	28,43	27,14	29,74	26,59	28,36
16	28,49	33,76	26,79	25,74	25,96	29,44	28,99	30,17	30,46	27,95	27,12	26,22	28,59	27,21	29,9	26,08	28,12
17	28,45	32,05	26,38	25,8	26,04	29,61	30,11	30,07	29,1	27,83	27,63	27,34	28,7	27,28	30,1	26,1	27,94
18	27,86	29,99	26,29	26,09	26,2	29,6	30,99	30,71	28,38	27,76	28,08	28,36	28,73	27,37	30,17	27,14	27,83
19	27,2	28,67	26,13	26,61	26,51	29,39	31,14	31,12	27,88	27,67	27,99	29,26	28,6	27,43	30,29	28,07	27,84
20	26,6	27,73	26,27	27,3	27,07	29,1	30,9	31,53	27,61	28,85	28,42	30,02	28,59	27,49	30,34	28,32	27,83
21	26,43	27,02	26,46	28,43	27,98	28,8	29,67	31,82	27,75	29,81	29,24	30,77	28,63	27,57	30,24	28,42	27,91
22	26,52	26,72	27,08	29,65	28,57	27,96	28,47	32,01	28,13	30,99	30,1	31,4	28,74	28,04	29,8	28,39	27,86
23	26,61	26,9	27,15	30	28,68	27,82	26,9	32,2	28,47	31,4	30,32	31,72	28,32	28,25	28,7	28,44	28,03
24	26,79	26,94	27,26	29,55	28,66	27,74	25,96	32,09	28,67	32,15	30,18	31,78	28,32	28,32	27,91	28,45	28,43
25	26,82	26,98	26,73	28,81	28,72	27,78	25,91	31,68	28,97	32,29	30,12	31,72	28,32	28,32	26,29	28,59	28,54

MÉDIA	27,52	30,78	27,56	27,19	26,92	28,20	28,21	30,66	29,21	27,74	27,39	28,84	28,32	27,68	29,59	27,24	28,34
MÁXIMA	28,49	35,98	30,05	30	28,85	29,61	31,14	32,91	33,21	32,29	30,32	31,78	28,74	28,35	30,43	28,59	29,28
MÍNIMA	26,29	26,72	26,01	25,74	24,93	27,26	25,91	28,68	26,68	24,55	24,51	25,5	27,6	27,08	26,29	24,3	27,75
AMPL	2,2	9,26	4,04	4,26	3,92	2,35	5,23	4,23	6,53	7,74	5,81	6,28	1,14	1,27	4,14	4,29	1,53

ANEXO IV - Tabelas 63 a 79 - das Correlações: materiais de superfície urbana e Temperaturas, de cada área de análise.

SQL 206	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016	SQL 207	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016
	Copa de Árvore	28,29%	28,41	26,09		Relvado	29,39%	35,57	25,88
	Solo Exposto	18,51%	28,27	25,98		Solo Exposto	24,02%	32,68	25,78
	Relvado	17,76%	28,26	25,75		Copa de Árvore	20,23%	32,65	25,64
	Asfalto	13,90%	28,03	25,66		Asfalto	11,90%	29,39	25,46
	Laje	10,83%	27,65	25,21		Laje	7,02%	28,56	25,41
	Telha Cinza	5,99%	26,74	24,89		Telha Cinza	4,58%	27,53	25,37
	Sombra	4,67%	26,64	24,49		Sombra	2,86%	26,95	24,58
	Água	0,05%	26,38	24,2		Água	0,00%		
	Telha Cerâmica	0,00%				Telha Cerâmica	0,00%		
	R		0,9282	0,946972		R		0,990428	0,823366

SQN 213	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016
	Copa de Árvore	33,89%	29,92	25,94
	Relvado	29,56%	29,09	25,48
	Telha Cinza	9,35%	27,87	25,38
	Solo Exposto	8,58%	26,97	25,35
	Sombra	7,97%	26,81	23,74
	Asfalto	7,13%	26,77	23,36
	Laje	3,53%	26,48	23,27
	Água	0,00%		
	Telha Cerâmica	0,00%		
	R		0,968611	0,727248

SQS 108	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016
	Copa de Árvore	33,73%	29,36	26,29
	Telha Cinza	18,51%	29,06	25,83
	Relvado	13,56%	27,37	25,52
	Asfalto	13,43%	27,26	25,51
	Sombra	10,34%	27,14	24,95
	Laje	4,86%	26,67	24,69
	Solo Exposto	3,24%	26,35	24,15
	Telha Cerâmica	1,78%	26,22	24,04
	Água	0,55%	25,85	24
	R		0,944457	0,938533

SQS 203	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016
	Copa de Árvore	38,61%	28,62	25,67
	Asfalto	17,00%	28,41	25,57
	Sombra	11,51%	27,17	24,5
	Solo Exposto	10,86%	26,72	24,42
	Telha Cinza	9,05%	26,59	24,33
	Relvado	6,68%	25,92	24,04
	Laje	4,48%	25,64	23,75
	Telha Cerâmica	1,80%	25,07	23,59
	Água	0,00%		
	R		0,864182	0,877446

Min. I	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016
	Relvado	27,28%	32,45	27,44
	Asfalto	20,97%	31,91	26,64
	Telha Cinza	18,95%	31,62	26,61
	Copa de Árvore	9,15%	30,38	26,12
	Laje	8,87%	30,33	26,08
	Sombra	7,86%	29,48	25,91
	Solo Exposto	6,92%	29,17	25,7
	Telha Cerâmica	0,00%		
	Água	0,00%		
	R		0,959450474	0,972144753

Min. II	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016
	Relvado	35,33%	32,69	26,04
	Asfalto	19,46%	31,52	26,02
	Telha Cinza	12,73%	29,34	25,96
	Copa de Árvore	10,36%	29,31	25,65
	Sombra	9,69%	28,42	25,55
	Solo Exposto	6,18%	27,75	25,53
	Laje	4,56%	27,58	25,23
	Água	1,68%	27,1	25,04
	Telha Cerâmica	0,00%		
	R		0,962674277	0,814263321

Min. III	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016
	Telha Cinza	20,91%	32,24	26,01
	Relvado	16,29%	30,73	25,99
	Asfalto	14,89%	28,12	25,16
	Água	14,49%	28,1	24,97
	Laje	9,73%	27,96	24,97
	Sombra	9,45%	27,1	24,81
	Pedra Portuguesa	9,05%	26,95	24,52
	Copa de Árvore	3,27%	24,97	24,39
	Solo Exposto	1,92%	24,92	24,15
	R		0,950798751	0,919055875

Setor Noroeste	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016
	Solo Exposto	33,45%	29,48	25,1
	Telha Cinza	29,00%	28,67	24,49
	Relvado	9,43%	28,62	24,3
	Laje	9,10%	27,94	24,08
	Asfalto	8,90%	27,87	23,62
	Copa de Árvore	4,84%	27,78	23,37
	Sombra	4,69%	27,52	23,25
	Água	0,59%	27,31	23,11
	Telha Cerâmica	0,00%		
	R		0,902275619	0,90094135

Setor Sudoeste	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016
	Solo Exposto	23,24%	30,75	27,48
	Copa de Árvore	18,93%	29,68	25,69
	Telha Cinza	16,14%	28,6	25,5
	Relvado	13,46%	28,37	25,33
	Asfalto	12,20%	28,33	24,85
	Sombra	9,26%	27,23	24,69
	Laje	6,55%	26,58	24,14
	Água	0,21%	26,48	22,97
	Telha Cerâmica	0,00%		
	R		0,961909	0,971663

Gama	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016	Taguatinga	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016
	Telha Cinza	35,95%	31,67	24,6		Telha Cinza	34,96%	28,49	27,24
	Telha Cerâmica	21,74%	29,62	24,11		Sombra	21,21%	28,37	27,08
	Relvado	10,09%	29,43	23,84		Telha Cerâmica	18,95%	28,03	26,74
	Solo Exposto	9,87%	29,21	23,73		Asfalto	11,31%	27,67	26,69
	Copa de Árvore	8,72%	29,15	23,11		Laje	5,05%	27,1	26,66
	Asfalto	8,24%	28,39	22,62		Solo Exposto	4,59%	27	26,02
	Laje	2,93%	27,04	22,43		Copa de Árvore	3,14%	26,64	25,96
	Sombra	2,46%	26,15	21,02		Relvado	0,79%	25,58	24,14
	Água	0,00%				Água	0,00%		
	R		0,881900362	0,786768281		R		0,874478	0,717765

Sobradinho I	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016	Sobradinho II	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016
	Solo Exposto	19,98%	28,33	29,94		Telha Cerâmica	33,35%	30,29	28,21
	Telha Cinza	18,94%	28,3	27,8		Asfalto	16,44%	30,29	27,93
	Copa de Árvore	15,33%	28,03	27,63		Solo Exposto	15,35%	30,1	27,73
	Relvado	14,87%	28,02	27,43		Relvado	11,54%	30,06	27,72
	Telha Cerâmica	13,53%	27,52	27,29		Copa de Árvore	7,90%	29,6	27,62
	Asfalto	12,03%	27,5	26,66		Laje	6,54%	29,54	27,48
	Laje	2,85%	27,29	26,59		Telha Cinza	5,95%	29,13	27,45
	Sombra	2,43%	27,26	26,57		Sombra	2,94%	28,8	26,41
	Água	0,05%	27,13	26,35		Água	0,00%	0	0
	R		0,930296384	0,783011744		R		0,779995461	0,763867689

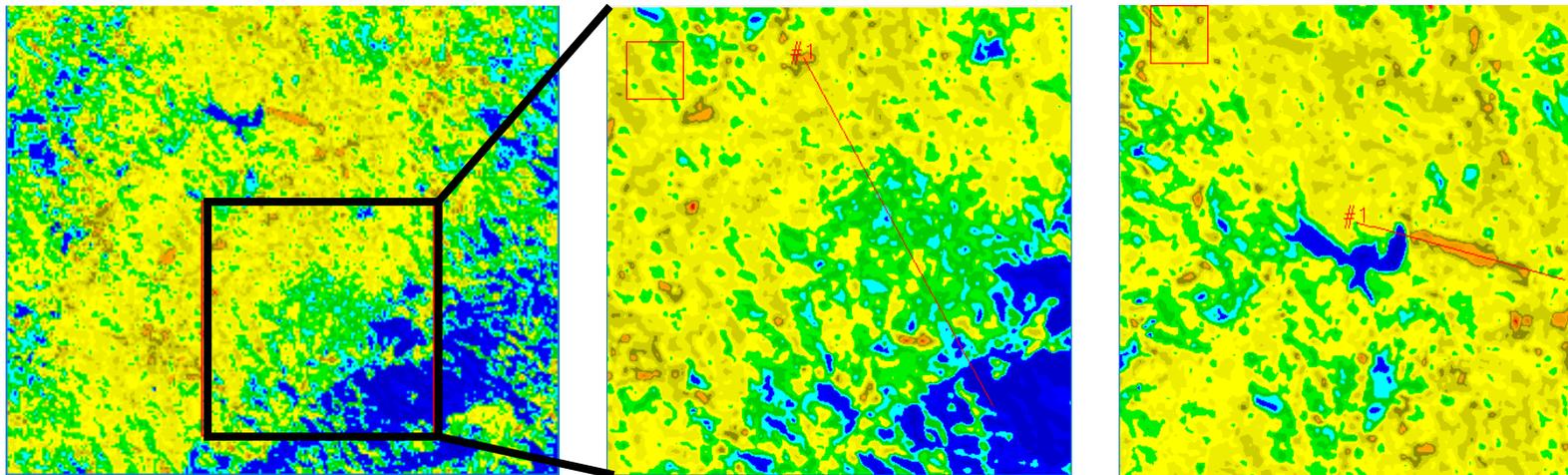
Taquari	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016	Águas Claras	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Ago/2016	Ranking Temp. Fev/2016
	Relvado	25,90%	29,09	26,53		Solo Exposto	29,50%	30,2	25,17
	Telha Cinza	24,28%	28,81	26,4		Sombra	22,37%	28,58	25,03
	Solo Exposto	11,76%	28,46	26,37		Telha Cinza	19,87%	28,81	24,89
	Asfalto	10,72%	28,46	26,14		Asfalto	10,10%	27,38	24,8
	Telha Cerâmica	9,85%	28,36	26,14		Laje	7,99%	26,6	24,73
	Copa de Árvore	8,86%	28,11	26,12		Relvado	6,78%	26,45	24,66
	Laje	5,54%	27,96	26,09		Copa de Árvore	2,50%	26,1	24,47
	Sombra	1,89%	27,93	26,02		Água	0,89%	25,36	24,01
	Água	1,20%	27,86	25,9		Telha Cerâmica	0,00%		
	R		0,968098	0,931129		R		0,987395665	0,885272982

Itapoã	Materiais	Ranking % Materiais	Ranking Temp. Méd. Ago/2016	Ranking Temp. Méd. Fev/2016
	Telha Cinza	36,92%	28,95	28,17
	Asfalto	21,71%	28,71	28,08
	Laje	14,36%	28,68	27,97
	Solo Exposto	9,41%	28,59	27,97
	Copa de Árvore	8,31%	28,51	27,75
	Relvado	5,35%	27,99	27,59
	Telha Cerâmica	2,10%	27,87	27,14
	Sombra	1,84%	27,68	26,56
	Água	0,00%		
	R		0,83321406	0,726320416

ANEXO V

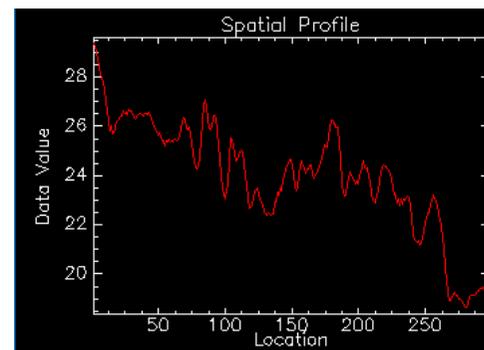
Trabalhos Futuros:

Quadro 49 -Belo Horizonte – Imagem termal Banda 10 Landsat 8 - 20 de Agosto de 2017

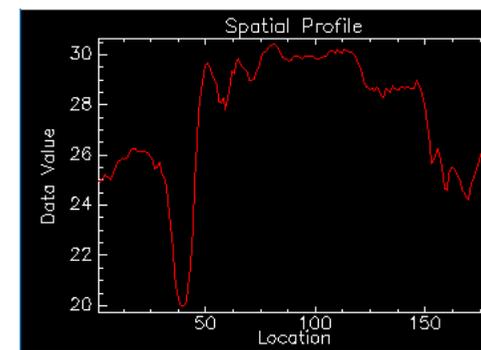


LEGENDA	°C
	0 a 16
	16 a 18
	18 a 20
	20 a 21
	21 a 22
	22 a 23
	23 a 24
	24 a 25
	25 a 26
	26 a 27
	27 a 28
	28 a 29
	29 a 30
	30 a 31
	31 a 32
	32 a 33
	33 a 34
	34 a 35
	35 a 36
	36 a 41

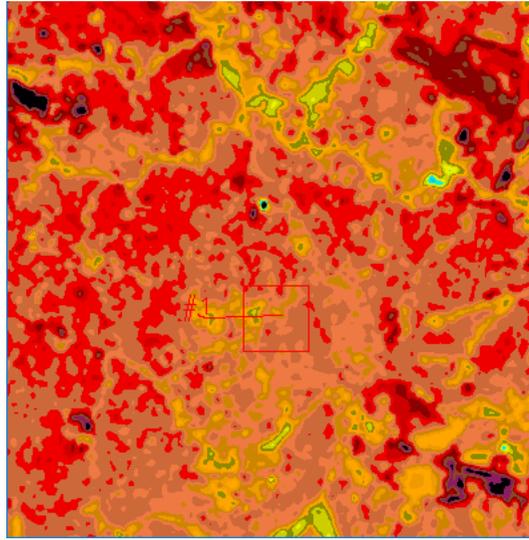
Transecto na Área Central – Grelha



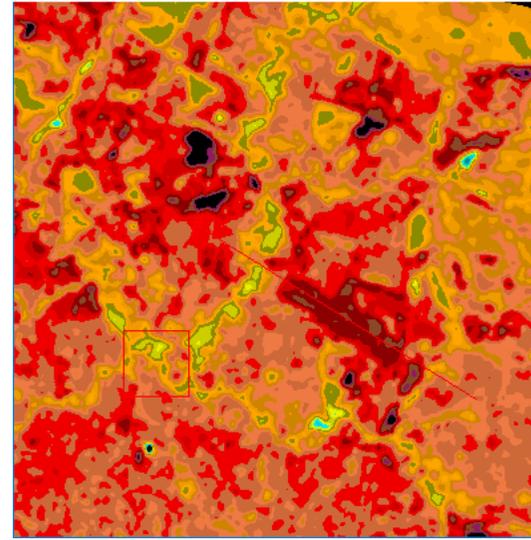
Transecto no Aerop. Da Pampulha



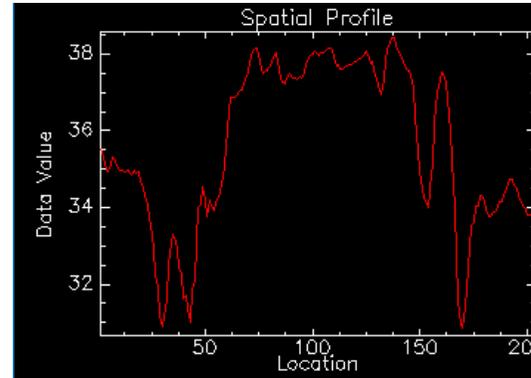
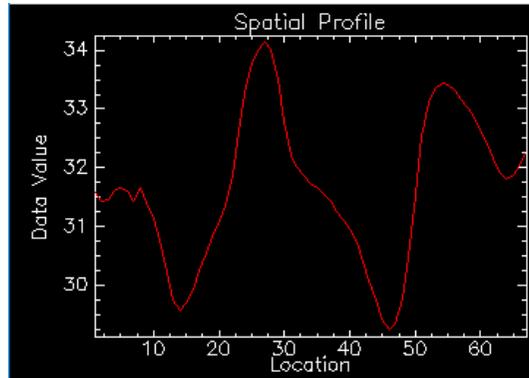
Quadro 50 - Goiânia - Imagem termal Banda 10 Landsat 8 - 01 de setembro de 2017



Transecto entre o Lago das Rosas e Bosque Buritis

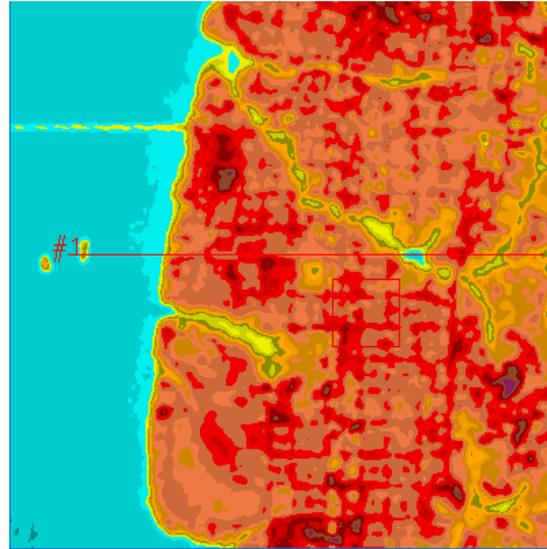
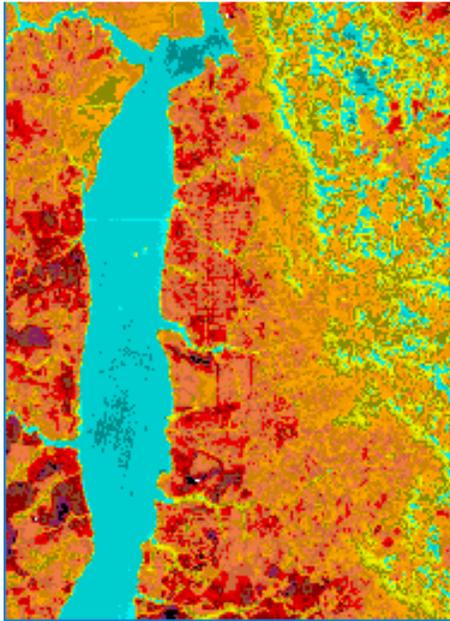


Transecto no Aeroporto

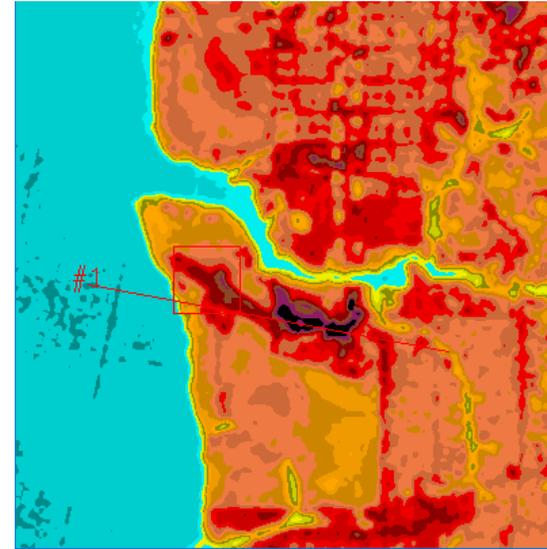


LEGENDA	°C
	24 a 25
	25 a 26
	26 a 27
	27 a 28
	28 a 29
	29 a 30
	30 a 31
	31 a 32
	32 a 33
	33 a 34
	34 a 35
	35 a 36
	36 a 37
	37 a 38
	38 a 39
	39 a 40
	40 a 44

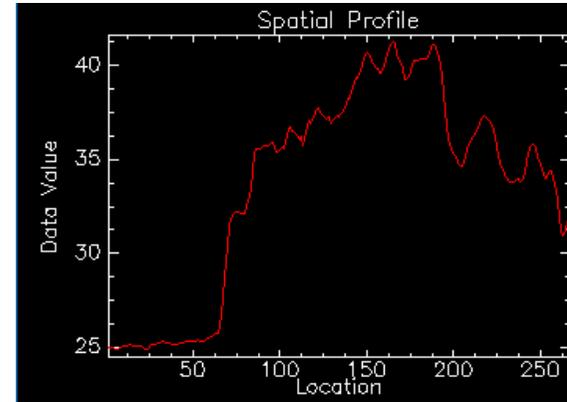
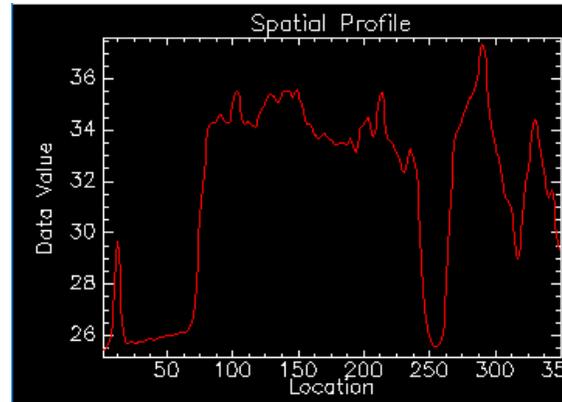
Quadro 51 - Palmas – Imagem termal Banda 10 Landsat 8 - 16 de Agosto de 2017



Transecto Transversal ao Traçado Urbano

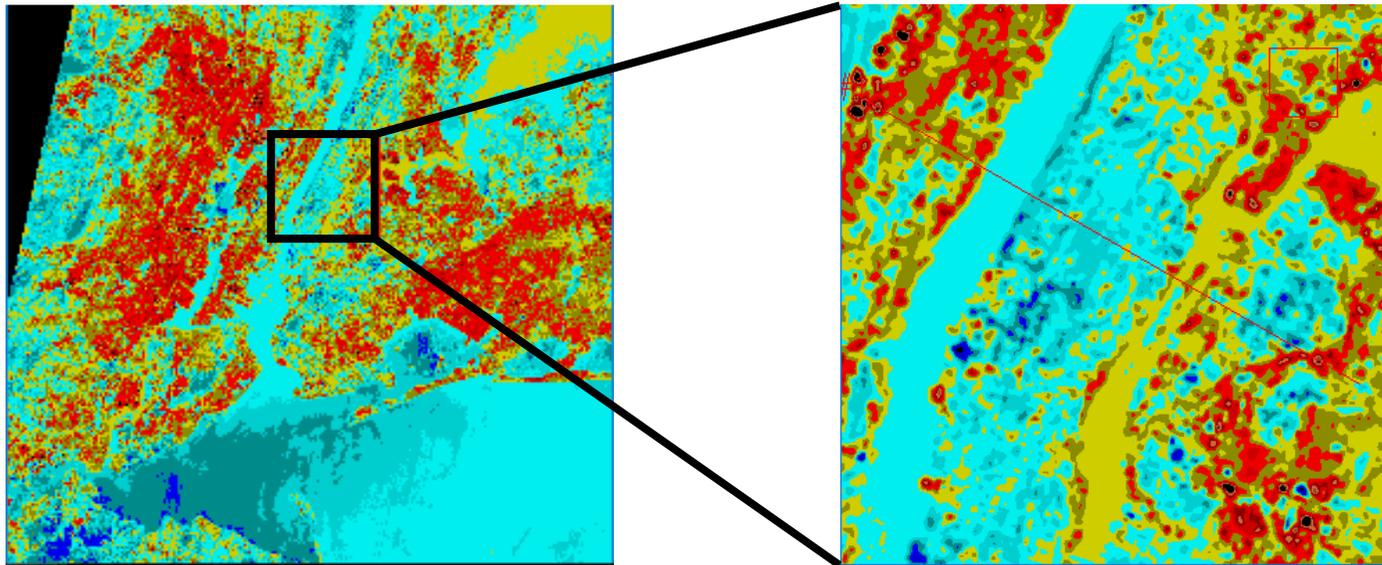


Transecto longitudinal no Aeroporto

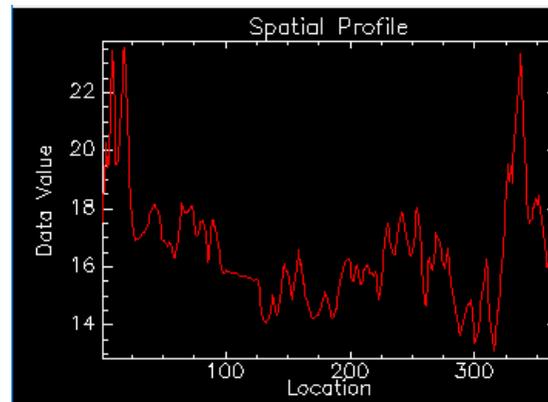


LEGENDA	°C
	24 a 25
	25 a 26
	26 a 27
	27 a 28
	28 a 29
	29 a 30
	30 a 31
	31 a 32
	32 a 33
	33 a 34
	34 a 35
	35 a 36
	36 a 37
	37 a 38
	38 a 39
	39 a 40
	40 a 44

Quadro 52 - Nova York – Imagem termal Banda 10 Landsat 8 - 27 de outubro de 2017

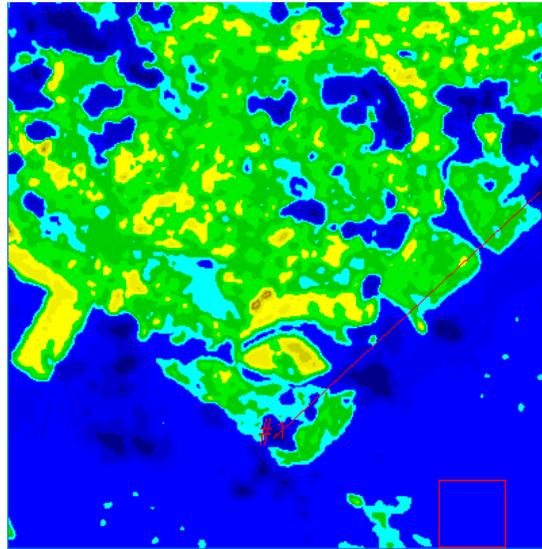
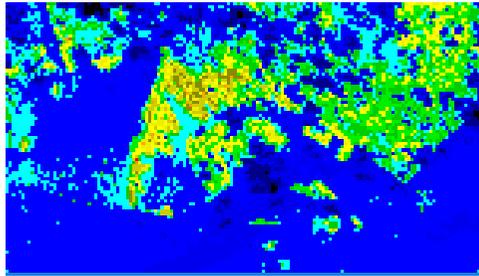


NY – Continente – mar – (Ilha de Mahatam) Central Park – mar - Continente

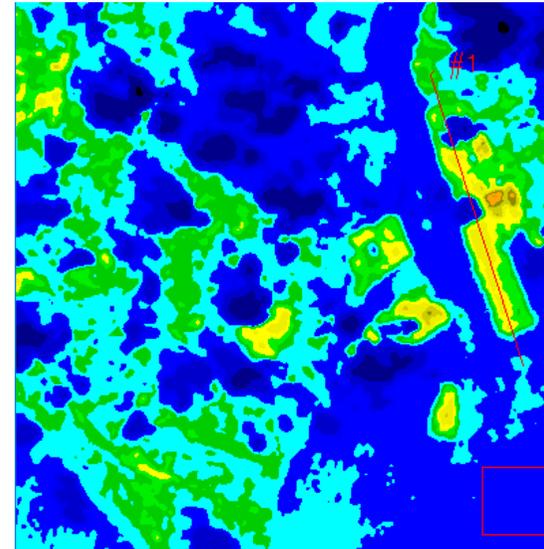
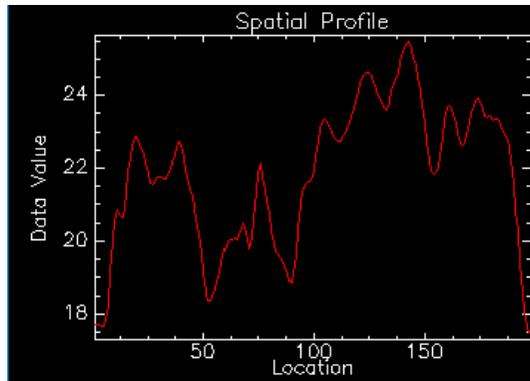


LEGENDA	°C
	09 a 12
	12 a 13
	13 a 14
	14 a 15
	15 a 16
	16 a 17
	17 a 18
	18 a 19
	19 a 20
	20 a 21
	21 a 22
	22 a 23
	23 a 30

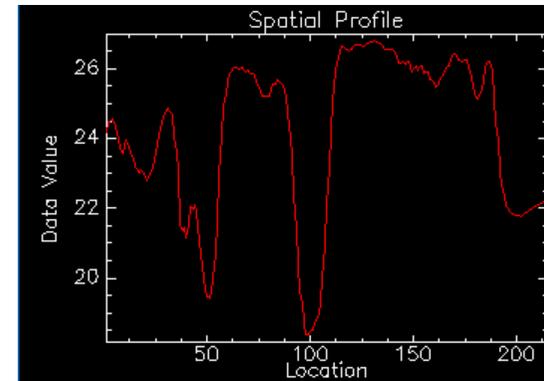
Quadro 53 - Cingapura – Imagem termal Banda 10 Landsat 8 - 15 de dezembro de 2017



Transecto Gardens By the Bay



Transecto no Aeroporto



LEGENDA	°C
	0 a 16
	16 a 18
	18 a 20
	20 a 21
	21 a 22
	22 a 23
	23 a 24
	24 a 25
	25 a 26
	26 a 27
	27 a 28
	28 a 29
	29 a 30
	30 a 31
	31 a 32
	32 a 33
	33 a 34
	34 a 35
	35 a 36
	36 a 41