



MAPEANDO A MORFOLOGIA URBANA: APLICAÇÕES DO MÉTODO LOCAL CLIMATE ZONES (LCZ) EM DIFERENTES ESCALAS DO PROJETO

LUCIANA SCHWANDNER FERREIRA

Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.
Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, São Paulo - SP – CEP: 05508 080.
<https://orcid.org/0000-0002-5657-448X>
luciana.swf@usp.br

Recebido: 10/05/2022

Aprovado: 25/11/2022

DIEGO FERRETTO

Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.
Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, São Paulo - SP – CEP: 05508 080.
<https://orcid.org/0000-0002-0618-5638>
diegoferretto@alumni.usp.br

DENISE HELENA SILVA DUARTE

Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.
Rua do Lago, 876, Cidade Universitária, São Paulo - SP – CEP: 05508 080
<https://orcid.org/0000-0003-4373-9297>
dhduarte@me.com

RESUMO

Este artigo visa demonstrar o potencial do método de mapeamento Local Climate Zones (LCZ) aplicado a duas pesquisas urbanas com objetivos e escalas distintas. Originalmente desenvolvido para estudos de clima urbano, o método é aqui explorado em sua aplicação original e em estudos de alterações da cobertura vegetal urbana em uma Região Metropolitana e em estudos de morfologia e estrutura urbana de uma cidade média. Os resultados demonstram a adequação do método a pesquisas com diferentes enfoques e escalas de análise, e, por utilizar dados gratuitos e softwares livres, apresenta-se como uma possibilidade a pesquisadores e gestores urbanos que desejem conhecer e monitorar as características morfológicas, incorporando-as efetivamente aos instrumentos de tomada de decisão e de gestão.

Palavras-chave: Clima urbano. Morfologia urbana. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

This paper aims to demonstrate the potential of the Local Climate Zones (LCZ) mapping method applied to two urban studies with different objectives and scales. Originally developed for urban climate studies, this paper presents different applications of the method: in its original application, in studies of changes in urban vegetation cover, in a metropolitan area, and in studies of morphology and urban structure, in a middle-sized city. The results demonstrate the suitability of the method to research with different approaches and scales of analysis, and since it uses free data and free software, it can be a possibility for researchers and urban planners who wish to know and monitor the morphological characteristics, incorporating effectively to decision-making and management instruments.

Keywords: Urban climate. Urban morphology. Remote sensing



INTRODUÇÃO

O método de mapeamento Local Climate Zones (LCZ) consiste em uma classificação proposta por Stewart e Oke (2012) voltada aos estudos de clima urbano com objetivo de detalhar as respostas climáticas em diferentes estruturas urbanas, considerando tipologias construídas e de cobertura do solo. As classes LCZ são definidas como regiões com cobertura uniforme do solo, estrutura, materiais e atividades humanas que se estendem por centenas de metros ou quilômetros e que apresentam regime semelhante da temperatura do ar. O objetivo dessa classificação é extrair a magnitude da ilha de calor urbana pelas diferenças entre as respostas climáticas dessas classes e não simplesmente pela diferença entre as áreas urbanas e as rurais (STEWART; OKE, 2012).

O método LCZ viabiliza uma classificação morfológica do tecido urbano mais detalhada em relação aos tradicionais mapeamentos de uso e ocupação do solo (UOS), que recorrentemente se limitam à distinção rural versus urbano – no qual o urbano é em geral representado por poucas ou por uma única classe. A disseminação da classificação nos campos da climatologia, da geografia e da arquitetura e do urbanismo permitem a comparação de estudos realizados em diversas cidades pelo mundo. Uma das iniciativas existentes para a coleta e disseminação desses dados é o World Urban Database and Access Portal Tool (WUDAPT)¹.

Reconhecendo as potencialidades do método LCZ aos estudos urbanos, têm-se três objetivos principais, que correspondem à estrutura do artigo: a) apresentação do método, como proposto por Stewart e Oke (2012), demonstrando as etapas e procedimentos envolvidos na classificação; b) aplicação do método nos estudos de morfologia urbana; c) aplicação do método em estudos de clima urbano e vegetação; e, por fim, apresentase a síntese das limitações e possibilidades do método nos campos da pesquisa e do planejamento urbano.

As demonstrações de aplicação do método se apoiam em duas pesquisas de doutorado: Ferreira (2019) e Ferretto (2018).

O método Local Climate Zones (lcz)

O método de classificação do território em zonas climáticas locais, ou Local Climate Zones (LCZ) foi desenvolvido originalmente pelo pesquisador canadense Iain Douglas Stewart em tese de doutorado defendida na Universidade da Colúmbia Britânica, em 2011, sob a orientação do professor Timothy Oke.

A partir de uma revisão de 177 estudos sobre ilha de calor urbana o autor concluiu que a maior parte deles apresentava graves deficiências metodológicas e que a comparação dos resultados era extremamente difícil, tanto pela citada deficiência quanto pela ausência de informações sobre os locais de medição. O trabalho apresenta um sistema de classificação para estudos de ilha de calor urbana a ser aplicado em diferentes localidades, permitindo assim uma padronização dos estudos sobre o tema e possibilitando que a magnitude da ilha de calor possa ser examinada pelas diferenças entre zonas específicas, e não mais por diferenças gerais entre as áreas urbanas e as áreas rurais. O autor testou a classificação proposta com dados de temperatura do ar medidos em três cidades (Uppsala, na Suécia, Nagano, no Japão, e Vancouver, no Canadá) e com dados simulados em modelos atmosféricos de mesoescala. Nos testes realizados, a classificação LCZ apresentou boa correspondência com as respostas de temperatura do ar medidas e simuladas, indicando que cada zona é termicamente única, com diferenças que variam segundo a morfologia das edificações, a geometria da vegetação, a cobertura do solo e a umidade das superfícies. Assim, o trabalho concluiu que o método proposto oferece uma forma mais confiável e robusta de medir a ilha de calor urbana a partir de

¹ Disponível em: <http://www.wudapt.org/>.

diferenças entre LCZ (STEWART, 2011). O trabalho foi posteriormente publicado em um artigo no Bulletin of the American Meteorological Society (STEWART; OKE, 2012) e, a partir de então, amplamente usado por pesquisadores das diversas áreas envolvidas em estudos de clima urbano, como em estudos de poluição atmosférica (DIRCE et al., 2019; SHI et al., 2018) e de ilha de calor urbana (ZHENG et al., 2018), bem como aplicados no planejamento urbano (PERERA; EMMANUEL, 2018).

As Tipologias

A classificação propõe 17 classes, nas quais cada LCZ é definida como uma região que se estende por centenas de metros ou quilômetros e que apresenta estrutura, materiais, cobertura do solo e atividades humanas uniformes, além do regime característico de temperatura do ar. As diferenças de temperatura entre as LCZ são mais pronunciadas em noites claras, com pouco vento, em áreas de relevo simples e sobre superfícies secas (STEWART; OKE, 2012).

Cada LCZ é descrita por propriedades geométricas, como fator de visão de céu, altura média dos elementos construídos, taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, área permeável e impermeável e por propriedades térmicas, radiativas e metabólicas, como inércia, albedo e calor antropogênico produzido (Figura 1) (STEWART; OKE, 2012).

As classes propostas não são capazes de descrever todas as situações urbanas e rurais existentes, portanto, é possível que seja necessário realizar combinações a partir das classes originalmente propostas para melhor descrever os tecidos urbanos heterogêneos. Áreas nas quais edifícios altos e baixos se misturem poderiam ser classificadas como LCZ 3 e LCZ 4, ou seja, edifícios baixos compactos com edifícios altos esparsos.

Considerado que os estudos e medições que embasaram a definição das LCZ são majoritariamente produzidos nos contextos da América do Norte, Norte

da Europa e Norte da Ásia, a aplicação em cidades latino-americanas possivelmente demandará um olhar crítico em relação aos parâmetros de cada zona (FERREIRA; DUARTE, 2019), como apontado por Perera e Emmanuel (2018) em estudo realizado para a cidade de Colombo, no Sri Lanka, no qual questionam a aplicação universal dos parâmetros geométricos de cada zona propostos por Stewart e Oke (2012). Na mesma direção, Ren et al. (2016) verificaram que as classes de LCZ originalmente propostas podem não ser adequadas para descrever as cidades chinesas, recomendando um refinamento das classes para a realidade do país.

Classificação

Por meio de mapeamentos manuais e classificações automáticas com imagens de sensores remotos, a classificação de áreas em LCZ pode ser feita de distintas formas. A escolha pelo método a ser utilizado deve considerar o tamanho da área a ser classificada, a necessidade de resolução espacial da classificação e a disponibilidade de dados sobre o local a ser classificado.

É importante destacar que sendo as LCZ classes de cobertura do solo homogêneas que se estendem por centenas de metros ou quilômetros, trata-se de uma classificação adequada para a escala urbana, não sendo coerente utilizá-la para estudos de poucas quadras.

Um dos métodos de produção de mapas LCZ mais difundidos foi criado por Betchel et al. (2015), pautado na utilização de imagens do satélite Landsat para a elaboração do mapeamento. A classificação é realizada de forma supervisionada por meio do classificador Local Climate Zones Classification, presente na versão 2.2.0 do software SAGA GIS, utilizando áreas de treinamento selecionadas pelo usuário no software Google Earth. Esse método é o adotado pelo WUDAPT.

A primeira etapa é a definição da região de interesse (ROI) para a classificação. A ROI deve ser preferencialmente retangular e maior do que a área de estudo, permitindo o recorte posteriormente (Figura 2).

Tipologia Construtiva**Definição**

LCZ 1. Alto-compacto



Edifícios altos em arranjo compacto. Áreas densamente construídas, com edifícios com mais de 10 pavimentos. Cobertura do solo predominantemente impermeável, com pouca ou nenhuma vegetação. Materiais predominantes: concreto, aço, pedras e vidros.

LCZ 2. Médio-compacto



Edifícios de altura média em arranjo compacto. Áreas densamente construídas, com edifícios de 3 a 9 pavimentos. Cobertura do solo predominantemente impermeável, com pouca ou nenhuma vegetação. Materiais predominantes: concreto, pedras, tijolos e materiais cerâmicos.

LCZ 3. Baixo-compacto



Edifícios baixos em arranjo compacto. Áreas densamente construídas, com edifícios de 1 a 3 pavimentos. Cobertura do solo predominantemente impermeável, com pouca ou nenhuma vegetação. Materiais predominantes: concreto, pedras, tijolos e materiais cerâmicos.

LCZ 4. Alto-aberto



Edifícios altos em arranjo aberto. Áreas de menor adensamento, com edifícios com mais de 10 pavimentos. Abundância de áreas permeáveis (com vegetação herbácea, arbustiva ou arbórea esparsa). Materiais predominantes: concreto, aço, pedras e vidros.

LCZ 5. Médio-aberto



Edifícios de altura média em arranjo aberto. Áreas de menor adensamento, com edifícios de 3 a 9 pavimentos. Abundância de áreas permeáveis (com vegetação herbácea, arbustiva ou arbórea esparsa). Materiais predominantes: concreto, aço, pedras e vidros.

LCZ 6. Baixo-aberto



Edifícios baixos em arranjo aberto. Áreas de menor adensamento, com edifícios de 1 a 3 pavimentos. Abundância de áreas permeáveis (com vegetação herbácea, arbustiva ou arbórea esparsa). Materiais predominantes: concreto, pedras, tijolos, madeira e materiais cerâmicos.

LCZ 7. Baixo-precário



Edifícios baixos e leves, com pouca inércia térmica. Áreas densamente construídas, pouco consolidadas, com edifícios de 1 pavimento. Pouca ou nenhuma vegetação arbórea. Cobertura do solo predominantemente compacta. Materiais predominantes: madeira, palha e metal corrugado.

LCZ 8. Baixo-grande



Grandes construções de baixa altura em arranjos abertos. Edifícios de 1 a 3 pavimentos, com cobertura do solo predominantemente impermeável. Materiais predominantes: aço, concreto, metal ou pedra.

LCZ 9. Ocupação esparsa



Arranjos esparsos de edifícios de baixa ou média altura em ambientes naturais. Abundância de áreas permeáveis (com vegetação herbácea, arbustiva ou arbórea esparsa).

LCZ 10. Indústria pesada



Estruturas industriais de altura baixa e média (torres, tanques etc.). Cobertura de solo predominantemente impermeável ou compacta. Materiais predominantes: aço, concreto ou metal.

LCZ A. Veg. Arbórea densa



Áreas densamente cobertas por vegetação arbórea decídua e/ou perene. Cobertura de solo predominantemente permeável, com vegetação herbácea. Exemplos: florestas naturais ou cultivadas, parques urbanos.

LCZ B. Veg. Arbórea esparsa



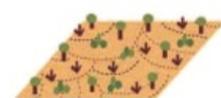
Áreas cobertas por vegetação arbórea esparsa decídua e/ou perene. Cobertura de solo predominantemente permeável, com vegetação herbácea. Exemplos: florestas naturais ou cultivadas, parques urbanos.

LCZ C. Veg. arbustiva



Áreas cobertas por vegetação arbórea esparsa decídua e/ou perene. Cobertura de solo predominantemente permeável, com vegetação herbácea. Exemplos: florestas naturais ou cultivadas, parques urbanos.

LCZ C. Veg. arbustiva



Áreas cobertas por esparsa vegetação arbustiva e vegetação arbórea de pequeno porte. Cobertura de solo predominantemente permeável (solo exposto ou areia). Exemplo: áreas arbustivas naturais ou áreas de cultivo agrícola.

LCZ D. Veg. herbácea



Áreas cobertas por vegetação herbácea. Exemplo: pastagens naturais ou cultivadas, áreas agrícolas ou parques urbanos.

LCZ E. Rocha ou pavimento



Áreas cobertas por rochas ou pavimentos impermeáveis. Pouca ou nenhuma vegetação. Exemplo: rochas expostas e áreas destinadas a transporte.

LCZ F. Solo exposto



Áreas cobertas por solo exposto ou areia. Pouca ou nenhuma vegetação. Exemplo: desertos ou áreas agrícolas.

LCZ G. Água



Corpos d'água: oceanos, lagos, rios, represas e lagoas.

Figura 1 – Local Climate Zones (LCZ).

Fonte: Ferreira (2019), adaptado de Stewart e Oke (2012).

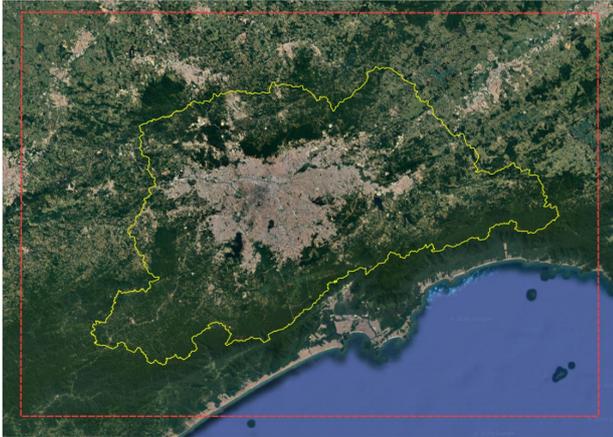


Figura 2 – Região de interesse para uma classificação realizada para a Região Metropolitana de São Paulo definida no Google Earth.

Fonte: Elaboração dos autores.

Depois da definição da ROI, procede-se à escolha e aquisição das cenas do satélite Landsat. Deve ser dada preferência às imagens do Landsat 8 OLI/TIRS, embora imagens dos satélites Landsat 5 TM ou Landsat 7 ETM (anterior a 2003)² também podem ser usadas. As imagens podem ser adquiridas gratuitamente por meio do portal do Serviço Geológico Americano (USGS)³.

A recomendação de Betchel et al. (2015) é que sejam selecionadas cenas de diferentes datas ao longo de um ano. No entanto, Prata-Shimomura e Ferreira (2018) verificaram que, quando a área a ser classificada apresenta setores ocupados por agricultura com culturas sazonais, variando muito ao longo de um ano, a precisão da classificação é melhor com a utilização de apenas uma cena. Assim, recomenda-se que a quantidade de cenas e suas datas de aquisição sejam determinadas pelas características do local e pelo objetivo da classificação, levando-se em conta ainda a sazonalidade da vegetação local e a ausência de nuvens na área mapeada.

A próxima etapa é a definição das áreas de treinamento. Deverão ser selecionadas áreas de treinamento para cada uma das classes LCZ. Segundo as orientações do WUDAPT⁴, cada classe deve ter entre cinco e quinze áreas de treinamento, sendo que cada área de treinamento deve ter aproximadamente 1km². Essas dimensões visam tanto adequar-se à escala de interesse do método quanto à resolução das imagens Landsat usadas (Figura 3). Caso uma LCZ não tenha o número mínimo de amostras com as dimensões exigidas, essa classe deve ser excluída do mapeamento.

As áreas de treinamento devem ser selecionadas no Google Earth por meio do comando Adicionar Polígono. Para cada LCZ deve ser criada uma pasta e todos os polígonos devem ser salvos na pasta correspondente (Figura 4). As classes de cobertura do solo A, B, C, etc. devem ser numeradas sequencialmente como 101, 102, 103, etc.

Propriedades	Não recomendado	Recomendado
Formas compactas. Evitar áreas de treinamento com formatos complexos e irregulares.		
Escala. O tamanho das áreas de treinamento deve considerar a escala de análise urbana e a resolução das imagens que serão utilizadas. Para classificações usando imagens do satélite Landsat as áreas devem ter no mínimo 100m X 100m		
Bordas. Evitar delimitar as áreas muito próximas do limite da LCZ. Assim, o classificador não receberá uma informação equivocada caso os pixels da imagem não coincidam com os limites da área de treinamento.		

Figura 3 – Diretrizes para a seleção de áreas de treinamento.

Fonte: Adaptação a partir de WUDAPT.

² A partir de 2003 o Landsat 7 foi afetado pelo scan line correction, erro que ocorre em algumas regiões. Logo, a partir daquela data, seu uso é desaconselhado.

³ O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) também fornece as imagens, porém sem a banda termal que deve ser usada para a classificação. As cenas dos satélites Landsat podem ser obtidas com todas as bandas em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

⁴ Disponível em: <http://www.wudapt.org/create-lcz-training-areas/step-5/>.

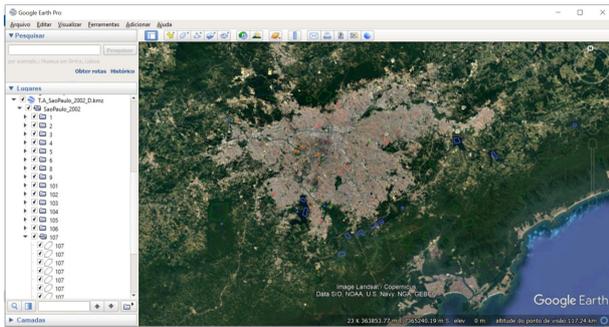


Figura 4 – Organização e nomenclatura das áreas de treinamento.
Fonte: Elaboração dos autores.

Depois da aquisição das imagens e definição das áreas de treinamento procede-se a classificação no software SAGA GIS, versão 2.2.0⁵, de acordo com o procedimento descrito no site do WUDAPT. A classificação gerada no SAGA GIS pode ser exportada em Geotiff para ser manipulada em outros softwares SIG.

Tendo em vista que o classificador LCZ presente na versão 2.2.0 do SAGA GIS é baseado no classificador Random Forest, a cada nova classificação serão percebidas pequenas alterações, ainda que as áreas de treinamento sejam mantidas. Depois da classificação é fundamental que o usuário realize a verificação da acurácia da classificação e, caso sejam constatadas imprecisões, novas áreas de treinamento devem ser selecionadas.

Para que a classificação apresente bons resultados é necessário que, durante a seleção das áreas de treinamento, o usuário considere tratar-se de uma classificação supervisionada de imagem de sensor remoto, ou seja, as características espectrais das áreas devem ser consideradas. Boas áreas de treinamento fornecem informações espectrais capazes de distinguir as diferentes LCZ. Para tanto, é necessário conhecimentos básicos de sensoriamento remoto.

Ainda que o método de classificação proposto por Betchel et al. (2015) seja amplamente utilizado, existem outros métodos possíveis e que podem apresentar resultados mais precisos, como os que utilizam dados ve-

toriais das edificações (GÁL; BETCHEL et al., 2015; HIDALGO et al., 2019) e os que utilizam modelos digitais de elevação combinados com outras informações territoriais (ZHENG et al., 2018; REN et al., 2019). Em ambos os casos são necessários dados oficiais sobre a geometria das edificações e/ou conhecimentos avançados de sensoriamento remoto e SIG, condições que podem restringir a ampla utilização desses métodos no território nacional. Assim, optou-se por explorar aqui as aplicações da classificação LCZ utilizando o método adotado pelo WUDAPT, que utiliza dados de entrada gratuitos e disponíveis globalmente.

Aplicação do Método em Pesquisas Urbanas Morfologia e Estrutura Urbana

Instrumental a diversas áreas do conhecimento, o estudo das formas assume contornos específicos de acordo com o objeto de cada disciplina, perpassando os campos da linguística e da biologia. Nos estudos espaciais, por sua vez, principalmente circunscritos à geografia, à arquitetura e ao urbanismo, constituiu-se um campo de pesquisa denominado *morfologia urbana*, que, por terminologia, define-se como o estudo das formas urbanas.

Conceitualmente, no entanto, a morfologia urbana extrapola o estudo da forma (urbana), incorporando outras dimensões que permitem a apreensão dos conteúdos que as orientam e são por elas redefinidos, continuamente (SPOSITO, 2017, p. 298).

Milton Santos (2008) define a forma como uma das categorias fundamentais a toda e qualquer análise espacial. Todavia, ele também adverte que, isoladamente, a análise da forma constitui-se uma abstração, exigindo que ela seja aplicada simultânea e dialeticamente às categorias *função*, *estrutura* e *processo*, nos quais a forma é o aspecto visível da coisa; a função é a atividade esperada de uma forma; a estrutura implica em inter-relações das partes de um todo; e o processo relaciona-se à variável *tempo*.

⁵ Disponível em: <http://www.saga-gis.org/>. Apenas a versão 2.2.0 conta com um classificador específico para LCZ.

Portanto, a análise das formas urbanas, associada às suas respectivas funções, inseridas em um contexto estrutural, avaliadas ao longo do tempo, revelam a essência da produção do espaço urbano em suas determinantes políticas e socioeconômicas, evidenciando os conflitos e contradições a elas inerentes.

A partir desses pressupostos teóricos, diversos são os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa espacial urbana. O método LCZ constitui-se em uma dessas possibilidades à medida que permite, a partir de uma classificação que pode ser semiautomática, apreender as formas urbanas, proporcionando também uma primeira aproximação das funções e estruturas subjacentes, assim como de suas transformações ao longo do tempo. Assim, destaca-se as possibilidades do método com enfoque nas quatro categorias basilares às análises espaciais, propostas por Milton Santos (2008).

No método LCZ, a forma é expressa pela classificação tipológica, revelando, de início, a distinção entre dois grupos de tipologias: construídas e de cobertura do solo. Enquanto as tipologias construídas englobam as áreas urbanizadas, objeto da ação humana, as áreas não ocupadas, classificadas por cobertura do solo, mesclam espaços naturais, como florestas e corpos d'água, com espaços antropizados, a exemplo das áreas que remetem à exploração econômica do solo por meio dos cultivos agrícolas. Essa classificação estabelece uma primeira distinção de usos do solo e uma primeira aproximação das dinâmicas espaciais em diferentes escalas: regional, municipal ou intraurbana.

Por sua vez, as tipologias construídas instrumentalizam sobretudo as análises em escala intraurbana, abrindo diversas possibilidades analíticas a partir das formas de ocupação do solo, abarcando as relações entre o espaço construído e o espaço aberto, a presença ou ausência de vegetação, os níveis de adensamento construtivo e os processos de verticalização.

No tocante às relações entre forma e função, ou no que se refere aos usos do solo, somente uma entre as dez tipologias construídas faz referência direta a um uso específico, relacionando-se a arranjos característicos da indústria pesada (LCZ 10) – as demais, por suas carac-

terísticas, podem ser associadas a determinados usos recorrentes. Os arranjos de grandes edificações e baixo gabarito em área impermeáveis (LCZ 8) remetem principalmente aos galpões de uso logístico e industrial, ou ainda a alguns usos institucionais, como equipamentos comunitários. Já as tipologias LCZ 3 (baixo-compacto), LCZ 7 (baixo-precário) e LCZ 9 (ocupação esparsa) são as que se relacionam prioritariamente ao uso residencial. As tipologias LCZ 1 (alto-compacto), LCZ 2 (médio-compacto), LCZ 4 (alto-aberto) e LCZ 5 (médio-aberto) admitem usos mistos, em que se pode pressupor moradias, comércio, serviços e instituições.

Além da associação aos usos do solo, algumas tipologias evidenciam perfis socioespaciais de ocupação. Tomando-se as cidades brasileiras como exemplos, a tipologia que mais claramente denota seu conteúdo social é a LCZ 7, isto é, ocupação horizontal densa, sem presença de áreas verdes, edificada com materiais leves (como madeira ou metal), característica dos setores irregulares de baixa renda. No outro extremo, pode-se aceitar a tipologia LCZ 6, de ocupações horizontais com grande quantidade de espaços livres e vegetação, como representativa prioritariamente das ocupações de alta renda, a exemplo dos condomínios horizontais de luxo.

À luz das formas e funções passíveis de apreensão a partir da classificação tipológica, a categoria *estrutura* instrumentaliza a abordagem em direção à compreensão do todo e da relação entre as partes. Villaça (2001, p. 12) afirma que a categoria estrutura, quando relativa ao espaço intraurbano, se refere à localização relativa de elementos espaciais e suas relações, correspondendo a “um todo constituído de elementos que se relacionam entre si de tal forma que a alteração de um elemento ou de uma relação altera todos os demais elementos e todas as demais relações”. Castells (1979) observa que, ao tratar-se de estrutura, é preciso identificar suas relações de base e determinar os elementos dessas relações. Segundo ele, a cidade se define pela interação de quatro processos: produção; consumo; intercâmbio; e gestão. Dos processos de produção, resultam as indústrias, os escritórios e as instituições financeiras; na esfera do consumo, dá-se a reprodução da força de trabalho, sendo a habitação seu elemento

espacial resultante como lugar de apropriação individual do produto do trabalho social; o intercâmbio de bens, serviços, pessoas e informações, por sua vez, tem duas expressões espaciais: as áreas comerciais e os espaços de sociabilização; e as infraestruturas ou sistemas de circulação e transporte. Já a gestão se especializa diretamente por meio de edifícios da administração pública (uso institucional) e indiretamente por meio do planejamento urbano.

O método LCZ pode abarcar ainda a categoria processo uma vez que introduz a variável tempo por meio da elaboração de classificações tipológicas, com a possibilidade de utilização de imagens de satélite de diferentes períodos. Viabiliza-se assim a comparação de diferentes períodos a partir da transformação das formas e das funções a elas atinentes, possibilitando a apreensão do processo de estruturação intraurbana ao longo do tempo e evidenciando as dinâmicas de desenvolvimento urbano, entre elas, as direções preferenciais da mancha urbana assim como resiliências e alterações de seus padrões tipológicos.

Diante disso, o método LCZ apresenta-se como uma possibilidade de classificação semiautomática da forma urbana, subsidiando a compreensão da estrutura interna das cidades em escalas e realidades distintas. O método é promissor tanto em larga escala, aplicado a áreas metropolitanas e grandes cidades, quanto a cidades médias e pequenas, ainda que adequações locais sejam necessárias (CAI et al., 2018; PERERA; EMMANUEL, 2018).

A título de exemplo, apresenta-se algumas possibilidades analíticas a partir da aplicação do método em cidades médias, objeto de pesquisa voltada ao estudo dos processos de segregação socioespacial em quatro cidades médias gaúchas: Caxias do Sul; Passo Fundo; Pelotas; e Santa Maria (Ferretto, 2018).

Inicialmente, três aspectos foram determinantes à utilização do método LCZ na pesquisa: primeiro, o método se apresenta como uma alternativa à escassez ou ausência de dados, bases cartográficas e levantamentos oficiais no âmbito das prefeituras municipais; segundo,

o recorte espacial da pesquisa (quatro cidades) impossibilita o desenvolvimento de pesquisas detalhadas in loco; por fim, o método atende a um dos pressupostos fundamentais da pesquisa, a possibilidade de comparação entre as cidades.

A aplicação do método LCZ associou-se a outras dimensões da pesquisa, tendo por objetivo a análise dos processos de estruturação intraurbana. À classificação tipológica, que conduziu a análise da morfologia urbana, permitindo uma correlação aproximada com os usos do solo predominantes, combinaram-se outros dois procedimentos: a) identificação e análise dos principais elementos da estrutura intraurbana, com destaque às áreas centrais, setores produtivos (industrial e logístico), sistemas viário, além dos processos de adensamento populacional e verticalização; b) análise da estrutura socioespacial a partir da definição de espaços sociais, resultantes da aplicação das análises fatorial e de agrupamentos ou cluster, técnicas exploratórias de sintetização ou simplificação de estruturas de variabilidade de casos, no âmbito da estatística multivariada (MINGOTI, 2013). O primeiro procedimento se apoiou em fontes primárias e secundárias e pesquisa in loco; o segundo procedimento em fontes secundárias, disponibilizadas no Censo Demográfico 2010 (IBGE), tendo como unidade espacial os setores censitários. As variáveis utilizadas nas análises socioeconômicas contemplam características dos indivíduos, dos domicílios e do entorno dos domicílios, abarcando as dimensões socioeconômica e espacial. Os resultados da classificação identificam quatro espaços sociais distintos, que comprovam a correlação entre os perfis socioeconômicos da população e o acesso à infraestrutura urbana.

Destacando o caso de Passo Fundo, cidade localizada na porção norte do estado do Rio Grande do Sul, polo regional com população estimada em cerca de 203 mil habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021), alguns resultados podem ser debatidos. A Figura 5 apresenta o mapa resultante da classificação LCZ, associado aos mapas temáticos que demonstram a localização dos elementos principais da estrutura intraurbana, a estrutura socioespacial, a verticalização e a densidade habitacional.

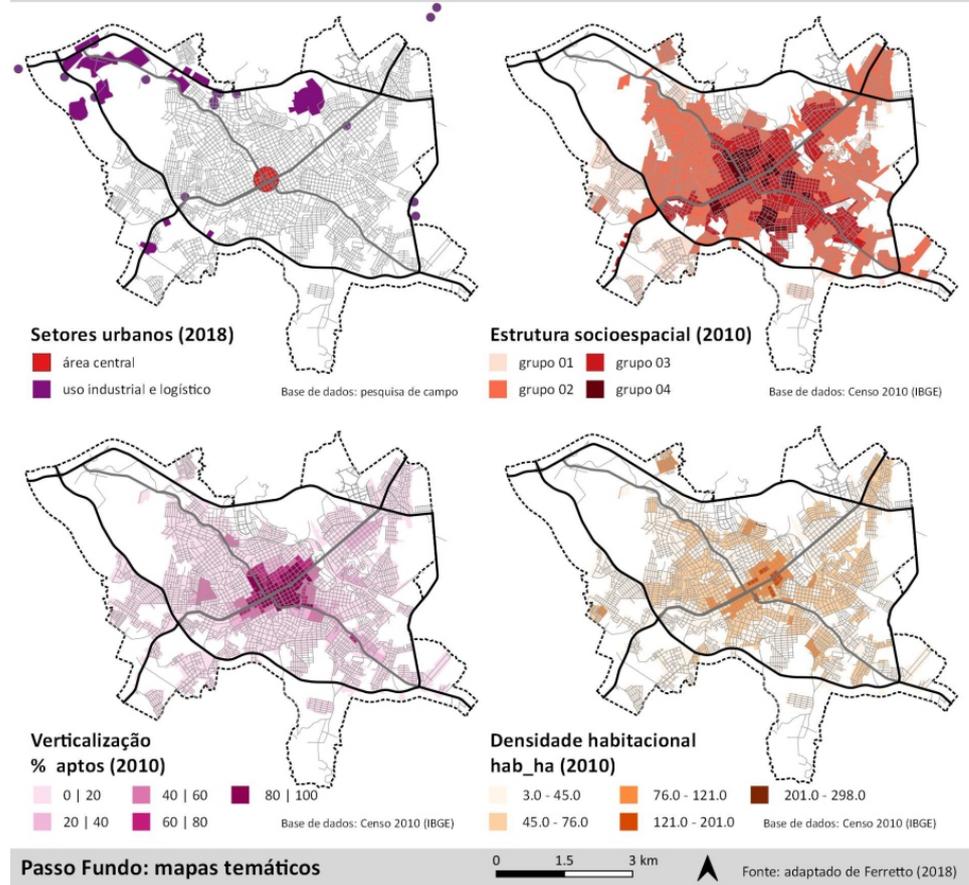
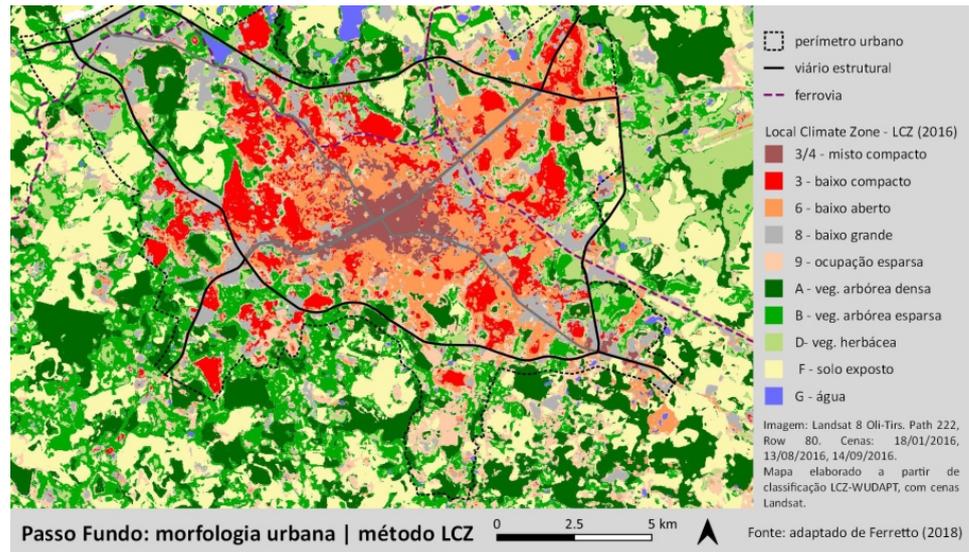


Figura 5 – Passo Fundo: estrutura e morfologia urbana.
Fonte: Ferretto (2018).

Assumindo a área urbana como recorte de análise, dentre as 17 classes LCZ, foram identificadas em Passo Fundo dez tipologias: cinco relativas ao ambiente construído, sendo uma delas mista; e cinco relativas à cobertura do solo.

Uma primeira leitura permite associar as classes referentes às tipologias construídas à área urbanizada, efetivamente ocupada, representando cerca de 63% da área urbana, o restante corresponde a tipologias não construídas, de cobertura do solo, como florestas, pastagens, áreas de cultivo agrícola e corpos d'água.

A associação das classes tipológicas aos usos predominantes, passíveis de verificação *in loco*, demonstra que a maior parte da área urbanizada, cerca de 70%, corresponde ao uso majoritariamente residencial horizontal; em seguida, as tipologias típicas dos usos industrial e de logística respondem por aproximadamente 20% da área ocupada, seguidas, por fim, pelas áreas que concentram os maiores índices de verticalização, que remetem ao uso misto, referentes a cerca de 10% da área urbanizada. Em síntese, observa-se um esquema básico da estrutura intraurbana: área central verticalizada, de uso misto; setores produtivos (industrial e logística) dispostos principalmente ao longo das vias regionais (rodovias e ferrovias); e o uso predominantemente residencial de baixo gabarito que se estende para a periferia.

A localização das áreas verticalizadas resulta da fusão de duas tipologias, baixo compacto (LCZ 3) e alto aberto (LCZ 4), recurso metodológico instrumental à escala da maioria das cidades médias, que em geral não apresentam arranjos compactos de edifícios altos (LCZ 1)⁶. Em Passo Fundo, a área verticalizada, que corresponde ao centro da cidade, intercala edifícios altos com edifícios de baixo gabarito, remanescentes de outros períodos; os edifícios altos contemplam o uso exclusivamente residencial, mesclam comércio e serviços, ou correspondem a edifícios de escritórios,

enquanto os edifícios baixos prioritariamente abrigam comércio e serviços, resultando da conversão de antigas residências.

Em grande medida, o mapa de verticalização corresponde à delimitação territorial expressa na classificação tipológica (LCZ 3 e LCZ 4). Já o mapa de densidade populacional permite compreender que, no caso de Passo Fundo, as áreas verticalizadas também são as mais densamente habitadas, comprovando o fato da permanência do uso residencial na área central, sobretudo nos edifícios de apartamentos. Associada a esses fatores, a análise da estrutura social demonstra que o centro apresenta os melhores padrões de infraestrutura urbana e concentra a maior parte da população de alta renda.

Compatível principalmente com os usos industriais e de logística, a classe LCZ 8 representa cerca de 20% da área urbanizada, localizada sobretudo juntos às rodovias (vias perimetrais) e à ferrovia, fato que se confirma a partir da observação *in loco* na qual revelou a presença de dois distritos industriais na porção norte da cidade, assim como plantas industriais distribuídas ao longo dos principais eixos viários. Associando-se os setores produtivos à estrutura social, vê-se a proximidade de áreas residenciais precárias às indústrias.

Analisando as tipologias que remetem ao uso predominantemente residencial horizontal, a tipologia de maior ocorrência (31% da área urbana) corresponde ao arranjo baixo aberto, de menor adensamento, com edifícios isolados (LCZ 6), compatível à parcela considerável dos bairros residenciais da cidade, compostos por casas isoladas no lote, com presença de recuos de ajardinamento e quintais. Em seguida, ocorrendo em cerca de 23% da área urbana, aparece a tipologia baixo compacto (LCZ 3), de áreas densamente construídas, característica dos bairros periféricos. Destaca-se também a tipologia de ocupação esparsa, em aproximadamente 17% da área urbana, remetendo aos bairros em formação que ainda mantêm muitos terrenos vazios,

⁶A utilização de subclasses é adotada por outros autores de cidades do sul global com tecido urbano heterogêneo, como Colombo, no Sri Lanka (PERERA; EMMANUEL, 2018) e Nagpur, na Índia (KOTHARKAR; BAGADE, 2018).

loteamentos ou condomínios com presença de grandes lotes, ou ainda bairros com características rurais, com presença de chácaras ou sítios, mesmo em área urbana.

O uso residencial, predominantemente horizontal, analisado à luz da estrutura socioespacial, revela uma gradação decrescente dos níveis socioeconômicos da população, assim como dos padrões de infraestrutura urbana, do centro em relação à periferia. Evidencia-se assim, a persistência do modelo de segregação centro-periferia, historicamente constituído no decorrer do século XX e predominante em algumas cidades médias. Todavia, novos processos não contemplados na classificação LCZ remetem à recente complexificação da estrutura socioespacial intraurbana a partir da implantação de condomínios horizontais de luxo em áreas periféricas (FERRETTO, 2020). Por decisão de pesquisa, a classificação tipológica restringiu-se ao ano de 2016. O recuo histórico, necessário à análise urbana em sua dimensão processual, foi abarcado por meio de outras fontes.

Morfologia e Clima Urbano

A distinção entre as respostas climáticas das diferentes estruturas urbanas é de grande importância para os estudos de clima urbano, especialmente para os que têm como objetivo fornecer subsídios para a tomada de decisão (WICKI; PARLOW, 2017).

A metodologia de classificação LCZ é usada de forma recorrente em trabalhos sobre clima urbano (BECHTEL et al., 2015; CAI et al., 2018; FERREIRA, 2019; FERREIRA; DUARTE, 2019; GELETIČ; DOBROVOLNY; LEHNERT, 2016, 2017; MASSON et al., 2015; PEREIRA; EMMA-NUEL, 2015; REN et al., 2016; ZHENG et al., 2018). Essa difusão permite uma desejável comparação tanto entre cidades de climas distintos quanto em cidades de climas semelhantes localizadas em re-

giões diferentes, o que pode possibilitar a comparação de políticas públicas voltadas às ações climáticas.

Algumas cidades brasileiras contam com mapas LCZ, como a Região Metropolitana de São Paulo (FERREIRA, 2019, 2022a, 2022b, 2022c), Ribeirão Preto (PRATA-SHIMOMURA; FERREIRA, 2018), Presidente Prudente (CARDOSO; AMORIM, 2018), Cuiabá (FERREIRA; UGEDA JÚNIOR, 2020) e das cidades gaúchas de Caxias do Sul, Passo Fundo, Pelotas e Santa Maria (FERRETTO, 2018). No caso da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), Ferreira (2019, 2022a, 2022b, 2022c) elaborou mapas LCZ para três anos distintos: 2002, 2010 e 2017. As classes LCZ 7 (baixo precário) e LCZ 10 indústria pesada) não foram mapeadas porque não foram encontradas áreas de treinamento em quantidade e dimensões adequadas que atendessem às especificidades do método. Ainda que haja diversas áreas ocupadas por edifícios de pouca altura e níveis elevados de precariedade socioambiental, morfologicamente essas áreas são muito semelhantes à classe LCZ 3 (baixo compacto). A dificuldade de distinção morfológica e espectral entre essas duas classes para o caso da RMSP foi discutida em um seminário de treinamento do WUDAPT, realizado em Hong Kong em 2016, e, em conjunto com membros do WUDAPT, decidiu-se não mapear a LCZ 7⁷.

O detalhamento da LCZ 3 e sua subdivisão em mais classes visando separar aquelas que apresentam maior precariedade socioambiental está sendo testada, sobretudo em relação à sensibilidade do método do WUDAPT para essa separação.

Com base em informações do satélite Aqua-MODIS⁸, verificou-se as temperaturas anuais de superfície diurnas e noturnas e os índices de vegetação NDVI e EVI⁹ para cada LCZ. A Figura 6 apresenta os mapas LCZ elaborados e a Figura 7 os dados de temperatura de superfície por classe LCZ para a estação seca de 2010.

⁷ O WUDAPT Workshop-Global Database Launch Event ocorreu entre 5 e 6 de dezembro de 2016 na Chinese University of Hong Kong. O evento contou com a participação dos principais pesquisadores e idealizadores do projeto, como os professores Jason Ching, Gerald Mills, Edward Ng e os doutores Valery Masson, Chao Ren, Martino Pesaresi, entre outros. As palestras foram seguidas de um workshop de treinamento para aplicação da metodologia com discussão de casos específicos, como a diferenciação entre as classes 3 e 7 em cidades brasileiras e asiáticas, a classificação de corpos d'água poluídos, entre outras questões urbanas comuns às cidades não europeias.

⁸ A metodologia utilizada para aquisição e filtragem dos dados, bem como para a elaboração das médias é descrito em Ferreira (2019).

⁹ NDVI: Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada); EVI: Enhanced Vegetation Index (Índice de Vegetação Realçado).

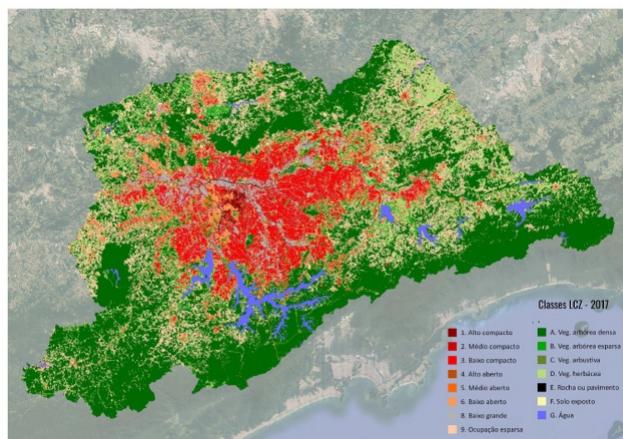
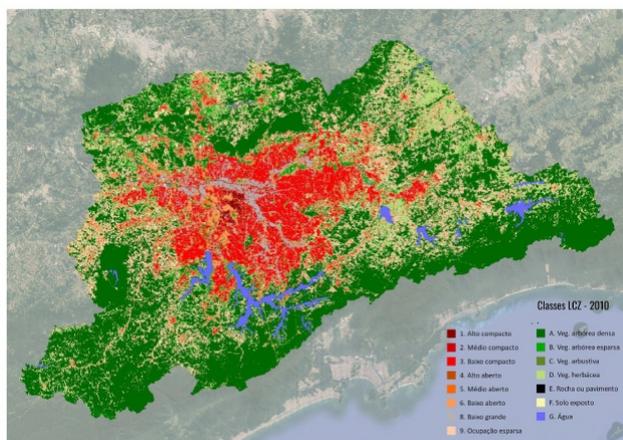
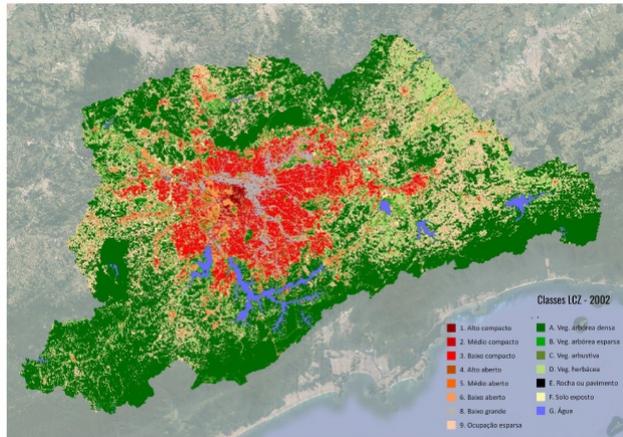


Figura 6 – Mapas LCZ da Região Metropolitana de São Paulo para os anos de 2002, 2010 e 2017.
Fonte: Ferreira (2019).

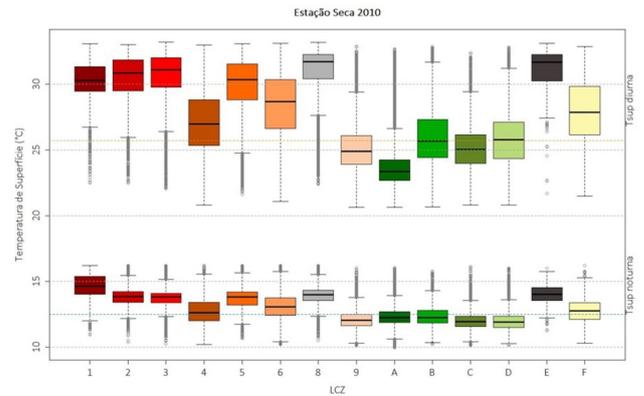


Figura 7 – Temperatura de superfície diurna e noturna por LCZ 2010 (estação seca 2010).
Fonte: Ferreira (2019).

Em geral, para todos os anos estudados, as áreas mais urbanizadas apresentam temperaturas superficiais diurnas e noturnas mais elevadas do que as áreas menos urbanizadas, ocupadas de forma esparsa ou com cobertura vegetal. Esses resultados são compatíveis com resultados anteriores (ALAVIPANAH et al., 2015; FUCKNER; MORAES; FLORENZANO, 2009; IMHOFF et al., 2010; LOMBARDO, 1985; ROTH; OKE; EMERY, 1989; SOUSA; FERREIRA, 2012), sendo que a diferença de temperatura entre áreas urbanizadas e não urbanizadas é maior no período diurno.

A análise da temperatura superficial por classe LCZ evidenciou que, apesar de mais aquecida, a área urbanizada não é homogênea. As áreas verticalizadas compactas, com poucos espaços livres e poucas áreas vegetadas, apresentam temperatura superficial noturna mais alta do que as demais tipologias urbanas, padrão compatível com a ilha de calor de superfície. No entanto, durante o dia, essas áreas verticalizadas compactas apresentam temperatura superficial menos elevada do que as áreas horizontais compactas, que também têm poucos espaços livres e pouca cobertura vegetal, indicando a influência da sombra dos edifícios nas temperaturas superficiais diurnas.

Conforme exemplificado na Figura 7, as tipologias com maior quantidade de espaços livres e cobertura vegetal são as que apresentam menores temperaturas superficiais diurnas e noturnas, resultado que se repete nos demais anos analisados. A quantidade de vegetação pode ser indicada por meio de índices de vegetação¹⁰, entre eles os índices NDVI e EVI (Figura 8).

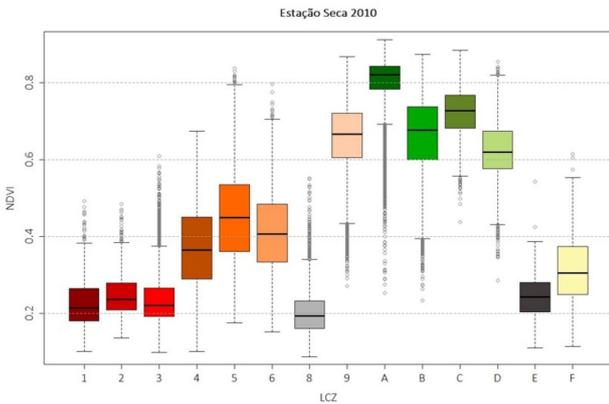


Figura 8 – NDVI por LCZ 2010 (estação seca 2010).
Fonte: Ferreira (2019).

Comparando-se as informações das Figuras 7 (temperatura diurna) e 8 (NDVI) é possível verificar que há um rebatimento entre as imagens pelo eixo horizontal, ou seja, as classes com maiores temperaturas superficiais diurnas apresentam os menores valores de NDVI.

Além de análises relativas à temperatura superficial e aos índices de vegetação de cada LCZ, foram realizadas análises de detecção de mudanças ao longo do tempo. Para tanto, classes com vegetação em um determinado ano que passam a ser classificadas como classes sem vegetação no ano seguinte¹¹ foram agrupadas na classe “perda de vegetação”. Classes sem vegetação que passam a ser classificadas como classes com vegetação arbórea foram agrupadas na classe “ganho

de vegetação” e as situações intermediárias, isto é, classes com algum tipo de vegetação não arbórea ou com vegetação arbórea entre edificações, foram agrupadas como possível ganho ou possível perda (Figura 9).

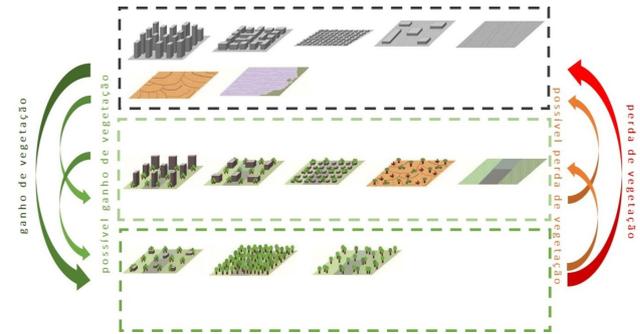


Figura 9 – Agrupamento utilizado para análise de alteração de classes LCZ com o objetivo de detectar alterações de vegetação.
Fonte: Elaboração dos autores.

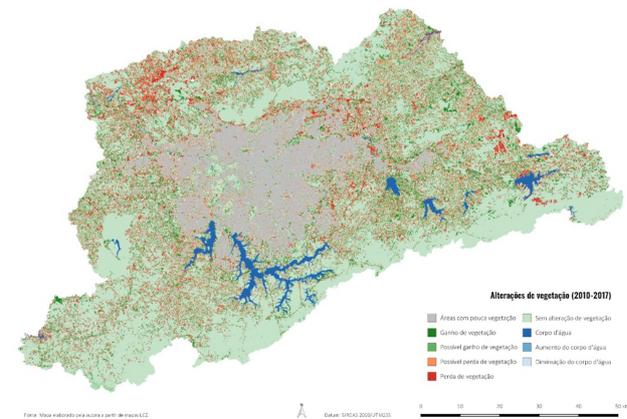


Figura 10 – Alteração de vegetação entre os anos 2010 e 2017 baseado em mapas de morfologia urbana.
Fonte: Ferreira (2019).

A aproximação da Figura 10 e sua comparação com imagens de alta resolução possibilitam verificar a sensibilidade da classificação (Figura 11).

¹⁰ Índices de vegetação baseiam-se no comportamento espectral da vegetação, que é bastante distinto em relação aos demais materiais de cobertura do solo (naturais ou artificiais). Indicam também a abundância relativa e a atividade fotossintética da vegetação verde. Sillescu et al. (2006) e Jensen (2009) apresentam uma análise comparativa entre diferentes índices.

¹¹ A análise de detecção de mudança da cobertura vegetal foi realizada entre 2002-2010, 2010-2017 e 2002-2017, sendo que o resultado 2002-2017 não é a soma dos demais mapas, dadas as dinâmicas da vegetação ao longo do tempo.



Figura 11 – Alterações da cobertura vegetal entre 2010 e 2017 no município.
Fonte: Ferreira (2019).

Os resultados obtidos por meio do cruzamento entre os mapas LCZ e os dados de temperatura de superfície e índices de vegetação, bem como a análise via agrupamento de classes e detecção de alterações da vegetação, permitiram diferenciar a resposta termal das diferentes estruturas urbanas e examinar alterações ao longo do tempo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme demonstrado ao longo do texto, o método de mapeamento Local Climate Zones (LCZ), desenvolvido originalmente para estudos de clima urbano, apresenta diversas possibilidades de utilização, a exemplo das aplicações aos estudos de cobertura vegetal e morfologia urbana, em diferentes realidades e escalas de análise, de áreas metropolitanas às cidades médias e pequenas.

Em que pesem as eventuais imprecisões derivadas da classificação semiautomática, associado a outras dimensões da realidade urbana, o método permite direcionar e aprofundar abordagens de acordo com os objetivos específicos de cada pesquisa. Voltado à análise dos processos de estruturação intraurbana e da identificação dos padrões de segregação socioespacial em cidades médias (Ferretto, 2018), o mapeamento LCZ mostrou-se instrumental à compreensão da morfologia urbana por meio das classes tipológicas, mapea-

mento que, se não fosse semiautomático, seria inviável de ser realizado in loco no contexto e abrangência da pesquisa. No âmbito das pesquisas que buscam relacionar a morfologia urbana com variáveis climáticas, como a temperatura da superfície, a possibilidade de distinção entre os padrões termais das diferentes classes morfológicas é de grande relevância à análise dos impactos da forma construída no conforto urbano, podendo contribuir também com as discussões sobre o consumo de energia nas edificações. Por fim, a aplicação da metodologia em estudos de alterações da cobertura vegetal intra e periurbana possibilita, além da espacialização de supressões e adensamentos vegetais, a análise das dinâmicas territoriais associadas a esses processos.

As possibilidades do método extrapolam o campo da pesquisa acadêmica, sendo úteis também à gestão urbana, configurando-se um instrumento capaz de contribuir para o monitoramento das cidades em seus aspectos morfológicos e ambientais, indispensáveis à formulação de políticas públicas e ao direcionamento de investimentos. Em realidades urbanas de poucos recursos e precários instrumentos de gestão, a exemplo de diversas cidades brasileiras em que as prefeituras muitas vezes não dispõem nem mesmo de mapeamentos, apresenta-se como uma alternativa plausível, situação semelhante à verificada por pesquisadores do sul asiático (PERERA; EMMANUEL, 2018).

A aplicação do método é potencializada tanto na gestão pública quanto na pesquisa acadêmica por apresentar uma boa combinação entre precisão e baixo custo de produção. Pautado na utilização de softwares e imagens de satélite gratuitas, disponíveis para todo o território nacional, a utilização do método não exige treinamento específico em sensoriamento remoto, além da agilidade de sua aplicação, que independe de grandes equipes e equipamentos sofisticados.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Projeto n° 2015/17360-5 e Projeto n° 2016/02825-5; e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Bolsa de Produtividade 309669/2015-4.

REFERÊNCIAS

- ALAVIPANAH, Sadroddin *et al.* The Role of Vegetation in Mitigating Urban Land Surface Temperatures: A Case Study of Munich, Germany, During the Warm Season. *Sustainability*, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 4689-4706, 2015.
- BECHTEL, Benjamin *et al.* Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 199-219, 2015.
- CAI, Meng *et al.* Investigating the Relationship between Local Climate Zone and Land Surface Temperature Using an Improved WUDAPT Methodology: A Case Study of Yangtze River Delta, China. *Urban Climate*, [S. l.], v. 24, p. 485-502, 2018.
- CARDOSO, Renata S.; AMORIM, M. C. C. T. Urban Heat Island Analysis Using the 'Local Climate Zone' Scheme in Presidente Prudente, Brazil. *Investigaciones Geográficas*, [S. l.], v. 69, p. 107-118, 2018. 2018.
- CASTELLS, Manuel. Problemas de investigação em sociologia urbana. 2. ed. Lisboa: Presença; São Paulo: Martins Fontes, 1979.
- FERREIRA, Hugo V. L.; UGEDA JÚNIOR, José C. Variação da temperatura da superfície através de imagens ASTER em zonas climáticas locais da cidade de Cuiabá, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, ano 16, v. 26, p. 393-410, 2020.
- FERREIRA, Luciana S. Vegetação, temperatura de superfície e morfologia urbana: um retrato da região metropolitana de São Paulo. 2019. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.
- FERREIRA, Luciana S.; DUARTE, Denise H. S. Exploring the Relationship Between Urban Form, Land Surface Temperature and Vegetation Indices in a Subtropical Megacity, *Urban Climate*, [S. l.], v. 27, p. 105-123, 2019.
- FERREIRA, Luciana S.; DUARTE, Denise H. S. Local Climate Zone (LCZ) Map of the São Paulo Metropolitan Region (2002). *Mendeley Data*, [S. l.], v. 2, 2022a.
- FERREIRA, Luciana S.; DUARTE, D. H. S. Local Climate Zone (LCZ) Map of the São Paulo Metropolitan Region (2010). *Mendeley Data*, [S. l.], v. 2, 2022b. doi: 10.17632/48vfvn7v3k.2
- FERREIRA, Luciana S.; DUARTE, D. H. S. Local Climate Zone (LCZ) Map of the São Paulo Metropolitan Region (2017). *Mendeley Data*, Cidade de publicação, v. 2, 2022c.
- FERRETTO, Diego. Segregação socioespacial em cidades médias gaúchas: Caxias do Sul, Passo Fundo, Pelotas e Santa Maria. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.
- FERRETTO, Diego. Reestruturação intraurbana de cidades médias. *arq.urb*, São Paulo, n. 28, p. 124-137, 2020.
- FRANCO, Dirce M. P. et al. Effect of Local Climate Zone (LCZ) Classification on Ozone Chemical Transport Model Simulations in São Paulo, Brazil. *Urban Climate*, [S. l.], v. 27, p. 293-313, 2019.
- FUCKNER, Marcus A. et al. Processamento de dados multiespectrais termais aplicados à análise espaço-temporal dos padrões de temperatura da superfície nas regiões metropolitanas de São Paulo e Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. *Anais [...]*. Natal: SBSR, 2009. p. 1369-1376.
- GÁL, Tomás et al. Comparison of Two Different Local Climate Zone Mapping Methods. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 9., 2015, Toulouse. *Anais [...]*. Toulouse: [s. n.], 2015.

- GELETIČ, Jan et al. Statistical Analyses of Land Surface Temperature in Local Climate Zones: Case Study of Brno and Prague (Czech Republic). In: JOINT URBAN REMOTE SENSING EVENT, 2017, Dubai. Anais [...]. Dubai: JURSE, 2017. p. 1 4.
- GELETIČ, Jan et al. Land Surface Temperature Differences within Local Climate Zones, Based on Two Central European Cities. *Remote Sensing*, [S. l.], v. 8, n. 10, p. 1 18, 2016.
- GOOGLE. Google Earth Pro V.7.3.2 5491. [Mountain View, CA: Google, 2018]. Disponível em: <https://www.google.com/intl/pt-BR/earth/versions/#earth-pro>. Acesso: jan. 2018.
- HIDALGO, Julia et al. Comparison between Local Climate Zones Maps Derived from Administrative Datasets and Satellite Observations. *Urban Climate*, [S. l.], v. 27, p. 64 89, 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativas da população: 2021: nota metodológica n. 1: estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação brasileiros, com data de referência em 1º de julho de 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.
- IMHOFF, Marc L. et al. Remote Sensing of the Urban Heat Island Effect Across Biomes in the Continental USA. *Remote Sensing of Environment*, [S. l.], v. 114, n. 3, p. 504 513, 2010.
- JENSEN, John R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2. ed. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.
- KOTHARKAR, Rajashree; BAGADE, Anurag. Local Climate Zone Classification for Indian Cities: A Case Study of Nagpur. *Urban Climate*, [S. l.], v. 24, p. 369 392, 2018.
- LOMBARDO, Magda A. Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.
- MASSON, Valéry et al. Urban Climate, Human Behavior and Energy Consumption: From LCZ Mapping to Simulation and Urban Planning (the MapUCE Project). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 9., 2015, Toulouse. Anais [...]. Toulouse: [s. n.], 2015.
- MINGOTI, Sueli A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2013.
- PERERA, Narein G. R.; EMMANUEL, Rohinton. A Local Climate Zone Based Approach to Urban Planning in Colombo, Sri Lanka. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 9., 2015, Toulouse. Anais [...]. Toulouse: [s. n.], 2015.
- PERERA, Narein G. R.; EMMANUEL, Rohinton. A “Local Climate Zone” Based Approach to Urban Planning in Colombo, Sri Lanka. *Urban Climate*, [S. l.], v. 23, p. 188 203, 2018.
- PRATA-SHIMONMURA, Alessandra R.; FERREIRA, Anderson T. S. Local Climate Zone Classification Adapted for Mapping Agricultural Areas in Metropolitan Areas. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATOLOGY, 2018, New York. Anais [...]. New York: [s. n.], 2018.
- REN, Chao et al. Local Climate Zone (LCZ) Classification Using the World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT) Method: A Case Study in Wuhan and Hangzhou. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COUNTERMEASURE TO URBAN HEAT ISLANDS, 4., 2016, Singapura. Anais [...]. Singapura: IC2UHI), 2016. p. 1 12.
- REN, Chao et al. Assessment of Local Climate Zone Classification Maps of Cities in China and Feasible Refinements. *Scientific Reports*, London, v. 9, 18848, 2019.
- ROTH, Mattias et al. J. Satellite-Derived Urban Heat Islands from Three Coastal Cities and the Utilization of Such Data in Urban Climatology. *International Journal of Remote Sensing*, [S. l.], v. 10, n. 11, p. 1699 1720, 1989.
- SANTOS, Milton. Espaço e método. 5. ed. São Paulo: Edusp, 2008.
- SILLEOS, Nikolaos G. et al. Vegetation Indices: Advances Made in Biomass Estimation and Vegetation Monitoring in the Last 30 Years. *Geocarto International*, [S. l.], v. 21, n. 4, p. 21 28, 2006.

SHI, Yuan et al. Evaluating the Local Climate Zone Classification in High-Density Heterogeneous Urban Environment Using Mobile Measurement. *Urban Climate*, [S. l.], v. 25, p. 167-186, 2018.

SOUSA, Silvio B.; FERREIRA, Laerte G. Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio de sensoriamento remoto no município de Goiânia, Goiás (2002-2011). *Revista Franco-Brasileira de Geografia*, Cidade de publicação, v. 15, p. 1-21, 2012.

SPOSITO, Eliseu S. Morfologia urbana. In: SPOSITO, E. (Ed.). *Glossário de geografia humana e econômica*. São Paulo: Editora Unesp, 2017. p. 279-302.

STEWART, Iain D. Redefining the Urban Heat Island. 2011. Thesis (PhD). Department of Geography, University of British Columbia, Vancouver, 2011.

STEWART, Iain D.; OKE, Timothy R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Cidade de publicação, v. 93, n. 12, p. 1879-1900, 2012.

VILLAÇA, Flávio. Espaço intraurbano no Brasil. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel: FAPESP: Lincoln Institute, 2001.

WICKI, Andreas; PARLOW, Eberhard. Attribution of local climate zones using a multitemporal land use/land cover classification scheme. *Journal of Applied Remote Sensing*, [S. l.], v. 11, n. 2, 2017.

WORLD URBAN DATABASE AND ACCESS PORTAL TOOLS. World Urban Database. WUDAPT, [s. n.], 2022. Disponível em: <https://www.wudapt.org/>. Acesso em: 28 dez. 2022.

ZHENG, Yingsheng et al. GIS-Based Mapping of Local Climate Zone in the High-Density City of Hong Kong. *Urban Climate*, [S. l.], v. 24, p. 419-448, jun. 2018.