ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Proposta Metodológica Aplicada ao Estudo de Clima Urbano

Cássia de Castro Martins Ferreira¹, Franciele de Oliveira Pimentel², Yan Carlos Gomes Vianna³

¹ Dra. em Geografia Física, Professora Associado IV, Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Universitário, s/n, CEP 36036-900, Juiz de Fora, Minas Gerais. (32) 98813-8782. Cassia.castro@ufjf.edu.br (autor correspondente). ² Ms. em Geografia, Professora Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais- CEFET-MG, Rua José Peres, 558, Centro, CEP 56302-970, Leopoldina, Minas Gerais. (32) 3449-2346. franpimentel@cefetmg.br. ³ Ms. em Geografia, Geógrafo, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Juiz de Fora, Campus Universitário, s/n, CEP 36036-900, Juiz de Fora, Minas Gerais. (32) 98819-5765. yan.vianna@ufjf.edu.br.

Artigo recebido em 13/08/2019 e aceito em 20/12/2019

RESUMO

Este artigo mostra uma metodologia analítica aplicada ao estudo de clima urbano, inspirada no Urban Climate Map (UC-Map). Foram utilizados uma série de camadas de informação espacial, medições climáticas e conhecimento do clima urbano para avaliar e mapear o potencial térmico e dinâmico em área urbana, visando identificar diferentes campos térmicos. As informações foram agrupadas em quatro eixos principais, a saber densidade construtiva, albedo, cobertura vegetal e altimetria. A proposta metodológica foi aplicada para a cidade de Juiz de Fora-MG, uma área urbana de médio porte, localizada em uma região de mares de morros, na qual fatores como declividade e altitude são importantes no potencial térmico e dinâmico. O resultado da aplicação desta metodologia converge com os dados experimentais e evidencia os efeitos do uso do solo, dos materiais construtivos e do fluxo de pessoas e mercadorias na definição de diferentes campos térmicos. Evidencia que a distribuição e o tamanho da cobertura vegetal, além da amplitude da ventilação, interferem e proporcionam ambientes mais frescos e, portanto, reduzem o armazenamento de calor. A metodologia apresentada é simples de aplicar e pode ser adaptada para outras áreas urbanas com características semelhantes às de Juiz de Fora-MG.

Palavras-chave: Campos térmicos, clima urbano, modelo espacial, mapa climático urbano, potencial dinâmico.

Methodological Propose Applied to The Urban Climate Study

ABSTRACT

This article shows an analytical methodology applied to the urban climate study, inspired by the Urban Climate Map (UC-Map). A series of layers of spatial information, climate measurements and knowledge of the urban climate were used to evaluate and map the thermal and dynamic potential in an urban area, in order to identify different thermal fields. The information was grouped into four main axes, namely constructive density, albedo, vegetation cover and altimetry. The methodological proposal was applied to the city of Juiz de Fora-MG, a medium-sized urban area, located in a region of sea of hills, in which factors such as slope and altitude are important in the thermal and dynamic potential. The result of the application of this methodology converges with the experimental data and evidences the effects of the use of the soil, constructive materials and the flow of people and merchandise in the definition of different thermal fields. It shows that the distribution and size of the vegetation cover, besides the amplitude of the ventilation interfere and provide fresher environments and therefore reduce the storage of heat. The methodology presented is simple to apply and can be adapted to other urban areas with characteristics similar to those of Juiz de Fora-MG.

Keywords: Thermal fields, urban climate, spatial model, urban climate map, dynamic potential.

Introdução

É comum encontrarmos cidades cada vez mais povoadas e com tecidos urbanos compactos e adensados em todo o mundo, e o Brasil não fica atrás desta tendência. Como então, diante deste crescente processo, criar uma cidade saudável e sustentável? Que promova uma vida confortável para seus habitantes? Essa não parece uma tarefa

fácil, alguns diriam até mesmo que utópica, em um momento em que ainda se vivencia os inúmeros problemas sociais, ambientais e econômicos presentes em várias cidades do mundo e nas cidades brasileiras. Dentre as inúmeras questões necessárias para atingir essa vida confortável, que vão desde itens básicos como saúde, alimentação, educação, segurança, habitação há outras que estão

atreladas ao ambiente, no qual destacamos o clima urbano.

Este vem sendo alterado em função da própria dinâmica das cidades, com a crescente impermeabilização dos solos, a fragmentação ou eliminação da cobertura vegetal, os efluentes emitidos, a poluição do ar, o próprio desenho urbano. A forma como as cidades vêm sendo organizadas produz impactos nos sistemas climáticos locais, causando alterações no clima das cidades, que podem ser acentuadas pela dinâmica climática global em mudança (Esser, 1989; Lambin et al., 1999; Zhou et al., 2004; Lam, 2006; He et al., 2007; Monteiro et al., 2012), especialmente o clima abaixo dos telhados de edifícios ou na camada do dossel urbano (Oke, 1987; Mills, 2015). Nesta camada, o clima é influenciado por processos de microescala e intercâmbios, que são altamente relevantes para o conforto humano e a saúde ambiental da cidade (Leung et al., 2008).

A questão global sobre as mudanças climáticas promove um interesse sobre os efeitos das alterações climáticas e ordenamento do território em termos da adaptação, principalmente em ambientes urbanos onde é maior a concentração de pessoas (New York, 2013; Portugal, 2015; Paris, 2015; Asian Development Bank, 2015; European Union, 2017; Rio de Janeiro, 2017).

No entanto, os estudos de clima urbano ainda são compartimentados e poucos enfatizam e procuram uma caracterização espacial e microclimática que possa dimensionar as atividades numa escala de detalhe, permitindo visualizar, analisar, prospectar processos e demandas a nível local. Mesmo que os estudos de clima urbano sejam em grande volume, estes são pouco utilizados pelos tomadores de decisão e hoje, diante das possíveis novas demandas que as alterações climáticas impõem, passar a estudar, analisar e avaliar o clima urbano a nível de detalhe é fundamental para as discussões sobre adaptação às alterações climáticas, para as relações entre clima e saúde, ou até mesmo entender a geografia do clima em uma cidade.

Na tentativa de suprir esta demanda existente entre os planejadores, decisores políticos e os estudiosos do clima, foi desenvolvido, na década de 1970 o “*Urban Climatic Map System*” (UC-Map), que consiste em uma ferramenta de informação e de avaliação climática que auxilia os planejadores a entender as características e condições climáticas e ambientais, visando criar um desenho da cidade mais adequado, sendo, portanto, um importante instrumento de apoio ao planejamento e na tomada de decisão (Scherer et al., 1999; Parlow et al., 2001; e Parlow et al., 2014).

Este instrumento foi desenvolvido inicialmente na Alemanha na década de 70, o sistema era abastecido com dados meteorológicos, climáticos, uso da terra e topográficos em forma de mapas, o que viabilizava uma análise climática mais abrangente, interligada e espacializada.

Aos poucos, esse conceito foi sendo adaptado, ajustado e aprimorado às novas realidades, seja no número de variáveis utilizadas na análise, seja na escala de resposta dos mapas e na própria especificidade dos lugares aonde a técnica foi aplicada.

Desta forma, desde então, cidades localizadas na Áustria, Suécia, República Tcheca, Noruega, Reino Unido, Suíça, Hungria, Portugal, Holanda, França, etc. vêm construindo seus estudos e aplicando a técnica do UC-Map, criando seus mapas climáticos urbanos (Sterten, 1982; Lindqvist; Mattsson, 1989; Paszynski, 1991; Lindqvist, 1991; Scherer et al., 1999; Parlow et al., 2001; Ward, 2003; Gál; Unger, 2009; Parlow et al., 2014).

O avanço das discussões e a presente necessidade de geração de planos de adaptação climática em função da preocupação mundial com relação as alterações climáticas, têm gerado um crescente interesse na criação do mapa climático urbano. Desta forma, passam a ser desenvolvidos desde os anos 1990, também em países da América do Sul, no Chile (Evans; Shiller, 1990/1991) e no Brasil (Nery et al., 2006; Souza, 2010; Shimomura et al., 2015; Ferreira et al., 2017) e em países asiáticos (Jittawikul et al., 2004; Nery et al., 2006).

Salienta-se ainda que os UC-Map foram uma forma de procurar representar e diagnosticar as diferentes formas de organização do espaço urbano, a sociedade, o ambiente construído e o clima, este conjunto intrincado de redes e relações. Outros estudos foram realizados afim de identificar, mapear e classificar as áreas urbanas considerando a relação entre o espaço geográfico e o clima (Oke, 2005; Stewart; Oke, 2009; Collischonn; Mattos, 2011; Ferreira, 2014).

Os sistemas de informação geográfica (SIG) se constituem em uma importante plataforma para a elaboração de mapas climáticos urbanos, pois é possível atualizar, gerenciar, acrescentar ao longo do tempo as diferentes informações espaciais, que abastecem o sistema e a geração do mapa climático urbano. Segundo Ren et al., (2011) desde os anos 1990 o uso do SIG em estudos de UC-Map é frequente.

No entanto, devemos ressaltar que o UC-Map objetiva dar informações em escala urbana e para tanto trabalha com uma resolução de 100 m (Ren et al., 2011; Chen et al., 2012). Portanto, as variações na escala microclimática não são

percebidas, logo, quando as decisões são na escala da rua, do quarteirão, da habitação e do bairro, é necessário uma análise mais aprofundada do microclima e das características do solo nesse mesmo nível de detalhe, o que converge com a proposta deste estudo. Desta forma, para analisar a interação entre atmosfera, superfície terrestre e elementos urbanos, são necessários modelos com uma variedade e complexidade maior de dados e capacidade de análise integrada entre eles.

Elaborar um modelo analítico que considera em conjunto as relações das variáveis numa dimensão espaço-temporal e hierárquico, em uma escala de detalhe, visando analisar e entender a distribuição espacial de potenciais campos térmicos e os principais elementos/fatores intervenientes é o objetivo deste estudo.

Metodologia

A construção de um modelo analítico para a identificação de campos térmicos em áreas urbanas teve como base dois caminhos metodológicos. O primeiro seguindo a lógica da metodologia de climatopos, baseado no princípio dos Uc Maps. E o segundo, caracterizado pelo método de análise multicritério, que consiste em um modelo integrado de análise espacial, objetivando a construção de modelos descritivos ou preditivos para uma determinada localidade. Este método facilita a integração de variáveis espaciais, quando permite interrelacionar diferentes mapas temáticos, segundo um objetivo pré-estabelecido (Moura; Jankowski, 2016). Neste estudo de caso, foram analisados objetivando encontrar diferentes campos térmicos em função das distintas formas de ocupação, uso da terra, materiais construtivos, dinâmica urbana, entre outros.

Desta forma, o modelo pode ser considerado como uma álgebra de mapas, no qual os problemas podem ser subdivididos e ordenados segundo seus principais componentes, tais como os fatores que interferem no seu comportamento e distribuição, a forma de integração e a combinação das variáveis e componentes, definindo e construindo o sistema/subsistema como um todo (Moura; Jankowski, 2016).

Para a identificação dos diferentes campos térmicos em áreas urbanas, foi necessário definir quais variáveis da superfície poderiam influenciar na temperatura de superfície e consequentemente na temperatura do ar (Figura 1). Para isso, foram levantadas as variáveis citadas e estudadas por diferentes estudiosos como responsáveis e interferentes na temperatura do ar, dentre elas destaca-se: massa construída, fator de visão do céu,

albedo, emissividade, cobertura vegetal, cursos d'água, taxa de impermeabilização, poluição, largura das vias, sombreamento, altitude e declividade (Tabela 1).

Para a definição dessas variáveis foi necessário criar mapas básicos que serviram de base e suporte para criação dos mapas temáticos (Tabela 1).

Com este conjunto de mapas temáticos, profissionais com seus conhecimentos conseguem operacionalizar distintas formas de integração das variáveis, o que pode ocasionar em uma maior proximidade da realidade. A definição dos pesos seguiu o procedimento da avaliação orientada por conhecimentos especializados. Segundo Moura; Jankowski, (2016, p. 667) “as descrições tornam-se mais ricas, porque eles refletem “o que”, “onde” e “como””.

Para os mapas temáticos foram definidos os valores para os componentes da legenda, na qual é realizada o procedimento de padronização dos dados, sendo todos enquadrados na mesma escala espacial.

Para este estudo foi utilizada uma base de dados geocodificada, na escala de 1:2000, datada de 2007, para a área urbana de Juiz de Fora-MG e a padronização da escala de valores, que seguiu, no estudo de caso, valores de 1 a 5, sendo 1 para aqueles com menor poder de aquecimento e 5 para os que possuem maior poder de aquecimento.

Posteriormente, foram definidos pesos para cada variável em função do seu grau de importância na definição/identificação do problema, passando, em seguida, para a aplicação da análise multicritérios, que visa a integração das variáveis, dentro de uma concepção. Nesta etapa, foi utilizada a ferramenta de álgebra de mapas, presente nos sistemas de informações geográficas, que possibilitou a combinação, integração e correlação entre os mapas temáticos, o que resultou em um mapa síntese final, sendo possível compará-lo com a realidade (Figura 1). Isto é, se os ambientes através do modelo, considerados mais quentes, são aqueles que realmente são registradas as maiores temperaturas do ar/superfície.

Para efetuar a aplicação deste modelo foram trabalhadas 35 regiões urbanas da cidade de Juiz de Fora, foram mapeadas 9 variáveis que podem ter alguma interferência na temperatura do ar e realizada uma avaliação da temperatura de superfície, por meio de uma imagem termal, afim de verificar a coerência metodológica proposta.

A partir deste ponto é possível construir cenários e consequentemente criar projetos de intervenção, gestão, restrição e adaptação

Figura 1. Esquema baseado em SIG, metodologia para criação de um mapa de potencial térmico.

Tabela 1- Modelo para simulação de Potenciais Campos Térmicos

Mapas Básicos	Mapas Temáticos	Aspectos do Clima urbano	Critério Físico/Dinâmico
Altura das edificações	Massa Construída	Armazenamento de calor	Térmico
Densidade de Construção	Rugosidade	Circulação do vento	Dinâmico
Distância entre as edificações		Redução dos fluxos de ar	Dinâmico
Lotes			
Revestimento das edificações	Albedo	Armazenamento de calor	Térmico
Cor das edificações	Emissividade	Armazenamento de calor	Térmico
Tipo de cobertura das edificações			
Lotes			
Cobertura vegetal	Cobertura Vegetal	Resfriamento noturno,	Térmico
Área de influencia da cobertura vegetal	Hidrografia	diminuição do aumento da	Térmico
Hidrografia		carga térmica urbana	
Área de influencia da hidrografia			
Densidade das edificações, vias e áreas impermeáveis	Áreas Impermeáveis	Armazenamento de Calor e redução dos fluxos de ar	Térmico
Altitude	Altitude	Redução da temperatura em função da altitude	Térmico
Declividade	Declividade	Circulação do ar induzida termicamente pelo relevo	Dinâmico
Largura das vias	Ventilação	Circulação do vento	Dinâmico
Tipo de vias	Poliuição	Armazenamento de Calor	Térmico
Fluxo de Veículos		Armazenamento de Calor	Térmico

Informação Adicional: Fator de Visão do Céu Sombreamento	Fator de Visão do Céu Sombreamento	Armazenamento de Calor Resfriamento	Térmico Térmico
--	--	--	--------------------

Para este estudo foi utilizada uma base de dados geocodificada, na escala de 1:2000, datada de 2007, para a área urbana de Juiz de Fora-MG e a padronização da escala de valores, que seguiu, no estudo de caso, valores de 1 a 5, sendo 1 para aqueles com menor poder de aquecimento e 5 para os que possuem maior poder de aquecimento.

Posteriormente, foram definidos pesos para cada variável em função do seu grau de importância na definição/identificação do problema, passando, em seguida, para a aplicação da análise multicritérios, que visa a integração das variáveis, dentro de uma concepção. Nesta etapa, foi utilizada a ferramenta de álgebra de mapas, presente nos sistemas de informações geográficas, que possibilitou a combinação, integração e correlação entre os mapas temáticos, o que resultou em um mapa síntese final, sendo possível compará-lo com a realidade (Figura 1). Isto é, se os ambientes através do modelo, considerados mais quentes, são aqueles que realmente são registradas as maiores temperaturas do ar/superfície.

Para efetuar a aplicação deste modelo foram trabalhadas 35 regiões urbanas da cidade de Juiz de Fora, foram mapeadas nove variáveis que podem ter alguma interferência na temperatura do ar e realizada uma avaliação da temperatura de superfície, por meio de uma imagem termal, afim de verificar a coerência metodológica proposta.

A partir deste ponto é possível construir cenários e consequentemente criar projetos de intervenção, gestão, restrição e adaptação.

Os Dados, as Variáveis e a Classificação

Para investigar e inventariar os diferentes campos térmicos foi necessário considerar as relações entre o balanço de energia na superfície urbana com os elementos que compõem o espaço urbano. Esta relação pode influenciar sobremaneira a carga térmica nas cidades, seja potencializando ou mitigando.

Desta forma, cada variável foi considerada como um elemento importante na definição do potencial térmico superficial e portanto, um contribuinte no balanço de energia na superfície urbana. Esta relação pode ser visualizada na Tabela 1.

Após espacializada a variável, esta foi reclassificada segundo seu potencial de agregar calor, numa escala que variou de 1 (menor calor) a 5 (maior calor).

Os Mapas Temáticos: uma construção

Foram criados 09 mapas temáticos, que se originaram a partir de documentos públicos e 18 mapas básicos que foram construídos a partir de diferentes fontes documentais e padronizados a fim de possibilitar a operação com álgebra de mapas. Todos os mapas e operações algébricas entre eles foram realizadas no Arc Gis 10.3.

Mapa Temático - Rugosidade

A rugosidade é caracterizada por Oke (1987) em função das características aerodinâmicas da morfologia do sítio urbano, destacando a verticalização como o elemento central da rugosidade urbana. Desta forma, a rugosidade vai influenciar na aerodinâmica, aumentando ou diminuindo os obstáculos frente à circulação dos ventos. Os ventos são importantes dispersores de poluentes atmosféricos e quando a rugosidade reduz a frequência e a velocidade dos ventos, esses poluentes podem se acumular sobre as cidades, o que no decorrer do dia pode contribuir para a intensificação de ilhas de calor e inversões térmicas. Além disso, influencia no conforto térmico e na suavização das temperaturas elevadas do ar.

Para a construção do mapa de altura das edificações, levantou-se o número de pavimentos de cada edificação. Para isso, foi utilizada a ferramenta Street View do Google Earth, com isso, contabilizou-se o número de pavimentos de cada construção, sendo adotado como altura média de cada pavimento, 3,0 metros. Não foi considerado os andares de estacionamento e terraços, por se apresentarem de forma muito variada.

Esta informação foi adicionada a tabela de atributos da camada de lotes. Para cada lote foi inserida uma única informação, quando houve mais de uma edificação em um lote, adotou-se a edificação que ocupava o maior percentual do lote.

Mapa Temático – Massa Construída

A massa construída foi utilizada, pois reflete a relação entre o volume das edificações no armazenamento de calor. Desta forma, quanto maior a massa construída, maior o número de pavimentos e maior a área ocupada pela construção. Esta variável interfere na dinâmica do clima urbano, quando mostra numericamente o adensamento urbano e a consequente obstrução da

visão do céu, o que ocasiona a minimização da perda de calor e consequente armazenamento de calor, principalmente em condições atmosféricas sob atuação de um anticiclone (Oke, 1981).

Alto volume de construção não só aumenta a capacidade de calor localizado (ou seja, carga térmica), mas também reduz o fator de visão do céu, este, por sua vez, influencia retardando o efeito de resfriamento radiativo da superfície no período noturno, principalmente em noites calmas e claras (Oke, 1981). O processo de resfriamento no centro da cidade é mais lento do que seus arredores. Assim, a radiação aprisionada dentro das áreas urbanas ocasiona temperaturas do ar mais elevadas durante a noite do que as áreas circundantes. Logo, quanto maior a massa construída, menor o fator de visão do céu e maior a capacidade de reter calor destas áreas, o que pode contribuir com o aumento da temperatura do ar.

Os mapas básicos que deram origem a este mapa temático foram: altura das edificações e densidade de construção. Desta forma, o mapa de massa construída utilizou os dados da altura das edificações, perímetro e área de cada construção.

A massa construída foi calculada segundo a metodologia proposta por Tso (1990). A qual é baseada em uma equação que calcula em kg a massa de construção de cada edificação existente na área urbana. Tso (1990) aplicou este modelo na cidade de Kuala Lumpur-Malásia, enfatizando que com o aumento da massa construída havia também um aumento da temperatura do ar.

Posteriormente, os dados foram alocados na tabela no ambiente *Arcmap*, as feições foram conectadas a tabela pelo *join and relates* e a informação foi destacada no campo: massa construída.

Mapas Temáticos – Cobertura Vegetal e Curso d'água

A cobertura vegetal e a água são consideradas as principais variáveis que quando presentes na área urbana contribuem para a minimização da carga térmica e para o resfriamento noturno.

No processo de evapotranspiração da vegetação, há o consumo de energia solar, o que aumenta o calor latente e minimiza o calor sensível, propiciando ambientes com temperaturas mais amenas. Além disso, o sombreamento da vegetação (ou seja, interceptação da radiação solar) pode impedir o aquecimento da superfície terrestre e aéreo (Oke, 1984).

Mascaró; Mascaró (2001, p.31) evidenciam que a cobertura vegetal entre as várias contribuições possui a finalidade de “amenizar o rigor térmico da estação quente no clima subtropical e durante o ano na região tropical, além

disso, diminuir as temperaturas superficiais dos pavimentos e fachadas das edificações”.

Desta forma, áreas verdes podem reduzir a carga térmica, logo, a sua extensão e distribuição é um fator importante. Esta camada foi medida em termos de potencial de arrefecimento derivada da presença de áreas verdes.

Segundo Masiero; Souza (2013) cursos d'água, pequenos lagos e represas nas áreas urbanas aumentam o resfriamento evaporativo, o que corrobora com a redução da temperatura do ar. Além disso, favorecem a formação de áreas de maior ventilação, o que ocasiona maior dispersão dos poluentes da atmosfera. Por ocupar grandes áreas abertas, ou mesmo corredores, quando associados a cursos d'água e estarem em cotas altimétricas menores, possuem pouca rugosidade e obstáculos nas suas superfícies, estas áreas normalmente contribuem para aumentar a pressão atmosférica local favorecendo uma maior circulação do ar no ambiente urbano.

Para construção do mapa de cobertura vegetal e de corpos hídricos, primeiramente foi adicionado ao ambiente *Arcmap* a camada com a delimitação da cobertura vegetal realizada por Paula (2017). Os corpos hídricos foi adicionada a camada hidrografia do IBGE. Foi realizada a vetorização manual da lâmina d'água do Rio Paraíba e outros pequenos cursos d'água através da ferramenta de edição vetorial, não foram considerados cursos d'água canalizados.

Mapas Temáticos - Declividade, Altimetria e Orientação das Vertentes

Estas variáveis foram utilizadas, pois suas variações interferem na circulação do vento local, o ar mais frio se locomove das regiões mais elevadas em direção ao vale. Mascaró (1991) destaca que com aumento da altitude a velocidade do vento também aumenta. Além do vento, a altitude também influencia da temperatura do ar, no qual Olgyay (1998) afirma que pode ocorrer uma diminuição de 0,56°C a cada 100,6 metros de altitude, enfatizando que o fator altitude é importante nas regiões tropicais, pois nestas a temperatura do ar está mais passível a mudanças com a topografia.

Para a criação do mapa de altimetria foi adicionada a camada de curvas de nível, com equidistância de 2 metros no ambiente *Arcmap*. Com a ferramenta *TIN Create*, do pacote de ferramentas *3D Analyst*, produziu-se o modelo de altimetria através de modelagem por rede de triângulos irregulares.

A declividade foi outro fator analisado, pois interfere na velocidade dos ventos, quanto maior a declividade, maior é o potencial dinâmico,

principalmente quando associada a áreas com a presença de cobertura vegetal.

O mapa de declividade foi elaborado a partir do processamento da imagem cedida pela Prefeitura de Juiz de Fora, na escala de 1:2000, com curvas de nível em 2 e 2 metros, através da ferramenta *slope*. Para estabelecer a declividade coloca-se o raster do modelo digital de elevação (MDT). Posteriormente foi realizada a reclassificação.

O mapa de orientação das vertentes teve como fonte de dados a mesma utilizada nos mapas de altimetria e declividade. Para definir a orientação das vertentes é necessário inserir o raster do MDT, abrir a janela *TIN legend editor*, ir no campo *faces* e selecionar a ferramenta *Aspect*, no campo atributos de legenda, neste ponto o software mapeará o sentido das vertentes das elevações.

Esta variável foi utilizada pois a disposição das faces das vertentes de uma elevação, associadas a altitude, influencia na formação de microclimas, uma vez que possuirá uma recepção da energia luminosa de forma diferenciada (Mendonça, 1994). Desta forma, terrenos voltados para o norte, no hemisfério Sul, possuem maior recepção da radiação solar direta e são mais secos, do que aqueles voltados para o sul, que são mais sombreados e úmidos (Armani, 2009).

Mapas Temáticos- Albedo e Emissividade

Albedo é uma propriedade física que os materiais possuem, que pode ser definida pela refletância que os materiais possuem em função da recepção da radiação solar, o que varia principalmente em função da cor, rugosidade e constituição do material. Além de variar com o ângulo de incidência da radiação solar, que quanto maior, maior também será o albedo. Desta forma, quanto maior for o albedo da superfície, menos aquecida ela se encontrará, por outro lado, quanto menor o albedo, mais aquecida a superfície será.

A emissividade constitui na resposta térmica definida pela temperatura superficial, sendo caracterizada pela capacidade de um material emitir radiação. Assim, quanto menor o albedo e a maior a emissividade de um material, maior será a capacidade de um material em aquecer o ambiente.

Os mapas de albedo e emissividade tiveram procedimentos similares, para ambos foi utilizada a camada de lotes e tabelas cedidas pela Prefeitura de Juiz de Fora, com informações de cada unidade de lote. Desta forma, a camada de lotes foi interligada às tabelas adicionadas no ambiente Arcmap, utilizando a ferramenta *joins and relates*, ligando a informação da unidade

presente na tabela a cada feição de lote. Para a construção deste mapa seguiu-se a metodologia proposta por Ferreira; Assis (2014).

Mapa Temático- Áreas Impermeáveis e Permeáveis

Este mapa temático permite avaliar a relação da pavimentação no armazenamento de calor.

A construção deste mapa foi baseada na vetorização manual, tendo como apoio a fotografia aérea da área urbana de Juiz de Fora, datada de 2007, na escala de 1:2000, no qual foram vetorizadas todas as áreas impermeáveis da região estudada.

Variável - Fator de Visão do Céu

A altura das edificações resultam em dois processos distintos, que interferem na recepção e no comportamento da radiação na superfície, sendo estes o sombreamento e o fator de visão do céu.

Para Souza et al. (2005) a redução do fator de visão do céu pode provocar desconforto, seja pelo sombreamento ou pelo armazenamento do calor. Oke (1981) chama a atenção para o fato de que quanto maior a obstrução do céu, maior será a retenção da radiação solar, provocando um consequente aumento da temperatura do ar, fato este que também interfere na diminuição da circulação do ar.

O cálculo do Fator de Visão do Céu seguiu a metodologia proposta por Ribeiro et al. (2010).

Reclassificação em função do potencial térmico para cada variável

Os mapas para cada uma das 9 variáveis utilizadas consistiam em vetores que foram transformados em arquivos raster, para serem reclassificados em função do potencial de aquecimento (Figura 2). Desta forma, todas as nove variáveis foram reclassificadas em até 5 classes, que variaram de 1 a 5 em função do potencial de aquecimento, logo, recebeu o peso 1 aquelas informações que tinham baixo potencial de aquecimento e peso 5 aquelas que tinham altíssimo potencial de aquecimento. Destacando que este é um procedimento empírico de análise e que, portanto, os pesos podem variar conforme a avaliação feita pelo pesquisador.

Mapa Temático - Temperatura de superfície

Para estimar a temperatura de superfície foi utilizado imagens termais, pois estas refletem o uso e ocupação do solo, e auxiliam na identificação de fontes de calor, que podem contribuir na geração de ilhas de calor urbanas e influenciar na

temperatura do ar circundante (Amorim et al, 2009).

Foi utilizada uma imagem do Landsat 8 (USGS- Serviço Geológico dos Estados Unidos), banda 10 (Montanaro et. al., 2014), sensor TIRS, equivalendo a faixa do espectro do infravermelho, com resolução espacial de 100m, reamostrada para uma resolução de 30 m.

A imagem selecionada corresponde a um dia com baixa nebulosidade, com alta qualidade e mais recente, datada de 12/01/2015, no horário de 9:15.

A metodologia para tratamento da imagem foi a de Santos et al. (2014), que calcula a partir da radiância aparente os valores da temperatura de superfície.

Este mapa foi utilizado para verificar se havia correlação entre o mapa gerado pelo modelo de potencial térmico e o mapa de temperatura de superfície.

Mapa Síntese: Potencial Térmico

O mapa de potencial térmico é o resultado da álgebra de mapas (Figura 2), aplicada às camadas de informações (massa construída, albedo, emissividade, impermeabilidade do solo, declividade, altimetria e de forma analítica Fator de visão do céu, conforme a Equação 1.

$$V.F = \sum_1^9 (Peso \times Vo) / \sum_1^9 Peso \quad (1)$$

A média ponderada utilizada consistiu em multiplicar um peso em cada valor somado dos mapas, no qual foram definidas 5 classes, sendo a primeira com o valor 1, caracterizando áreas com baixíssimo potencial térmico, 2 para áreas com baixo potencial térmico, 3 para áreas com médio potencial térmico, 4 para áreas com alto potencial térmico e 5 para aquelas que possuem altíssimo potencial térmico. Neste estudo, optou-se por dar o mesmo peso para todas as variáveis analisadas, se a opção for de dar pesos distintos para cada

variável, cada variável seria multiplicada por um valor de 1 a 10, em função da importância desta dentre as demais variáveis no que tange ao potencial de aquecimento. Posteriormente, seria aplicada a equação 1, seguindo a mesma classificação final de 5 classes.

Logo, o mapa de potencial térmico (Figura 4) foi classificado em 5 classes, no qual a classe 1 é aquela que possui menor carga térmica e maior potencial dinâmico, estas áreas estão associadas às maiores altitudes e declividade, além da presença da cobertura vegetal, menor concentração de edifícios, vias e solos impermeáveis, sendo qualificada como de Baixíssimo potencial térmico.

A classe 2 são locais no qual a presença da vegetação é menor, mas que causa influencia negativa no potencial térmico e o potencial dinâmico é elevado, como as regiões de altitude e declividade intermediárias ou às margens e sobre o Rio Paraibuna. Sendo qualificada como de baixo potencial térmico.

A classe 3 possui uma posição mediana, isto é, locais que apresentam tanto a carga térmica quanto o potencial dinâmico intermediários, e que merecem um cuidado maior para não se tornarem áreas com alto potencial de aquecimento. Sendo caracterizada como de médio potencial térmico.

As classes 4 e 5 são aquelas que o potencial dinâmico e térmico são mais elevados e portanto associados à intensidade e densidade de ocupação, vias asfaltadas e fluxo de veículos, menor albedo, maior emissividade, maior impermeabilidade do solo, menor presença de cobertura vegetal e água, altitude e declividade menores. Sendo qualificadas como de alto e altíssimo potencial térmico.

Destaca-se que todos os mapas tiveram como fonte: Landsat 8(USGS)- Projeção Transversa de Mercator – Datum: SIRGAS2000 – Zona 23S.

Figura 2. Operação com os mapas no Sistema de Informações Geográficas.
Fonte: Adaptado de Ferreira (2014).

Área de Estudo: Aplicação do Modelo Espacial

A área escolhida para a aplicação deste modelo, compreendeu 35 regiões urbanas (Figura 3), que estão localizadas ao longo do percurso do Rio Paraibuna, que corta a cidade no sentido noroeste-sudeste. Essa escolha ocorreu em função da menor amplitude altimétrica encontrada nessas regiões, visando minimizar o fator altimetria nas diferenças térmicas.

Juiz de Fora é uma cidade média e desempenha função de centro regional, possui uma população estimada para 2018 de 564.310, sendo que destes 98,9% residem na área urbana (IBGE, 2018).

Segundo Ab´Saber (2007, pg. 94) “percebe logo a grande dificuldade existente para a localização de núcleos no meio da morraria arredondada que caracteriza a Zona da Mata mineira. Bruscamente, entretanto, entra-se em contato com uma larga planície situada a montante de uma resistente soleira rochosa, que faz parte de um pequeno maciço residual a sudeste da cidade”. Desta forma, em função do sítio urbano de Juiz de Fora, levou inicialmente a uma concentração populacional ao longo dos vales, principalmente do Rio Paraibuna, propiciando um maior crescimento e adensamento populacional (Ferreira, et al. 2015).

Figura 3. Mapa de localização da área de aplicação do modelo na cidade de Juiz de Fora-MG

Resultados

Diferentes fatores climáticos, o ambiente construído e suas características no que tange ao seu potencial térmico e dinâmico são sinergicamente levados em consideração para formar o mapa de Potencial Térmico. A análise de vários fatores selecionados e informações de cada um dos mapas básicos forneceu entendimento inicial da relação entre o ambiente da cidade e o

clima urbano, formando a base da classificação do mapa de potencial térmico.

Figura 4. Mapa Final do modelo de Potencial Térmico.

O mapa de Potencial Térmico aplicado à 35 regiões urbanas da cidade de Juiz de Fora (Figura 4), é o resultado da média ponderada de uma série de variáveis espacializadas (Figura 5, 6 e 7), sendo que este resultado final é derivado do comportamento, incidência e características de cada variável de forma separada e conjunta, que mostraram interferências diretas no resultado final.

No mapa de Massa Construída (Figura 6A), importante variável na definição da capacidade de absorção de calor, destaca-se a área central da cidade e nas margens do Rio Paraibuna, onde estão localizados edifícios com maior número de pavimentos e maior volume edificado, em função destas características foi dado o maior valor dentre as demais classes.

Já, ao norte e nordeste, onde a presença de edificações é menor ou nula, recebeu o menor valor. Pois ali, encontra-se uma extensa área verde, denominada Mata do Krambeck, que pode ser

visualizada no Mapa de Cobertura Vegetal (Figura 7B), além disso, destaca-se a Região Urbana Remonta, que abriga uma alta concentração de pequenos fragmentos florestais. Em função da presença da área verde no mapa de cobertura vegetal, esta área foi classificada com o menor valor, devido à baixa carga térmica. Já as demais áreas sem a presença ou com baixa influência da vegetação, foram classificadas com o maior valor.

A presença do Rio Paraibuna (Figura 7B) e suas margens com uma estreita área vegetada, recebeu o menor valor em detrimento das demais áreas densamente edificadas. Destacando a importância como corredor de ventos e na aerodinâmica.

Quanto ao mapa de declividade (Figura 5A), os menores valores estão presentes nas Regiões Urbanas Remonta e na Mata do Kranbeck, mas na maior parte de toda a área analisada, a declividade é de até 10°. As declividades superiores

a 30° estão associadas à Região Urbana da Remonta e a Mata do Krambeck, localizados a nordeste, local onde existe uma forte presença de cobertura vegetal. A combinação da vegetação e de declividades superiores a 10,1° potencializa a ocorrência do efeito dinâmico, produzido pela topografia. Na região urbana com maior densidade de ocupação, praticamente não se observa a

ocorrência deste efeito. As áreas nas quais ocorre a presença da vegetação e declividade superior a 10,1° receberam uma menor nota em comparação com as demais, onde estas variáveis não estão presentes. Situação essa encontrada na área ocupada pela Mata do Krambeck e na Região urbana da Remonta.

Figura 5. A-Mapas de Declividade e A1- Declividade reclassificada; B-Orientação de vertentes e B1- Orientação de vertentes reclassificada; C- Altitude e C1- Altitude reclassificada para as 35 regiões urbanas da cidade de Juiz de Fora-MG.

No mapa de altitude (Figura 5C), os maiores valores estão presentes ao longo do vale do rio Paraibuna, com aproximadamente 650m, que chega a apresentar um desnível altimétrico de aproximadamente 300m com a cota altimétrica mais elevada na área de estudo, compreendendo 923 m. Nestas áreas o efeito da carga térmica é atenuado em função das altitudes mais elevadas, que provoca um resfriamento adiabático. Além disso, por esta área estar associada à presença da vegetação, que soma a este fator um resfriamento evaporativo (Oke, 1981). Estes fatores levam a uma perda térmica, logo, as áreas mais elevadas tem uma nota menor do que as áreas com altitudes mais baixas (Figura 5B).

No que se refere ao albedo e emissividade (Figura 7B, 7A), destaca-se a área central, que corresponde à maior densidade de ocupação, com edifícios mais elevados, com maior concentração de vias, com menor presença da vegetação, são aquelas que apresentam as maiores taxas de emissividade e as menores taxas de albedo.

Logo, “a substituição dos elementos naturais de uma paisagem, por materiais construtivos artificiais de albedo mais baixo, maior será a inércia térmica e o calor acumulado nas áreas urbanas, potenciais geradores de zonas de desconforto e agravos à saúde da população” (Sant’Anna Neto; Rampazzo, 2016, p.9).

Figura 6 A- Massa construída e A1- Massa Construída reclassificada; B- Rugosidade e B1- Rugosidade Reclassificada; C- Mapas de Áreas Impermeáveis e permeáveis e C1- Áreas Impermeáveis e permeáveis reclassificada para as 35 regiões urbanas da cidade de Juiz de Fora- MG

O mapa de impermeabilidade do solo (Figura 6C) enfatiza a relação entre densidade construída e de ocupação, edifícios elevados, concentração de vias asfaltadas e baixa presença de cobertura vegetal, o que leva a um aumento do

fluxo de calor sensível, maximizando o potencial térmico. Logo, as áreas nas quais estas características estão presentes levaram uma pontuação mais elevada do que as demais.

Figura 7. A- Mapas de Emissividade e A1- Emissividade Reclassificada; B- Cobertura vegetal/água e B1- Cobertura vegetal/água reclassificada; C- Mapa de Albedo e C1- albedo reclassificado para as 35 regiões urbanas da cidade de Juiz de Fora- MG.

Desta forma, o mapa síntese de Potencial Térmico para as 35 regiões urbanas da cidade de Juiz de Fora (Figura 4), mostra que as áreas densamente ocupadas por altas edificações, alta concentração de vias asfaltadas com grande fluxo de veículos, baixa ocorrência de cobertura vegetal e água, alta impermeabilidade do solo, baixo albedo, elevada emissividade, baixa declividade e altitude são áreas mais propensas a terem uma menor capacidade de resfriamento noturno, em função da carga térmica acumulada durante o dia e o menor potencial dinâmico, o que ocasiona um maior aquecimento da superfície, podendo levar a uma maior temperatura do ar, desconforto térmico, maior uso de energia para refrigeração do ar, etc. Estas áreas correspondem às classes 4 e 5 (alto e altíssimo potencial térmico) do mapa de potencial térmico

Por outro lado, as áreas com maior superfície vegetada, água, áreas livres, mais

permeáveis, menos densamente construídas, com vias de menor fluxo de veículos e não asfaltadas, maior albedo, menor emissividade, maior altitude e declividade são áreas com maior potencial dinâmico e portanto mais frescas e com menor temperatura de superfície, estas áreas correspondem em sua maioria à periferia da área de estudo e foram classificadas em 1 e 2, correspondendo a baixíssimo e baixo potencial térmico, no mapa de potencial térmico (Figura 4).

Quando verifica-se a relação entre o mapa gerado pelo modelo de potencial térmico, com o mapa criado a partir da imagem termal de temperatura de superfície (Figura 8), destaca-se uma alta correlação entre as áreas mais quentes e frias do mapa, assim como constatado por Pimentel (2017) quando aplicou este modelo utilizando diferentes variáveis para a mesma área da cidade de Juiz de Fora-MG.

Figura 8. Mapa de temperatura de superfície de 35 regiões urbanas da cidade de Juiz de Fora- MG.

Estes resultados corroboram com aqueles apresentados por Nery et al., (2006); Souza, (2010); Shimomura et al., (2015); Ferreira et al., (2017), no qual as áreas com maior alteração do ambiente foram aquelas que apresentaram maior carga térmica e menor potencial dinâmico. Destaca-se ainda que após a análise das variáveis como propulsoras ou não do aumento da carga térmica e do potencial dinâmico, verifica-se que a crescente impermeabilização e aumento da massa construída nas cidades vêm proporcionando cada vez mais um aumento do seu potencial térmico, o que leva a uma alteração da temperatura de superfície e consequentemente da temperatura do ar.

Para Juiz de Fora já se verifica uma tendência de aumento da temperatura do ar nos últimos 40 anos (Ferreira et al., 2015), se não forem tomadas providências, afim de regular, inibir, mitigar o aumento crescente do processo atual de ocupação do espaço urbano, poderá acarretar cada vez mais em um aumento da carga térmica, o que implicaria em temperaturas de superfície e do ar cada vez mais elevadas e uma diminuição do potencial dinâmico, em função do aumento da rugosidade.

Mesmo que neste estudo aplicado só tenha sido analisadas 35 das 81 regiões urbanas da cidade, regiões estas mais propensas a serem mais aquecidas, por terem maior densidade de ocupação, constata-se que as características presentes nesta área de estudo, são facilmente extrapoláveis para as demais áreas que compõem a cidade de Juiz de Fora.

Conclusões

A metodologia é baseada no uso dos sistemas de informações geográficas, na geração dos mapas básicos, nas avaliações empíricas, nos pesos, na integração de dados espaciais, e na criação de um mapa síntese final, correspondendo de forma satisfatória os procedimentos adotados.

Conclui-se que as áreas com baixa presença de cobertura vegetal e consequentemente alta impermeabilidade são áreas que tendem a ter uma resposta térmica mais elevada, sendo necessário uma atenção maior por parte do poder público, na gestão destes ambientes.

Áreas com uma densa urbanização, ficam mais difíceis de serem implementados planos que viabilizam a incorporação de áreas verdes, implantação de arborização viária, de áreas livres, implantação de lagos e jardins, ou mesmo preservação da mata nativa. Porém em áreas onde a densidade de construções não é elevada, pode-se estabelecer um plano de uso e ocupação que leve em consideração elementos mitigadores da

temperatura do ar. O que ocasionaria um ganho na qualidade de vida, na saúde, na minimização de problemas ambientais (enchentes, movimentos de massa), levando a formação de uma cidade mais saudável.

O presente modelo, teve sua aplicação em 35 regiões urbanas da cidade de Juiz de Fora-MG, mas a aplicação da metodologia é possível também para outras localidades. Além disso, a metodologia permite uma adaptação conforme a realidade de cada lugar, podendo desta forma integrar outros conjuntos de dados.

Destaca-se ainda que no planejamento urbano poderia ser incluído na tomada de decisões quatro aspectos do ambiente construído e do sítio urbano: densidade construtiva, albedo, cobertura vegetal e altimetria, pois são fundamentais na definição dos tipos microclimáticos e poderiam nortear as decisões quanto ao uso do solo urbano. A metodologia propicia um detalhamento da estrutura, da forma e do ambiente construído, possibilitando conhecer mais detalhadamente o ambiente climático urbano, o que possibilitaria adotar diretrizes visando um desenvolvimento urbano com maior qualidade e climaticamente mais equilibrado.

Referências

- Ab'Saber, A.N., 2007. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas, 7. ed. Ateliê Editorial, São Paulo.
- Amorim, M.C.C.T., Sant'Anna Neto, J.L., Dubreuil, V., 2009. Estrutura térmica identificada por transectos móveis e canal termal do Landsat 7 em cidade tropical. *Revista de Geografia Norte Grande* 43, 65-80.
- Armani, G., 2009. Análise topo e microclimática tridimensional em uma microbacia hidrográfica de clima tropical úmido de altitude. Tese (Doutorado) São Paulo, FFLCH/USP.
- ASIAN DEVELOPMENT BANK, 2015. Addressing climate change risks, disasters, and adaptation in the People's Republic of China. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank..
- Chen, L., Ng, E., An, X., Ren, C., Lee, M., Wang, U., He, Z., 2012. Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: a GIS-based simulation approach. *International Journal of Climatology* 32: 121-136. doi:10.1002/joc.2243.
- Collischonn, E., Mattos, G., 2011. Passos de Classificação de ambientes termicamente homogêneos para estudos de clima na camada dossel urbano – metodologia e aplicação à

- cidade de Pelotas/RS. *Revista Brasileira de Climatologia* 9, 56-67.
- Esser, G., 1989. Global land-use changes from 1860 to 1980 and future projections to 2500. *Ecological Modelling* 44, 307-316.
- EUROPEAN UNION. European Environment Agency, 2017. An indicator-based report; Urban adaptation to climate change in Europe 2016. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Evans, J.M., Schiller, S.D., 1991. Climate and urban planning: the example of the planning code for Vicente Lopez, Buenos Aires. *Energy and Buildings* 15-16, 35-41.
- Ferreira, C.C.M., 2014. Modelo para análise das variáveis de cobertura da terra e a identificação de microclimas, em centros urbanos. *Revista Brasileira de Climatologia* 14, 50-75.
- Ferreira, C.C.M., Batista, G.M.F., Vianna, Y.C., 2015. Variações ou tendências climáticas: um estudo com as séries de temperatura do ar para a cidade de Juiz de Fora-MG. *Revista de Ciências Humanas* 15, 414-433.
- Ferreira, C.C.M., Assis, D.C., 2014. O mapeamento do albedo e análise de sua influência na caracterização de microclimas de áreas urbanas, in: Silva, C.A., Fialho, E.S., Steinke, E.T. (Org). *Experimentos em Climatologia Geográfica*, Dourados, MS: UFGD, pp. 201-221.
- Ferreira, D.G., Assis, E.S., Katzschenker, L., 2017. Construção de um mapa climático analítico para a cidade de Belo Horizonte, Brasil. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management)* 9, 255-270.
- Ferreira, F.L., Prado, R.T.A., 2003. Medição do albedo e análise da sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil. *Boletim Técnico da escola Politécnica da Universidade de São Paulo* 351 – Série BT-PCC. São Paulo, 12p.
- Gál, T., Unger, J., 2009. Detection of ventilation paths using high- resolution roughness parameter mapping in a large urban area. *Building and Environment* 44, 198- 206.
- He, J.F., Liu, J.Y., Zhuang, D.F., Zhang, W., Liu, M.L., 2007. Assessing the effect of land use/land cover change on the change of urban heat island intensity. *Theoretical and Applied Climatology* 90, 217-226.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/juiz-de-fora/panorama>. Acesso em: 16 out. 2018.
- Jittawikul, A., Saito, I., Ishihara, O., 2004. Climatic maps for passive cooling methods utilization in Thailand. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* 3, 109-114.
- Lam, C.Y., 2006. Reprint 700 - On climate changes brought about by urban living. *Hong Kong Meteorological Society Bulletin* 16, 15- 27.
- Lambin, E.F., Baulies, X., Bockstael, N., Fischer, G., Krug, T., Leeman, S.R., Moran, E.F., Rindfuss, R.R., Sato, Y., Skole, D., Turber, B.L., Vogel, C., 1999. IGBP Report No.48/IHDP Report No. 40: Land-use and Land- cover Change Implementation Strategy. IGBP Secretariat, The Royal Swedish Academy of Sciences: Stockholm; p. 75- 85, 125p.
- Leung, Y.K., Yip, K.M., Yeung, K.H., 2008. Relationship between thermal index and mortality in Hong Kong. *Meteorological Applications* 15, 399- 409.
- Lindqvist, S., 1991. Local Climatological Maps for planning. Department of Physical Geography. University of Gothenburg: Goteborg.
- Lindqvist, S., Mattsson, J.O., 1989. Topoclimatic maps for different planning levels: some Swedish examples. *Journal of CIB Building Research and Practices* 5, 299-304.
- Mascaró, L., Mascaró, J., 1991. *A Vegetação Urbana*. 2. ed. Hucitec, Porto Alegre.
- Mascaró, L., 1991. Energia na edificação: estratégia para minimizar seu consumo. Projeto, 213p.
- Masiero, E., Souza, L.C.L., 2013. Variação de umidade absoluta e temperatura do ar intraurbano nos arredores de um corpo d'água. *Ambiente Construído* 13, 25-39.
- Mendonça, F.A., 1994. O clima e o planejamento urbano de cidades de porte médio e pequeno – proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina-PR. Tese (Doutorado). São Paulo, FFLCH/USP.
- Mills, G., 2015. Introduction. In: Ng, E., Ren, C. (Org.). *The Urban Climatic Map: A Methodology for Sustainable Urban Planning*. 1. Ed. New York: Taylor; Francis Group. p. 3- 9.
- Montanaro, M., Gerace, A., Lunsford, A.W.W., Reuter, D.C., 2014. Stray Light Artifacts in Imagery from the Landsat 8 Thermal Infrared Sensor. *Remote Sens*, Basel 6, 10435-10456.
- Monteiro, A., Velho, S., Almeida, M., Fonseca, L., 2012. A (in)eficácia das políticas europeias e nacionais para prevenir os riscos causados pelas manifestações de mudança climática nos espaços urbanos. *Revista da Faculdade de Letras – Geografia* 1, 45-58.
- Moura, A.C.M., Jankowski, P. 2016. Contribuições aos estudos de análises de incertezas como complementação às análises multicritérios -

- “sensitivity analysis to suitability evaluation”.
Revista Brasileira de Cartografia 68, 665-684.
- Nery, J., Freire, T., Andrade, T., Katzschner, L., 2006. Thermal comfort studies in a humid tropical city. In: International Conference on Urban Climate, 6, 2006, Göteborg, Sixth international conference on urban climate... Göteborg: ICUC, p. 234-237.
- New York. 2013. The City of New York: A stronger, more resilient New York. New York: Mayor MMBloomberg.
- Oke, T.R. 1981. Canyon Geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. Journal of Climatology 1, 237-254.
- Oke, T.R. 1984. Methods in urban climatology. App. Climatol. 14, 19-29.
- Oke, T.R. 1987. Boundary Layer Climates. Taylor/Francis e-Library. 2ª. ed. Vancouver, 435p.
- Oke, T.R. 2005. Towards better scientific communication in urban climate. Theoretical and Applied Climatology, Austria, p. 179-190.
- Olgyay, V. 1998. Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Editorial Gustavo Gili.
- Paris. 2015. Direction des Espaces Verts et de l'Environnement, Agence d'Écologie Urbaine. Paris Adaptation strategy: towards a more resilient city. Paris: Agence 9.
- Parlow, E., Scherer, D., Fehrenbach, U., 2001. Climatic analyse map for grenchen und umgebung. CAMPAS, Klimaanalyse- und Planungshinweiskarten ji"ir den Kanton Solothurn. University of Base\; Basel.
- Parlow, E., Fehrenbach, U., Scherer, D., 2014. Klimaanalyse der Stadt Zürich (KLAZ). Regio Basiliensis 55, 143-164.
- Paszynski, J., 1991. Mapping urban: topoclimates. Energy and Buildings 15-16, 1059-1062.
- Paula, I.F.M. 2017. Cobertura vegetal das regiões urbanas de Juiz de Fora-MG. Dissertação (Mestrado). ICH/UFJF.
- Pimentel, F.O., 2017. Clima urbano: o uso de modelos geoespaciais na investigação do comportamento térmico em Juiz de Fora- MG. Dissertação (Mestrado). ICH/UFJF.
- Portugal. 2015. Agência Portuguesa do Ambiente – APA. ClimAdaPT.Local: estratégias municipais de adaptação as alterações climáticas. Portugal: APA.
- Ren, C., Ng, E., Katzschner, L., 2011. Urban climatic map studies: a review. International Journal of Climatology 31, 2213–2233.
- Ribeiro, C.A.M., Carvalho, H.J.M., Santos, M.A., 2010. Metodologia para análise do sombreamento em centros urbanos. In: *Anais do III Simpósio Brasileiro De Ciências Geodésicas E Tecnologias Da Informação*, Recife-PE: UFPE. p.1-9.
- Rio de Janeiro. 2017. Secretaria Municipal de Meio Ambiente; Gerência de Mudanças Climáticas e Desenvolvimento Sustentável; Centro Clima/COPPE/UFRJ. Plano de adaptação da cidade do Rio de Janeiro as mudanças climáticas. Rio de Janeiro.
- Sant’Anna Neto, J.L., Rampazzo, C.R., 2016. Geoindicadores urbanos para o estudo dos processos termodinâmicos do clima das cidades de pequeno e médio porte. In: Sant’Anna Neto, J.L., Amorim, M.C.C.T., Silva, C.A. (Org.). Clima e Gestão do Território. Paco editorial Jundiaí, p.7-32.
- Santos, A.R., Eugenio, F.C, Soares, V.P., Moreira, M.A., Ribeiro, C.A.A.S., Barros, K.O., 2014. Sensoriamento Remoto no ArcGis 10.2.2 Passo a passo: Processamento de Imagens Orbitais – Volume 1. Alegre, ES: CAUFES, 107p.
- Scherer, D., Fehrenbach, U., Parlow, E., 1999 Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. Atmospheric Environment 33, 4185-4193.
- Shimomura, A.R.P., Lopes, A.S., Correia, E., 2015. Urban Climatic Map Studies in Brazil: Campinas. In: Ng, E., Ren, C. (Org.). The Urban Climatic Map: A Methodology for Sustainable Urban Planning. 1. Ed. New York: Taylor/ Francis Group, p. 237-246.
- Souza, L.C.L., Pedrotti, F.S., Leme, F.T, Corrêa, J.R., 2005. Consumo de energia Urbano: Influência do perfil do usuário; da geometria urbana e da temperatura. In: *Anais.. VIII ENCAC- ENLACAC - Encontro Nacional e Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído*, Maceió, p. 1960-1969.
- Souza, V.S., 2010. Mapa climático urbano da cidade de João Pessoa – PB. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba.
- Sterten, A.K., 1982. A thematic mapping system and a description of local climatic conditions developed for urban planning purposes. Energy and Buildings 4, 121-124.
- Stewart, I., Oke, T., 2009. Classifying urban climate Field sites by “Local climate zones”: the case of Nagano, Japan. In: *Anais.. International Conference An Urban Climate. 70, The seventh International Conference an Urban Climate...Yokohama*, 1-5p.
- Tso, C.P. et al., 1990. An improvement to Energy Balance Model for Urban Thermal Environment Analysis. Energy and Buildings 14, 143-152.

Ward, I.C., 2003. The usefulness of climatic maps of built-up areas in determining drivers for the energy and environmental efficiency of

buildings and external areas. *International Journal of Ventilation* 2, 277-286.

Zhou, L., Dickinson, R.E., Tian, Y., Fang, J., Li, Q., Kaufmann, R.K., Tucker, C.J., Myneni, R.B., 2004. Evidence for a significant urbanization effect on climate in China. *Goddard Institute for Space Studies* 101, 9540-9544.