



Aplicação de Sensoriamento Remoto para a Identificação das Ilhas de Calor Urbana de Superfície e do Índice de Desconforto de Kawamura nas Capitais dos Estados do Sul do Brasil

Jéssica Israele de Medeiros¹, Cláudia Guimarães Camargo Campos², Rodrigo Morche de Jesus³

¹ Bolsista de Iniciação Científica PROBIC/UEDESC, Graduanda de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, Avenida Luiz de Camões, nº 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages, Santa Catarina, jessicaisraelem@hotmail.com (autor correspondente). ² Doutora em Meteorologia, Professora Titular no Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, Avenida Luiz de Camões, nº 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages, Santa Catarina, claudia.campos@udesc.br. ³ Mestrando no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCAMB do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, Avenida Luiz de Camões, nº 2090, Bairro Conta Dinheiro, CEP 88520-000, Lages, Santa Catarina, rodrigo.morche@hotmail.com.

Artigo recebido em 24/01/2020 e aceito em 13/12/2020.

RESUMO

Os constantes processos de substituição de áreas verdes por áreas impermeabilizadas e edificadas tendem a modificar as temperaturas locais e alterar os microclimas. Como consequência, pode-se observar a ocorrência do fenômeno Ilha de Calor Urbana (ICU). O objetivo deste trabalho foi identificar a presença das ilhas de calor urbana de superfície e avaliar o grau de desconforto térmico nas capitais dos estados da região sul do Brasil. Utilizou-se imagens de sensoriamento remoto, dos satélites Landsat 5 e 8, referentes a duas estações do ano, verão e primavera, em anos representativos das décadas de 1980, 1990, 2000 e 2010, como ferramenta para evidenciar tal fenômeno. Com base em ferramentas do geoprocessamento foi possível congregiar camadas de informações, tais como: um mapeamento da ocupação urbana, da Temperatura da Superfície e da sensação térmica através do Índice de Desconforto de Kawamura. Em Curitiba, a relação do aumento da urbanização e das ICU foi bem representada ao longo do tempo, sendo que a maioria da sua extensão foi classificada como estresse devido ao calor. Em Florianópolis, a classe confortável foi predominante, com estresse e desconforto na parte continental e setores ao norte e sul da ilha. Na região sul de Porto Alegre, houve um aumento na urbanização e uma redução nas áreas classificadas como confortáveis. Contudo, para uma melhor avaliação da evolução, é recomendado uma ampliação da série histórica. Ressalta-se que estudos como esse devem ser realizados em outras regiões e municípios, para servir de subsídio para um melhor planejamento urbano.

Palavras-chave: bioclimatologia, geotecnologia, clima urbano, ilha de calor, sensoriamento remoto.

Application of remote sensing for the identification of urban surface heat islands and the Kawamura discomfort index in the capitals of the southern states of Brazil

ABSTRACT

The constant replacement processes of green areas by waterproofed and built-up areas tend to modify local temperatures and alter microclimates. Consequently, the Urban Heat Island phenomenon (UHI) can be observed. The objective of this study was to identify the presence of urban surface heat islands and evaluate the degree of thermal discomfort in the capitals of the states of the southern region of Brazil. Remote sensing images, from Landsat 5 and 8 satellites, from summer and spring thermal stations and representative years from the 1980s, 1990s, 2000s and 2010s, were used as a tool to highlight this phenomenon. Based on geoprocessing tools, it was possible to gather layers of information, such as: a mapping of urban occupation, surface temperature and thermal sensation through the Kawamura Discomfort Index. In Curitiba, the relationship between increased urbanization and UHI had been well represented over time, with the majority of its extension being classified as heat stress. In Florianópolis, the comfortable class was predominant, with stress and discomfort in the mainland and sectors to the north and south of the island. In the south region of Porto Alegre, there was an increase in urbanization and a decrease in areas classified as comfortable. However, for a better evaluation of the evolution, an expansion of the historical series is recommended. Thus, it is emphasized that studies like this should be carried out in other regions and municipalities, to serve as a subsidy for better urban planning.

Keywords: bioclimatology, geotechnology, urban climate, heat island, remote sensing.

Introdução

A expansão urbana ao longo dos anos vem ocasionando supressão da vegetação e substituição de áreas verdes por pavimentações e edificações. Em decorrência deste processo a temperatura do ar e os microclimas das cidades estão cada vez mais apresentando alterações.

Conforme Araújo et al. (2016), o aumento desordenado da população urbana, a retirada da cobertura vegetal, as atividades humanas, aliadas ao grande número de edificações, veículos em circulação, superfícies asfaltadas e indústrias, modificam significativamente o microclima urbano.

De acordo com Santiago, Gomes e Ferreira (2019), no clima urbano é possível constatar diferenças nos elementos climáticos, conforme a influência da cobertura do solo, no que diz respeito à alteração no fluxo de matéria e energia sobre a atmosfera local.

O albedo está diretamente relacionado com essa problemática. Ele é um importante parâmetro no estudo de mudanças climáticas, por ser um indicador da capacidade de reflexão. Conforme Silva et al. (2005) pode ser definido como a razão entre os fluxos de radiação solar refletido e incidente.

Considerando que no balanço de radiação parte da energia do sol que chega até a superfície é refletida, parte é espalhada e parte é absorvida, os locais arborizados amenizam a sensação de desconforto por calor. Pois, considerando que as vegetações possuem um albedo baixo, suas folhas absorvem uma grande quantidade de radiação, que interceptam essa energia e impedem a incidência direta dela na superfície, sendo que parte também é consumida na evapotranspiração. Por outro lado, em áreas onde há presença somente de concreto, o albedo tende a ser maior, mas existe uma considerável redução nas superfícies que realizam evaporação e trocas térmicas úmidas.

Os materiais usados nas construções, como o concreto, servem de refletores para o calor produzido na cidade e para o calor solar. De dia, os edifícios funcionam como um labirinto de reflexão nas camadas mais altas de ar aquecido. À noite a poluição do ar impede a dispersão de calor (Lombardo, 1985).

Como consequência dos constantes processos de urbanização tem-se a formação das Ilhas de Calor Urbana (ICU), que se caracterizam por serem anomalias térmicas. Conforme a Agência de Proteção Ambiental dos Estados

Unidos (EPA, 2019), elas podem ser definidas como o aquecimento das áreas urbanas em comparação com as áreas rurais próximas, sendo desencadeadas principalmente pelo novo perfil de uso do solo urbano, caracterizado pela intensa transformação do meio natural, com poucas áreas verdes e impermeabilização do solo com materiais de baixo albedo. As superfícies antes permeáveis e úmidas se tornam cada vez mais impermeáveis e secas, a vegetação é substituída por edifícios, estradas e obras de infraestrutura que modificam a configuração dos espaços naturais e aumentam os impactos climáticos.

Associado à cobertura do solo, que altera o albedo devido a modificação dos elementos em solo, outros dois fatores implicam na formação de ICU, sendo eles a verticalização das construções e a poluição atmosférica. No primeiro caso, devido aos prédios se tornarem cada vez mais altos, a tendência é ocorrer uma canalização do ar e isso causa um comprometimento na circulação dos ventos. Com relação aos gases e aerossóis presentes na atmosfera, eles também possuem influência no balanço de radiação e no aquecimento, pois quando as moléculas recebem essa energia, elas aumentam sua temperatura e espalham a radiação, como também inibem a perda de calor da baixa atmosfera.

Conforme Teza e Baptista (2005), na atmosfera das zonas centrais da cidade, é muito maior a concentração de gases e materiais particulados, lançados pelos automóveis e pelas fábricas, responsáveis por um efeito estufa localizado, que colabora para aumentar a retenção de calor.

Ao longo dos anos, é cada vez mais frequente a busca por informações para subsidiar tomadas de decisão por parte dos municípios, tanto para melhorar a condição dos ambientes que já existem, quanto para a realização de expansões nas cidades. Para que esses planejamentos sejam eficazes é importante levar em consideração a questão do conforto térmico humano. Conforme Nikolopoulou (2004), as áreas bem planejadas atraem maior número de pessoas, turismo, comércio, trabalhadores e residentes, tornando a área atrativa economicamente, além de melhorar o clima local, a imagem da cidade e encorajar o planejamento de outras áreas. Desta forma, as condições microclimáticas têm sido consideradas essenciais para a atratividade do espaço aberto e,

indiretamente, para o seu uso (Nikolopoulou, Lykoudis, 2006).

Nesse sentido, a bioclimatologia pode ser considerada uma importante área de estudo, pois busca entender a relação entre o clima nas cidades e a sensibilidade das pessoas. Como indicativo são utilizados alguns índices bioclimáticos, desenvolvidos com a finalidade de classificar o conforto ambiental sentido pelos seres vivos. Esses índices expressam o efeito conjunto dos elementos meteorológicos em um único parâmetro, que depois são classificados e resultam nas diferentes categorias de sensação térmica.

Existe uma variedade de índices na literatura que variam conforme os elementos utilizados, como por exemplo, o Índice de Temperatura Efetiva (TE), proposto por Missenard (1948) e que leva em consideração a Temperatura do Ar (bulbo seco) (°C) e a Umidade Relativa do ar (%). Já Suping et al. (1992), consideram a velocidade do vento (m/s), além desses dois elementos, para definir o Índice de Temperatura Efetiva em função do Vento (TEv).

Há também o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), proposto por Thom (1959), o qual considera a Temperatura do Ar (bulbo seco) (°C) e a Temperatura do Ponto de Orvalho (°C).

Outra forma de expressar o conforto térmico é através da fórmula proposta por Giles et al. (1990), chamada de Índice de Desconforto (ID), que considera a Temperatura do Ar (°C) (mínima e máxima) e a Umidade Relativa (%) (mínima e máxima). Outro índice muito utilizado é o Índice de Desconforto de Kawamura (IDK), o qual considera as variáveis de T_s , correspondente à Temperatura da Superfície (°C) e T_d , correspondente a Temperatura do Ponto de Orvalho (°C). O IDK é amplamente aplicado para diferentes regiões, por possuir classificações que compreendem faixas que vão desde estresse devido ao frio até estresse devido ao calor; enquanto que outros índices só possuem classificações para desconfortos devido ao calor.

Atualmente, consideráveis pesquisas vêm sendo realizadas utilizando sensoriamento remoto para detectar as características térmicas das superfícies urbanas. No Brasil, elas são frequentemente executadas nas regiões do norte, nordeste e sudeste do país, como por exemplo, as constatações de Araújo et al (2016), em cidades do interior do estado de São Paulo; Barboza et al. (2020) em Vitória (ES), Porangaba e Amorim (2019) em Campina Grande/PB e Bezerra et al. (2018), em Belém/PA. Acredita-se que Rao (1972) foi o primeiro pesquisador a demonstrar que áreas

urbanas poderiam ser identificadas por meio de análises de dados na faixa do infravermelho termal adquiridos por um satélite.

A aplicação de sensoriamento remoto na identificação de locais que sofrem com ICU e com sensações térmicas desconfortáveis, está se tornando cada vez mais usual. Trata-se de uma importante metodologia que contribui para aumentar o grau de informações acerca desses processos, considerando a dificuldade na aquisição de dados consistidos, principalmente em decorrências das falhas frequentes nos monitoramentos convencionais.

Aumentar o grau de informações com relação a alterações térmicas, especialmente em nível regional, tem sido um grande desafio, sendo de extrema importância, visto que existe uma grande peculiaridade dos efeitos regionais nos regimes térmicos e hídricos, o que faz que os resultados se diferenciem de uma região para outra. Em geral, com temperaturas mais elevadas e variações nos regimes de chuva, com aumento em algumas regiões e diminuição em outras (Salazar et al., 2007; Marengo et al., 2009, Liebl, 2016).

A partir desse contexto, o objetivo deste estudo é utilizar imagens de sensoriamento remoto para identificar a presença das ilhas de calor urbana de superfície nas capitais do estado do sul do Brasil e avaliar, através da utilização do Índice de Desconforto de Kawamura (IDK), os seus respectivos graus de conforto térmico.

Materiais e Métodos

Caracterização da Área de Estudo

A Região Sul é formada pelos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (Figura 1), e ocupa 6,75% do território brasileiro. São aproximadamente 577.214 km² localizados entre os paralelos 22°06' e 33°38' de latitude Sul e os meridianos 57°25' e 47°19' de longitude Oeste de Greenwich (Rosembach et al., 2013).

Conforme Nery (2005), a Região Sul está localizada abaixo do Trópico de Capricórnio, em uma zona temperada. Quanto ao regime térmico, o inverno é frio e o verão é quente e a temperatura do ar média anual situa-se entre 14°C e 22°C. E em relação ao regime de chuvas, a pluviosidade média anual oscila entre 1.250 e 2.000mm, exceto no litoral do Paraná e oeste de Santa Catarina, onde os valores são superiores a 2.000mm e no norte do Paraná e pequena área litorânea de Santa Catarina, com valores inferiores a 1.250mm. O máximo

pluviométrico acontece no inverno e o mínimo no verão em quase toda a região.

O estudo foi realizado considerando as cidades de Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre, que correspondem as capitais dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, respectivamente. De acordo com a estimativa de dados o IBGE (2019), Curitiba possui uma população aproximada de 1.751.907 habitantes, uma área territorial de 435,036 km², 935 m de

altitude e está localizada a 25° 25' 44" S de latitude e 49° 16' 01" W de longitude. Já o município de Florianópolis possui uma população aproximada de 500.973 habitantes, uma área de 674,844 km², localizada a 27° 35' 41" S de latitude, 48° 32' 53" W de longitude e a 2,74 m de altitude. Por fim, Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, possui uma população aproximada de 1.483.771 habitantes, uma área de 495,390 km² e está localizada 30° 02' 04" S e 51° 13' 03" W, a 10 m de altitude.

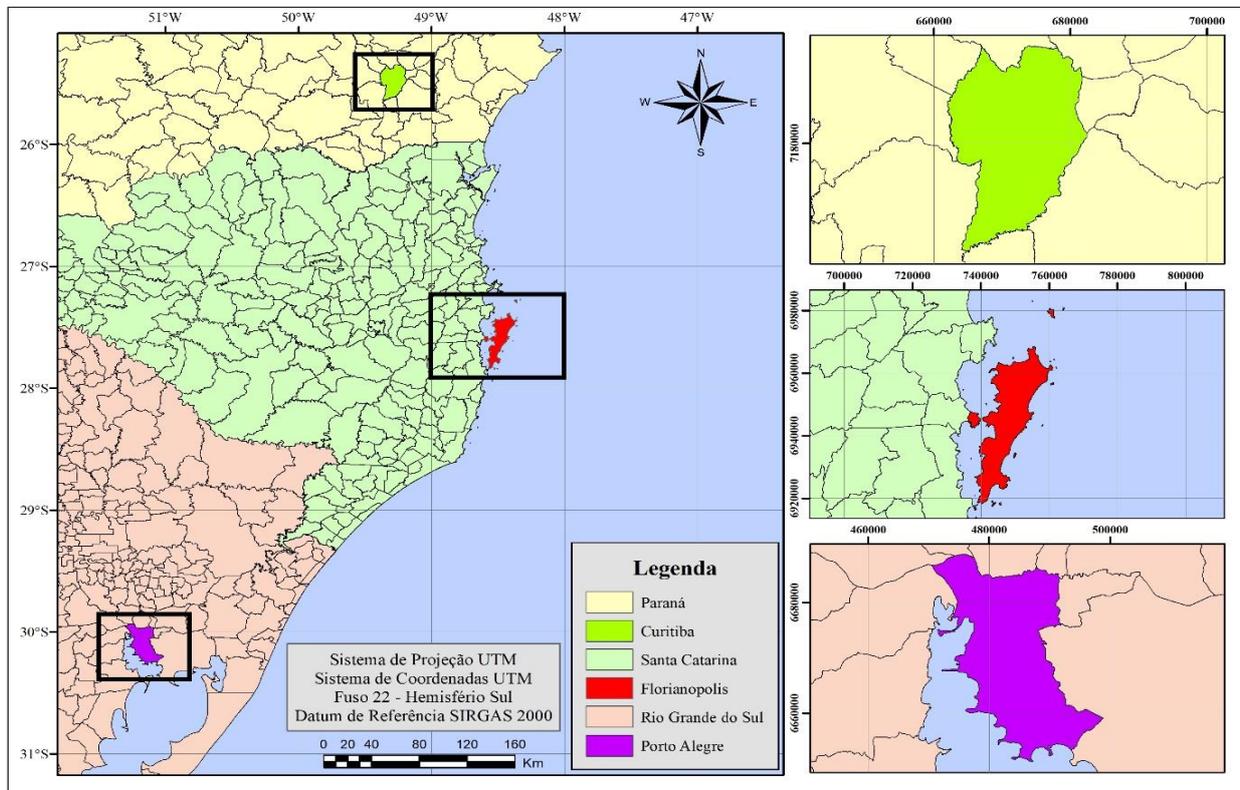


Figura 1. Mapa de Localização dos Municípios de Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre.

Imagens de Sensoriamento Remoto

Utilizou-se imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8, disponibilizadas pelo Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS, 2019). Com o software ArcGis 10.5.1 foi possível realizar o geoprocessamento, de forma a obter os mapas de Ocupação do Solo, de Temperatura da Superfície e os mapas referentes ao Índice de Desconforto de Kawamura.

Foram selecionadas oito imagens para cada uma das cidades, sendo que a escolha das mesmas foi condicionada aos meses das estações mais quentes (primavera e verão) e pela disponibilidade de imagens que não possuíam interferência de nebulosidade.

As datas de cada uma das imagens podem ser verificadas na Tabela 1, bem como o satélite utilizado e a estação do ano em que ela se encontrava naquele período.

Identificação da Área Urbana

Com o intuito de analisar se houve uma evolução da área urbana em cada uma das cidades, foi realizada uma classificação supervisionada das imagens multiespectrais através da utilização do software ArcGis 10.5.1.

As técnicas de classificação de imagens digitais visam ao reconhecimento automático de objetos, em função de determinado critério de decisão, agrupando em classes os objetos que apresentam similaridades em suas respostas

espectrais (Florenzano, 2011). O método utilizado foi o de *Maximum Likelihood* ou Máxima Verossimilhança, que consiste na classificação da imagem ponto a ponto, a partir de classes fornecidas pelo usuário (Rosa, 2009).

Desta forma, o processo consistiu em um agrupamento de pixels em duas classes, sendo elas: área urbana e área não urbana. Para isso, utilizou-

se uma composição de cor verdadeira, correspondendo as bandas multiespectrais 3 (referente a cor vermelha), 2 (referente a cor verde) e 1 (referente a cor azul), respectivamente em ordem RGB para o Landsat 5 e as bandas multiespectrais 4 (referente a cor vermelha), 3 (referente a cor verde) e 2 (referente a cor azul), respectivamente em ordem RGB para o Landsat 8.

Tabela 1. Informações referentes as imagens utilizadas para cada cidade analisada.

Cidade	Ano	Data	Satélite	Estação do Ano
Curitiba	1987	20 de novembro	Landsat 05	Primavera
	1993	04 de novembro	Landsat 05	Primavera
	2000	22 de outubro	Landsat 05	Primavera
	2006	24 de novembro	Landsat 05	Primavera
	2009	31 de outubro	Landsat 05	Primavera
	2010	19 de novembro	Landsat 05	Primavera
	2014	29 de outubro	Landsat 05	Primavera
	2018	11 de dezembro	Landsat 08	Verão
Florianópolis	1986	30 de setembro	Landsat 05	Primavera
	1991	14 de outubro	Landsat 05	Primavera
	1993	04 de novembro	Landsat 05	Primavera
	2000	23 de novembro	Landsat 05	Primavera
	2004	04 de dezembro	Landsat 05	Verão
	2010	03 de novembro	Landsat 05	Primavera
	2014	29 de outubro	Landsat 05	Primavera
	2019	11 de outubro	Landsat 08	Primavera
Porto Alegre	1986	10 de dezembro	Landsat 05	Verão
	1990	21 de dezembro	Landsat 05	Verão
	1994	30 de novembro	Landsat 05	Primavera
	1998	27 de dezembro	Landsat 05	Verão
	2005	12 de janeiro	Landsat 05	Verão
	2008	22 de dezembro	Landsat 05	Verão
	2013	18 de novembro	Landsat 05	Primavera
	2018	16 de novembro	Landsat 08	Primavera

Temperatura da Superfície

Os valores de Temperatura da Superfície (Ts) servem de subsídio para a identificação das ICU.

Para os processamentos das imagens, foram utilizadas as bandas do infravermelho termal (3,0µm – 20,0µm), que correspondem a banda 6 do sensor Thematic Mapper (TM) para o satélite Landsat 5 e a banda 10 do sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS) para o Landsat 8.

Primeiramente, foi necessário transformar os números digitais de cada pixel em radiância, sendo que para o Landsat 5 foi utilizada a Equação 1 e para o Landsat 8 foi utilizada a Equação 2.

$$L\lambda = \left(\frac{Lm\acute{a}x - Lm\grave{i}n}{DNm\acute{a}x} \right) * DN + Lm\grave{i}n \quad (1)$$

Onde:

Lλ – radiância espectral no topo da atmosfera (TOA) (W/m²*srad*µm);

Lmáx e Lmín – Constantes de calibração para cada banda;

DNmáx – valor máximo do número digital (DNmáx = 255)

DN – número digital de cada pixel

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \quad (2)$$

Onde:

Lλ – radiância espectral no topo da atmosfera (TOA) (W/m²*srad*µm);

ML – fator multiplicativo específico da banda;

AL – fator aditivo específico da banda;

Qcal – imagem em número digital (DN).

O próximo passo foi utilizar o valor de radiância para estimar a Temperatura da Superfície através da Equação 3.

$$T_s = \left(\frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)} \right) \quad (3)$$

Onde:

- Ts – Temperatura da Superfície (K);
- Lλ – Radiância espectral no topo da atmosfera (TOA) (W/m²*srad*μm);
- K1 – Constante de conversão térmica específica da banda;
- K2 – Constante de conversão térmica específica da banda.

Por fim, fez-se necessário realizar uma conversão de unidades, para transformar os valores de Temperatura da Superfície, que estavam em Kelvin, para Celsius, através da Equação 4.

$$T(^{\circ}C) = T_s(K) - 273,15 \quad (4)$$

As constantes utilizadas nos cálculos, foram retiradas dos arquivos metadados das bandas e podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2. Constantes utilizadas para a conversão das imagens em radiância e temperatura.

LANDSAT 5	LANDSAT 8
L _{máx} = 15,303	ML = 3,342e ⁻⁰⁴
L _{min} = 1,2378	AL = 0,1000
K1 = 607,76	K1 = 774,89
K2 = 1260,56	K2 = 1321,08

Índice de Desconforto de Kawamura

O Índice de Desconforto de Kawamura (IDK) foi obtido através da Equação 5.

$$IDK = 0,99 * T_s + 0,36 * T_d + 41,5 \quad (5)$$

Onde:

- Ts - Temperatura da Superfície (°C);
- Td - Temperatura do ponto de orvalho (°C).

Esse índice foi proposto por Ono e Kawamura (1991) e é amplamente utilizado em estudos de avaliação do conforto térmico humano, sendo que os intervalos de classificação podem ser visualizados na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação do conforto térmico humano conforme Ono e Kawamura (1991)

Valores de IDK	Sensação Térmica
IDK > 80	Estresse devido ao calor
75 < IDK < 80	Desconforto devido ao calor
60 < IDK < 75	Confortável
55 < IDK < 60	Desconforto devido ao frio
IDK < 55	Estresse devido ao frio

Para tanto, foi necessário encontrar os valores de Pressão Parcial do Vapor de Água (Pv) e de Temperatura do Ponto de Orvalho (Td). Eles foram obtidos através da Equação 6 e Equação 7, respectivamente.

$$P_v = 6,1078 * e^{\frac{17,3 * T_s}{237,3 + T_s}} \quad (6)$$

Onde:

- Pv – Pressão parcial do vapor d’água (hPa);
- Ts – Temperatura da Superfície (Ts).

$$T_d = \frac{237,3 * \ln\left(\frac{P_v}{e_0}\right)}{\left(17,2688 - \ln\left(\frac{P_v}{e_0}\right)\right)} \quad (7)$$

Onde:

- Td - Temperatura do ponto de orvalho (°C);
- Pv - Pressão parcial do vapor d’água (hPa);
- e0 - Pressão parcial do vapor d’água quando a temperatura do ar for 0°C = 6,1078 hPa.

Resultados e Discussão

Identificação da Área Urbana

Os mapas de referentes ao uso do solo da cidade de Curitiba, podem ser visualizados na Figura 2. Observa-se um crescimento da área urbana na região sul e sudeste, bem como uma sutil expansão ao norte.

Por se tratar de uma capital que possui regiões metropolitanas associadas, com municípios em desenvolvimento no entorno, a tendência é que as áreas classificadas até o momento como não urbanizadas, venham a sofrer com o processo de urbanização ao longo do tempo. Para Souza (2001), o crescimento da capital paranaense combina-se, agora, com um vertiginoso avanço demográfico dos municípios que lhe fazem fronteira.

É possível observar também uma presença de áreas não urbanizadas em locais pontuais dentro da região mais antropizada. Isso acontece em todos

os oito mapas devido as áreas verdes existentes na cidade. De acordo com a Prefeitura Municipal de Curitiba, existem 30 parques e bosques, que totalizam aproximadamente 82 km². Alguns parques são lineares, ou seja, diversos deles se unem ao longo dos grandes rios e em fundos de vale. Funcionam como barreiras naturais para impedir a ocupação indevida dessas áreas, sujeitas a enchentes, e para livrar os rios e córregos da degradação, como sua transformação em depósitos de lixo (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2019).

Com relação a ocupação no município de Florianópolis, podemos observar no Figura 3, que o continente é ocupado praticamente em sua totalidade, enquanto a ilha conta com uma distribuição da ocupação ao longo de suas áreas circundantes.

É notável um aumento gradativo ao leste e ao sul, principalmente na planície do Campeche, que é um bairro de Florianópolis associado ao Morro das Pedras e Rio Tavares.

A ocupação humana nesse local, conforme Batista, Orth e Bortoluzzi (2011), inicialmente

caracterizava-se por pequenas propriedades rurais, com mão-de-obra familiar e destinadas a atividades agropastoris de subsistência.

Atualmente, inúmeros loteamentos e condomínios residenciais estão sendo implantados, cujo processo de urbanização tem se caracterizado de forma acelerada e, em alguns casos, predatória, o que coloca em risco os ecossistemas naturais e a qualidade de vida da população.

Já o norte da ilha é caracterizado por possuir uma maior infraestrutura, sendo uma região repleta de hotéis, restaurantes, bares e outros serviços.

A ocupação ocorre principalmente na região dos Ingleses Norte, Centro, Sul e do Rio Vermelho, além de São João do Rio Vermelho e Moçambique.

No centro de Florianópolis, localizado a oeste da ilha, é possível observar uma parte não urbanizada, correspondente ao Morro da Cruz e ao Parque Manguezal do Itacorubi.

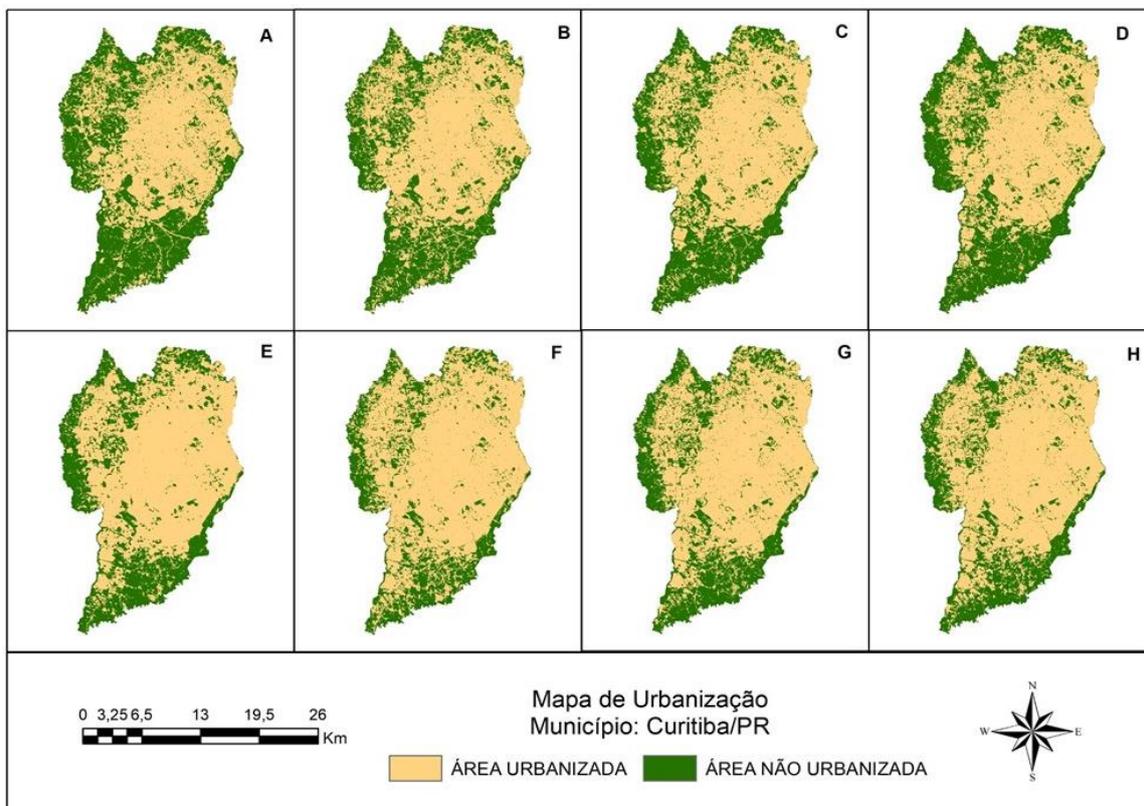


Figura 2. Caracterização da Área Urbana e da Área Não Urbana do Município de Curitiba, referentes aos anos de A (1987), B (1993), C (2000), D (2006), E (2009), F (2010), G (2014) e H (2018)

Com relação ao município de Porto Alegre, é notória uma expansão da zona sul, principalmente nos bairros Restinga e Campo Novo, ao longo dos últimos quatro anos analisados, conforme Figura 4.

A região oeste de Porto Alegre é banhada pelo Lago Guaíba e a parte superior, ao norte, foi classificada em área não urbana e é correspondente ao Arquipélago, um bairro formado por 16 ilhas

integrantes do Delta do Jacuí, que abrange um conjunto de ilhas e terras continentais numa área aproximada de 60 km². Cerca de 90% dessa área ao norte da cidade constitui-se de banhados e terras alagadiças que costumam estar submersas durante as cheias dos rios, no inverno e na primavera, e que justamente possuem um papel fundamental na regulação das cheias de toda a região hidrográfica e na manutenção de suas características ambientais, como o clima e principalmente, a qualidade das águas do Lago Guaíba (Devos, 2007).

Contudo, devido ao relevante interesse ecológico, conta com duas unidades de conservação, o Parque Estadual Delta do Jacuí e a Área de Proteção Ambiental Delta do Jacuí, que explicam a classificação não urbana em sua totalidade nos oito mapas.

De forma geral, observa-se que em ambas as cidades-capitais, é evidente a expansão urbana com o passar dos anos, um fator de primordial importância nas características microclimáticas.

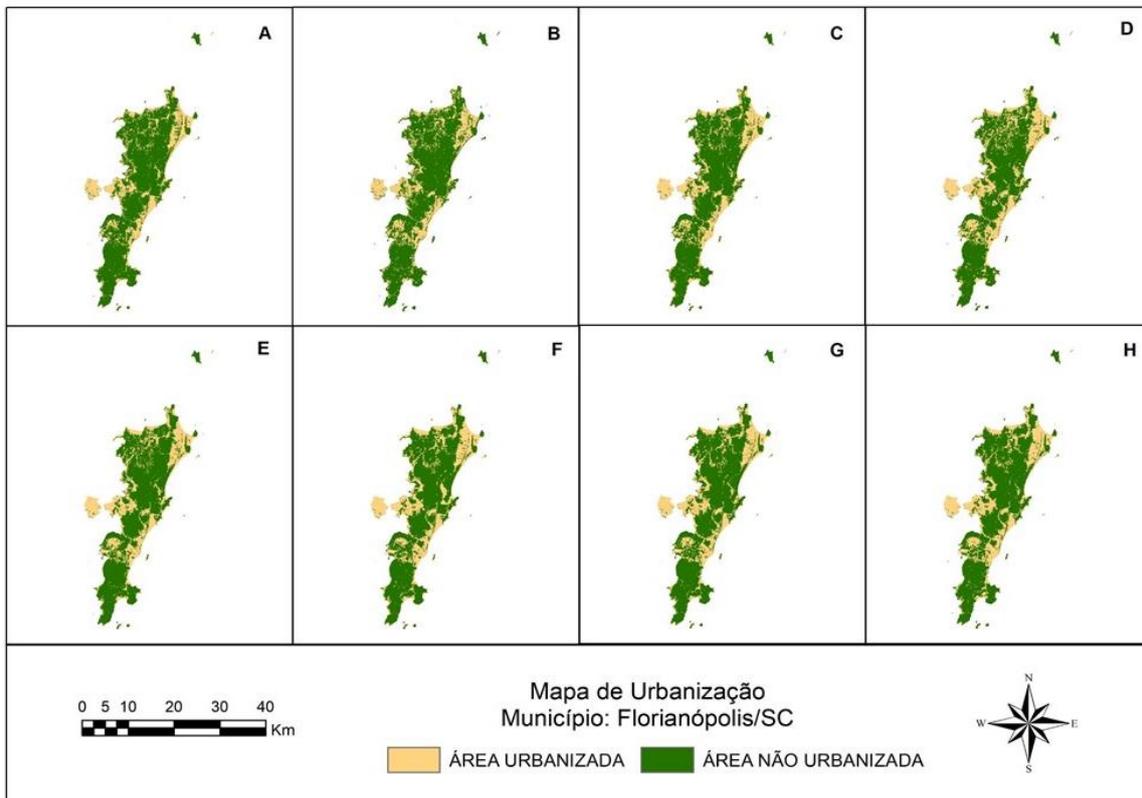


Figura 3. Caracterização da Área Urbana e da Área Não Urbana do Município de Florianópolis, referentes aos anos de A (1986), B (1991), C (1993), D (2000), E (2004), F (2010), G (2014) e H (2019).

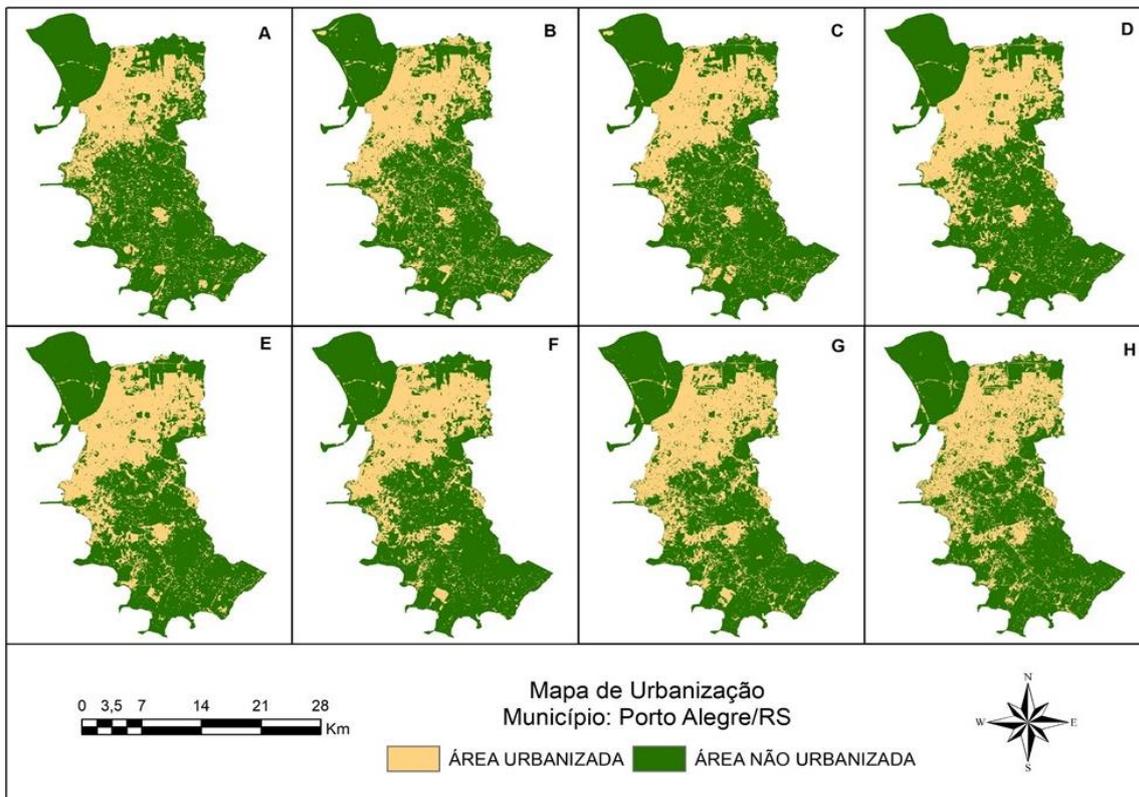


Figura 4. Caracterização da Área Urbana e da Área Não Urbana do Município de Porto Alegre, referentes aos anos de A (1986), B (1990), C (1994), D (1998), E (2005), F (2008), G (2013) e H (2018).

Temperatura da Superfície

Os mapas de Temperatura da Superfície para a cidade de Curitiba podem ser visualizados na Figura 5. É possível observar a formação das ICU ao longo de sua área urbana, sendo que nas regiões mais periféricas localizadas ao sul e ao oeste, as temperaturas variam de 18 a 30°C, enquanto que nas regiões centrais e mais urbanas, a variação foi de 31 a 42°C. Em alguns pontos específicos, a temperatura é inferior, justamente pelas áreas arborizadas dentro da cidade.

Já na cidade de Florianópolis, os valores de temperaturas são um pouco inferiores em relação a Curitiba, conforme Figura 6. É possível observar uma certa homogeneidade ao longo dos anos, com

exceção de 1986 e 1991, que apresentaram valores inferiores a 21°C, enquanto as regiões mais urbanizadas ficaram entre 22 e 30°C. As regiões do centro e do continente possuem os maiores valores em cada um dos mapas.

No caso, as ICU são mais difíceis de serem localizadas em virtude da influência marítima, que torna as oscilações térmicas mais amenas. A presença de um litoral e duas lagoas, com a existência de superfícies líquidas extensas, é causa de ativo processo de evaporação. Contudo, a proximidade do mar, pela sua grande capacidade térmica, grande transparência à radiação solar e pela transferência de calor gerada pelo processo de evaporação e condensação, amenizam essas diferenças (Andrade, 1996).

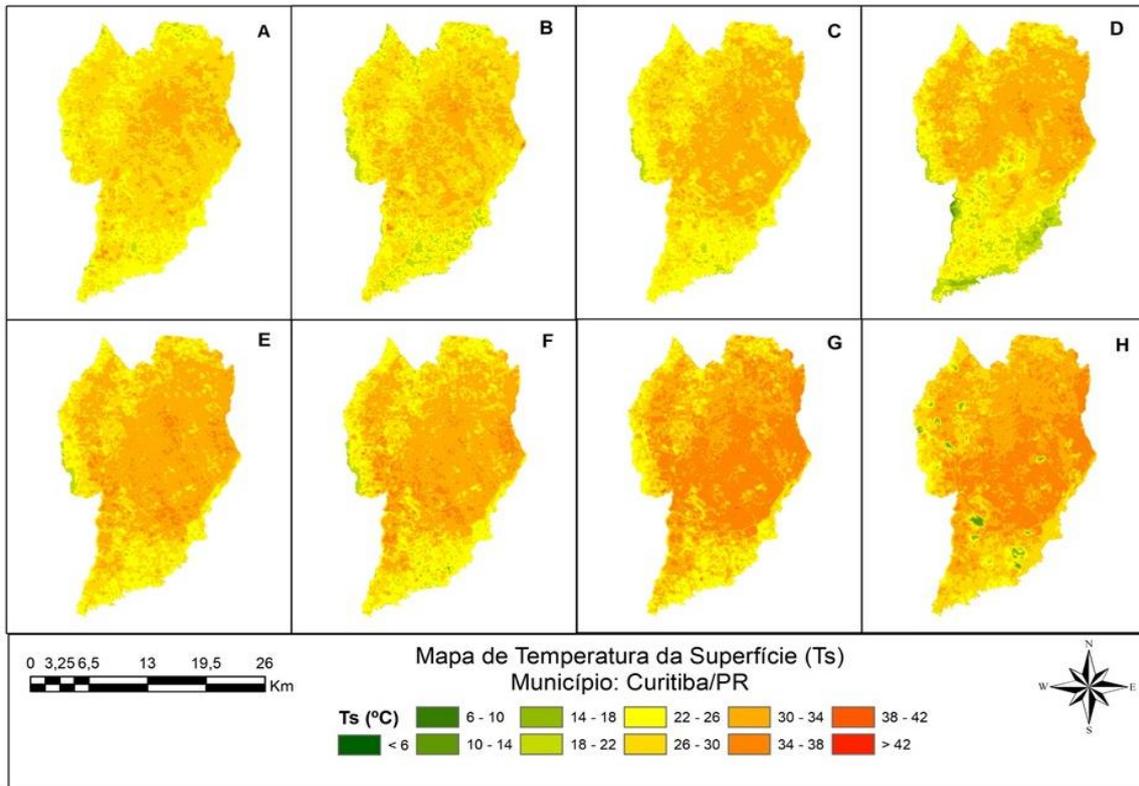


Figura 5. Temperatura da Superfície do Município de Curitiba, referentes aos anos de A (1987), B (1993), C (2000), D (2006), E (2009), F (2010), G (2014) e H (2018).

Porto Alegre apresentou as ICU mais bem definidas, sendo que nas áreas mais urbanizadas, as temperaturas apresentaram valores maiores do que as áreas rurais localizadas no entorno, ficando evidente essa diferença principalmente no contraste entre as temperaturas do arquipélago, localizado ao norte e a região mais urbanizada da cidade, conforme Figura 7.

Outro resultado interessante, é a formação de ICU nos bairros Restinga e Campo Novo, sendo o primeiro mais facilmente observável ao longo dos oito anos e o segundo, nos últimos quatro. Embora a identificação seja facilitada pela utilização de geotecnologias, não se pode afirmar que houve uma redução ou evolução, pois para isso seria necessária uma quantidade maior de imagens.

Cada uma delas se refere ao exato instante de passagem do satélite e, conseqüentemente, das condições meteorológicas predominantes naquele momento. Diante disso, não se pode afirmar com propriedade que as ICU aumentaram ao longo dos anos, embora seja perceptível uma intensificação de temperaturas mais altas nas três cidades analisadas.

A aquisição de imagens em boas condições para a realização dos processamentos, como por exemplo, uma total cobertura da área da cidade e também uma ausência de nebulosidade, foi uma dificuldade encontrada e isso fez com que não fosse possível haver uma periodicidade entre um ano e outro durante as análises, mas isso não influenciou de forma relevante o resultado final.

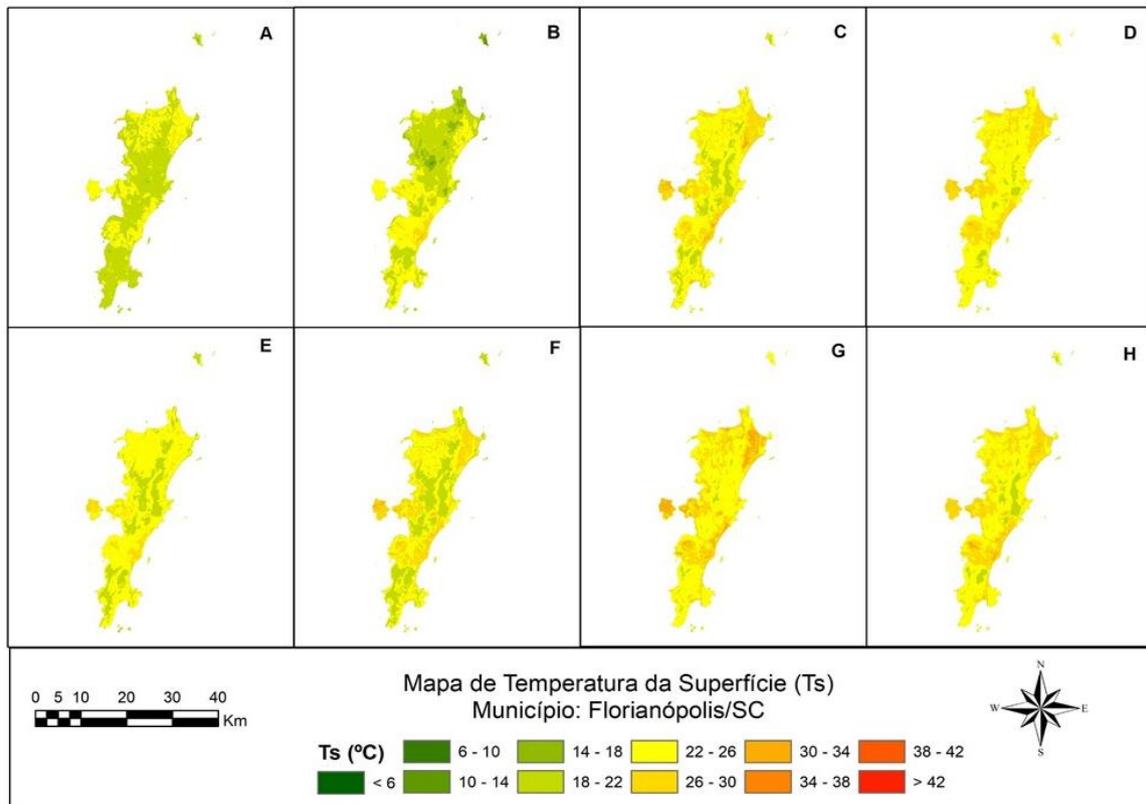


Figura 6. Temperatura da Superfície do Município de Florianópolis, referentes aos anos de A (1986), B (1991), C (1993), D (2000), E (2004), F (2010), G (2014) e H (2019).

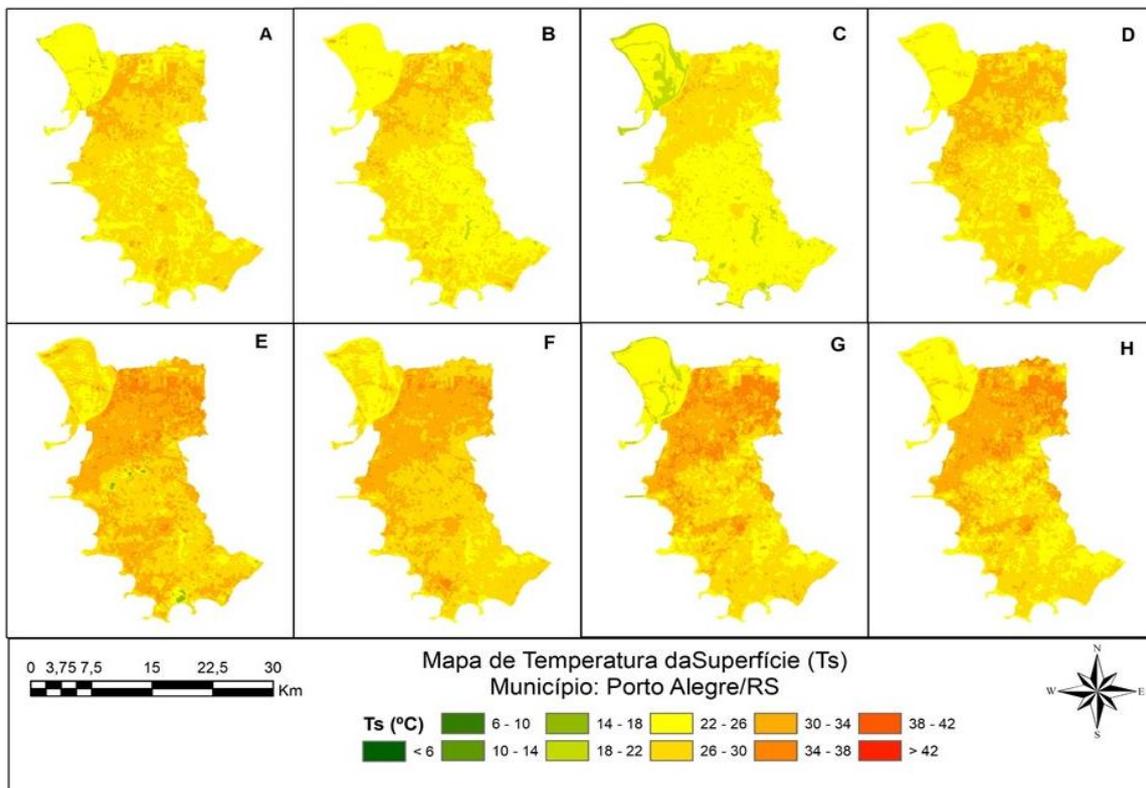


Figura 7. Temperatura da Superfície do Município de Porto Alegre, referentes aos anos de A (1986), B (1990), C (1994), D (1998), E (2005), F (2008), G (2013) e H (2018).

Índice de Desconforto de Kawamura

Os índices bioclimáticos expressam a satisfação dos seres vivos, quando expostos a uma determinada condição ambiental. Segundo a metodologia, as classificações de acordo com esse índice, são de estresse devido ao calor, desconforto devido ao calor, confortável, desconforto devido ao frio e estresse devido ao frio.

Conforme a Figura 8, em Curitiba existe uma intensificação do estresse devido ao calor nos quatro últimos anos, que ocupa a maioria da extensão territorial.

Nos locais que circundam a área urbana é possível observar uma classificação em desconfortável devido ao calor e confortável, em todos os oito mapas, sendo mais acentuado nos quatro primeiros anos.

Na localidade de Florianópolis, fica evidente a classificação em confortável para as áreas arborizadas, sem ocupação antrópica, conforme Figura 9. Com exceção dos dois primeiros anos, a parte continental da cidade de Florianópolis sofreu com desconforto e estresse devido ao calor, sendo que o mesmo aconteceu nas regiões da ilha onde existem constantes processos de transformações do ambiente natural, como em partes do setor norte e sul.

A construção de estabelecimentos, residências e equipamentos urbanos, comunitários e de infraestrutura, contribuíram para que isso acontecesse, já que todos esses locais são turísticos e recebem uma grande quantidade de pessoas, alterando o solo que apesar de tudo, ainda é predominantemente natural.

Em Porto Alegre, os anos com maior ocorrência de desconforto e estresse devido ao calor, foram 2005 e 2008, enquanto o ano de 1994 foi o que menos sofreu esse problema, conforme Figura 10.

Ao longo dos quatro anos analisados foi possível observar que o local com uma maior aglomeração de ambientes urbanizados, sofre mais com o calor do que as demais regiões da cidade.

Assim como na análise de Temperatura da Superfície, não é possível comprovar uma evolução ao longo dos anos, pois as verificações são feitas pontualmente, no determinado momento de passagem do satélite.

Não houve classificações em desconforto ou estresse devido ao frio, em nenhuma das cidades analisadas, já que as datas escolhidas priorizaram os meses das estações mais quentes.

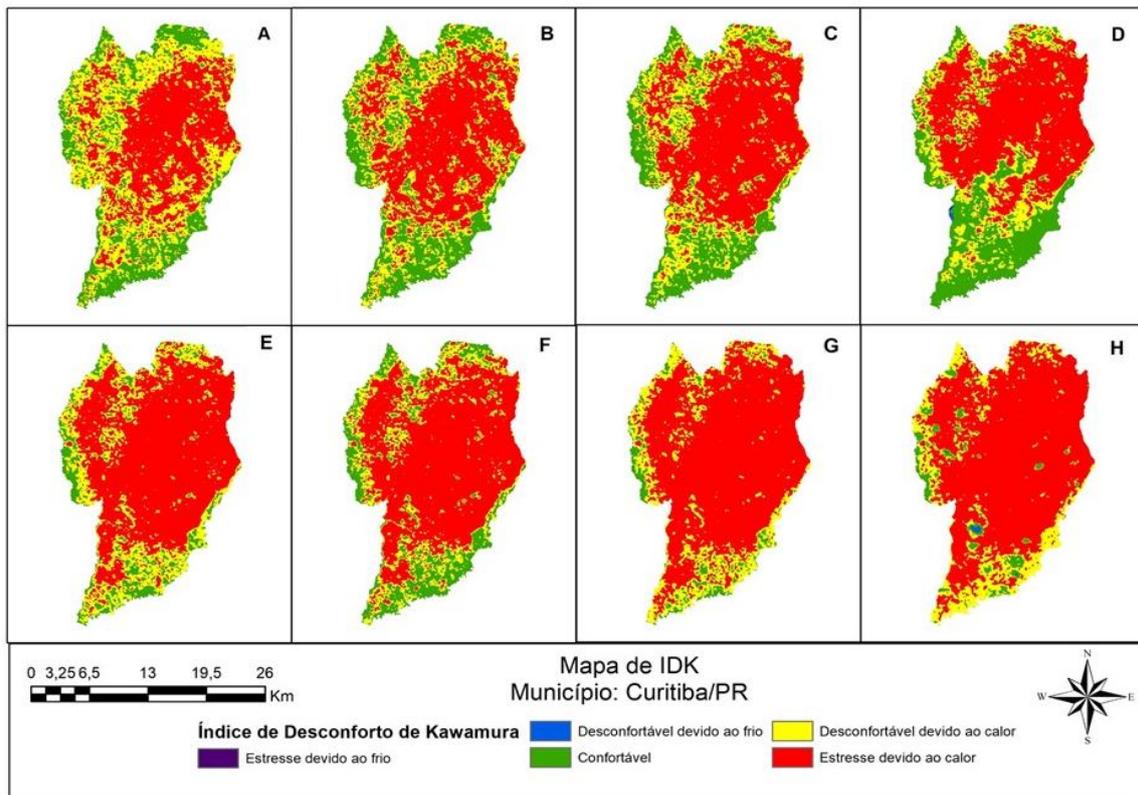


Figura 8. IDK para Curitiba, referentes aos anos de A (1987), B (1993), C (2000), D (2006), E (2009), F (2010), G (2014) e H (2018).

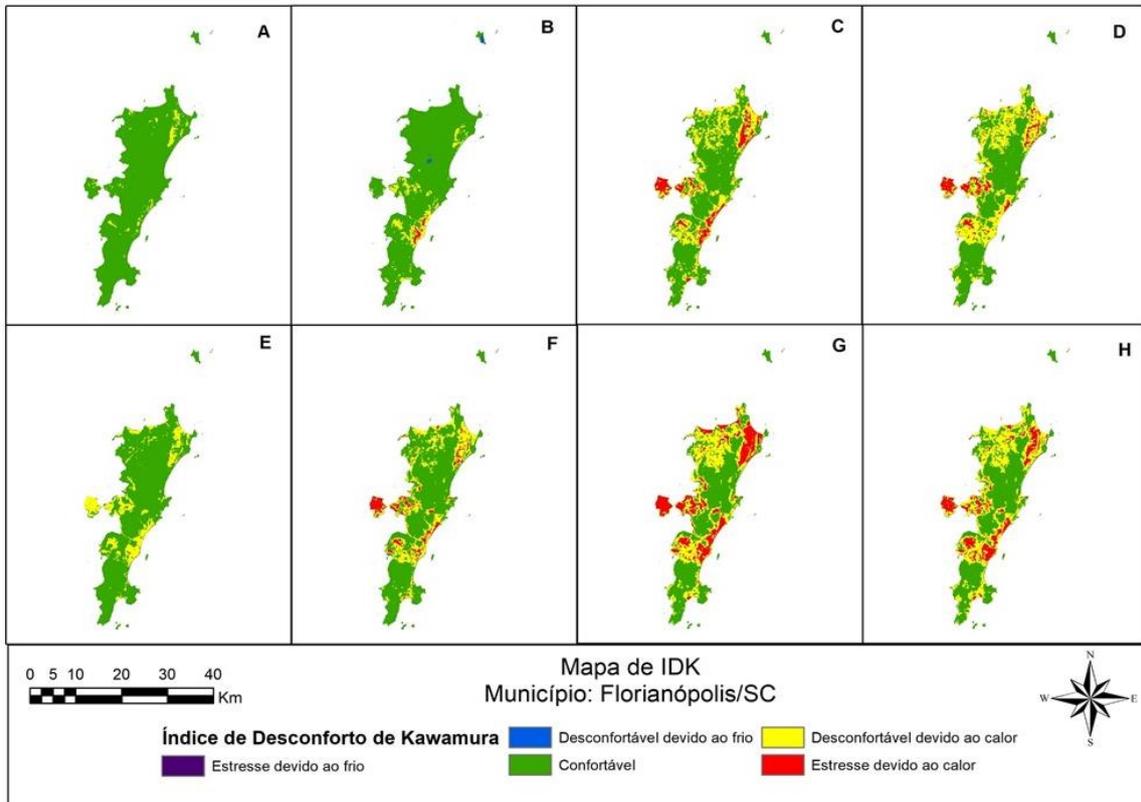


Figura 9. IDK para Florianópolis, referentes aos anos de A (1986), B (1991), C (1993), D (2000), E (2004), F (2010), G (2014) e H (2019).

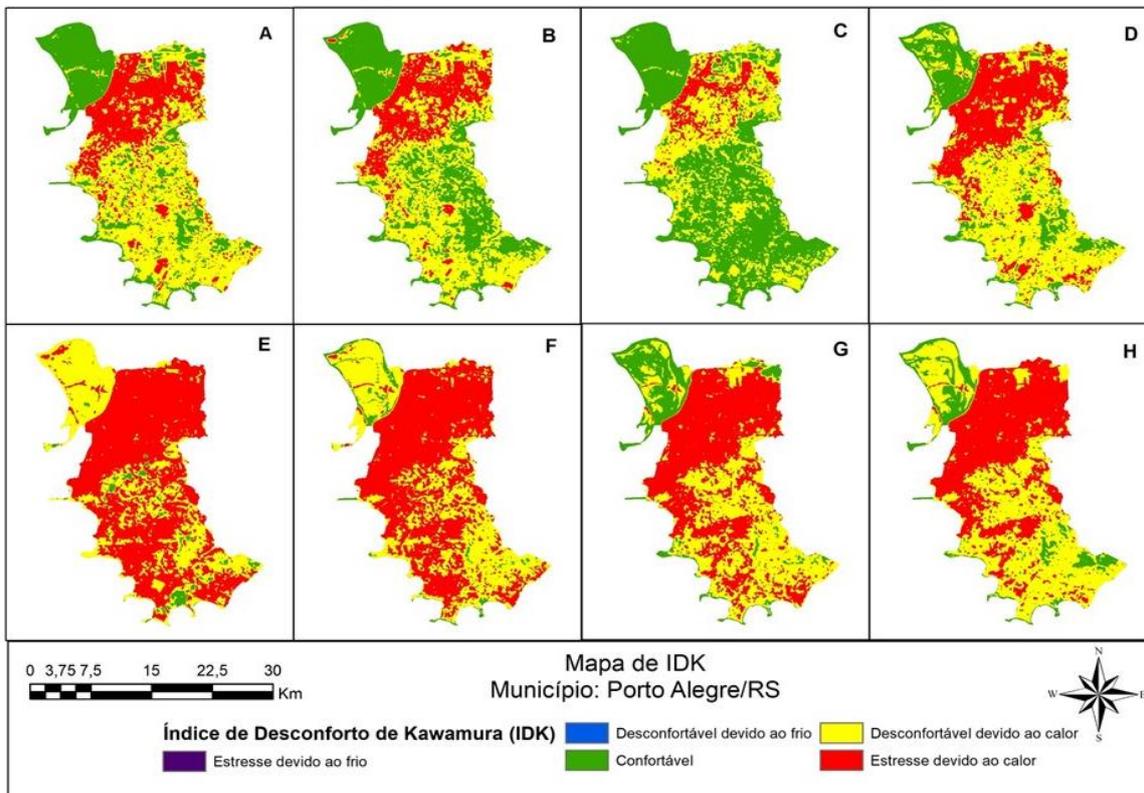


Figura 10. IDK para Porto Alegre, referentes aos anos de A (1986), B (1990), C (1994), D (1998), E (2005), F (2008), G (2013) e H (2018).

Conclusão

Constatou-se que a utilização e aplicação de ferramentas da geotecnologia contribuem para uma compreensão e identificação dos microclimas urbanos.

Nas três cidades percebeu-se uma relação entre as áreas que sofreram processos de urbanização, com as temperaturas mais elevadas e consequentemente, com as sensações térmicas desconfortáveis e estressantes devido ao calor.

Em Curitiba e Porto Alegre, as ICU foram mais fáceis de serem identificadas enquanto que em Florianópolis, a identificação foi menos representativa, em decorrência da oscilação térmica por conta da influência marítima.

A metodologia se mostrou eficiente na identificação das áreas com predominância de ICU e na classificação do conforto térmico, contudo, para uma melhor comprovação da evolução ao longo dos anos, faz-se necessária uma análise mais abrangente, com uma ampliação da série histórica.

Em novos estudos, recomenda-se a utilização de outros índices bioclimáticos, afim de comparação com o índice de desconforto de Kawamura, bem como uma análise para constatar qual deles melhor detalha as condições na região.

Por fim, estudos como esse devem ser desenvolvidos como ferramenta para subsidiar a adoção de diretrizes como planos de arborização para amenizar as temperaturas em ambientes urbanos e também para auxiliar no planejamento das cidades.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade do Estado de Santa Catarina pela infraestrutura e ao Programa de Iniciação Científica da UDESC/CAV pela concessão da bolsa para o primeiro autor durante a realização da pesquisa.

Referências

Andrade, S. F., 1996. Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis. Dissertação (Mestrado). Florianópolis, UFSC.

Araújo, E. D. S., Silva, J. B., Machado, C. C. C. 2016. Identificação de ilhas de calor na cidade de Campina Grande-PB utilizando sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 9, Disponível: [https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/](https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/233670/27248)

[view/233670/27248](https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/233670/27248). Acesso: 03 nov. 2019. DOI: 10.26848/rbge.v9.2.p614-626.

- Barboza, E. N., Neto, F. D. C. B., Caiana, C. R. A., 2020. Sensoriamento remoto aplicado à análise do fenômeno de ilhas de calor urbano na cidade de Vitória, Espírito Santo. *Research, Society and Development* [online] 9, Disponível: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/3655/3916>. Acesso: 10 nov. 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i6.3655.
- Batista, G. V., Orth, D. M., Bortoluzzi, S. D., 2011. Geoprocessamento para determinação de acessibilidade aos equipamentos educacionais como ferramenta de apoio aos estudos de impacto de vizinhança: estudo de caso na planície do Campeche - Florianópolis/SC - Brasil. In: *Inpe, Curitiba. (Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15)*.
- Bezerra, P. E. S., De Moraes, E. T. I., Soares, I. R. da C., 2018. Análise da Temperatura de Superfície e do índice de Vegetação no Município de Belém na Identificação das Ilhas de Calor. *Revista Brasileira de Cartografia* [online] 70. Disponível: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/45701/24643>. Acesso: 10 nov. 2020. DOI: 10.14393/rbcv70n3-45701.
- Costa, R. L., 2017. Cenários Futuros de Mudanças Climáticas e Impactos do Conforto Térmico Humano em Áreas Urbanizadas. Tese (Doutorado). Brasília, Universidade de Brasília.
- Devos, R. V. A., 2007. A "questão ambiental" sob a ótica da antropologia dos grupos urbanos, nas ilhas do Parque Estadual Delta do Jacuí, Bairro Arquipélago, Porto Alegre, RS. Tese (Doutorado). Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- EPA. United States Environmental Protection Agency, 2019. Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies - Urban Heat Island Basics. Disponível: <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>. Acesso: 25 Set. 2019.
- Florenzano, T. G., 2011. Iniciação em Sensoriamento Remoto, 3 ed. Oficina de Textos, São Paulo.
- Giles, B. D., Balafoutis, C., Maheros, P., 1990. Too hot for comfort: the heatwaves in Greece in 1987 and 1988. *International Journal of Biometeorology* 34, 98-104. DOI: 10.1007/BF01093455

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Cidades e Estados: 2019. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html?view=municipio>. Acesso: 25 out. 2019.
- Liebl, B. et al., 2016. Análise Sazonal de Tendência de Temperatura Média do Ar para o Planalto Sul Catarinense. João Pessoa. (Congresso Brasileiro de Meteorologia, 19).
- Lombardo, M. A., 1985. Ilha de Calor nas Metrôpoles. Ed. Hucitec, São Paulo.
- Marengo, J. A. et al., 2009. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. *Climate Dynamics* [online] 35. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-009-0721-6>. Acesso: 29 nov. 2019. DOI: 10.1007/s00382-009-0721-6
- Missenard, H. 1984. Equivalence Thermique dês Ambience. *Chaleur et Industrie*, 24. 159-183.
- Nery, J. T., 2005. Dinâmica climática da Região Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia* [online] 1. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/25233>. Acesso: 10 dez. 2019. DOI: 10.5380/abclima.v1i1.25233.
- Nikolopoulou, M., 2004. Outdoor Comfort. in: Steemers, K., Steane, M. A. (Eds.), *Environmental Diversity in Architecture*. Spon Press, Oxford, pp. 101-119.
- Nikolopoulou, M., Lykoudis, S., 2006. Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. *Building and Environment* [online] 41. Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132305002039>. Acesso: 08 nov. 2019. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.05.031.
- Ono, H. S. P., Kawamura, T., 1991. Sensible climates in monsoon Asia. *International Journal of Biometeorology* [online] 35. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01040962>. Acesso: 10 set. 2019. DOI: 10.1007/BF01040962.
- Prefeitura Municipal de Curitiba, 2019. Meio Ambiente de Curitiba. Disponível: <https://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/meio-ambiente-de-curitiba/182>. Acesso: 28 out. 2019.
- Porangaba, G. F. O., Amorim, M. C. de C. T., 2019. Geotecnologias Aplicadas à Análise de Ilhas de Calor de Superfície em Cidades do Interior do Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [online], 12. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/240229/34358>. Acesso: 20 dez. 2019. DOI: 10.26848/rbgf.v12.6.p2041-2050.
- Rao, P.K, 1972. Remote sensing of urban “heat islands” from an environmental satellite. *Bulletin of the American Meteorological Society* 53, 647-648.
- Rosa, R., 2009. Introdução ao sensoriamento remoto, 7 ed. EDUFU, Uberlândia.
- Rosembach, R., Ferreira, N. J., Shimabukuro, Y. E., Conforte, J. C., 2013. Análise da dinâmica da cobertura vegetal na Região Sul do Brasil a partir de dados MODIS/TERRA. *Revista Brasileira de Cartografia* [online] 62. Disponível: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43718>. Acesso: 20 dez. 2019.
- Salazar, L. F. et al., 2007. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters* [online] 34, Disponível: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007GL029695>. Acesso: 11 dez. 2019. DOI: <https://doi/10.1029/2007GL029695>
- Santiago, D. B., Gomes, H. B., Ferreira, L. S., 2019. Ilha de Calor e a Influência no Conforto Térmico da Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online], 12. Disponível: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/238762>. Acesso: 10 nov. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p213-225>.
- Silva, B. B., Lopes, G. M., Azevedo, P. V. de., 2005. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5 – TM. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 13, 201- 211.
- Souza, N. R., 2001. Planejamento urbano em Curitiba: saber técnico, classificação dos cidadãos e partilha da cidade. *Revista de Sociologia e Política* [online] 16, jun. 2001. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/rsp/article/view/3588/2845>. Acesso: 30 out. 2019.
- Suping, Z., Guanglin, M., Yanwen, W., Ji, L. 1992. Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distance runners. *International Journal of Biometeorology* [online] 36. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01208915>. Acesso: 25 out. 2019. DOI: 10.1007/BF01208915

- Teza, C. T. V., Baptista, G. M. de M., 2005. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. In: Inpe, Goiânia (Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12).
- Thom, E. C., 1959. The discomfort index. *Weatherwise* 12, 57-60. DOI: 10.1080/00431672.1959.9926960.
- USGS. United States Geological Survey, 2019. *Earth Explorer*. Disponível: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso: 25 out. 2019.
- Wrege M.S., Steinmetz S., Reisser J. C., Almeida I.R., 2012. Atlas climático da região Sul do Brasil: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Embrapa, Brasília.