



Diagnóstico do patrimônio ambiental e cultural do Hub Internacional de Desenvolvimento Sustentável (HIDS), em Campinas, São Paulo

PRODUTO 6

RELATÓRIO FINAL DE LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

NATUREZA DO TRABALHO

Caracterização climática (temporal e espacial) da área do Hub Internacional de Desenvolvimento Sustentável (HIDS), Campinas, SP, por meio de produtos de sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

INTERESSADO

Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID



SUMÁRIO

1	2
2	2
3	2
4	3
4.1	3
4.2	5
5	7
5.1	7
5.2	12
5.3	16
6	19

1 APRESENTAÇÃO

A CarbonoZero Consultoria Ambiental apresenta o relatório final contendo a consolidação dos resultados dos estudos de levantamento e caracterização climática da área prevista para o projeto do HIDS – Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável, no município de Campinas, SP.

Este relatório apresenta os resultados dos trabalhos de levantamento e análise de dados, mapeamento e consolidação dos dados obtidos para o projeto de elaboração da caracterização climática da área prevista para o projeto do HIDS – Hub Internacional para o Desenvolvimento Sustentável, no município de Campinas, SP.

Este relatório integra um dos produtos finais propostos pelo Termo de Referência BR-T1430 denominados Produtos 4, 5 e 6 e detalhados a seguir:

- Produto 4 - Relatório final incluindo relatório técnico detalhado e plano ambiental territorial
- Produto 5 - Relatório final de levantamento geotécnico e hidrogeológico
- Produto 6 - Relatório final de levantamento e caracterização climática

2 AQUISIÇÃO, SISTEMATIZAÇÃO E CONSOLIDAÇÃO DE DADOS E DAS BASES CARTOGRÁFICAS

O trabalho consistiu na integração de dados de sensoriamento remoto de fontes diversas e de estação climática de superfície para caracterização climática para a área do HIDS (11,3 milhões de metros quadrados), localizada no município de Campinas, estado de São Paulo.

3 CRITÉRIOS PARA OS SERVIÇOS PRESTADOS

Os serviços prestados seguiram os 5 critérios listados no Termo de Referência, os quais são:

3.1 Como se trata de uma área relativamente pequena, a resolução dos mapas entregues deve obrigatoriamente ser inferior a 100m (preferencialmente igual ou inferior a 30m), utilizando-se para isso os dados observados na estação meteorológica do Cepagri-Unicamp.

3.2 As seguintes variáveis devem obrigatoriamente constar no levantamento, de maneira espacialmente explícitas e georreferenciadas:

- I - Temperatura da superfície e/ou temperatura atmosférica próximo à superfície.
- II - Precipitação
- III - Umidade atmosférica próxima a superfície (dados observados da estação meteorológica do Cepagri-Unicamp)

-
- III - Vento (direção e magnitude) próximo à superfície (dados observados da estação meteorológica do Cepagri).

3.3 Análise das variáveis listadas acima usando o seguinte:

- I - Média anual.
- II - Média mensal (de janeiro a dezembro).
- III - Amplitude de variação diurna (se possível).
- IV - Amplitude de variação sazonal.

3.4 A cobertura temporal (série histórica) para cálculo das variáveis listadas no item 2.2 não poderá ser inferior a 5 anos.

3.5 Use os dados de satélites em alta resolução para as variáveis listadas no item 2.2 podendo, se necessário, fazer modelagem espacialmente explícita destas mesmas variáveis, considerando como condição de contorno os dados observacionais da estação meteorológica do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura - CEPAGRI da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP por se tratar da estação meteorológica mais próxima da área do HIDS.

4 EXECUÇÃO

4.1 PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTUDOS CLIMÁTICOS

A seleção dos produtos de sensoriamento remoto disponíveis para estudos climáticos de temperatura de superfície e precipitação seguiu os seguintes critérios:

- Aplicação já consolidada na literatura científica na escala nacional para estudos de temperatura de superfície e precipitação diária.
- Maior janela temporal da série histórica.
- Prioridade para base de dados mais recentes (ano de 2021)
- Melhor resolução espacial disponível, obrigatoriamente inferior a 100 metros e, preferencialmente, igual ou inferior a 30 metros.

Considerando a resolução espacial necessária para o diagnóstico climático e o objetivo do trabalho, descartou-se a possibilidade de estimativa de precipitação a partir de dados de sensoriamento remoto. Os dados dos sensores disponíveis e consolidados na literatura para estimativas de precipitação apresentam baixa resolução espacial e temporal, assim, seus resultados são incompatíveis com a demanda presente no edital deste projeto. Para esta variável, considerou-se que a base de dados observados, interpolados, com as estações de superfície, apresentam maior robustez para análises de climatologia.

A variável possível de ser analisada via sensoriamento remoto foi a temperatura de superfície, que pode ser utilizada para estimativa das ilhas de calor da área de estudos. Sensores como o Landsat (<https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/>), e produtos de precipitação como o MERGE (ftp://ftp1.cptec.inpe.br/modelos/io/produtos/MERGE/read_me_MERGE.pdf) são alguns exemplos de base de dados que foram exploradas.

A base de dados climáticos observados (de estação de superfície), interpolada em grade de 10 km (Xavier, King & Scanlon, 2013), versão atualizada V3, com resolução de 10 km foi utilizada como referência para os resultados dos dados de sensoriamento remoto que foram levantados. Essa base de dados, embora tenha baixa resolução espacial, é uma importante referência temporal e espacial, para a escala regional, para todas as variáveis de interesse climático e tem sido amplamente utilizada em trabalhos de modelagem ambiental.

Em relação ao levantamento de temperatura de superfície, a partir de dados de sensoriamento remoto, foi realizado um levantamento da base de dados da missão LANDSAT disponível no portal da USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) tendo como base de pesquisa datas de interesse, localização das cenas e qualidade das cenas do banco de dados. Existe disponibilidade das cenas orbitais, já com a correção atmosférica para a área de estudos desde 1985. Essa base de dados já com a correção atmosférica, é denominada de Collection 2. Nesta coleção, considera-se que a refletância da superfície melhora a comparação entre várias imagens na mesma região, levando em consideração os efeitos atmosféricos, como dispersão de aerossol e nuvens finas, que podem ajudar na detecção e caracterização da mudança da superfície da Terra. A refletância da superfície é gerada a partir de entradas de cenas com Nível 1 que atendem à restrição do ângulo solar zenital menor que 76 graus e incluem as entradas de dados auxiliares necessárias para gerar um produto cientificamente viável.

Weng et al. (2004) comprovam que a cobertura de uso das terras é relacionada à emissividade da superfície e, com essa informação, consegue-se estimar a temperatura da superfície (TS). Neste trabalho, utilizamos a metodologia proposta por Wang para transformar os dados das imagens orbitais em dados de TS. A TS foi obtida a partir das equações de 1 a 6, conforme descrita a seguir:

$$LST = T/1 + W * (T/p) * \ln(e) \text{ (Equação 1)}$$

Onde,

T = Temperatura ;

W = Comprimento de onda da radiação (11.5 μm);

p = $h * C / S$ ($1.438 * 10^{-2} \text{mk}$);

h = Constante de Planck's ($6.626 * 10^{-34} \text{Js}$);

s = Constante de Boltzmann ($1.38 * 10^{-23} \text{J/K}$);

C = Velocidade da luz ($2.998 * 10^8 \text{ m/s}$);

p = 14380;

$$T = K2 / \ln(K1 / L\lambda + 1) - 273.15 \text{ (Equação 2)}$$

Onde,

T = At – Temperatura de brilho em Kelvin (K);

Lλ = TOA radiancia espectral ($\text{watts}/(\text{m}^2 * \text{ster} * \mu\text{m})$);

K1 = Banda termal/conversao (banda 10);

K2 = Banda termal/conversao (banda 11);

- 273.15 = Kelvin para Celsius;

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL \text{ (Equação 3)}$$

Onde:

$L\lambda$ = radiância espectral (watts/(m² *ster* μ m));

ML = fator de escala da banda termal;

AL = fator de escala da banda termal;

Qcal = Conversão para nível de cinza;

$$e = 0.004 * P_v + 0.986 \text{ (Equação 4)}$$

Onde:

e = emissividade a partir do NDVI;

P_v = proporção da vegetação

$$P_v = (NDVI - NDVI_{min} / NDVI_{max} - NDVI_{min})^2 \text{ (Equação 5)}$$

NDVI = Índice da diferença da vegetação normalizada

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \text{ (Equação 6)}$$

Onde:

NIR= Canal infravermelho próximo (0.85-0.88 micrometros – Banda 5

R= Canal vermelho (0.64-0.67 micrometros – Banda 4);

As imagens do Landsat 8 foram processadas considerando a janela temporal de 01/12/2013 a 31/03/2022. As imagens com 0% de cobertura de nuvens na área do HIDS foram selecionadas para o cálculo de TS.

4.2 ESTIMATIVAS DAS ILHAS DE CALOR

A substituição da vegetação, a inserção de novos materiais, e a nova rugosidade, possibilitam a configuração de fenômenos como a ilha de calor, em que a temperatura das áreas urbanas se

apresentam mais aquecidas do que o entorno rural, mediante a relação dos novos elementos superficiais com os elementos climáticos (MONTEIRO, 1975; OKE, 1987; AMORIM, 2017).

Todo objeto com temperatura acima de zero grau absoluto (0K) emite energia eletromagnética no infravermelho termal que pode ser mensurada por sensores instalados em satélites (Jensen, 2009). Logo, as alterações nos espaços rurais e urbanos, podem ser aferidas pela temperatura da superfície, por meio de análises como a identificação da ilha de calor de superfície urbana (OKE, 1995). Esse fenômeno ocorre devido às diferenças da temperatura da superfície urbana e do solo rural. As relações das características superficiais de diferentes cidades com a distribuição da temperatura de superfície e as intensidades das ilhas de calor, bem como o papel fundamental da vegetação como ferramenta para atenuar esse fenômeno já foi apresentada por diversos autores (Amorim et al., 2009; Ugeda Júnior, 2011; Rampazzo, 2015; Porangaba e Amorim, 2019).

As ilhas de calor foram estimadas nas escalas anual e sazonal, considerando o intervalo temporal de 2013 a 2021.

Tabela 1: Dados selecionados até o momento para compor os estudos climáticos do HIDS.

Variável	Sensor	Cenas (órbita/ponto)	Data início	Data Final	cenas para download	Resolução espacial	Resolução temporal
TS	Landsat 5 TM	219-076	01/07/1985	15/11/2011	434	30 m	(15 dias) Variável – depende da qualidade da cena
TS	Landsat 7 ETM	219-076	02/08/1999	20/12/2021	461	30 m	
TS	Landsat 8/9 OLI-TIRS	219-76	04/05/2013	28/12/2021	198	30 m	
Tmax, Tmin, R, u2, RH, Pr	Base de dados observados Xavier (V3) (INMET e DAEE)	Grade	1985	2015		10km	diário
Tmax, Tmin, R, u2, RH, Pr	Estação de superfície (Cepagri, IAC, DAEE)	Estação de superfície (Cepagri, IAC, DAEE)	1940	2022		Ponto	diário

Produtos de dados observados para estudos climáticos

A base de dados climáticos observados (de estação de superfície), interpolada em grade de 10 km (Xavier, King e Scanlon, 2013), versão atualizada V3, com resolução de 10 km foi utilizada

para a caracterização climática da área do HIDS. Essa base de dados, embora tenha baixa resolução espacial, é uma importante referência temporal e espacial para o clima recente (1985-2020), para a escala regional, para todas as variáveis de interesse climático e tem sido amplamente utilizada em trabalhos de modelagem ambiental, hídrica, agrícola e energética. Importante salientar que essa base de dados utiliza as estações de superfície do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), DAEE (Departamento de Águas e Esgoto do estado de São Paulo) como base para a interpolação.

Utilizamos, também, os dados observados da estação climatológica do Cepagri-UNICAMP como um referencial para as demais análises realizadas no trabalho. Utilizamos um filtro para selecionar as variáveis observadas que tinham menos de 10% de falhas observadas durante o intervalo analisado. As climatologias das variáveis de interesse foram avaliadas para o intervalo de 2013 a 2022, para ter coerência temporal com os dados estimados por sensoriamento remoto, nas análises das ilhas de calor. Ao aplicar o critério de qualidade de dados observados, avaliamos as variáveis de chuva, temperatura máxima e temperatura mínima.

Utilizamos, também, os dados observados da estação climatológica do IAC como um referencial de longo período para as demais análises realizadas no trabalho. Por ser uma série histórica amplamente utilizada, selecionamos o intervalo temporal recomendado pelos especialistas no tema, conforme literatura (Pereira, Avila, Blain, 2017). As climatologias das variáveis de interesse foram avaliadas para o intervalo de 1970 a 2022, para ter coerência temporal com os dados estimados por sensoriamento remoto, nas análises das ilhas de calor. Avaliamos as variáveis de chuva, temperatura máxima, temperatura mínima.

5 RESULTADOS

5.1 DADOS OBSERVADOS

As figuras 1, 2, 3 e 4 apresentam a climatologia mensal, especialmente explícita, para dados de precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima, velocidade do vento e umidade relativa, calculada para a área do município de Campinas a partir da base de dados observados do Xavier (2016), considerando o intervalo temporal disponível, de 1985-2020.

A figura 1 indica a climatologia mensal da precipitação observada entre 1985-2020. Os meses mais úmidos são dezembro, janeiro e fevereiro, com médias de 300mm/mês. Os meses mais secos são junho, julho e agosto, com média de 40 mm/mês. A distribuição espacial está relacionada à variação de altitude, as regiões mais altas registram maiores valores nos totais mensais.

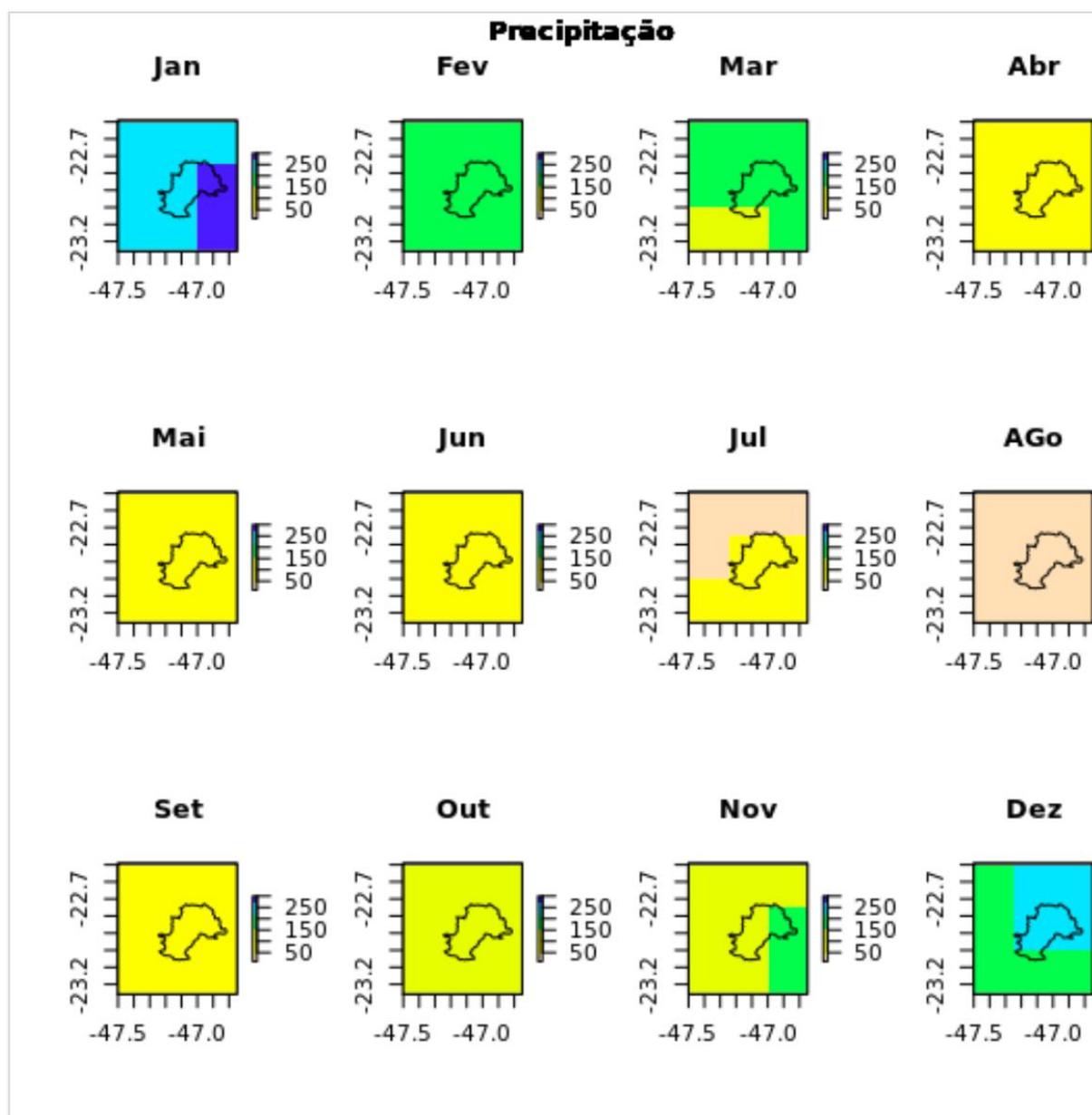


Figura 1: Climatologia mensal da precipitação observada entre 1985-2020 para a área que compreende o município de Campinas (Base de dados diários interpolados do Xavier (2016)).

Diversos estudos têm indicado que os eventos de seca têm se tornado mais frequentes e intensos. Pereira et al. 2018 identificou mudanças nos índices de seca no primeiro trimestre do ano hidrológico (outubro, novembro e dezembro). Getirana et al. (2021) indicou que os corpos de água no território nacional, em especial os do sudeste e do sul estão mais secos que o normal. A intensificação na incidência de secas é considerada uma das maiores ameaças do século 21 e impacta diretamente as relações entre o nexus água, alimento, energia, o tripé da nossa civilização. O AR6 reporta que as mudanças no uso das terras e o aquecimento global estão causando uma cascata de condições de secas persistentes no globo. Por exemplo, perdas de produtividade relacionadas à episódios de secas ocorreram em 75% da área global destinada à agricultura e os efeitos combinados de stress térmico e hídrico reduziram a produtividade média global de milho, soja e trigo em 11.6%, 12.4% e 9.2% respectivamente. Ainda, os cenários mais extremos, porém não improváveis, de mudanças climáticas sugerem que a parte central da

América do Sul terá ocorrência de estação seca mais prolongadas, amplificando ainda mais os impactos que já estão ocorrendo (IPCC, 2021 e 2022, AR6-SPM WGI e WGII).

O aumento na frequência e intensidade das secas indica que medidas de adaptação, que priorizem reuso de água, armazenamento em cisternas entre outras soluções para otimizar o uso da água serão necessárias.

A Figura 2 indica a climatologia mensal da temperatura máxima observada entre 1985-2020. Os meses mais quentes são dezembro, janeiro e fevereiro, com médias de 30°C. Os meses mais secos são junho, julho e agosto, com médias de 20°C. A distribuição espacial está relacionada à variação de altitude, as regiões mais altas registram menores valores de temperatura máxima.

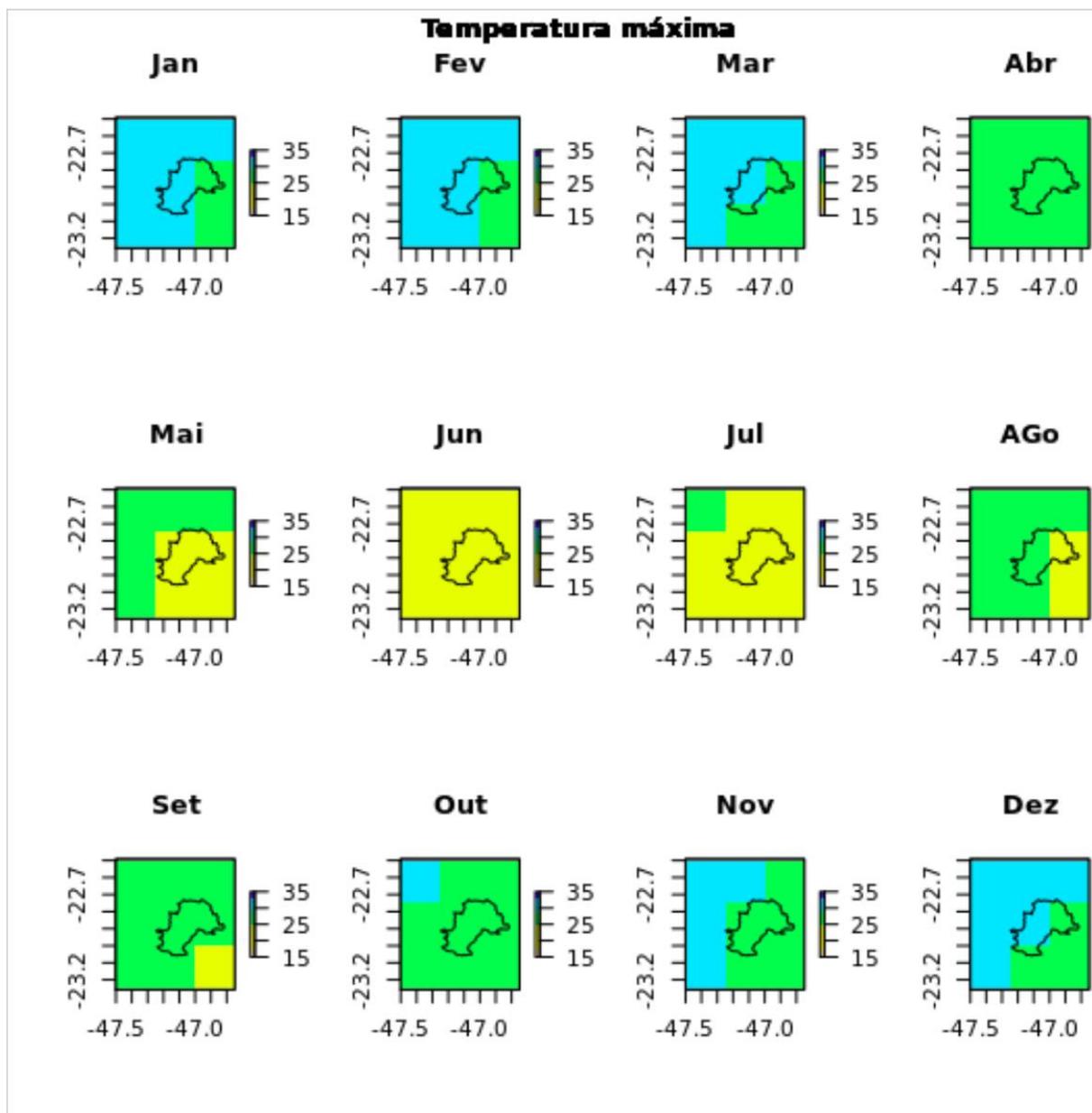


Figura 2: Climatologia mensal da temperatura máxima observada entre 1985-2020 para a área que compreende o município de Campinas (Base de dados diários interpolados do Xavier (2016)).

A Figura 3 indica a climatologia mensal da temperatura mínima observada entre 1985-2020. As mínimas no verão (dezembro, janeiro e fevereiro) tem médias de 20°C. Os meses mais frios são

junho, julho e agosto, com médias de 14°C. A distribuição espacial está relacionada à variação de altitude, as regiões mais altas registram menores valores de temperatura mínima.

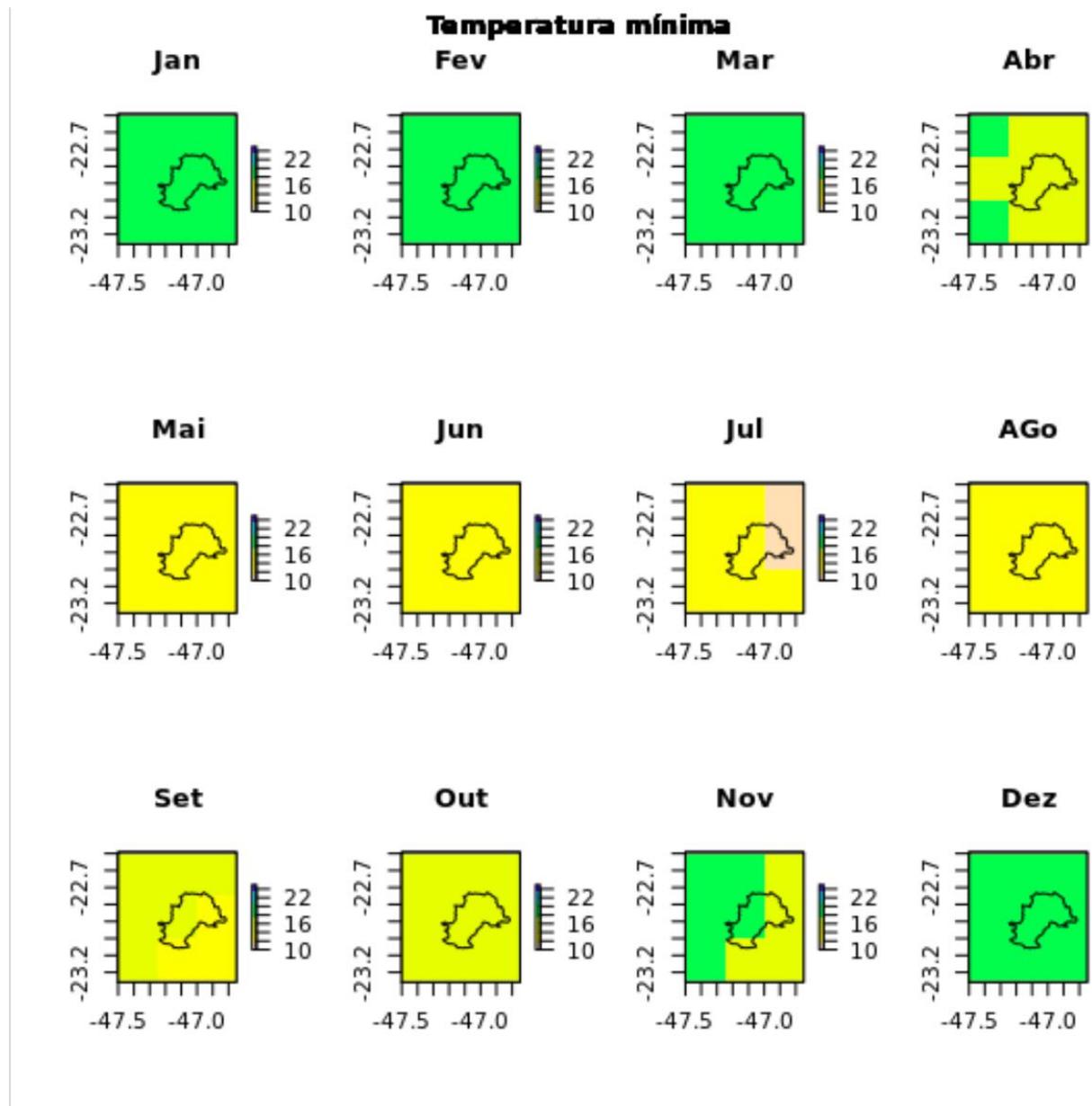


Figura 3: Climatologia mensal da temperatura mínima observada entre 1985-2020 para a área que compreende o município de Campinas (Base de dados diários interpolados do Xavier (2016)).

A Figura 4 indica a climatologia mensal da velocidade do vento à 2 metros de altura, observada entre 1985-2020. Os meses com maior incidência de ventos vão de agosto a janeiro. A região apresenta médias mensais similares, com ventos de 2 m/s (ou 7,2 km/h). A direção predominante é SE (sudeste) (BARBANO, BRUNINI e PINTO, 2003) e pode estar relacionada com os centros de alta pressão dos oceanos Atlântico e Pacífico, que originam ventos NE, E e SE (TUBELIS & NASCIMENTO, 1992). A direção e velocidade predominante do vento pode definir a direção de poluentes e focos de incêndios propagados pelos ventos.

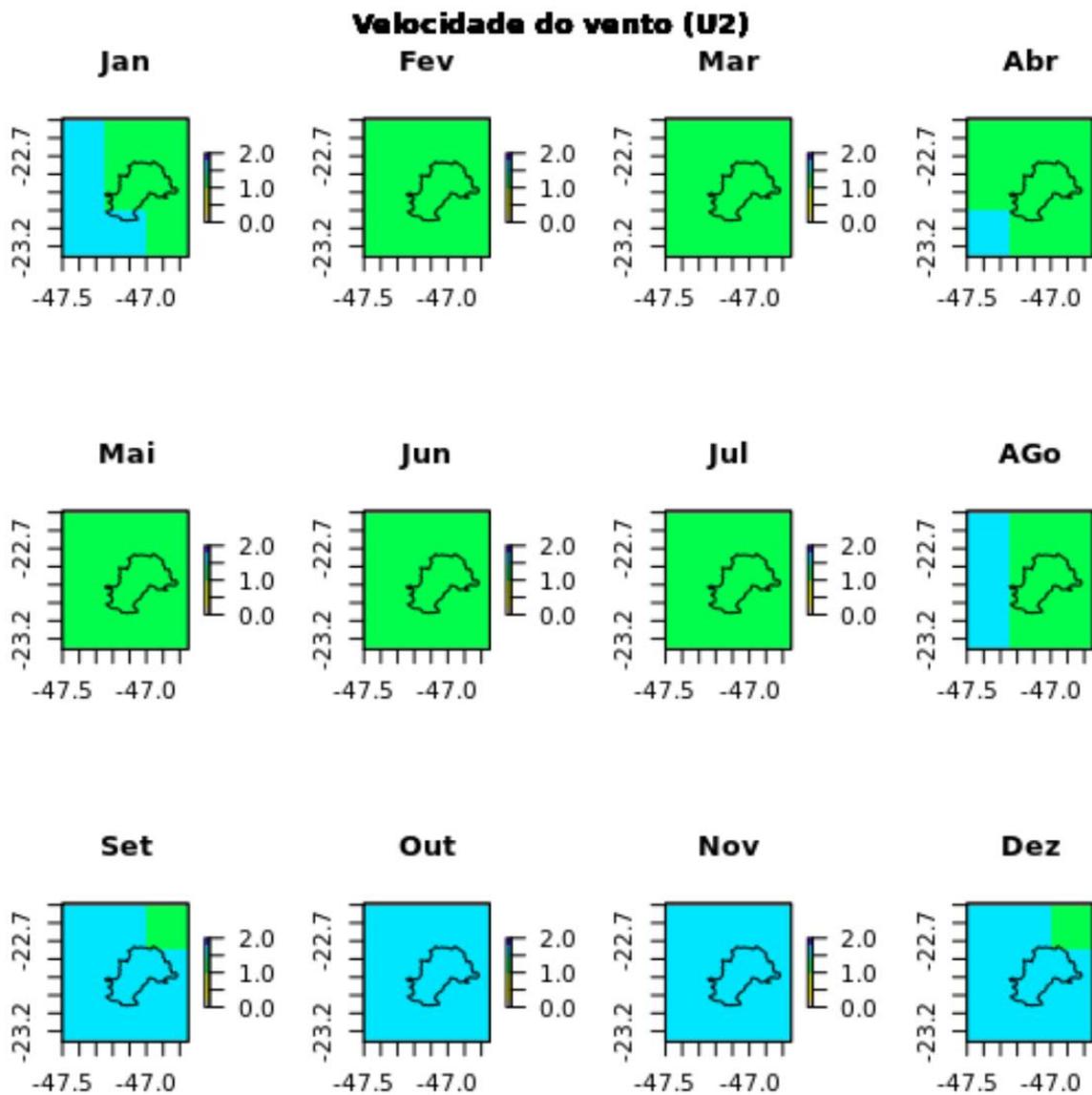


Figura 4: Climatologia da velocidade do vento (1985-2020).

O vigor da vegetação influencia nas temperaturas de superfícies, nas relações entre calor sensível e calor latente. A presença de vegetação reduz as temperaturas de superfície quando comparada com áreas impermeáveis, em função da evapotranspiração da planta.

Na primavera, época mais seca em relação ao verão, predomina o calor sensível, devido à menor umidade no ar. Nessas condições de menor umidade do ar, a radiação solar influencia mais diretamente a temperatura.

No verão, por ter mais umidade, predomina o calor latente, devido à evapotranspiração das plantas. A fase líquida da água passa para vapor ela consome em torno de 590 caloria/grama.

5.2 PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTUDOS CLIMÁTICOS

As figuras 5 a 7 apresentam os resultados das ilhas de calor, na escala anual, a partir das imagens do Landsat 8, considerando a janela temporal de 2013 a 2022.

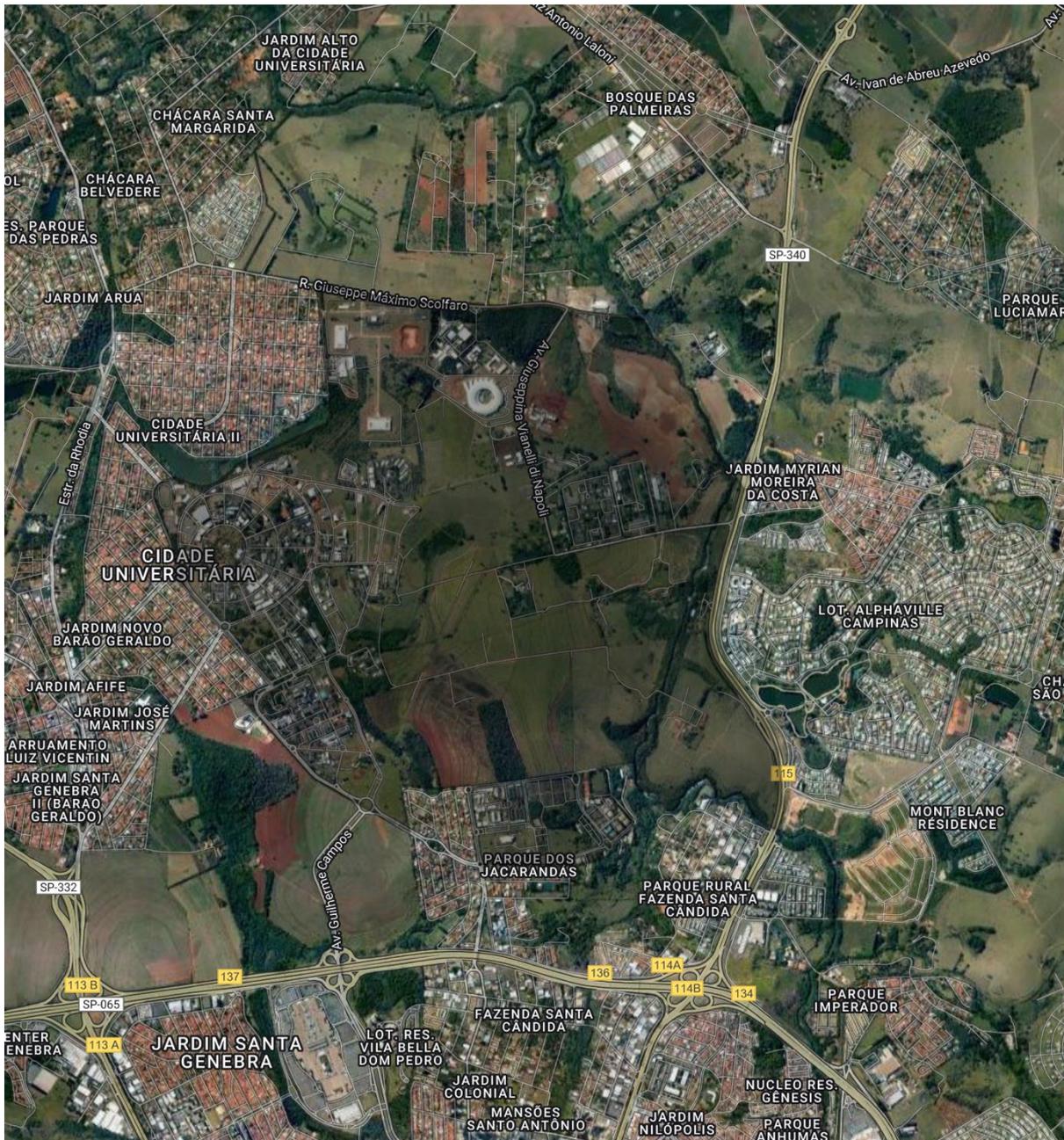


Figura 5: Mosaico com composição colorida de sensor orbital obtida pelo google maps com sobreposição da área do HIDS.

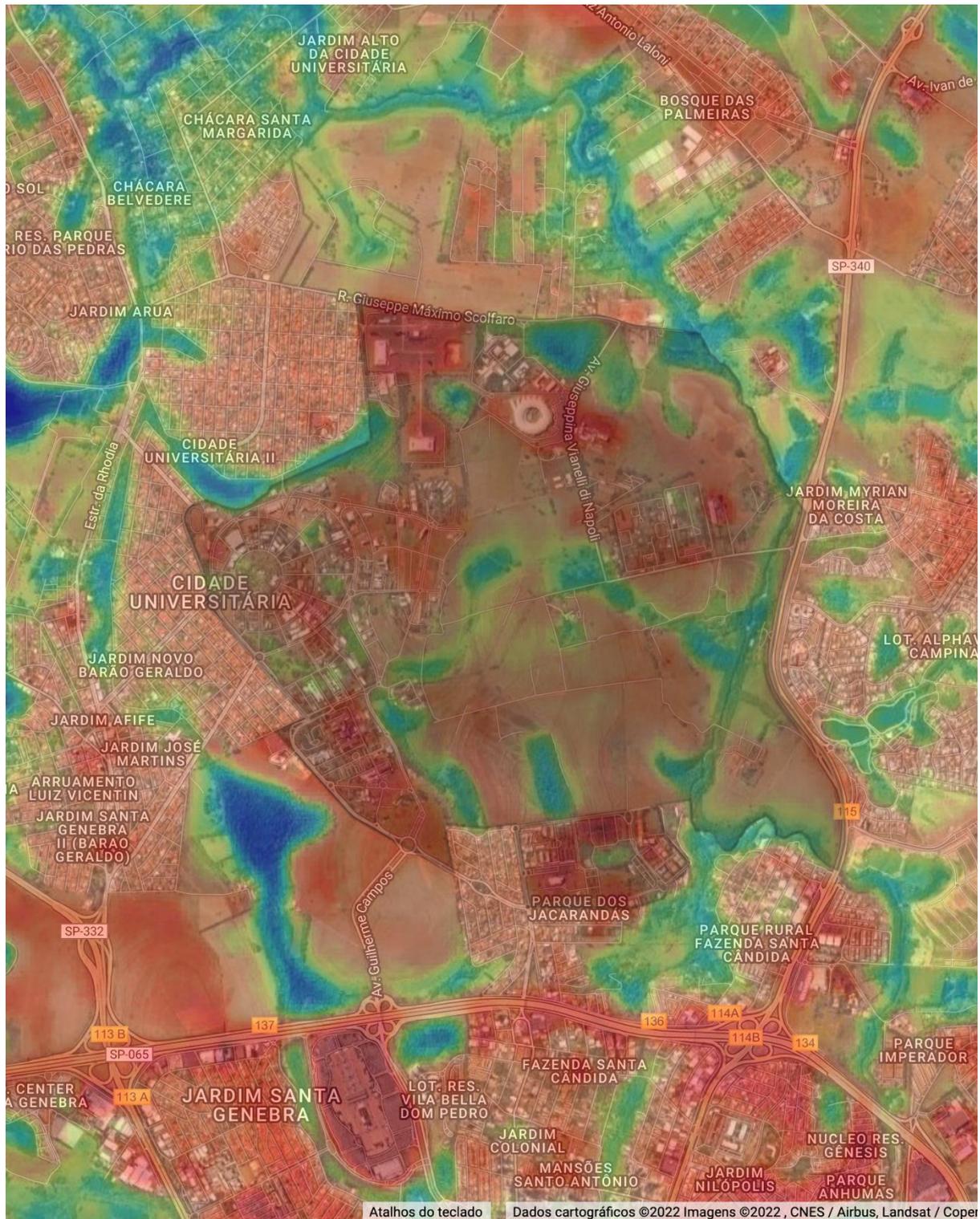


Figura 6: Sobreposição das ilhas de calor estimadas a partir do Landsat 8 com a composição de imagens orbitais do google maps. A faixa com as medianas das TS estimada na área do HIDS é de 30 a 21 °C. A coloração vermelha representa a faixa de temperatura de 30°C e a azul de 21°C.

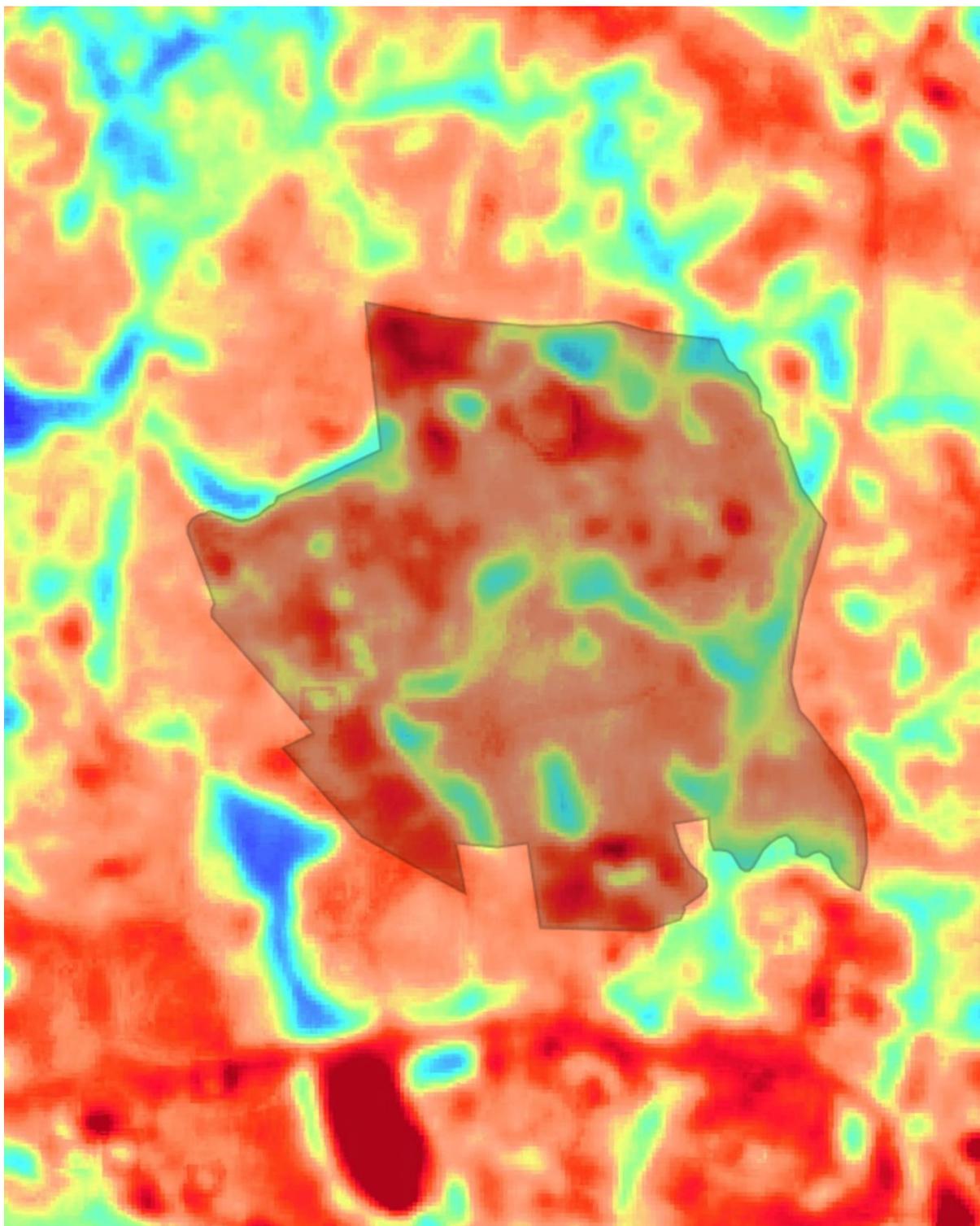


Figura 7: Ilhas de calor a partir das TS(s) estimada pelo sensor Landsat8 no período de 2013 a 2021.

É evidente o gradiente termal no mapa com a mediana das TS(s) estimadas pelo sensor Landsat8 durante o intervalo analisado. A relação da distribuição espacial da TS também fica evidente com as classes de uso das terras na região. As menores faixas de temperatura (aproximadamente 21 °C) se concentram na região que possui cobertura vegetal de Mata e capoeirão, lagos e fundos de vale vegetados, enquanto as regiões com solo exposto e áreas impermeáveis, apresentam as maiores faixas de temperatura de superfície (Aproximadamente 30°C).

O resultado indica que existe uma evidente variabilidade espacial na distribuição das ilhas de calor, com variação das temperaturas de superfície de aproximadamente 9 °C. Tais variações de temperatura não são captadas por estações de dados observados no campo. O gradiente das ilhas de calor indica a influência das ações antrópicas nas temperaturas de superfície.

A figura 8 indica a variação sazonal das ilhas de calor durante o intervalo analisado.

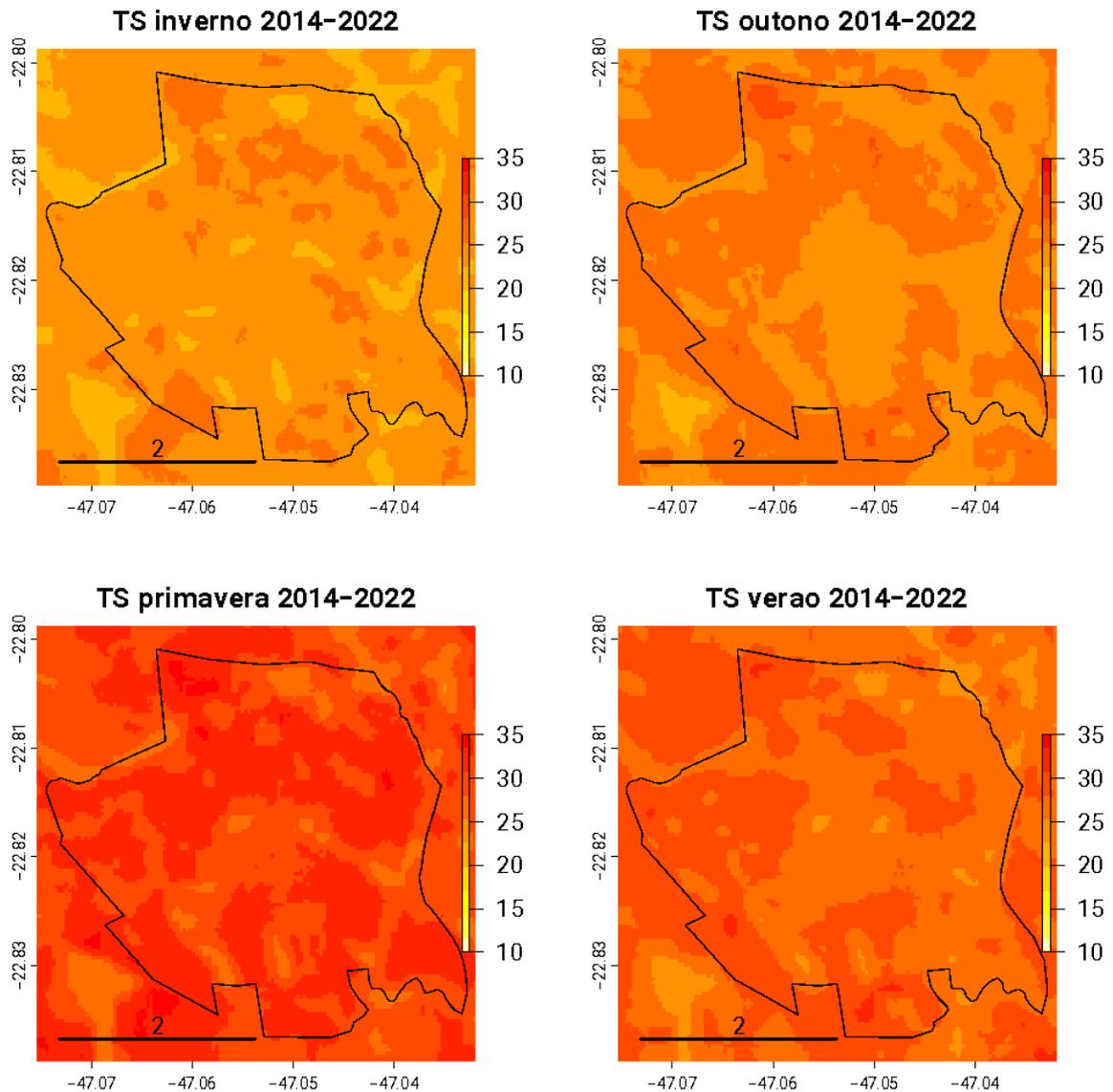


Figura 8: Ilhas de calor estimadas a partir do sensor Landsat8 para as estações do ano (inverno, outono, primavera e verão) durante o intervalo de 2013-2022.

Tabela 2: Gradiente de temperatura de superfície estimada pelos dados do sensor Landsat 8 no intervalo de 2013 a 2022 para as estações do ano.

ESTAÇÃO DO ANO	GRADIENTE DE TEMPERATURA (°C)
VERÃO (DJF)	14.8
OUTONO (MAM)	12.9

INVERNO (JJA)	13.9
PRIMAVERA (SON)	14.3

5.3 PRINCIPAIS ACHADOS CLIMÁTICOS

O HIDS está inserido em região com uso das terras em transição entre urbano e rural. Os gradientes encontrados nas ilhas de calor estão relacionados diretamente com o uso do solo, com a atividade fotossintética da vegetação, condições de stress hídrico e altimetria. Nas regiões com presença de matas e corpos d'água as temperaturas de superfície são mais amenas do que nas áreas impermeabilizadas em todas as estações do ano. Porém, foi identificada uma sazonalidade na distribuição espacial das ilhas de calor, que se justifica, em parte, pelo vigor da vegetação e condições de stress hídrico. No verão, o gradiente de TS é de aproximadamente 7 °C, enquanto no inverno é de 5°C. A primavera apresentou os maiores valores de TS em relação às outras estações do ano. A primavera é um período mais seco em relação ao verão, e, assim, com menor umidade no ar. No período mais seco, a radiação solar influencia mais diretamente a temperatura de superfície e, assim, a ocorrência de calor sensível é predominante. Isso indica, mais uma vez, a importância da vegetação para regular as temperaturas de superfície nos meses mais secos com alta incidência de radiação.

As cidades com maior proporção de áreas verdes urbanas parecem mais propensas a estar em melhor posição para lidar e se adaptar às pressões impostas pelos efeitos das ilhas de calor. Da mesma forma, as cidades são mais vulneráveis ao efeito da ilha de calor sempre que o ambiente urbano é densamente construído e as áreas verdes não são tão proeminentes (Leal Filho et al., 2021).

As maiores velocidades do vento a 2 metros (u_2) predominam nos meses de agosto a janeiro. A região apresenta médias mensais similares, com ventos de 2 m/s (ou 7,2 km/h). A direção predominante é SE (sudeste) (BARBANO, BRUNINI e PINTO, 2003) e pode estar relacionada com os centros de alta pressão dos oceanos Atlântico e Pacífico, que originam ventos NE, E e SE (TUBELIS & NASCIMENTO, 1992). A direção e velocidade predominante do vento pode definir a direção de poluentes e focos de incêndios propagados pelos ventos. Esta é uma informação relevante na região pois há registros de queimadas e incêndios dentro e nos arredores da área do HIDS, com uma mancha marcante ao longo do Rodovia de Mogi Mirim (SP-340) durante os meses mais secos: Junho, Julho e Agosto.



Figura 9: Cicatrizes de fogo de 1985 a 2020 registradas pelo Mapbiomas para o município de Campinas. As cicatrizes de fogo estão representadas em vermelho em sobreposição à uma composição colorida do território. O círculo na coloração laranja dá destaque a área do HIDS.

O conceitual teórico indica que quanto mais baixa a umidade relativa do ar maior será a amplitude térmica diária de temperatura, ou seja, as maiores amplitudes ocorrem no período mais seco, i. e. outono e inverno para a região do HIDS. Nos meses mais secos, ocorre perda radiativa noturna. A umidade média mensal nos meses mais secos é em torno de 65%, com valores que podem atingir 12 a 20%. Quando a umidade atinge menos de 20% é considerado estado de alerta, pois aumenta o risco de incêndios, doenças respiratórias e crise hídrica.

Importante destacar que o município de Campinas tem uma série de estudos que identificaram aumento de eventos extremos nas séries históricas de dados climáticos observados a partir de 1970 (Pereira, et al., 2018; Koga-Vicente, 2005; Castellano & Nunes, 2009, Bezerra & Avila, 2020). Houve um diagnóstico de aumento das ondas de calor, chuvas extremas e intensificação das secas.

Ainda, os modelos climáticos globais (MCGs) do AR6 (Sexto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) indicam aumento de eventos extremos para a região sudeste do Brasil, na qual a área do HIDS está inserida. Os cenários de mudanças climáticas, em diferentes trajetórias socioeconômicas, indicam aumento nos eventos extremos de chuva e temperatura máxima e mínima. A região de Campinas registrou aumentos nas precipitações máximas diárias (RX-1day) de 4.5% no cenário ssp1.2-6 e de 22.2% no ssp5.8-5. Em todos os cenários de mudanças climáticas, os SSPs (Shared Socio economic Pathways/Caminhos Socioeconomicos Compartilhados), foram observados aumentos na probabilidade de ocorrência e nos valores de eventos extremos de precipitação e temperatura máxima, conforme indica a figura 10. Quanto menos sustentável a trajetória, maior a probabilidade de frequência de eventos extremos.

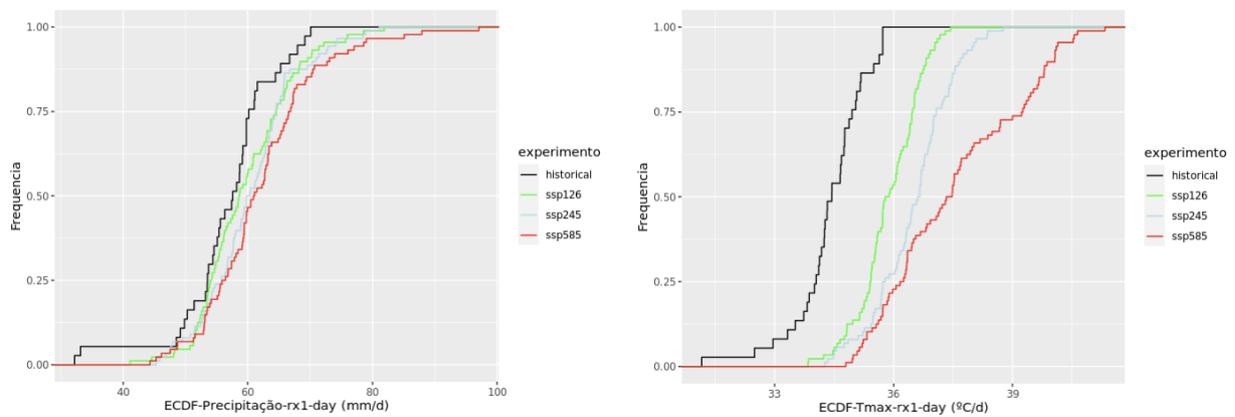


Figura 10: Frequência de eventos extremos de precipitação máxima diária (a) e temperatura máxima diária (b) para os dados observados e para os cenários de mudanças climáticas do sexto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (AR6). A linha preta representa os dados observados de 1985 a 2015 e as linhas verde, azul e vermelha os ssps 1.2-6, 2.4-5 e 5.8-5, respectivamente. Fonte: Dados de 11 modelos climáticos globais do CMIP6 com viés corrigido gentilmente cedido pela Embrapa-Agricultura Digital.

- **Recomendações**

A literatura indica que a alta urbanização e a falta de cobertura vegetal contribuem com a formação de ilhas de calor e comprometem a provisão de serviços ecossistêmicos de regulação climática para a sociedade. Além disso, o aumento de eventos extremos de precipitação e temperatura do ar tem sido relacionado aos aumentos de doenças respiratórias e de veiculação hídrica (dengue), problema recorrente nos principais centros urbanos do país, incluindo o município de Campinas.

Embora neste trabalho observamos que existe uma diferença nas médias de temperaturas de superfície estimadas por sensoriamento remoto nos locais com ocorrência de vegetação, não temos elementos de campo suficientes para definir e quantificar tal relação. Não há estações meteorológicas distribuídas nas diferentes unidades de paisagem, relevo e classes de uso das terras na área de interesse do HIDS.

Tal relação entre os diferentes usos das terras e seu papel na regulação climática para a área do HIDS só seria possível caso tivesse um monitoramento climático contínuo, de longo prazo, para acompanhar a evolução da variação da temperatura do ar, qualidade do ar, entre outras variáveis, conforme as modificações da paisagem da área do HIDS. A área do HIDS se apresenta como uma oportunidade única para monitoramento das variáveis climáticas para monitorar a relação entre mudanças de uso das terras e microclima de uma área cuja proposta é de baixo impacto ambiental. O monitoramento contínuo seria uma grande contribuição para estudos de mudanças ambientais globais.

Os cenários de mudanças climáticas indicam que os eventos extremos serão mais intensos e frequentes na região de Campinas. Para que a área do HIDS esteja de acordo com as estratégias de enfrentamento das mudanças climáticas, recomendamos que as construções devam priorizar o conforto térmico, aproveitamento de energia solar, captação de água das chuvas, reuso de água cinza, entre outras medidas de adaptação que contribuem para manutenção e regulação climática e hídrica. Algumas medidas podem ser citadas como exemplo, como a ventilação cruzada para reduzir uso de energia com ar condicionado; estabelecer/manter/preservar áreas verdes; incluir soluções baseadas na natureza como medida de adaptação para reduzir ilhas de calor; aumentar a capacidade de infiltração e retenção de água nos solos, reservação de água,

captação de água das chuvas, instalação de painel fotovoltaico para aproveitamento de energia solar, reuso de águas cinza, hortas urbanas, sistemas agroflorestais, entre outras medidas.

6 REFERÊNCIAS

Amorim, M.C.d.C.T.; Dubreuil, V. Intensity of Urban Heat Islands in Tropical and Temperate Climates. *Climate* **2017**, 5, 91. <https://doi.org/10.3390/cli5040091>

Barbano, Brunini & Pinto. Direção predominante do vento para a localidade de Campinas – SP. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 123-128, 2003.

Bezerra, LM.; Avila, AMH. SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF SURFACE TEMPERATURE, LAND USE AND LAND COVER CHANGE: A CASE STUDY IN CAMPINAS, BRAZIL . *Revista Brasileira de Climatologia*, 2021. ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

[CASTELLANO, M. S.](#) ; [NUNES, L. H.](#) . Distribuição das Precipitações Extremas nos Dias da Semana na Região Metropolitana De Campinas _(Sp_). *Ravista Geonorte*, v. 1, p. 942-952, 2012.

FONTOLAN, M et al. Using climate change models to assess the probability of weather extremes events: a local scale study based on the generalized extreme value distribution. *Bragantia*, Campinas , v. 78, n. 1, p. 146-157, Mar. 2019 . Available from <http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052019000100146&lng=en&nrm=iso>. access on 13 May 2022. Epub Feb 11, 2019. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2018144>.

Getirana, A.; Libonati, R.;Cataldi, M. Brazil is in water crisis — it needs a drought plan. *Nature*. Vol. 600. 2021.

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:[10.1017/9781009157896.001](https://doi.org/10.1017/9781009157896.001).

IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

KOGA-VICENTE, A. ; NUNES, L. H. . Extreme precipitation events in Campinas. *Terrae (Campinas)*, v. 1, p. 60-63, 2004.

LealFilho,W.;Wolf,F.; Castro-Díaz, R.; Li, C.; Ojeh, V.N.; Gutiérrez, N.; Nagy, G.J.; Savic´, S.; Natenzon, C.E.; Quasem Al-Amin, A.; et al. Addressing the Urban Heat Islands Effect: A Cross-Country Assessment of the Role of Green Infrastructure. *Sustainability* **2021**, 13, 753. <https://doi.org/10.3390/su13020753>

Monteiro, CAF. Teoria e clima urbano. São Paulo, USP, 1976.

OKE, TR. Boundary Layer climates. London, Methuen Halsted Press Book, 1978. 372 p.

OLIVEIRA, D. S. et al. Hotter, Longer and More Frequent Heatwaves: An Observational Study for the Brazilian City of Campinas, SP. **Rev. bras. meteorol.**, São Paulo , v. 36, n. 2, p. 305-316, June 2021 . Available from <http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862021000200305&lng=en&nrm=iso>. access on 13 May 2022. Epub May 07, 2021. <https://doi.org/10.1590/0102-77863620119>.

Pereira, V. R. et al. Impacts of climate change on drought: changes to drier conditions at the beginning of the crop growing season in southern Brazil. *Bragantia* [online]. 2018, v. 77, n. 1 [Accessed 12 May 2022] , pp. 201-211. Available from: <<https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017007>>. Epub 18 Dec 2017. ISSN 1678-4499. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017007>.

Weng, Q.; Lu, D. & Schubring, J. 2004. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*, Elsevier Science Inc., Box 882 New York NY 10159 USA, 89, 467-483.

Xavier, A.C., King, C.W. and Scanlon, B.R. (2016), Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). *Int. J. Climatol.*, 36: 2644-2659. <https://doi.org/10.1002/joc.4518>