



VI-623 - AVALIAÇÃO DO AQUECIMENTO NA CIDADE DE LONDRINA – PARANÁ E A RELAÇÃO COM USO E COBERTURA DO SOLO

Marcelo Hidemassa Anami⁽¹⁾

Engenheiro Agrônomo pela Universidade Estadual de Londrina. Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá.

Ligia Flávia Antunes Batista⁽²⁾

Bacharel em Ciência da Computação pela Universidade Estadual de Londrina. Mestre em Informática pela Universidade Federal do Paraná. Doutora em Ciências Cartográficas pela Universidade Estadual Paulista (FCT-UNESP).

Yasmin Santos Alves⁽³⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Londrina.

Arthur Akio Miyazaki Yonekura⁽⁴⁾

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Londrina.

Endereço^(1, 2, 3, 4): Av. Dos Pioneiros, 3131 Jardim Morumbi – Londrina - PR - CEP: 86036-370 - Brasil - Tel: (43) 3315-6100 - e-mail: mhanami@utfpr.edu.br, ligia@utfpr.edu.br, yasminsantosalves@alunos.utfpr.edu.br, arthurvonekura@alunos.utfpr.edu.br.

RESUMO

As mudanças climáticas que estão ocorrendo globalmente afetam de maneira direta a vida na Terra. Reconhecer localmente como estão ocorrendo é fundamental para a tomada de decisão de ações de curto, médio e longo prazo. Assim, este trabalho teve por objetivo analisar a temperatura média, máxima e mínima de Londrina ao longo do período compreendido entre 1985 e 2023, além de verificar qual o uso e a ocupação do solo no mesmo período, aprofundando a compreensão sobre os efeitos do aquecimento global e variação térmica no município. Os dados de temperatura do ar foram obtidos do Aeroporto de Londrina. Foram comparadas as temperaturas, médias, máximas e mínimas, agrupadas por décadas: 1980, 1990, 2000, 2010 e 2020. O uso e ocupação do solo foram avaliados, além do crescimento populacional no período. Os resultados mostraram um aumento da temperatura média, máxima e mínimas em 1,3°C, 2,15°C e 0,62°C respectivamente. O aumento populacional foi de 84,28%, a ocupação do solo teve aumento de infraestrutura urbana (de 2,5% para 6,6%), áreas agrícolas (de 29,6% para 47,3%), e formação de florestas (de 14,5% para 18,6%). Conclui-se que o aumento temperatura ocorreu no ponto de coleta de dados, e esta teve uma correlação com o aumento da infraestrutura urbana e de áreas agrícolas que não foram compensadas pelo aumento das formações florestais observadas no entorno. As informações obtidas neste estudo, podem ajudar os gestores municipais na tomada de decisão a respeito de aspectos fundamentais que impactam o dia-a-dia das pessoas, assim como as ações de longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE: Mudanças climáticas; infraestrutura urbana; crescimento populacional; formação de florestas; áreas agrícolas

INTRODUÇÃO

A expansão da produção impulsionada pela Revolução Industrial a partir do final do século 18 provocou um significativo aumento na emissão dos gases de efeito estufa (GEE). Esse aumento resultou, em grande parte, do fato de que muitas das máquinas inventadas durante esse período eram alimentadas pela queima de combustíveis fósseis, resultando, principalmente, na liberação de dióxido de carbono e metano (WWF, 2024).



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL



Dados do Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) apontam que de 2010 a 2019 os índices de emissões de GEE foram os mais altos já registrados em todos os principais setores, atingindo cerca de 59 gigatoneladas de dióxido de carbono em 2019. Ainda que os países cumpram seus compromissos climáticos, estudos do IPCC (2023) concluem que há mais de 50% de chance da temperatura global atingir 1,5 °C entre 2021 e 2040 e, em um cenário de emissões ainda mais altas, entre 2018 e 2037, quando comparados com as temperaturas em meados do Século XIX.

O crescimento da população implica um aumento exponencial do consumo per capita de energia e de recursos, em razão da ocorrência de mais carros nas ruas, de mais queima de combustíveis fósseis, da exigência de mais comida, maiores taxas de desmatamento e do aumento final da temperatura global (CARNEIRO et al., 2009).

O crescimento acelerado das áreas urbanas, a diminuição das zonas verdes e a expansão das estruturas verticais, juntamente com o aumento considerável de materiais com alta capacidade de retenção de calor, reduzem a transferência de calor nas ruas e aumentam a temperatura do ar. Essas alterações fazem com que a temperatura da área central urbana seja maior em relação às áreas vizinhas, fenômeno conhecido como ilhas de calor (TARGINO et al., 2013).

O município de Londrina, é uma cidade de 555.965 habitantes (IBGE, 2022), localizada no Norte Pioneiro do Paraná (lat. -23,37°, long. -51,17°). Foi fundada em 1934 em uma área de floresta estacional semidecidual, erradicada pela cafeicultura. A partir da década de 1960, sofreu uma rápida e intensa urbanização, experimentando assim os efeitos do aumento da densidade populacional (CHIES; YOKOO, 2012).

Considerando a condição da cidade de Londrina, a proposta deste estudo foi analisar a temperatura média, máxima e mínima da cidade ao longo do período compreendido entre 1985 e 2023, além do uso e ocupação do solo no mesmo período, aprofundando a compreensão sobre os efeitos do aquecimento global e variação térmica no município.

MATERIAIS E MÉTODOS

O levantamento foi realizado no município de Londrina que, segundo a classificação climática de Köppen, apresenta clima subtropical úmido, com verões quentes e geadas pouco frequentes. Os dados de temperatura do ar foram obtidos do Aeroporto de Londrina, com as coordenadas: long. -51.13344°, lat. -23.333056° e alt. 566 m, dos anos de 1985 a 2023 (IEM, 2024). Na carta-imagem da Figura 1 visualiza-se parte do limite político do município, o perímetro urbano e a localização do aeroporto. A imagem é uma composição colorida falsa-cor, com bandas do visível e infravermelho, da imagem do satélite Landsat 9, em que a área em tom roxo está urbanizada e os tons verdes indicam cobertura vegetal.

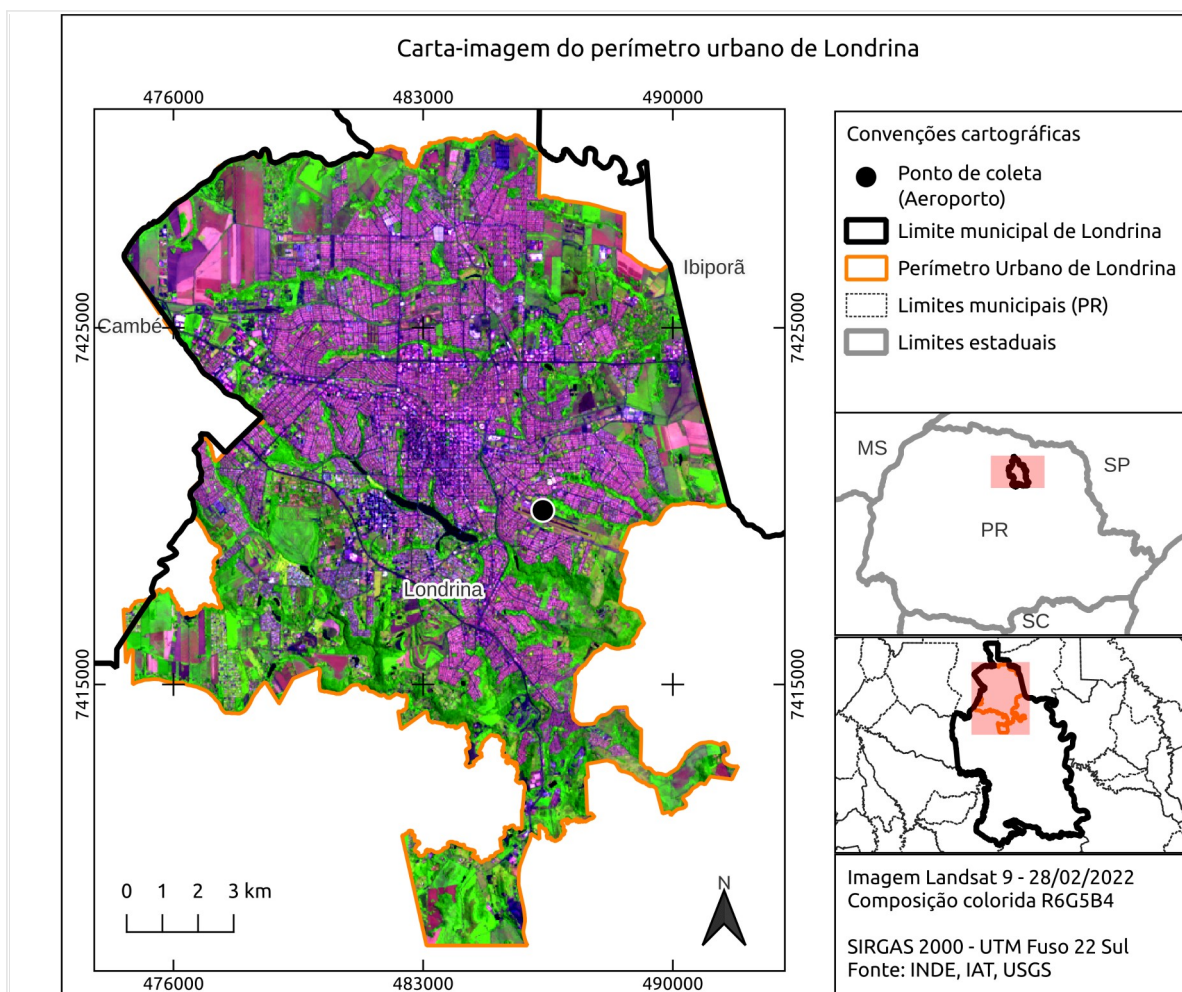


Figura 1: Carta da área de estudo

Foram utilizados dados horários para calcular as temperaturas médias, a média das temperaturas máximas e a média das temperaturas mínimas mensalmente, além das temperaturas máximas absolutas e mínimas absolutas. As temperaturas médias foram calculadas considerando a soma das temperaturas do ar divididas pelo número de observações. Segundo Nascimento et al. (2009), esta metodologia é utilizada como padrão de comparação entre outras metodologias devido ao maior número de observações.

De 1985 a 1989, as medições ocorreram a cada 3 horas, a partir das 00:00h. De 1990 até 2023, as medições ocorreram a cada uma hora, a partir das 00:00h. Os dados foram organizados em uma planilha do programa LibreOffice Calc, obtendo as médias das temperaturas diárias, mensais e anuais, além dos valores médios das temperaturas máximas e mínimas e as temperaturas absolutas.

Foram comparadas as temperaturas agrupadas por décadas: 1980, 1990, 2000, 2010 e 2020, compreendendo os anos de 1985 a 1989, 1990 a 1999, 2000 a 2009, 2010 a 2019 e 2020 a 2023, respectivamente. Um levantamento populacional do município de Londrina (IBGE, 2022) foi realizado para comparar com os resultados da avaliação da temperatura. As temperaturas absolutas máximas e mínimas também foram levantadas considerando as décadas.

Foram calculadas a anomalia das temperaturas médias no período avaliado em relação às temperaturas médias do período de 1991 – 2020 (INMET, 2023).



Os dados de uso e cobertura do solo foram obtidos a partir do projeto MapBiomias (MAPBIOMAS, 2023), desenvolvido pelo SEEG/OC (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima). O mapeamento disponibilizado por este projeto foi gerado a partir do processamento de imagens de sensoriamento remoto do satélite *Landsat*, com resolução espacial de 30 metros, realizado na plataforma em nuvem do *Google Earth Engine*. Para isso, foi aplicada a abordagem de classificação supervisionada com o método Random Forest para discriminar 29 classes mapeadas.

Foram selecionados os mapas referentes ao período disponível no projeto MapBiomias, referente à coleção 8, de 1985 a 2022. Estes arquivos foram importados para o Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS. Aplicou-se a partir do ponto da estação do aeroporto, distâncias com raio de 1,0 e 5,0 quilômetros por meio da função de proximidade (*buffer*) a fim de analisar as mudanças de uso e cobertura do solo no entorno do ponto de coleta de dados de temperatura.

Calculou-se ainda o coeficiente de correlação entre os dados de temperatura máxima, média e mínima e os dados de percentual das classes associadas a formação florestal e infraestrutura urbana, considerando o limite político municipal, e as áreas delimitadas pelos raios de 1,0 e 5,0 km do ponto do aeroporto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostraram um aumento das temperaturas médias, máximas e mínimas, quando comparados às décadas de 1980 e 2020 e são respectivamente 1,3°C, 2,15°C e 0,62°C, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Valores de temperatura para o Município de Londrina, por decêndios

	1980	1990	2000	2010	2020	Média	Desvio Padrão	Diferença 2020 – 1980
T méd	21.75	22.18	22.31	22.32	23.05	22.32	0.47	1.30
T máx	32.24	32.91	32.32	33.23	34.40	33.02	0.87	2.16
T min	12.32	12.51	12.91	12.27	12.94	12.59	0.32	0.62

As temperaturas máximas absolutas tiveram aumento significativo, passando de 39,9°C nos anos de 1980, para 42°C no ano de 2020, conforme mostrado na Tabela 2. As temperaturas mínimas absolutas passaram de 3,40°C em 1985, para 2,0°C para 2020. Ichiba et al. (2005) observaram a mesma tendência de aumento da temperatura em uma estação climatológica automática na cidade de Londrina, nos anos de 1979 a 2003.

Tabela 2: Valores de temperatura absolutas para o Município de Londrina, por decêndios

	1980	1990	2000	2010	2020
T máx absol	39.90	38.00	38.00	39.00	42.00
T min absol	3.40	0.56	1.00	1.00	2.00

Segundo o Atlas Climático da Região Sul (WREGGE et al. 2012), as temperaturas para o município de Londrina nos anos de 1976 a 2005, foram 21°C, 10,8°C, 32,9°C, para médias, mínimas e máximas, respectivamente. Quando se compara com os valores obtidos até 2023, observa-se um aumento nas temperaturas médias e mínimas e uma manutenção das temperaturas máximas.

Ricci et al. (2009), observaram aumento da temperatura média, mínima e máxima em 0,83°C, 1,33°C e 0,33°C, respectivamente, para os anos de 1961 a 2008. Estes resultados mostram que quando se utilizam dados históricos da década de 1961 os valores de elevação da temperatura média são menores do que as observadas neste estudo, possivelmente pelo número de observações durante o dia e noite, o que pode acentuar ainda mais ao se considerar os dados mais recentes de 2023.

No ano de 1990 houve um pico de aumento na temperatura média, máxima e mínima, porém quando consideradas as médias de temperatura do decêndio, este ainda ficou abaixo da média geral que é de 22,37°C. A média da temperatura dos anos de 2020-2024, ficou acima da média geral em 0,73°C.

A avaliação da anomalia de temperatura média do ar, observou-se uma tendência de elevação da temperatura, apesar da grande dispersão dos dados, conforme mostrado na figura 2. Esta tendência de aumento da temperatura corrobora com as observações feitas pelo INMET (2023), que associa estes aumentos em decorrência da elevação da temperatura global.

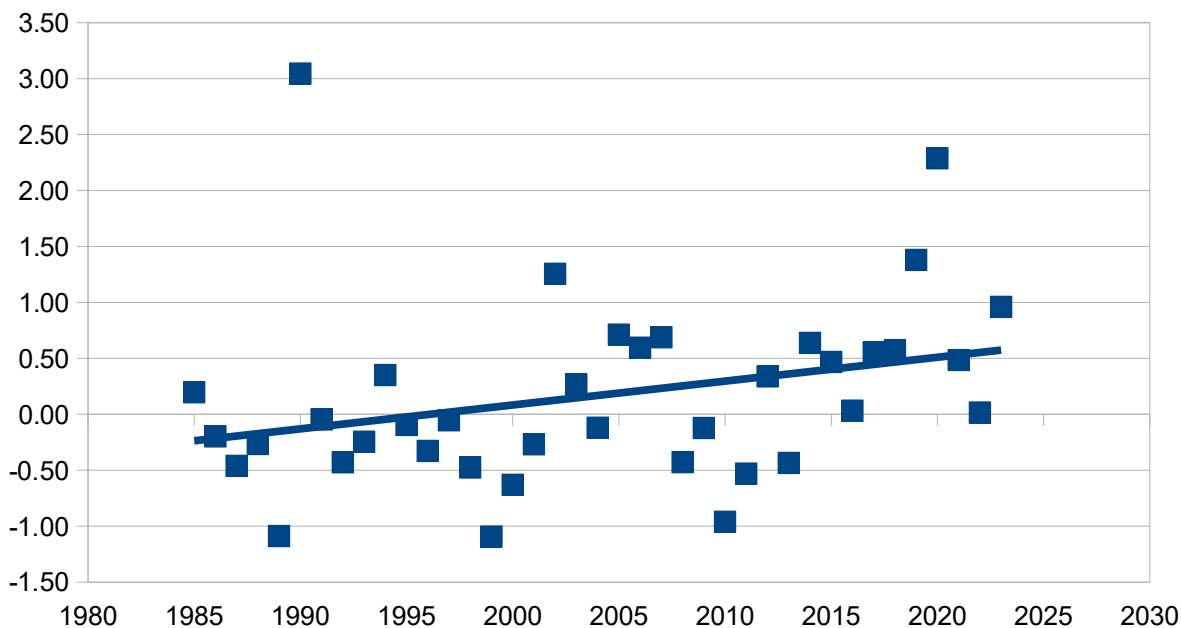


Figura 2: Anomalia de temperatura média do ar na cidade de Londrina por ano.

Anomalia é a diferença entre a temperatura observada e a média histórica (1991 – 2020) (INMET, 2023)

Da década de 1970 até 2022 o aumento populacional de Londrina foi de 143,74%, que passou de 228.101 para 555.965, (IBGE, 2022). Ichiba et al. (2005), consideram que os aumentos de temperaturas são decorrentes do aumento do processo de urbanização que ocorre com o aumento da população, e suas derivações como desmatamento e a produção de espaços construídos.

Os resultados de uso e ocupação do solo para todo o limite político do município, mostram que ocorreram aumentos na formação de florestas (de 14,5% para 18,6%), redução de pastagem (de 24,7 para 7,1%), aumento de áreas agrícolas (de 29,6% para 47,3%) e aumento da infraestrutura urbana (de 2,5% para 6,6%), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Ocupação do solo para o Município de Londrina, por decênios

Classe	1980	1990	2000	2010	2020
Formação florestas	14.50%	13.29%	14.62%	16.61%	18.67%
Alagados	0.01%	0.00%	0.02%	0.02%	0.03%
Pastagem	24.73%	21.29%	13.23%	7.86%	7.16%
Plantio de Florestas	0.06%	0.06%	0.07%	0.91%	1.19%
Áreas de agricultura e pastagem	27.51%	22.24%	21.46%	20.62%	18.12%
Infraestrutura urbana	2.57%	3.50%	5.31%	6.25%	6.62%
Outras áreas não vegetadas	0.13%	0.06%	0.08%	0.11%	0.17%
Rios, lagos	0.83%	0.84%	0.75%	0.73%	0.71%
Agricultura	29.65%	38.72%	44.46%	46.90%	47.34%



Na Figura 3 tem-se os mapas de uso e cobertura do solo para os anos de 1985 e 2020, cujos dados foram obtidos do projeto MapBiomias (2023), em que pode-se notar as diferenças na mudança da paisagem. A área urbana, representada pela cor vermelha, aumenta nitidamente da primeira para a segunda data. Há uma região de reflorestamento observada na segunda data, no centro da imagem. Os tons de rosa que indicam variações de tipos de culturas e bege (pastagem) abrangem extensa parte da área rural do município (fora do perímetro urbano). Há também expansão dos fragmentos de formação florestal na segunda data, quando comparados à primeira.

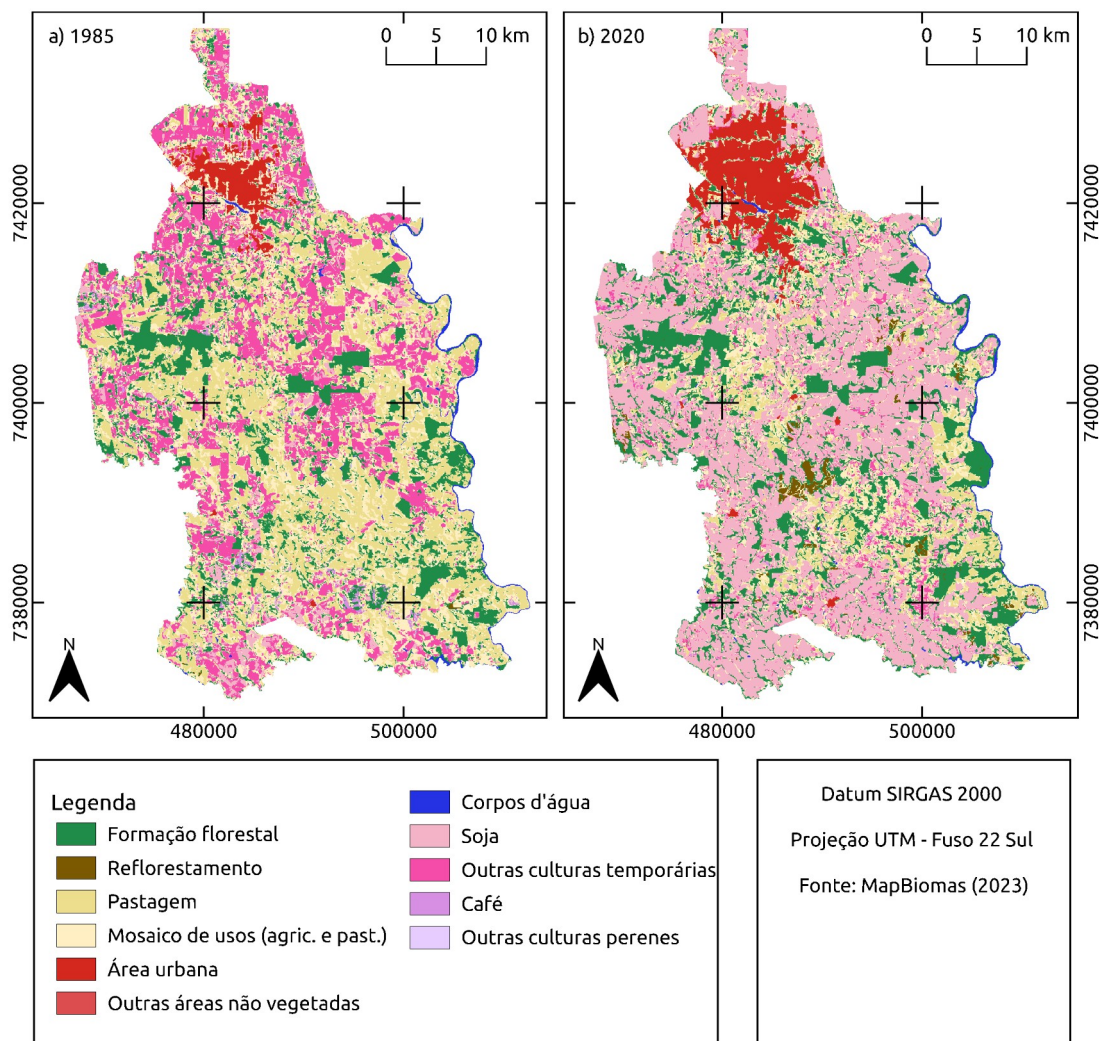


Figura 3: Mapas de uso e cobertura do solo para os anos de (a) 1985 e (b) 2020.

A análise de *buffers* a 1,0 km (Figura 4) mostrou aumento da infraestrutura urbana no entorno do aeroporto, de 45,35% em 1985, para 85,06% em 2020, como listado na Tabela 4. A análise de *buffers* a 5,0 km (Figura 5) também mostrou aumento da infraestrutura urbana de 28,12% em 1985 para 56,74% em 2020, conforme listado na Tabela 5. A expansão urbana observada em ambos os raios analisados é portanto a maior mudança observada na paisagem desta área.

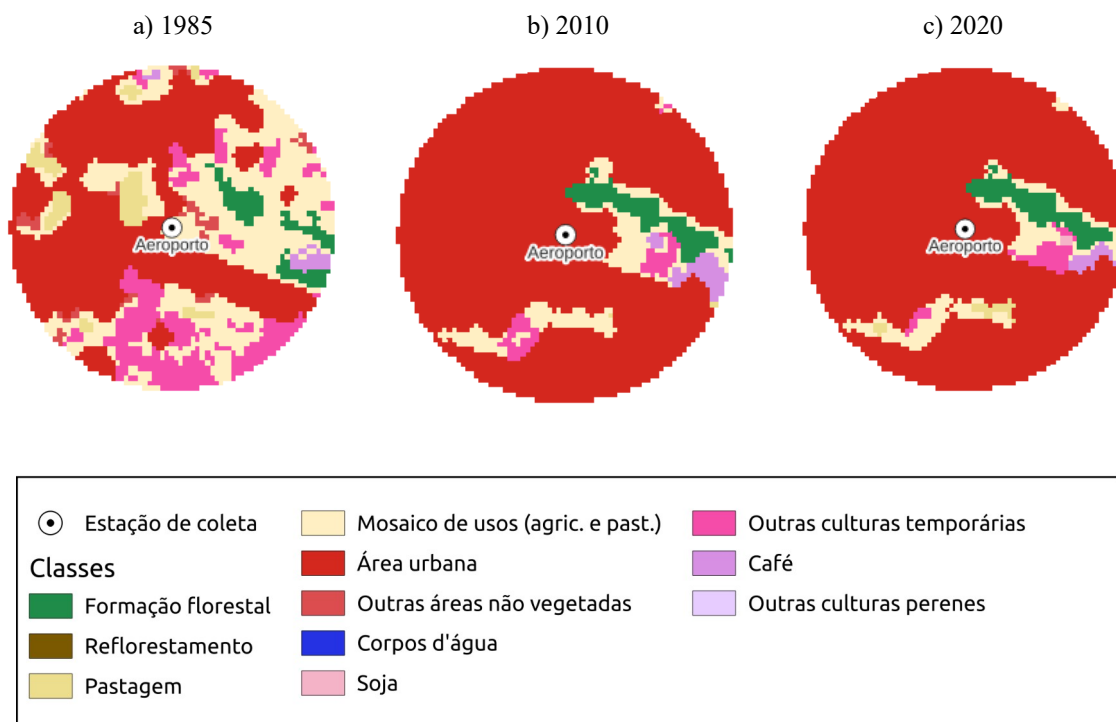


Figura 4: Classes de uso e cobertura do solo recortadas para a distância de 1 km do ponto de coleta de dados (aeroporto)

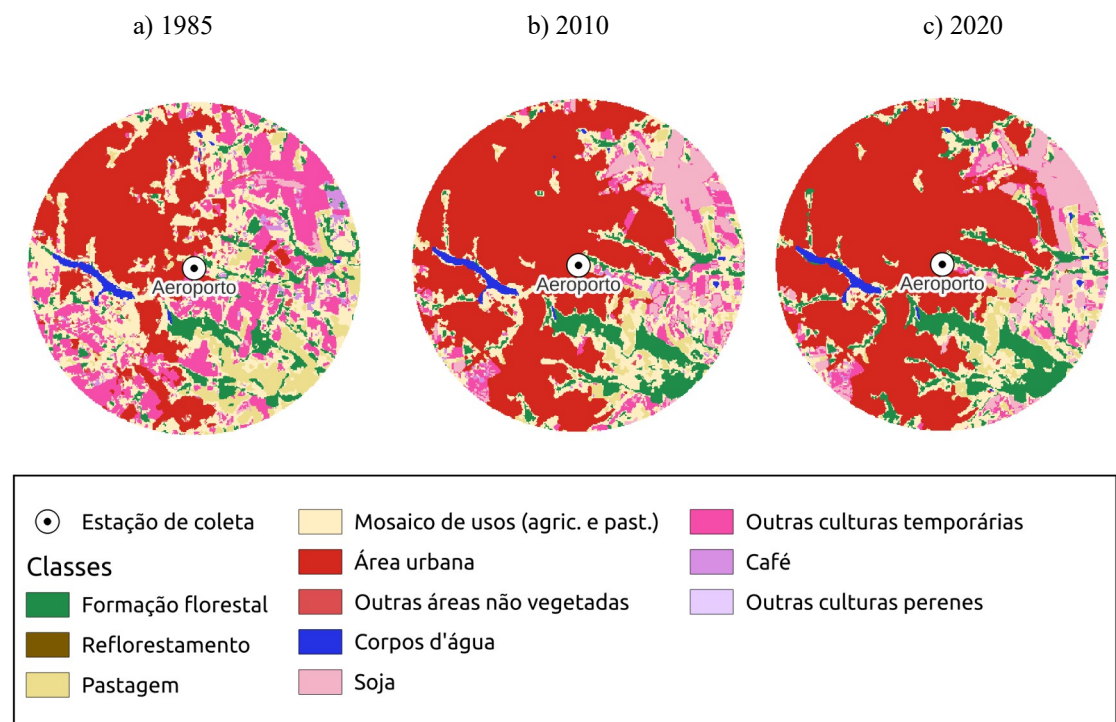


Figura 5: Classes de uso e cobertura do solo recortadas para a distância de 5 km do ponto de coleta de dados (aeroporto)

Tabela 4: Ocupação do solo para o Município de Londrina, para o *buffers* a 1,0 km

Classe	1985 (%)	2010 (%)	2020 (%)
Floresta	3.61	4.05	4.15
Pastagem	3.74	0.08	0.78
Mosaico de usos	30.67	8.46	7.21
Urbano	45.35	83.23	85.06
Outras áreas impermeáveis	2.19	0.00	0.00
Culturas temporárias	13.48	2.38	1.85
Café	0.97	1.80	0.78
Soja	-	-	0.16

Tabela 5: Ocupação do solo para o Município de Londrina, para o *buffers* a 5,0 km

Classe	1985 (%)	2010 (%)	2020 (%)
Floresta	7.86	7.71	9.79
Pastagem	7.66	3.54	3.35
Mosaico de usos	29.12	19.12	15.30
Urbano	28.12	52.77	56.74
Outras áreas impermeáveis	1.42	0.12	0.17
Corpos d'água	1.00	1.00	1.08
Soja	0.96	8.07	9.42
Culturas temporárias	22.10	7.14	3.83
Café	1.76	0.49	0.29
Cana de açúcar	0.00	0.03	0.00
Reflorestamento	0.00	0.00	0.01
Área úmida	0.00	0.00	0.01

Os coeficientes de correlação para o município foram mais expressivos para temperatura média e máxima e baixos para temperatura mínima. Os resultados variaram de 0,7 a 0,84. Para o limite de raio de 1,0 km, este padrão se manteve, com valores altos de correlação tanto para as classes de uso florestal quanto urbano, em relação às temperaturas máximas e médias, com valores variando de 0,85 a 0,92. Com o limite de 5,0 km os coeficientes foram semelhantes, variando de 0,85 a 0,9.

CONCLUSÕES

O município de Londrina está registrando o aumento da temperatura que é observado globalmente, mesmo considerando somente as temperaturas de 1985 a 2023.

O ano de 2020, teve a maior temperatura absoluta, e os anos de 2020 a 2023 tiveram a maior diferença de temperatura, quando comparado com a média geral.

Ocorreu aumento populacional além do crescimento da infraestrutura urbana. Observou-se também aumento na formação de florestas e o aumento no plantio de florestas, possivelmente nas áreas agrícolas do município.

A análise de *buffers* mostrou a mesma tendência de aumento da infraestrutura urbana e aumento do uso florestal correlacionadas com o aumento da temperatura.

As informações obtidas neste estudo, podem ajudar os gestores municipais na tomada de decisão a respeito de aspectos fundamentais, que impactam o dia-a-dia das pessoas, assim como as ações de longo prazo.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, ao CNPq/CAPES, à Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná, pelo apoio financeiro ao projeto.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHIES, C.; YOKOO, S. C. Colonização do norte paranaense: avanço da cafeicultura e problemas decorrentes deste processo. *Revista GEOMAE*, v. 3, p. 27-44, 2012.
2. IBGE. *Censo Brasileiro de 2022*. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
3. IEM. *ASOS-AWOS-METAR Data Download*. Iowa State University, 2024. Disponível em: <https://encr.pw/JyBLM>. Acesso em 20/01/2024.
4. INMET. *Estado do clima no Brasil em 2022*. 1–20. 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/uploads/notastecnicas/Estado-do-clima-no-Brasil-em-2022-OFICIAL.pdf>. Acesso 20/01/2024.
5. IPCC. Climate Change. Synthesis Report. In *Sixth Assessment Report (AR6)*. 2023. Disponível em: <https://acesse.dev/U30B2>. Acesso em: 20/01/2024.
6. ICHIBA, S. H. K. et al. Variabilidade da temperatura máxima, média e mínima para o estado do paraná. *Anais Do XI Simpósico Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 3195–3206. 2005. Disponível em: <https://acesse.dev/RiRjq>. Acesso em: 20/01/2024.
7. NASCIMENTO, R. M. et al. Avaliação de metodologias para o cálculo da temperatura média mensal do ar em Diamantina – Minas Gerais. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. 2009. *Resumos [...] Belo Horizonte: SBAGRO, 2009*. Disponível em: <https://encr.pw/osoYs>. Acesso 20/01/2024.
8. PROJETO MAPBIOMAS – *Coleção 8 Versão 1 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. 2023*. Disponível em: <https://acesse.dev/8mxx5>. Acesso 20/01/2024.
9. RICCE, W. S. et al. ANÁLISE DE TENDÊNCIAS NA TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO EM LONDRINA, ESTADO DO PARANÁ. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. 2009. *Resumos [...] Belo Horizonte: SBAGRO, 2009*. Disponível em: <https://11nq.com/JPaIt>. Acesso em: 20/01/2024.
10. TARGINO, A. C. et al. Effects of the large-scale atmospheric circulation on the onset and strength of urban heat islands: a case study. *Theoretical and Applied Climatology*, 117(1-2), 73–87. 2013.
11. WREGE, et al. ATLAS CLIMÁTICO DA REGIÃO SUL DO BRASIL Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Brasília – DF.: EMBRAPA. 2012. Disponível em: <https://acesse.dev/XZvYh>. Acesso em: 20/01/2024.
12. WWF. *As mudanças climáticas*. Brasília – DF. WWF-Brasil. Disponível em: <https://encr.pw/RVFa9>. Acesso em: 20/01/2024.