

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



COMUNICADO
TÉCNICO

498

Colombo, PR
Dezembro, 2023



Contribuição de uma floresta urbana na atenuação da temperatura do ar para o enfrentamento da mudança do clima: caso do Bosque Reinhard Maack

Marcos Fernando Gluck Rachwal
Josiléia Acordi Zanatta
Laura Malage
Stefanie Lais Kreutz Rosa

Contribuição de uma floresta urbana na atenuação da temperatura do ar para o enfrentamento da mudança do clima: caso do Bosque Reinhard Maack¹

¹ Marcos Fernando Gluck Rachwal, Engenheiro-agrônomo, doutor em Conservação da Natureza, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR; Josiléia Acordi Zanatta, Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Floresta, Colombo, PR; Laura Malage, acadêmica do Curso de Agronomia da Universidade Federal do Paraná, bolsista do CNPq na Embrapa Florestas, Colombo, PR; Stefanie Lais Kreutz Rosa, Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, responsável técnica na Solo Fácil Consultoria e Serviços Ltda., Rio Branco, RR.

A pauta climática é um tema central nas discussões atuais gerando crescentes preocupações socioambientais. Desde a era pré-industrial, a temperatura média da superfície terrestre aumentou cerca de 1,53 °C (IPCC, 2019). Projeções indicam que esse aumento continuará até 2050, podendo superar a estimativa de 2 °C, caso as emissões de GEE não sejam significativamente reduzidas nas próximas décadas (IPCC, 2021). A mudança climática tem, em parte, relação direta com as atividades humanas, como queima de combustíveis fósseis e alterações no uso da terra, que resultam no aumento da emissão de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso, na intensificação do efeito estufa e, por consequência, no aquecimento global (IPCC, 2022).

Além do meio rural, o ambiente urbano pode ser uma fonte significativa de emissões de GEE, apresentando-se com baixa resiliência aos impactos da mudança do clima que, aliado ao efeito de ilhas de calor, pode potencializar a

ocorrência de eventos climáticos extremos. O aquecimento nestas ilhas se dá em função da maior concentração de materiais como asfalto, concreto e superfícies escurecidas, que absorvem mais calor, da poluição, da ausência de vegetação e de corpos d'água e da impermeabilização do solo. Isso tem levado a esforços globais para fortalecer políticas públicas que reduzam a vulnerabilidade das cidades a esses fenômenos (Naumann et al., 2010; Wassénus & Crona, 2022). A resiliência das cidades é crucial para enfrentar esse desafio. Os remanescentes florestais urbanos desempenham um papel importante na mitigação da emissão de GEE e também na adaptação climática, podendo ser uma estratégia no enfrentamento da mudança climática nas cidades.

A vegetação atua como sequestradora de CO₂, absorvendo-o durante a fotossíntese e armazenando-o na biomassa vegetal. Os solos florestais também são importantes reservatórios de carbono e, por meio da interação com a microbiota

do solo, transformam os resíduos em matéria orgânica estabilizada no solo (Das et al., 2023). Além disso, as florestas urbanas oferecem serviços ecossistêmicos que auxiliam na resiliência das cidades (Niemela et al., 2010), tais como a redução do impacto de enchentes, a melhoria da qualidade do ar e da água, bem como refúgio para a fauna e recreação. Os remanescentes florestais urbanos ainda possuem um importante potencial na regulação do microclima e atenuação da temperatura por meio da evapotranspiração das plantas e do sombreamento direto.

No panorama atual da cidade de Curitiba, PR, o relatório de avaliação de vulnerabilidade elaborado pelo IPPUC (2014) identificou a nítida tendência de

aquecimento na metrópole, e destaca que a regional do Boqueirão, onde o Bosque Reinhard Maack está localizado, foi uma das classificadas com maior susceptibilidade à alteração climática. A regional apresenta o índice de 31,83 m² de área verde por habitante, 45% abaixo da média da cidade de Curitiba, que é 58,05 m² por habitante (SMMA, 2010, citado por IPPUC, 2013, p. 21). Ao longo dos anos, a urbanização na região próxima ao Bosque Reinhard Maack transformou a paisagem com a conversão de áreas naturais em estruturas urbanas (Figura 1).

Apesar da crescente necessidade de ampliação da estrutura urbana das cidades, deve-se ter um equilíbrio com a presença de florestas urbanas,



Figura 1. Ortofotos da região do bosque Reinhard Maack, Curitiba, PR. A localização do bosque é apresentada por um ponto vermelho. Imagem superior corresponde ao ano de 1952, e inferior ao ano de 1990.

Fonte: Adaptado de IPPUC (2021).

principalmente em regiões onde a mesma está restrita a pequenos remanescentes em áreas públicas. Fazem-se especialmente necessários estímulos regionalmente direcionados buscando equilibrar o ambiente urbano. O presente trabalho fornece a magnitude da contribuição da floresta urbana Bosque Reinhard Maack no microclima local, por meio do monitoramento da temperatura do ar em seu interior, comparativamente com áreas próximas.

Materiais e métodos

O estudo foi desenvolvido na área do bosque urbano Reinhard Maack (Figura 2), o qual foi implantado no ano de 1989, tendo como principal objetivo a promoção da educação ambiental. O bosque está situado na cidade de Curitiba, capital do estado do Paraná, nas coordenadas geográficas de latitude de 25°29'24"S e longitude 49°15'38"W.



Figura 2. Imagem 3D do Bosque Reinhard Maack e indicação dos pontos de investigação da temperatura do ar. (1) rua externa ao bosque, esquina das ruas Waldemar Kost e Conde de São João das Duas Barras; (2) estacionamento externo do bosque; (3) borda do bosque próxima à entrada da trilha; e (4) interior da mata.

Fonte: Google Earth (2023)

A fitogeografia original de Curitiba é classificada como estepe ou campo natural. Nas cabeceiras de drenagem desses, há a formação de capões de Floresta Ombrófila Mista (Maack, 2017) dos quais o bosque estudado é um

remanescente. Localizado ao sul da cidade, na regional administrativa do Boqueirão, no bairro Hauer, o bosque Reinhard Maack se localiza na divisa com os bairros do Boqueirão e Xaxim.

O bosque possui formato irregular e se assemelha a um retângulo com dimensões máximas de até 412 x 360 m. A área total abrange aproximadamente 78.000 m², sendo constituída predominantemente por um remanescente da Floresta Ombrófila Mista (FOM), também conhecida como Floresta com Araucária ou Pinheiral (Veloso et al., 1991). No que diz respeito às características climáticas, está inserido na região classificada como Cfb, de acordo com a classificação de Köppen, que se caracteriza como um clima subtropical úmido, com verões amenos, ausência de estação seca, pluviosidade uniformemente distribuída ao longo do ano e ocorrência frequente de geadas no inverno (Iapar, 1978). O solo do local é classificado, predominantemente, como Cambissolo Húmico (CH), apresentando um horizonte B incipiente (subsuperficial) e horizonte A húmico (superficial), com presença dos minerais primários da rocha de origem.

As temperaturas foram monitoradas em 35 eventos de amostragem, entre 1º de abril de 2019 até 21 de junho de 2022. As temperaturas foram anotadas no período da manhã, entre 9-10h, mediante termômetro digital com precisão de duas casas decimais. Foram prospectadas as temperaturas de quatro locais pré-estabelecidos, sendo estes: (1) na rua externa ao bosque, esquina das ruas Waldemar Kost e Conde de São João das Duas Barras, rua asfaltada com calçada para pedestres e faixa gramada, situando-se a uma distância de 279 m da referência do interior da mata (coordenadas geográficas 25°29'16"S

49°15'33"W); (2) no estacionamento externo do bosque, com piso de pedra brita misturada com areia, e poucas árvores para sombrear os veículos, localizado a 229 m da referência do interior da mata (coordenadas geográficas 25°29'17"S e 49°15'34"W); (3) na borda do bosque próximo à entrada da trilha, em área revestida com paralelepípedos e sombreada parcialmente por árvores, distando 174 m da referência do interior da mata (coordenadas geográficas 25°29'19"S e 49°15'36"W) e (4) no interior da mata, com vegetação florestal nativa bem preservada, na qual foram realizadas medições em múltiplos pontos, sendo adotada as coordenadas geográficas 25°29'24"S e 49°15'38"W, no interior da mata, como ponto de referência para as distâncias mencionadas anteriormente. Para obter a temperatura no interior da mata nativa, o bosque foi dividido em três parcelas, sendo cada uma subdividida em três subparcelas e, em cada uma delas, coletadas as temperaturas em quatro pontos demarcados aleatoriamente. Desta forma, foram 12 pontos prospectados por subparcela, sendo 36 no total. Para os demais pontos foram obtidas cinco medidas de temperatura num tempo máximo de 10 min.

Resultados e discussão

A amplitude térmica no período observado foi de 8,7 a 33,6 °C (Figura 3), com variações em função das posições de avaliação em relação à vegetação e

às estações do ano. Os extremos máximos de temperatura do ar ocorreram nas medidas realizadas na rua, com os valores de 30 °C em 2019; 27,5 °C em 2020, 32,5 °C em 2021 e 33,5 °C em 2022. Os extremos de temperatura mais baixa do ar no interior da mata nativa foram registrados em 2019, com

valor de 9,0 °C, mas, nos demais anos, não variou em relação aos pontos de observação, com média de 8,9 °C em 2020 e 9,4 °C em 2021. Em 2022, como as medidas foram encerradas em junho, não houve o registro das temperaturas mais baixas.

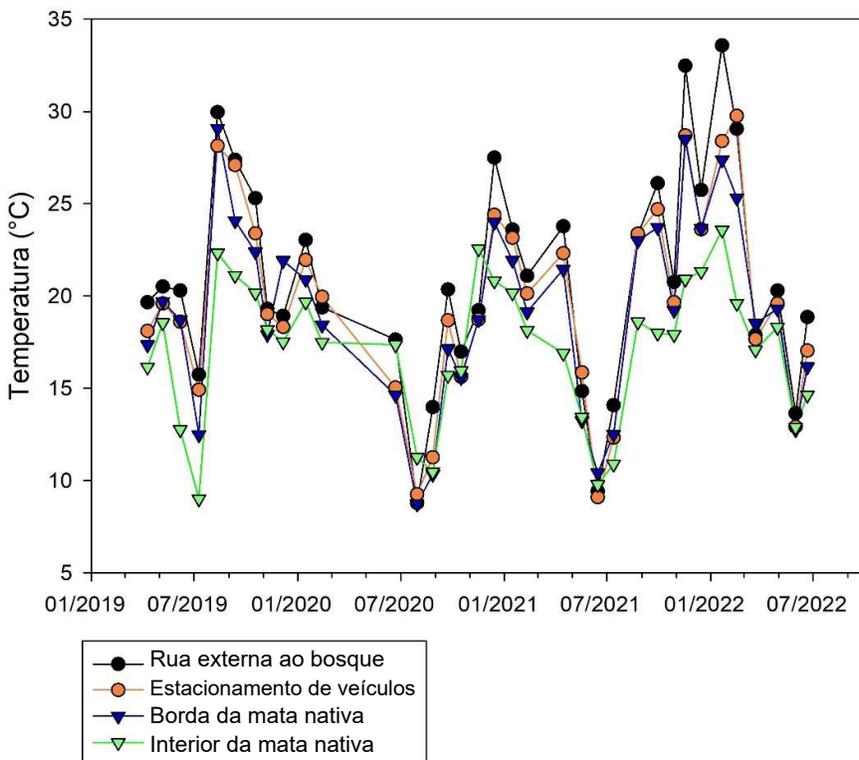


Figura 3. Dados de temperatura média do ar mensurada por três anos consecutivos, na floresta urbana e em diferentes posições nas imediações da floresta.

A média anual da temperatura do ar variou em função do local de observação (Tabela 1). No interior do bosque, a média anual da temperatura do ar foi 17,4 °C, enquanto na borda do remanescente o

valor foi 19,5 °C. No estacionamento de veículos, onde algumas árvores promovem sombreamento, a média anual da temperatura do ar foi 20,1 °C. No local mais afastado da floresta, em frente a

um sobrado residencial na rua, a média anual da temperatura do ar foi 21,3 °C. É perceptível um padrão de redução na temperatura à medida que se aproxima da mata nativa, sendo que todas as posições externas apresentaram temperatura média anual significativamente superior àquela encontrada no interior da mata, conforme será visto adiante. Isto se deve à interceptação da radiação pelas copas das árvores, formando sombra direta e, principalmente, pela evapotranspiração vegetal que ocasiona o resfriamento do ar ao seu redor (Bowler et al., 2010). A vegetação da floresta

absorve água através das suas raízes e transpira através dos estômatos das folhas e, assim, coloca umidade no ar que causa a sensação de frescor quando se adentra no ambiente de influência da floresta, nesse caso com o arrefecimento de quase 4 °C na temperatura média anual do ar. É importante ressaltar que a medida de temperatura do ar foi observada entre 9 e 10h da manhã e certamente não foi a máxima temperatura do ar, que geralmente é registrada entre 14-15h.

Tabela 1. Médias de temperaturas do ar durante três anos de monitoramento, por estações, em diferentes locais de observação

Estações do ano	Locais de investigação da temperatura ¹				
	Interior MN	Borda MN	Est	Rua	Média
Outono	15,09	16,83	17,08	17,82	16,7
Inverno	15,31	17,45	18,27	19,42	17,6
Primavera	19,31	21,32	21,33	22,89	21,2
Verão	19,78	22,18	23,90	24,96	22,7
Média	17,37	19,44	20,14	21,27	19,6

¹ MN: mata nativa; Est: Estacionamento de veículos; Rua: esquina das ruas Waldemar Kost e Conde de São João das Duas Barras.

As estações do ano também produziram variações nas temperaturas do ar em todas as posições de seu monitoramento (Tabela 1). A temperatura do ar no interior da mata nativa foi, em média, 3,9 °C a menos que a temperatura medida na rua, sendo essa diferença ainda mais expressiva no verão, com diferença média de 5,18 °C. No verão, época que ocorrem os maiores valores de temperatura, o interior da mata nativa apresentou a média de 19,78 °C,

contrastando com 24,96 °C do ponto observado na rua, valor 26% maior que aquele no interior do bosque (Tabela 1). As menores variações de temperatura do ar entre o interior da mata nativa e a rua ocorreram no outono (diferença de 2,8 °C). Áreas verdes são conhecidas pelo importante papel que exercem na amenização do calor urbano, sendo que diversos estudos mostram que o potencial de amenização da temperatura pode chegar de 3 a 4 °C entre parques

e centros urbanos (Jauregui, 1990; Qiu et al., 2017; Motazedian et al., 2020), corroborando para a importante preservação destas áreas ao microclima, em nível local. No caso desse estudo, a presença de árvores no estacionamento de veículos e mesmo na borda da mata nativa já amenizou a temperatura do ar da rua em mais de 1 °C, em quase todas as estações climáticas, exceto no outono cuja redução foi 0,74 °C.

Analisando-se as médias anuais de temperaturas do ar obtidas nos vários

locais de observação, nota-se que a mata nativa exerceu um papel atenuante sobre a temperatura entre os anos considerados, com uma variação de 0,60 °C. Nos demais pontos de observação, a variação de temperatura entre os anos foi 4,97°C na borda da floresta, 5,03 °C no estacionamento de veículos e de até 5,67 °C na rua (Tabela 2).

Na Tabela 3 está indicada a diferença estatística significativa entre a temperatura média anual, em todo o período monitorado, no interior da mata e nos demais locais.

Tabela 2. Médias de temperaturas do ar obtidas nos três anos consecutivos, em diferentes locais de observação.

Ano	Temperatura média do ar (°C) ¹			
	Interior MN	Borda MN	Est	Rua
1	17,63	20,22	20,84	21,73
2	16,50	16,93	17,64	18,70
3	17,99	21,18	21,96	23,39
Média	17,37	19,44	20,14	21,27
Varição	0,60	4,97	5,03	5,67

¹ MN: mata nativa; Est: Estacionamento de veículos; Rua: esquina das ruas Waldemar Kost e Conde de São João das Duas Barras.

Tabela 3. Médias de temperatura do ar obtidas durante os três anos de monitoramento, nos diferentes locais de observação

Temperatura média do ar (°C) ¹			
Interior MN	Borda MN	Est	Rua
17,4 a	19,4 b		
17,4 a		20,1 b	
17,4 a			21,3 b

¹ MN: Mata nativa; Est: Estacionamento de veículos; Rua: esquina das ruas Waldemar Kost e Conde de São João das Duas Barras. Médias nas linhas seguidas de letras diferentes são estatisticamente diferentes pelo teste de Tukey (5 %).

As diferenças de temperatura encontradas dentro e fora do bosque urbano reforçam a importância da

preservação dos mesmos na geração de benefícios diretos de amenização da temperatura ambiente. Estas diferenças

estão diretamente relacionadas aos fenômenos das ilhas de calor urbanas, ocasionados pelo elevado potencial de aquecimento dos materiais de construção e superfícies impermeabilizadas das cidades. Por outro lado, superfícies cobertas por vegetação apresentam maior potencial de regulação do microclima local. A ampliação de áreas urbanas é inevitável e essencial para atender às demandas da sociedade, porém, ao mesmo tempo, o planejamento urbano deverá garantir a adequada distribuição de áreas verdes como meio de adaptação ao principal efeito da mudança do clima, o aquecimento global.

Conclusões

O Bosque Reinhard Maack demonstrou potencial para atuar na atenuação da temperatura, especialmente nos verões, com diferenças de até 5,18 °C a menos no interior da mata em relação à área externa. Além disso, atuou de forma similar com efeito termorregulador, suprimindo temperaturas extremas e auxiliando no equilíbrio térmico. Desta forma, observa-se que remanescentes florestais urbanos também se agregam à frente da mitigação e adaptação à mudança climática em nível local, contribuindo com maior conforto térmico à comunidade local. Os bosques urbanos são importantes aliados no enfrentamento à mudança climática, proporcionando maior resiliência à cidade. Investir na conservação e ampliação de áreas verdes, como os remanescentes florestais é uma estratégia eficaz para promover

a sustentabilidade urbana, melhorar a qualidade de vida dos moradores locais e contribuir para o enfrentamento da mudança climática.

A publicação visa conscientizar a população sobre a urbanização sustentável e a qualidade do ar com contribuição para mitigação e adaptação à mudança do clima, por meio de gestão sustentável de florestas, fortalecendo as políticas para o desenvolvimento sustentável em áreas urbanas. Esses resultados apresentam forte alinhamento às metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) (ODS 11, 12, 13, 15 e 17).

Referências

BOWLER, D. E.; BUYUNG-ALI, L.; KNIGHT, T. M.; PULLIN, A. S. Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence. **Landscape and Urban Planning**, 97, n. 3, p. 147-155, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>.

DAS, S.; DEB, S.; SAHOO, S. S.; SAHOO, U. K. Soil microbial biomass carbon stock and its relation with climatic and other environmental factors in forest ecosystems: a review. **Acta Ecologica Sinica**, v. 43, n. 6, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2022.12.007>.

GOOGLE EARTH. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-25.48970078,-49.26073379,929.24453274a,727.57585553d,35y,0h,0t,0r/data=OgMKATA>. Acesso em: 13 dez. 2023.

IAPAR. **Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná**. Londrina, 1978. 38 p.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification,**

land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>. Acesso em: 18. abr. 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2021: the physical science basis**. 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 18. abr. 2023.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (ed.). Summary for Policymakers. In: CLIMATE change 2022: mitigation of climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. DOI: Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157926.001>.

IPPUC. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. **Avaliação de vulnerabilidade ambiental e socioeconômica para o Município de Curitiba**. São Paulo: ANTP, 2014. 64 p.

IPPUC. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. **GeoCuritiba**. [2021]. Disponível em: <https://geocuritiba.ippuc.org.br/portal/apps/sites/#/geocuritiba>. Acesso em: 02 maio 2023.

IPPUC. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. **Retratos das regionais: Regional Boqueirão**. Curitiba, 2013. Disponível em: <http://curitibaemdados.ippuc.org.br/>. Acesso em: 02 maio 2023.

JAUREGUI, E. Influence of a large urban park on temperature and convective precipitation in a tropical city. **Energy and Buildings**, 15, n. 3, p. 457-463, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(90\)90021-A](https://doi.org/10.1016/0378-7788(90)90021-A).

MAACK, R. **Geografia física do Paraná**. 4. ed. Curitiba: Imprensa Oficial, 2017.

MOTAZEDIAN, A.; COUTSS, A. M. TAPPER, N. J. The microclimatic interaction of a small urban park in central Melbourne with its surrounding urban environment during heat events. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 52, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126688>.

NAUMANN, S.; GERARDO, A.; GERDES, H.; FRELIH-LARSEN, A.; MCKENNA, D.; PAM, B.; BURCH, S.; SANDERS, M. **Assessment of the**

potential of ecosystem-based approaches to climate change adaptation and mitigation in Europe. Oxford: Ecologic Institute and Environmental Change Institute, Oxford University Centre for the Environment, 2010. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/nature/climatechange/pdf/EbA_EBM_CC_FinalReport.pdf. Acesso em: 05 jun. 2023.

NIEMELÄ, J.; SAARELA, S.-R.; SÖDERMAN, T.; KOPPEROINEN, L.; YLI-PELKONEN, V.; VÄRE, S.; KOTZE, D. J. Using the ecosystem services approach for better planning and conservation of urban green spaces: a Finland case study. **Biodiversity and Conservation**, 19, n. 11, p. 3225-3243, 2010. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9888-8>.

QIU, G. Y.; ZOU, Z.; LI, X.; LI, H. Experimental studies on the effects of green space and evapotranspiration on urban heat island in a subtropical megacity in China. **Habitat International**, v. 68, p. 30-42, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.07.009>.

VELOSO, H. P.; FILHO, A. L. R. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

WASSÉNIUS, E.; CRONA, B. I. Adapting risk assessments for a complex future. **One Earth**, 5, n. 1, p. 35-43, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.12.004>.

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba,
Caixa Postal 319
CEP 83411-000 - Colombo, PR
Fone: (41) 3675-5600
www.embrapa.br/florestas
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição

Publicação digital (2023): PDF



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA E
PECUÁRIA

**Comitê Local de Publicações
da Embrapa Florestas**

Presidente

Patrícia Póvoa de Mattos

Vice-Presidente

José Elidney Pinto Júnior

Secretária-executiva

Elisabete Marques Oaida

Membros

*Annete Bonnet**Cristiane Aparecida Fioravante Reis**Elenice Fritzsos**Guilherme Schnell e Schühli**Marilice Cordeiro Garrastazú**Sandra Bos Mikich**Susete do Rocio Chiarello Penteado**Valderés Aparecida de Sousa*

Supervisão editorial/Revisão de texto

José Elidney Pinto Júnior

Normalização bibliográfica

Francisca Rasche (CRB-9/1204)

Projeto gráfico da coleção

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica

Celso Alexandre de Oliveira Eduardo

Foto da capa

Google Earth (2023)

CGPE 018417