



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**

**INSTITUTO DE BIOLOGIA**



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, CONSERVAÇÃO E  
BIODIVERSIDADE**

**QUALIDADE DO AMBIENTE URBANO PARA ABELHAS: índice de qualidade  
ambiental e avaliação da contaminação dos recursos alimentares por metais**

**ALINE CLARO DE OLIVEIRA**

UBERLÂNDIA, MG

AGOSTO DE 2024

ALINE CLARO DE OLIVEIRA

**QUALIDADE DO AMBIENTE URBANO PARA ABELHAS: índice de qualidade ambiental e avaliação da contaminação dos recursos alimentares por metais**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Biodiversidade da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito final para obtenção do título de Doutora em Ecologia, Conservação e Biodiversidade

Orientadora: Solange Cristina Augusto

Coorientadora: Fernanda Helena  
Nogueira-Ferreira

UBERLÂNDIA, MG

AGOSTO DE 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

O48q  
2024

Oliveira, Aline Claro de, 1986-

Qualidade do ambiente urbano para abelhas [recurso eletrônico] : índice de qualidade ambiental e avaliação da contaminação dos recursos alimentares por metais / Aline Claro de Oliveira. - 2024.

Orientadora: Solange Cristina Augusto.

Coorientadora: Fernanda Helena Nogueira-Ferreira.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Biodiversidade.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2024.5026>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Ecologia. I. Augusto, Solange Cristina, 1966-, (Orient.). II. Nogueira-Ferreira, Fernanda Helena, 1968-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Biodiversidade. IV. Título.

---

CDU: 574



# UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

## Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Biodiversidade

Av. Pará, 1720, Bloco 2D, Sala 26 - Bairro Umarama, Uberlândia-MG, CEP 38405-320 Telefone: (34 3225-8641 - www.pggeco.ib.ufu.br - ecologia@umuarama.ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Ecologia, Conservação e Biodiversidade				
Defesa de:	Tese, número 93, PPGECB				
Data:	vinte e um de agosto de dois mil e vinte e quatro	Hora de início:	09:00	Hora de encerramento:	12:15
Matrícula do Discente:	12013ECR001				
Nome do Discente:	Aline Claro de Oliveira				
Título do Trabalho:	QUALIDADE DO AMBIENTE URBANO PARA ABELHAS: índice de qualidade ambiental e avaliação da contaminação dos recursos alimentares por metais				
Área de concentração:	Ecologia				
Linha de pesquisa:	Ecologia de populações				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Abelhas do Cerado: estimativas populacionais, estrutura genética, manejo de ninhos e serviços de polinização				

Reuniu-se por videoconferência a Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Biodiversidade assim composta pelos doutores: Julia Celia Mercedes Strauch - UFF; Ana Carolina Borella Marfil Anhê - UFTM; Silvia Helena Sofia - UEL; Camila Nonato Junqueira - ESTES/UFU; Solange Cristina Augusto - INBIO/UFU, orientador(a) do(a) candidato(a).

Iniciando os trabalhos o(a) presidente da mesa, Dr(a). Solange Cristina Augusto, apresentou a Comissão Examinadora e o(a) candidato(a), agradeceu a presença do público e concedeu ao(à) Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do(a) Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as) que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Solange Cristina Augusto, Professor(a) do Magistério Superior**, em 21/08/2024, às 12:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Carolina Borella Marfil Anhô, Usuário Externo**, em 21/08/2024, às 14:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Camila Nonato Junqueira, Professor(a) do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico**, em 21/08/2024, às 15:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Silvia Helena Sofia, Usuário Externo**, em 21/08/2024, às 19:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Julia Celia Mercedes Strauch, Usuário Externo**, em 25/08/2024, às 12:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5613632** e o código CRC **35765452**.

Referência:

Processo

nº

23117.052715/2024-11

SEI nº 5613632

*Dedico este trabalho ao meu pacotinho,  
Antônio (Tutu da mamãe) e à minha mãe,  
por todo apoio e incentivo, desde sempre.*

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe, que sempre me incentivou a estudar e a acreditar que o estudo tem o poder de transformar a vida das pessoas. Carrego comigo um profundo sentimento de gratidão por ela ter feito tudo que estava ao seu alcance para que eu pudesse prosseguir com meus estudos.

Ao meu filho Antônio, que traz tanta felicidade para minha vida e por ser tão participativo em tudo que eu faço.

À minha orientadora Solange, que me fez acreditar mais em mim, que tanto me ensinou e motivou, e é uma grande inspiração.

À minha coorientadora Fernanda, que com seu jeito doce, sempre esteve pronta para me ajudar no que eu precisasse, agradeço pelos ensinamentos e dedicação.

Ao meu namorado, Flávio, agradeço pelo amor, dedicação e apoio constante em tudo que eu preciso.

Ao prof. Leonardo, que me auxiliou e motivou desde o pré-projeto de pesquisa até a defesa.

A profa. Camila, agradeço pela contribuição com as análises químicas e ensinamentos.

Aos colegas do LECA, em especial ao Leo, Ana Luísa e Thayane.

Ao prof. João, agradeço pelos ensinamentos de estatística.

Aos professores PPGECO, agradeço pelos ensinamentos compartilhados.

Aos colaboradores do INBIO, que sempre me atenderam com muita dedicação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), agradeço pelo apoio financeiro para que eu pudesse desenvolver minha pesquisa.

À UFU, agradeço por ter me proporcionado um ensino público de qualidade.

*“As abelhas colhem o néctar para criar o seu mel  
e também criar sua colmeia.”  
(Antônio Oliveira Guglielmi)*

## ÍNDICE

RESUMO GERAL .....	viii
ABSTRACT .....	ix
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
CAPÍTULO 1 .....	9
Avaliação da qualidade do ambiente urbano para as abelhas .....	10
1. Introdução.....	12
2. Área de estudo .....	14
3. Materiais e métodos .....	15
4. Resultados .....	23
5 Discussão.....	36
6. Considerações finais.....	40
Referências .....	43
CAPÍTULO 2 .....	47
Avaliação de contaminantes metálicos em amostras de pólen de <i>Tecoma stans</i> (L.) Kunth (Bignoniaceae) em área urbana .....	48
1. Introdução.....	50
2. Materiais e métodos .....	54
3. Resultados .....	57
4. Discussão.....	60
5. Considerações finais.....	62
Referências .....	63
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	67

## RESUMO GERAL

As mudanças que ocorrem no uso e cobertura da terra interferem diretamente na biodiversidade e manutenção dos serviços ecossistêmicos. Nas cidades diferentes fontes de poluição contém metais que contribuem para a má qualidade ambiental, afetando as abelhas. Primeiramente, foi proposto a construção de um Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA) em áreas urbanas, parametrizado nas cidades de Uberaba, Uberlândia e Araguari (MG). O IQAA foi desenvolvido por meio de análise multicritério conduzida em um ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Os critérios escolhidos para determinação da qualidade ambiental para abelhas foram: proximidade de cursos d'água, declividade do terreno, temperatura superficial aparente, tipos de solo e uso e cobertura da terra. Uberaba e Uberlândia se destacaram por apresentar respectivamente 33% e 48% das suas áreas classificadas com qualidade ambiental muito alta. Contudo, Uberlândia também apresentou uma alta porcentagem de áreas de baixa e muito baixa qualidade ambiental (46%); já em Araguari essas áreas foram predominantes, correspondendo a 67%. Em um segundo momento, o objetivo foi determinar a contaminação por metais em amostras de pólen de *Tecoma stans*, uma espécie frequente em ambientes urbanos, que é muito visitada por abelhas para coleta de recursos alimentares. As amostras foram coletadas na área urbana da cidade de Uberlândia, MG, no ano de 2023. Por meio da análise espacial da cidade foram selecionados locais com IQAA distintos (baixa, média e muito alta qualidade ambiental), a fim de verificar a influência do ambiente na concentração de metais. Não foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre a quantidade de metais nas amostras de pólen e os locais com diferentes IQAA. Sendo assim, conclui-se que nas áreas urbanas, as abelhas estão suscetíveis à contaminação por metais, inclusive em áreas classificadas de alta qualidade ambiental.

**Palavras chave:** ecologia urbana; análise multicritério; polinizadores; *Tecoma stans*; ICP-OES.

## ABSTRACT

Changes in land use and land cover directly interfere with biodiversity and the maintenance of ecosystem services. In cities, various sources of pollution contain metals that contribute to poor environmental quality, affecting bees. Initially, this study aims to propose the construction of an Environmental Quality Index for Bees (EQIB) in urban areas, parameterized in the cities of Uberaba, Uberlândia, and Araguari-MG. The EQIB was developed through a multi-criteria analysis conducted in a Geographic Information System (GIS) environment. The criteria chosen to determine environmental quality for bees were: proximity to watercourses, terrain slope, apparent surface temperature, soil types, and land use and land cover. Uberaba and Uberlândia stood out for respectively having 33% and 48% of their areas classified as very high environmental quality. However, Uberlândia also had a high percentage of areas with low and very low environmental quality (46%); whereas in Araguari, these areas were predominant, corresponding to 67%. Secondly, the aim was to determine heavy metal contamination in *Tecoma stans* pollen samples, a species common in urban environments and frequently visited by bees for food resources. Samples were collected in the urban area of Uberlândia, MG, in 2023. Through spatial analysis of the city, locations with distinct EQIB (low, medium, and very high environmental quality) were selected to assess the influence of the environment on metal concentration. No statistically significant difference was found in the amount of metals in the pollen samples among locations with different EQIB. Therefore, it is concluded that bees in urban areas are susceptible to metal contamination, even in areas classified as high environmental quality.

**Keywords:** urban ecology; multi-criteria analysis; pollinators; *Tecoma stans*; ICP-OES.

## INTRODUÇÃO GERAL

O meio ambiente sadio, ou seja, livre de alterações biológicas, químicas e físicas é algo indispensável para a vida. No entanto, as atividades humanas constantemente interferem e alteram a qualidade ambiental, provocando, às vezes, impactos irreversíveis, no meio urbano, para a instalação de moradias, hospitais, rodovias, indústrias, entre outras. Nas cidades é possível observar o ambiente modificado, e espécies que antes habitavam áreas naturais, se adaptaram ao ambiente construído artificialmente.

É o que vem acontecendo com as abelhas, que mesmo em condições ambientais totalmente modificadas, estão em constante processo de adaptação às áreas urbanas. Por isso, tornar as cidades sustentáveis depende de ações que visem a promoção da qualidade de vida para todos os seres vivos que nela habitam. Nesse sentido, a preservação ambiental e o planejamento urbano são peças fundamentais para o fornecimento de recursos alimentares e de nidificação para as abelhas. Para o geógrafo Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro “as alterações provocadas pelo ser humano podem ser negativas, mas também positivas quando, por exemplo, é recuperada a naturalidade das paisagens nas cidades ou são desenvolvidas novas áreas com vegetação no meio urbano” (Belém, 2020, p. 71).

Pensando na manutenção da biodiversidade nas áreas urbanas e melhoria da qualidade ambiental, algumas intervenções podem ser implementadas a fim de melhorar e adequar o ambiente para minimizar o declínio das populações. Soluções Baseadas na Natureza (SBN) têm sido reconhecidas como um meio para enfrentar desafios como ondas de calor, inundações e perda de biodiversidade. No estudo de Croeser *et al.* (2022) realizado em Melbourne, Austrália, os autores destacam como a realocação sistemática de espaço nas paisagens urbanas pode contribuir para a produção de benefícios na escala necessária para que as cidades enfrentem genuinamente desafios significativos de sustentabilidade urbana, como apontado por eles, a substituição de asfalto de estacionamentos subutilizados por espaços verdes.

As ações que envolvem o uso e cobertura da terra são cruciais, mas devido ao grau de urbanização de determinadas áreas, fica impossível ou muito dispendioso para os cofres públicos o retorno dessas áreas para ambientais naturais. No entanto, vê-se uma movimentação de alguns países em direção à transformação de áreas totalmente pavimentadas em parques lineares, como é caso do canal Catharijnesingel, de Utrecht, na Holanda, Bishan Park em Singapura, córrego Meadow de Charlottesville e o Córrego Thornton de Seattle, nos Estados

Unidos e do córrego Cheong Gye Cheon de Seul, na Coreia do Sul. A esse processo foi dado o nome de renaturalização de rios urbanos.

A renaturalização de rios urbanos visa transformar cursos d'águas canalizadas ou enterrados em ambientes vivos, restaurando suas funções hidrológicas e biológicas com biodiversidade nativa. Isso inclui replicar o padrão meândrico original para reduzir a velocidade da água e aumentar áreas de inundação. A restauração das matas ciliares é crucial para melhorar a infiltração da água e proteger as margens. Projetos devem buscar manter o curso natural do rio e integrar-se a parques urbanos multifuncionais, proporcionando benefícios como sequestro de carbono e aumento da resiliência urbana contra eventos climáticos extremos (Instituto Cidades Sustentáveis, s.d.).

Para manutenção da biodiversidade ou até mesmo para fins comerciais, a criação de abelhas sem ferrão é incentivada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). No entanto, as cidades precisam ter um ambiente propício para que as colônias se desenvolvam saudáveis. Para isso a manutenção de jardins, praças e áreas verdes com espécies vegetais provedoras de recursos alimentares, espécies melíferas são indispensáveis para a sobrevivência dos polinizadores no ambiente urbano. Entretanto, nesse sentido, é importante ficar atento para evitar o plantio de espécies que não são indicadas para a arborização urbana, como o caso da árvore exótica *Spathodea campanulata* e sua subespécie *Spathodea campanulata nilotica*, de origem africana que disponibiliza néctar, pólen e mucilagem com substâncias tóxicas (Portes *et al.*, 2019). Os autores enfatizam a necessidade de projetos de lei que proíbam o plantio e comercialização de mudas dessas espécies, bem como substituição de árvores já existentes em áreas urbanas.

A vegetação nas cidades não deve ser pensada apenas para fins ornamentais, mas sim sob a ótica das funções ecológicas de convivência entre os seres vivos (Belém, 2020). Na cidade de São Paulo há uma iniciativa da Associação Brasileira de Estudos das Abelhas (ABELHA), no sentido de incentivar a manutenção de espécies de plantas nativas de pequeno, médio e grande porte, formando corredores ecológicos urbanos, que são espaços que ampliam a biodiversidade e uma melhor qualidade de vida nas cidades (Alves *et al.*, 2017).

Para entender todas as interações que acontecem no ambiente urbanizado, estudos na área de ecologia urbana contribuem para a construção do conhecimento científico relativo a como acontecem as adaptações e quais os riscos elas oferecem para a manutenção da biodiversidade. A ecologia urbana como disciplina científica emergiu em meados dos anos 1970, porém tem suas raízes na teoria geral dos sistemas (TGS) e nas décadas de 1920 e 1930

já estavam acontecendo as primeiras menções à ecologia urbana na Escola de Chicago (Belém, 2020).

Nesse sentido, podemos citar algumas motivações para o desenvolvimento da ecologia urbana no mundo, pois a ecologia urbana estuda como os ecossistemas são modificados pela interação humana nas cidades. Com a maioria da população global vivendo em áreas urbanas e uma urbanização crescente, compreender e melhorar a ecologia urbana é crucial para promover qualidade ambiental, serviços ecossistêmicos e bem-estar humano. Portanto, abordagens transdisciplinares são necessárias para aplicar eficazmente modelos ecológicos nas cidades, explorando oportunidades para integrar diversas disciplinas e promover soluções colaborativas (Gaston, 2010).

Contextualizada a importância de estudos sobre a ecologia urbana dentro da ecologia e da conservação da biodiversidade, esta pesquisa traz algumas considerações quanto ao planejamento urbano, que é fundamental para alcançar a qualidade ambiental urbana. Contudo, o histórico de muitas cidades já consolidadas é que esse planejamento não ocorreu de forma sustentável, resultando em ruas e calçadas estreitas, canalização de cursos d'água, excesso de áreas pavimentadas e poucas áreas com vegetação natural e permeáveis. Conforme Silva e Gomes (2020), o planejamento urbano sustentável em nível local depende, em parte, da adoção de um Plano Diretor participativo, alinhado com as diretrizes estabelecidas pelo Estatuto da Cidade e pela Constituição Federal. Essas diretrizes são influenciadas por documentos internacionais, como a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e o Habitat, dos quais o Brasil é signatário. A implementação desses planos pelos governantes e sua aceitação pela população são essenciais para sua efetivação. No entanto, os autores observam que esses instrumentos muitas vezes perpetuam desigualdades, um fenômeno frequentemente experimentado pelas pessoas no dia a dia.

Na contramão da proposta do desenvolvimento sustentável, o que se percebe é que mesmo em bairros novos, principalmente os loteamentos destinados aos programas de construção de casas populares, embora haja planejamento urbano, as áreas verdes não são consolidadas de fato, sendo transformadas em depósitos irregulares de resíduos sólidos urbanos e não cumprindo a função ambiental e social a qual são destinadas. Em contrapartida, por serem bairros instalados em regiões periféricas, e que antes eram áreas rurais, existem remanescentes florestais ao longo de cursos d'água. Já em bairros e condomínios fechados de alta renda, possuem jardins e quintais maiores e com mais vegetação e áreas permeáveis. Tornando a cidade um verdadeiro mosaico com diferentes escalas de qualidade ambiental, que é resultado do uso e cobertura do solo.

Um marco na evolução da legislação ambiental brasileira foi a promulgação do novo Código Florestal, Lei Federal nº 12.651/2012, que incluiu as reservas legais dentro dos perímetros urbanos, oferecendo proteção ambiental por meio das Áreas Verdes Urbanas. A legislação florestal brasileira, além de prever que as áreas de preservação permanente sejam conservadas, é garantida pela lei nº 12.651 de 2012 (Brasil, 2012) que as áreas de reserva legal sejam transformadas em áreas verdes dentro dos processos de novos loteamentos o que apresenta um grande avanço na construção do espaço urbano, pois a preservação dessas áreas é essencial para manutenção do fluxo gênico, da biodiversidade e da qualidade ambiental urbana. Segundo Laudares *et al.* (2013), as demandas sociais, como a expansão urbana sobre áreas rurais, o crescimento populacional e a ampliação dos municípios, geraram necessidades que levaram à formulação de um novo arranjo jurídico. Este foi desenvolvido para promover a conservação ambiental e garantir qualidade de vida à sociedade.

Além dos benefícios relacionados à saúde, as áreas verdes urbanas colaboram com a regulação térmica, escoamento superficial, modulação de doenças infecciosas transmitidas por vetores, qualidade do ar, redução de ruídos, valorização imobiliária e produção de alimentos (Amato-Lourenço *et al.*, 2016). A arborização urbana, não tem apenas princípios ambientais, mas também responsabilidade social enfatizando a qualidade de vida (Sabadini, 2017). Nesse contexto, parques urbanos que apresentam boas condições ambientais podem contribuir na redução da prevalência de sedentarismo e auxiliar na promoção da saúde e bem-estar, pois a boa qualidade social e física destes espaços, como por exemplo, infraestrutura adequada, segurança, facilidade de acesso e outros fatores positivos, aumentam a possibilidade de frequência das pessoas (Szeremeta e Zannin, 2013).

A preservação das áreas verdes com vegetação principalmente a arbórea, exerce muita importância na qualidade ambiental, pois está associada à regulação do microclima e à minimização de dispersão de poluentes atmosféricos. A vegetação interage com a radiação solar, funcionando como um filtro. Um fragmento florestal urbano pode ter até 4° C a menos na temperatura que uma área exposta diretamente ao sol, a vegetação ainda pode influenciar na umidade relativa do ar e ser utilizada como quebra-ventos, influenciando de modo ativo a qualidade do ar (Belém, 2020). A implantação de barreiras vegetais ao longo de estradas e rodovias diminuem a dispersão das emissões atmosféricas contendo metais e contribuem para a qualidade do ar, pois filtram os gases tóxicos. As abelhas que vivem nos ambientes urbanos podem ter o crescimento de suas colônias influenciado negativamente por metais pesados, presentes nesses ambientes, mesmo em concentrações baixas (Scott *et al.*, 2022). Assim, um

planejamento cuidadoso da composição de espécies pode ser benéfico para melhorar o conforto térmico e a qualidade do ambiente urbano (Belém, 2020).

Os espaços livres, áreas verdes e qualidade ambiental são temas que emergiram em meados de 1950 e se consolidaram como temas relevantes nos anos de 1970 e até hoje essas temáticas têm recebido atenção especial no planejamento urbano (Belém, 2020). Os índices de qualidade ambiental são aplicados principalmente nas áreas urbanas visando avaliar como está a qualidade ambiental para os seres humanos. Assim, a qualidade ambiental urbana, geralmente é determinada a partir de critérios que influenciam na vida do ser humano. E para isso são construídos índices que transmitem informações por meio de mapas. Esses índices fazem uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) que geram um único mapa a partir da análise multicritério de mapas sobrepostos. Dentre as metodologias adotadas no Brasil, destaca-se a proposta criada por Nucci (1998), onde o autor fundamentou-se no planejamento da paisagem para determinar a qualidade ambiental urbana, usando como variáveis o uso do solo, poluição, espaços livres, verticalidade das edificações, enchente, densidade populacional e cobertura vegetal que foram analisadas e espacializadas.

Diante do exposto, este trabalho parte da seguinte hipótese: quanto melhor a qualidade ambiental, menor será a suscetibilidade das abelhas à contaminação por metais em áreas urbanas. O objetivo geral é propor uma metodologia para construir um índice de qualidade ambiental para abelhas em áreas urbanas e analisar a possível relação entre a qualidade ambiental urbana e a presença de metais nos recursos alimentares coletados por esses insetos. Dessa forma, a tese foi estruturada em dois capítulos, construídos no formato de artigos para posterior submissão em periódicos.

No capítulo 1, o objetivo foi propor a construção de um Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA), em áreas urbanas, das cidades de Uberaba, Uberlândia e Araguari-MG. O IQAA foi desenvolvido por meio de análise multicritério conduzida em um ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Os critérios escolhidos para determinação da qualidade ambiental para abelhas foram: proximidade de cursos d'água, declividade do terreno, temperatura superficial aparente, tipos de solo e uso e cobertura da terra. Para determinação dos pesos utilizou-se o método Delphi, 15 especialistas responderam ao questionário padronizado proposto.

No capítulo 2, o objetivo foi determinar a contaminação por metais em amostras de pólen de *Tecoma stans*, uma espécie frequente em ambientes urbanos e que recebe muitas visitas das abelhas para coleta de recursos alimentares. Por meio da análise espacial da cidade de Uberlândia, MG foram selecionados locais com Índice de Qualidade Ambiental para

Abelhas (IQAA) distintos (baixa, média e muito alta qualidade ambiental), a fim de verificar a influência do ambiente na concentração de metais.

## Referências

ALVES, I. C.; CORTOPASSI-LAURINO, M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. **Biodiversidade em ação: conservando espécies nativas, corredores ecológicos urbanos...Seguindo a trilha da Jataí**. São Paulo: A.B.E.L.H.A., 52 p., 2017. Disponível em: [https://abelha.org.br/wp-content/uploads/2017/06/Biodiversidade\\_em\\_acao\\_site.pdf](https://abelha.org.br/wp-content/uploads/2017/06/Biodiversidade_em_acao_site.pdf). Acesso em: 12 abr. 2024.

AMATO-LOURENÇO, L. F.; MOREIRA, T. C. L.; ARANTES, B. L.; SILVA FILHO, D. F.; MAUAD, T. Metrópoles, cobertura vegetal, áreas verdes e saúde. **Estudos avançados**, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142016.00100008>

BELEM, A. L. C. **Diálogos em ecologia urbana**. Curitiba: InterSaberes, 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 2012. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm). Acesso em: 13 maio 2024.

CROESER, T.; GARRARD, G. E.; VISINTIN, C.; KIRK, H.; OSSOLA, A.; FURLONG, C.; CLEMENTS, R.; BUTT, A.; TAYLOR, E.; BEKESY, S.A. Finding space for nature in cities: the considerable potential of redundant car parking. **npj Urban Sustainability**, [s.l.], 2, 27, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s42949-022-00073-x>. Acesso em: 29 abr. 2024. <https://doi.org/10.1038/s42949-022-00073-x>

GASTON, K. J. **Urban ecology**. New York: Cambridge, 2010. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511778483>

INSTITUTO CIDADES SUSTENTÁVEIS. Renaturalização de rios urbanos. Disponível em: <https://www.cidadessustentaveis.org.br/solucao/detalhes/75>. Acesso em: 23 fev. 2024.

LAUDARES, S. S. A.; BARROS, E. C.; BORGES, L. A. C. Áreas verdes urbanas e a legislação ambiental. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**. [S.l.], v. 9, n.5, 2013, p. 126-134. Disponível em: [http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/39136/1/ARTIGO\\_%C3%81reas%20verdes%20urbanas%20e%20a%20Legisla%C3%A7%C3%A3o%20Ambiental.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/39136/1/ARTIGO_%C3%81reas%20verdes%20urbanas%20e%20a%20Legisla%C3%A7%C3%A3o%20Ambiental.pdf). Acesso em: 05 jul. 2024.

NUCCI, J. C. Metodologia para determinação da qualidade ambiental urbana. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 12, p. 209-228, 1998. Disponível em: <https://revistas.usp.br/rdg/article/view/53740/57703>. Acesso em: 15 out. 2024. <https://doi.org/10.7154/RDG.1998.0012.0009>

PORTES, K. D. P.; MENDES, V. M.; DUARTE, L. L.; ZALUSKI, R. Impactos causados por *Spathodea campanulata* sobre abelhas nativas. Trabalho apresentado na XII Mostra Científica FAMEZ & Mostra Regional de Ciências Agrárias Campo Grande, MS, 2019. Disponível em: <https://famez.ufms.br/files/2019/12/IMPACTOS-CAUSADOS-POR-Spathodea-campanulata-SOBRE-ABELHAS.pdf>. Acesso em 12 abr. 2024.

SABADINI JR., José Carlos. Arborização urbana e a sua importância à qualidade de vida. **Revista Jus Navigandi**. Teresina, ano 22, n. 5069, 2017. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/57680>. Acesso em: 21 out. 2019.

SCOTT, S.B.; SIVAKOFF, F.S.; GARDINER, M.M. Exposure to urban heavy metal contamination diminishes bumble bee colony growth. **Urban Ecosyst.** [S.l.], 25, 989–997, 2022. Disponível em: [https://link.springer-com.ez177.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11252-022-01206-x](https://link.springer.com.ez177.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11252-022-01206-x). Acesso em: 02 fev. 2024. <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01206-x>

SILVA, D. N. S.; GOMES, E. T. A. A sustentabilidade possível no planejamento urbano: um olhar sobre a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**. Curitiba, v. 9, n. 3, p. 348-363, set./dez. 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd/article/view/9776/7694>. Acesso em: 11 abr. 2024.

SZEREMETA, B.; ZANNIN, P. A importância dos parques urbanos e áreas verdes na promoção da qualidade de vida em cidades. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**. Curitiba, v. 29, p. 177-193, 2013. <https://doi.org/10.5380/raega.v29i0.30747>

## **CAPÍTULO 1**

### **Avaliação da qualidade do ambiente urbano para as abelhas**

## **Avaliação da qualidade do ambiente urbano para as abelhas**

### **Resumo**

Os impactos causados pela urbanização podem influenciar diretamente na saúde e bem-estar da população e diversidade de abelhas, pela baixa qualidade ambiental. Este teve como objetivo propor a construção de um Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA) em áreas urbanas, parametrizado nas cidades de Uberaba, Uberlândia e Araguari-MG. O IQAA foi desenvolvido por meio de análise multicritério conduzida em um ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Os critérios escolhidos para determinação da qualidade ambiental para abelhas foram: proximidade de cursos d'água, declividade do terreno, temperatura superficial aparente, tipos de solo e uso e cobertura da terra. Para determinação dos pesos utilizou-se o método Delphi, no qual 15 especialistas responderam ao questionário padronizado proposto. O critério uso e cobertura da terra foi considerado o de maior importância para as abelhas, correspondendo a 46,33%. Uberaba e Uberlândia se destacaram por apresentar, respectivamente, 33% e 48% das suas áreas classificadas com qualidade ambiental muito alta. Contudo, Uberlândia também apresentou uma alta porcentagem de áreas de baixa e muito baixa qualidade ambiental (46%); já em Araguari essas áreas foram predominantes, correspondendo a 67%. O resultado do IQAA poderá subsidiar a construção de políticas públicas de planejamento urbano que visem melhorar a qualidade ambiental urbana para as abelhas. Adicionalmente, ao se considerar que ele varia de acordo com o contexto local e depende de características ligadas ao uso e cobertura da terra, principalmente relacionados à vegetação, as análises das métricas de paisagem também é importante para a tomada de decisões.

**Palavras-chave:** análise multicritério; ecologia urbana; Sistemas de Informação Geográfica (SIG); geoprocessamento; polinizadores.

## Assessment of urban environment quality for bees

### Abstract

The impacts caused by urbanization can directly influence the health and well-being of the bee population and diversity due to low environmental quality. This study aims to propose the construction of an Environmental Quality Index for Bees (EQIB) in urban areas, parameterized in the cities of Uberaba, Uberlândia, and Araguari-MG. The EQIB was developed through a multi-criteria analysis conducted in a Geographic Information System (GIS) environment. The criteria chosen to determine the environmental quality for bees were: proximity to watercourses, terrain slope, apparent surface temperature, soil types, and land use and cover. The Delphi method was used to determine the weights, where 15 experts responded to the proposed standardized questionnaire. The land use and cover criterion was considered the most important for bees, corresponding to 46.33%. Uberaba and Uberlândia stood out by having respectively 33% and 48% of their areas classified with very high environmental quality. However, Uberlândia also presented a high percentage of areas with low and very low environmental quality (46%); whereas in Araguari, these areas were predominant, corresponding to 67%. The result of the EQIB can support the construction of public policies for urban planning aimed at improving urban environmental quality for bees. Additionally, considering that it varies according to the local context and depends on characteristics related to land use and cover, primarily related to vegetation, the analysis of landscape metrics is also important for decision-making.

**Keywords:** multicriteria analysis; urban ecology; Geographic Information Systems (GIS); geoprocessing; pollinators.

## 1. Introdução

A qualidade ambiental é algo que deve ser mantida e estabelecida, principalmente nas áreas urbanas, que já abrigam 55% da população global, devendo chegar a 68% até 2050 (Organização das Nações Unidas, 2022). A qualidade de vida nas cidades está condicionada a diferentes fatores, principalmente aos relacionados às questões ambientais, como clima e uso e cobertura da terra, que influenciarão na qualidade ambiental urbana. Conforme Loboda e De Angelis (2005), a qualidade de vida urbana está diretamente atrelada a vários aspectos que estão reunidos na infraestrutura, no desenvolvimento socioeconômico e àqueles ligados à questão ambiental. Nesse contexto, as áreas verdes públicas constituem-se elementos imprescindíveis para o bem-estar da população humana, afetando tanto a saúde física e mental, e dos demais seres vivos que habitam as cidades.

O princípio básico da qualidade ambiental urbana está na manutenção das funções ecológicas disponíveis dentro dos diferentes ecossistemas presentes no meio urbano. A ecologia urbana busca compreender como as alterações geradas pela urbanização implicarão na manutenção dessas funções e na saúde e bem-estar humanos e de outras espécies. Adler e Tanner (2015) citam que os estudos em ecologia urbana têm sua causa em três percepções: (i) que atualmente a maioria dos seres humanos mora em cidades; (ii) que os seres humanos passaram a dominar os processos do ecossistema do mundo inteiro (Vitousek, 1997); e (iii) que as cidades são realmente ecossistemas com funcionamento próprio.

No meio urbano, a construção do espaço foi pautada na extinção de áreas naturais, como as matas ciliares, podendo-se observar, principalmente nas áreas centrais, poucos espaços verdes e totalmente pavimentados. Como resultado, temos uma paisagem natural fragmentada e um ambiente hostil, principalmente nos centros urbanos onde a ocupação é mais intensa, com poucos metros quadrados de espaços arborizados, que são constituídos em sua maioria por praças ou jardins particulares.

Os impactos causados pela ausência de vegetação arbórea natural na área urbana e excesso de pavimentação, além de influenciar diretamente na saúde e bem-estar da população humana, é prejudicial às abelhas, uma vez que estas dependem de recursos vegetais para sua sobrevivência. A vegetação fornece substratos como troncos e ocos de árvores para nidificação e recursos alimentares, como pólen e néctar, e para a construção do ninho, como folhas, óleo e resina (Alves, 2019). Destaca-se que no processo de urbanização e construção das cidades brasileiras, a ausência de planejamento urbano e de políticas públicas ambientais pautadas na preservação, fez com que várias delas fossem prioritariamente iniciadas próximas aos cursos

d'água, ocasionando a retirada da mata ciliar e posterior canalização, tendo a perda da biodiversidade como um dos principais impactos para a flora e fauna.

As políticas ambientais representam um grande papel na formulação de leis que visam assegurar o crescimento urbano pautado em padrões mínimos de sustentabilidade e manutenção dos serviços ecossistêmicos. A polinização é um serviço ecossistêmico essencial para manutenção da biodiversidade e segurança alimentar. Por isto, propor soluções que visem garantir a sustentabilidade desse serviço devem ser discutidas não apenas no ambiente rural, mas também no urbano. As cidades devem ser avaliadas como ecossistemas e comunidades ecológicas, pois além de serem o lugar onde as pessoas moram, trabalham e se divertem, esse ecossistema urbano é para as plantas e animais da cidade um conjunto de novos desafios na antiga batalha da sobrevivência e da reprodução (Adler e Tanner, 2015).

Nas áreas verdes urbanas o estabelecimento de algumas espécies de abelhas é favorecido, ao passo que dificulta o de outras, podendo provocar sua extinção local. A preocupação com essas mudanças e seus impactos sobre a fauna de abelhas nativas estimulou a execução de estudos de diversidade pelo Brasil, sendo as espécies de abelhas sem ferrão *Trigona spinipes* Fabricius, 1793 (Arapuá) e *Tetragonisca angustula* Latreille, 1811 (Jataí) estão entre as mais citadas em estudos realizados em áreas urbanas (Santos *et al.*, 2020). *Tetragonisca angustula*, vive entre vegetação até 40 m de altura e seu raio de forrageamento é de uns 500 m (Alves *et al.*, 2017) enquanto que para a *Trigona spinipes* a distância máxima de voo registrada por foi de 840 m (Kerr, 1987).

Baldock *et al.* (2019) afirmam que existem duas formas principais de melhorar as condições de áreas urbanas para polinizadores: (1) aumentar a quantidade de espaços favoráveis, através da conversão de espaços atualmente desfavoráveis em espaços com usos de melhor qualidade, por exemplo, transformar terrenos apenas com gramíneas em hortas/jardins comunitários; (2) aumentar o número e qualidade de recursos florais disponíveis em espaços verdes públicos. Tais intervenções pressupõem, que além de beneficiar os polinizadores também influenciam na qualidade ambiental urbana e vice-versa, ou seja, quanto melhor a qualidade ambiental urbana, maior a diversidade de abelhas, os principais polinizadores das angiospermas.

Os índices de qualidade ambiental podem ser uma importante ferramenta de auxílio ao planejamento urbano e conservação da biodiversidade, uma vez que faz um diagnóstico da paisagem. Segundo Nucci (2008), o planejamento da paisagem visa proteger e desenvolver a natureza, salvaguardando a capacidade dos ecossistemas e promovendo o potencial recreativo das paisagens como aspectos fundamentais para a vida humana. Isso inclui a conservação da

biodiversidade animal e vegetal, a criação de áreas protegidas interligadas, a renaturalização de cursos d'água, a revegetação e o reflorestamento, além da preservação de espaços livres urbanos para atividades contemplativas e recreativas, contrastando com as atividades comerciais. O planejamento também visa regular o uso do solo, da água e do clima, promovendo a regeneração dos recursos e controlando a poluição por meio de práticas como o uso da vegetação.

Nessa perspectiva, o presente trabalho teve como objetivo propor uma metodologia de determinação de um Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA), baseado em parâmetros bióticos e abióticos que afetam diretamente o suprimento das necessidades básicas desses insetos, como local para nidificar e forragear. A partir dessa análise foram adotados para a construção do IQAA os seguintes critérios: proximidade de cursos d'água, declividade, tipo de solo, uso e cobertura da terra e temperatura.

## **2. Área de estudo**

O estudo foi desenvolvido nas áreas urbanas dos municípios de Uberlândia, Uberaba e Araguari, localizados na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, no estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 1), caracterizada por um processo acelerado de urbanização e expansão agrícola. Tal dinâmica provoca uma forte pressão sobre os ambientes naturais, especialmente nas áreas urbanas, onde a qualidade ambiental pode ser significativamente comprometida.

Essas cidades variam em tamanho populacional, área territorial e grau de urbanização, fatores que influenciam diretamente a cobertura do solo, a quantidade de áreas verdes e a presença de corpos d'água — todos elementos críticos para a sobrevivência de polinizadores como as abelhas. Os três municípios se encontram localizados na transição entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica, regiões de alta biodiversidade, mas também altamente ameaçadas pela expansão urbana. Uberlândia tem uma área da unidade territorial de 4.115,206 km<sup>2</sup>, sendo 135,3492 km<sup>2</sup> de área urbana e população estimada de 713.224 pessoas. Uberaba tem uma área da unidade territorial de 4.523,957 km<sup>2</sup>, sendo 137,04 km<sup>2</sup> de área urbana e população estimada de 337.836 pessoas. Araguari tem uma área da unidade territorial de 2.729,777 km<sup>2</sup>, sendo 97 km<sup>2</sup> de área urbana e população estimada de 117.808 pessoas (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2022).

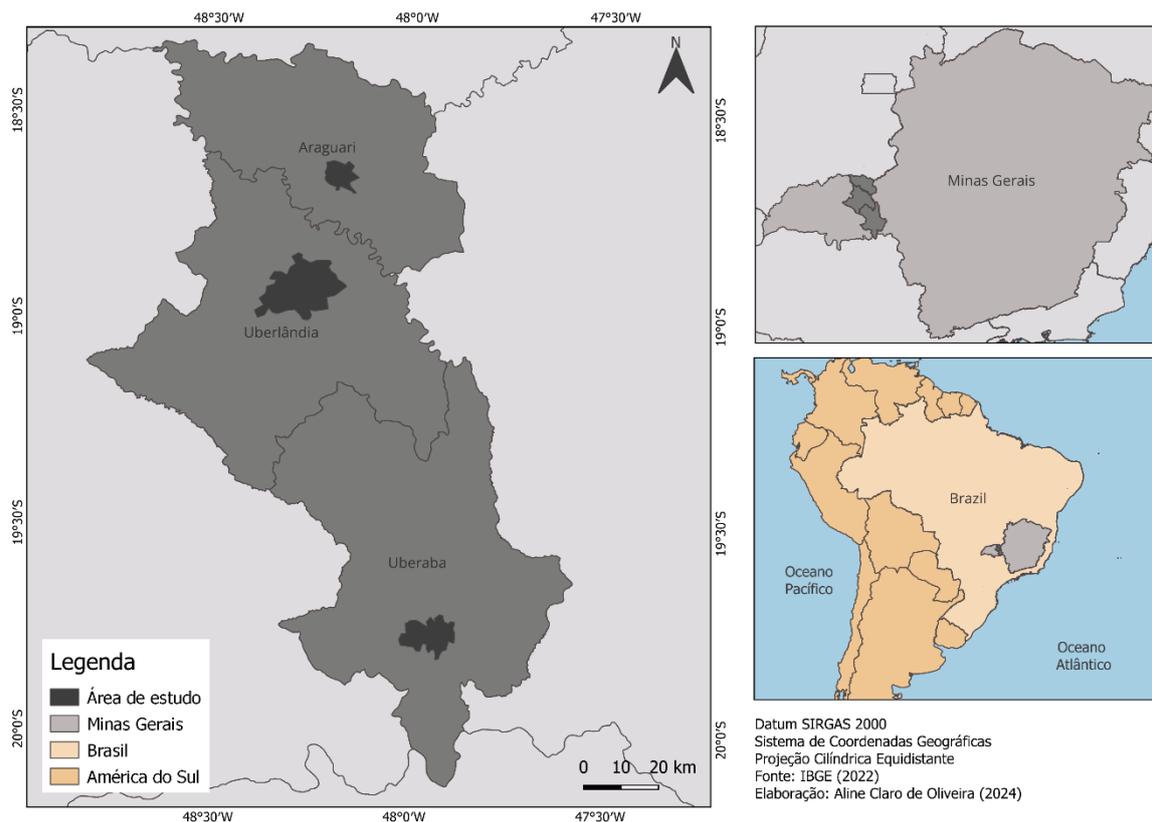


Figura 1 - Localização das cidades de Uberlândia, Uberaba e Araguari, no estado de Minas Gerais, Brasil

Fonte: Elaboração Autora (2022)

### 3. Materiais e métodos

#### 3.1 Construção do índice de qualidade ambiental para abelhas, com enfoque para as áreas urbanas

O Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA) foi desenvolvido por meio do processamento de dados em um ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), utilizando métodos de análise multicritério. A análise multicritério permite a sobreposição de diferentes mapas (de variados temas/critérios) e sua posterior combinação em um processo de análise que gera um mapa de qualidade ambiental para abelhas. O programa utilizado para as análises, construção da base de dados e do índice de qualidade ambiental para abelhas foi o QGIS 3.22.11, um software livre de código aberto. Além disso, foi empregado o SAGA GIS 7.8.2 (Conrad *et al.*, 2015) para aplicar o método de quebras naturais (*jenks*) e definir o agrupamento das classes com base no IQAA.

A construção do IQAA envolveu três etapas principais: i) escolha dos temas/critérios: nessa etapa, foram selecionados os critérios relevantes para avaliar a qualidade ambiental para abelhas; ii) aplicação do Método Delphi: foi utilizado o método Delphi para obter consenso entre especialistas e definir os pesos dos diferentes critérios e iii) análise multicritério: com base nos dados processados e nos pesos atribuídos, foi realizada a análise multicritério para gerar o índice de qualidade ambiental para abelhas.

### 3.1.1 Escolha dos critérios e construção dos mapas

Os critérios foram escolhidos de modo que atendessem as necessidades das abelhas e o grau de qualidade ambiental que o local oferece para que elas tenham condições de nidificação e forrageamento. Para a construção do IQAA foram usados os seguintes critérios: proximidade de cursos d'água, declividade do terreno, Temperatura Superficial Aparente (TSA), tipos de solo e uso e cobertura da terra (Figura 2).

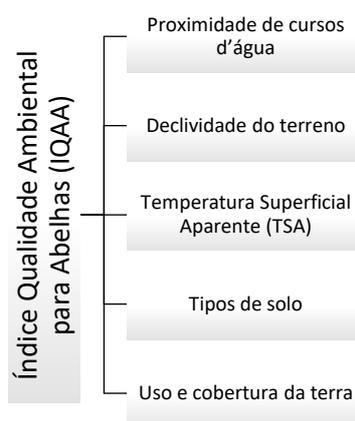


Figura 2 - Critérios adotados para construção do Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA)

Fonte: Elaboração Autora (2021)

As abelhas dependem de água para diversas funções vitais, como regulação da temperatura no interior da colmeia e metabolismo. Assim, a proximidade de corpos hídricos, como rios, córregos e represas, é essencial para garantir a disponibilidade de água de qualidade ao longo do ano. Em ambientes urbanos, onde a presença de água pode ser limitada e fragmentada, este critério torna-se fundamental para identificar áreas que oferecem esse recurso básico para a sobrevivência das abelhas.

O mapa de proximidade de água foi obtido utilizando uma camada vetorial de rios e represas disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2017). Por se tratar de áreas

urbanas e algumas partes desses corpos hídricos estarem canalizados, foi feita a exclusão dessas áreas, uma vez que não cumprem seu papel no quesito disponibilidade de água para as abelhas. Utilizando a ferramenta *buffer*, foi considerado que a largura média dos corpos hídricos é de 4 metros, o que gerou um polígono que foi somado aos polígonos das represas, originando uma camada única e vetorial denominada hidrografia.

Araújo *et al.* (2004) correlacionaram o maior tamanho corporal das abelhas a maiores raios de voo, encontrando os seguintes resultados para abelhas pequenas as distâncias máximas de voo variaram de 621 a 951 m, as distâncias máximas de voo para espécies de médio porte variaram de 1159 a 1710 m e as distâncias de voo estimadas para as abelhas maiores foram superiores a 2 km. Assim, com base no raio de voo das abelhas, foram estabelecidos os seguintes intervalos de proximidade de cursos d'água: de 0 a 500 m; de 500 a 1 km; de 500 a 2 km e acima de 2 km. Para inserir esses intervalos, a camada vetorial hidrografia foi convertida para o formato *raster* e posteriormente utilizando a ferramenta proximidade foi criada a camada proximidade de cursos d'água. Após esse procedimento a camada proximidade de cursos d'água foi estilizada de acordo com a distância máxima.

O mapa de declividade do terreno foi feito a partir de imagens SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) disponibilizadas no *plugin SRTM downloader* do próprio QGIS, onde foi feito o recorte do Modelo Digital de Elevação (MDE) para as áreas de estudo e posteriormente calculado a declividade em porcentagem, seguindo os intervalos da Embrapa (1979), como destacado: entre 0% e 3% o terreno é considerado plano; entre 3% e 8% o terreno é considerado suave ondulado; entre 8% e 20% o terreno é considerado ondulado; entre 20% e 45% o terreno é considerado forte ondulado; entre 45% e 75% o terreno é considerado montanhoso e acima de 75% o terreno é considerado escarpado.

A declividade influencia a facilidade de voo e de acesso das abelhas aos recursos alimentares. Áreas com declividades extremas, como encostas íngremes, podem dificultar a movimentação das abelhas, afetando negativamente sua capacidade de forrageamento. Além disso, regiões de maior declividade tendem a ter menor cobertura vegetal e menos áreas adequadas para nidificação.

A temperatura é um fator crucial para a atividade das abelhas. Temperaturas muito elevadas ou muito baixas podem limitar sua capacidade de forragear, além de afetar diretamente o microclima das áreas urbanas, influenciando o comportamento das abelhas e a disponibilidade de recursos florais. A inclusão da temperatura superficial aparente (TSA) como critério visa identificar áreas urbanas que apresentam condições térmicas mais favoráveis para as abelhas. Dessa forma, o mapa da TSA foi obtido utilizando a banda 10 do sensor TIRS (*Thermal*

*Infrared Sensor*) do satélite Landsat-8 adquirida através do site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (Quadro 1). Para calcular a TSA foi utilizada a Equação 1, conforme demonstrada por Coelho (2013).

$$TC = (1321.08 / \ln(774.89 / (3.3420E - 04 * \text{banda10.tif} + 0.10000) + 1)) - 273.15 \quad (1)$$

O mapa de solos foi obtido a partir de arquivos vetoriais disponibilizados pelo IBGE (2006) com a escala 1:5.000.000, e foi feito o recorte apenas para a área de estudo. Para fins de cálculo essa camada foi convertida para o formato *raster*, através do processo de rasterização. O tipo de solo é um fator determinante para a vegetação local, que por sua vez influencia a oferta de recursos alimentares e de nidificação para as abelhas.

O critério uso e cobertura da terra reflete diretamente a disponibilidade de habitats adequados para as abelhas. Áreas com cobertura vegetal densa, como florestas urbanas e parques, oferecem alimentos e locais de nidificação. Em contraste, áreas pavimentadas ou com construções limitam os recursos disponíveis e reduzem a qualidade ambiental. O mapa de uso e cobertura da terra foi elaborado utilizando as bandas 4, 5 e 6 do sensor OLI (*Operational Land Imager*) do satélite Landsat 8 na composição 6R5G4B a fim de obter uma composição colorida falsa cor. A imagem de satélite utilizada neste trabalho foi obtida gratuitamente no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) (Quadro 1).

Quadro 1 - Informações sobre as imagens do satélite Landsat 8 para elaboração do mapa de uso e cobertura da terra e TSA

Cidade	Data	Sensor	Órbita/ponto
Uberaba	23/04/2021	OLI/TIRS	220/74
Araguari e Uberlândia	14/04/2021	OLI/TIRS	221/73

Fonte: Elaboração Autora (2022)

A imagem de satélite foi classificada considerando as seguintes classes: vegetação arbórea, vegetação herbácea, água (lagos e represas), agricultura, solo exposto, área construída/pavimentada. O método de classificação empregado foi o supervisionado pixel-a-pixel, conhecido como Máxima Verossimilhança (Maxver). Este método utiliza amostras de treinamento representativas das classes a serem mapeadas de forma a extrair das imagens os grupamentos mais homogêneos que compõem uma unidade de mapeamento ou o polígono. A quantidade de amostras de treinamento é estabelecida em função da maior ou menor variabilidade de respostas que a imagem apresenta (IBGE, 2013). O algoritmo Maxver considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes,

utilizando parâmetros estatísticos e calcula a probabilidade de cada pixel pertencer a cada classe (Rabello, 2016). A confiabilidade do mapa gerado foi verificada por meio do índice Kappa, sendo considerado adequado os mapas que obtiveram valores superiores a 0,75, pois possuem concordância elevada (Fernandes, 2006).

Para análise da paisagem, foi utilizado o complemento *landscape ecology* do QGIS para cálculo das seguintes métricas do mapa de uso e cobertura da terra: área da classe, proporção da classe, número de fragmentos e área do maior fragmento.

Todas as camadas *raster*, ou seja, os mapas dos critérios foram dimensionados para a mesma resolução espacial de 30 metros.

### 3.1.2 Aplicação do método Delphi

Para definição dos pesos dos critérios foi aplicado o método Delphi, no qual 15 especialistas responderam o formulário conforme apresentado no Quadro 2. O método Delphi consiste na obtenção dos pesos e notas atribuídas por um grupo multidisciplinar de especialistas, que conheçam bem o fenômeno e melhor ainda se conhecerem bem a realidade espacial onde ele se localiza e que possuam informações sobre determinado problema em relação à sua dimensão, à definição de objetivos e prioridades em sua solução, assim como sobre a abordagem teórica do tema (Moura, 2007; Minayo, 2014).

O grupo de especialistas que compôs este quadro incluiu professores, alunos de doutorado e pós-doutorado de várias instituições de ensino e pesquisa nacionais e uma internacional. Entre elas estão a Universidade Federal de Uberlândia, Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Universidade Estadual de Goiás, Universidade do Estado de Mato Grosso, Universidade Estadual de Londrina, Universidade de São Paulo, Faculdade de Ciência de Lisboa e Instituto Superior de Agronomia e também um profissional da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Meio Ambiente. Todos os membros desse grupo estão diretamente envolvidos em pesquisas relacionadas às abelhas.

A esses especialistas foi solicitado que hierarquizem ou colocassem as variáveis (ou planos de informação) em ordem de importância para a manifestação ou ocorrência do fenômeno estudado (Moura, 2007). No caso desse estudo objetivou-se avaliar os fatores que influenciam na nidificação e forrageamento das abelhas e saber qual é a ordem de importância das variáveis escolhidas. Além do quadro foram enviadas orientações sobre a forma de como preencher e qual a finalidade da consulta.

O método Delphi consiste em se obter o consenso de especialistas sobre determinado assunto, “numa primeira fase é enviado o questionário e a partir de suas respostas, é feito outro instrumento que leva em conta as contribuições dos especialistas, e outra vez, lhes é endereçado para que pronunciem sobre o grau de acordo com cada afirmação conseguida” (Minayo, 2014, p. 269). E isso é feito sucessivamente até se obter o consenso.

Neste trabalho, o método Delphi foi aplicado em duas fases. Após receber as respostas da primeira fase, foi realizada a seleção da média e a indicação do predomínio nas manifestações. Na segunda fase, cada especialista recebeu os resultados da primeira consulta e foi solicitado que revesse suas posições – caso ele tivesse firmeza das suas escolhas, bastava manter suas respostas, mas caso ele decidisse ajustar suas avaliações diante da resposta do grupo, ele deveria manifestar nova opinião. Cabe lembrar que em nenhum momento os especialistas foram identificados entre si, para não haver trocas de informações e influenciar no resultado.

Quadro 2 - Questionário aplicado aos especialistas para definição dos pesos dos critérios

<b>Crítérios</b>	<b>Pesos</b>	<b>Componentes de legenda</b>	<b>Notas</b>
Uso e cobertura da terra		Solo exposto	
		Vegetação herbácea	
		Vegetação arbórea	
		Agricultura	
		Área construída/pavimentada	
		Água (lagos e represas)	
Temperatura Superficial Aparente (temperatura da superfície)		Abaixo de 10°C	
		10° a 15°C	
		15 a 20°C	
		20 a 25°C	
		25 a 30°C	
		30 a 35°C	
		35 a 40°C	
		Acima de 40°C	
Declividade		Plano	
		Suave ondulado	
		Ondulado	
		Forte ondulado	
		Montanhoso	
		Escarpado	
Tipo de solo nas áreas com vegetação natural (que não foram desmatadas ou aterradas)		Argissolos (Solos com acúmulo de argila em subsuperfície)	
		Cambissolos (Solos moderadamente desenvolvidos)	
		Chernossolos (Muito férteis, apresentam de médios a altos teores de carbono e altos teores de cálcio e magnésio, conferindo alta saturação por bases)	
		Espodossolos (Solos com acúmulo de matéria orgânica e/ou alumínio e ferro em subsuperfície)	
		Gleissolos (Material predominantemente argiloso e muito argiloso que passou por processos de oxidação e redução em ambiente saturado por água, mal ou muito mal drenados (hidromórficos).	
		Latossolos (São altamente intemperizados e sem incremento de argila em profundidade)	
		Luvisolos (Solos com acúmulo de argila em subsuperfície associado à argila de atividade alta)	
		Neossolos (Solos jovens, constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura)	
		Nitossolos (Solos argilosos, ausência de gradiente textural e bem estruturados)	
		Organossolos (Solos de constituição orgânica)	
		Planossolos (Solos com abrupto acúmulo de argila em subsuperfície e baixa permeabilidade)	
		Plitossolos (Solos com expressivo acúmulo e segregação de ferro)	
		Vertissolos (baixo grau de desenvolvimento pedogenético e altos teores de argila)	
Proximidade fonte de água (lagos, represas córregos, rios) e áreas úmidas		Até 500m	
		Até 1km	
		Até 2km	
		Acima de 2km	

Fonte: Elaboração Autora (2022)

Primeiramente os especialistas atribuíram pesos aos critérios, definido em porcentagem, quanto maior o valor, mais importância eles julgaram ter para a qualidade ambiental para as abelhas. O somatório dos percentuais atribuídos aos critérios é igual a 100%. Feito isso, o próximo passo foi atribuir notas de 1 a 10 às classes pré-estabelecidas para cada critério, da mesma forma, quanto maior a nota, mais importante é para as abelhas.

Após a construção da base de dados e dos pesos para cada critério, o próximo passo foi reclassificar cada camada *raster* utilizando a sintaxe apropriada para cada critério para que fosse realizada a análise multicritério. Para isso foi utilizada a função *r.reclass* do QGIS, onde foi criado um novo mapa para cada critério, onde os valores dos *pixels* da camada de entrada foram reclassificados para os valores resultantes do método Delphi. Assim, padronizou-se os diferentes critérios em uma escala que permitiu sua posterior comparação pela metodologia de análise. Para os mapas dos critérios tipos de solo e uso e cobertura da terra foram usados os valores de *pixels* de cada classe e para os mapas dos critérios temperatura superficial aparente, proximidade de corpos hídricos e declividade do terreno considerou-se os intervalos de cada classe.

### 3.1.3 Análise Multicritério

Após calcular todos os indicadores para estimar o Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas, os mapas elaborados foram submetidos ao método de Combinação Linear Ponderada (CLP). De acordo com Sartori, *et al.* (2012) o método CLP corresponde a uma operação simples, de multiplicar cada mapa de fator (isto é, cada célula, ou *pixel*, de cada mapa) pelo seu peso e, então, somar os resultados.

Com todas as camadas reclassificadas foi aplicada a Equação 2 na calculadora *raster* do QGIS para o cálculo do Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA). Onde  $i$  é o índice total de  $n$  critérios,  $w$  é o peso do  $i$ -ésimo critério e  $m$  é o próprio  $i$ -ésimo critério (ou seja, o mapa do critério).

$$\sum_{i=1}^m (w_i \cdot m_i) \quad (2)$$

Os dados da análise multicritério foram classificados em cinco classes de qualidade ambiental para abelhas, de muito baixa a muito alta. No programa SAGA GIS foi utilizado o método de quebras naturais (*jenks*) para definir o agrupamento das classes com base no IQAA (Tabela 1).

Tabela 1 - Agrupamento de classes do IQAA

Valor de pixel	IQAA
1	Muito baixa
2	Baixa
3	Média
4	Alta
5	Muito alta

Fonte: Elaboração Autora (2022).

Para a análise da qualidade ambiental, foi selecionado um ponto localizado em uma área classificada de baixa ou muito baixa qualidade ambiental e considerando o raio médio de voo das abelhas, foram criados *buffers* de 500 m, 1 km e 2 km a partir desse ponto.

## 4. Resultados

### 4.1 Peso dos critérios

O critério com maior peso foi o uso e cobertura da terra, representando 46% da importância total quando comparado aos demais critérios. Dentro desse critério, as classes de vegetação arbórea e a herbácea se destacaram, ambas recebendo a nota mais alta, 8,8, seguida da classe água, com nota 6,47. Posteriormente, os critérios temperatura superficial aparente e proximidade de fontes de água foram classificados como de maior relevância para as abelhas (Tabela 2).

Tabela 2 - Resultado do questionário aplicado aos especialistas utilizando o Método Delphi

<b>Crítérios</b>	<b>Pesos</b>	<b>Componentes de legenda</b>	<b>Notas</b>
Uso e cobertura da terra	46,33	Solo exposto	4,8
		Vegetação herbácea	8,8
		Vegetação arbórea	8,8
		Agricultura	5
		Área construída/pavimentada	1,67
		Água (lagos e represas)	6,47
Temperatura Superficial Aparente (temperatura da superfície)	17,33	Abaixo de 10° C	0,53
		10° C a 15° C	2,07
		15° C a 20° C	5,07
		20° C a 25° C	7,93
		25° C a 30° C	8,93
		30° C a 35° C	6,93
		35° C a 40° C	5,20
Acima de 40° C	1,67		
Declividade	6,40	Plano	8,33
		Suave ondulado	7,8
		Ondulado	7,13
		Forte ondulado	5,67
		Montanhoso	5,73
		Escarpado	4,8
Tipo de solo nas áreas com vegetação natural (que não foram desmatadas ou aterradas)	13,87	Argissolos (Solos com acúmulo de argila em subsuperfície)	4,60
		Cambissolos Solos moderadamente desenvolvidos)	5,40
		Chernossolos (Muito férteis, apresentam de médios a altos teores de carbono e altos teores de cálcio e magnésio, conferindo alta saturação por bases)	6,80
		Espodossolos (Solos com acúmulo de matéria orgânica e/ou alumínio e ferro em subsuperfície)	4,87
		Gleissolos (Material predominantemente argiloso e muito argiloso que passou por processos de oxidação e redução em ambiente saturado por água, mal ou muito mal drenados (hidromórficos).	2,87
		Latosolos (São altamente intemperizados e sem incremento de argila em profundidade)	5,73
		Luvisolos (Solos com acúmulo de argila em subsuperfície associado à argila de atividade alta)	4,53
		Neossolos (Solos jovens, constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura)	4,20
		Nitossolos (Solos argilosos, ausência de gradiente textural e bem estruturados)	5,60
		Organossolos (Solos de constituição orgânica)	5,87
		Planossolos (Solos com abrupto acúmulo de argila em subsuperfície e baixa permeabilidade)	3,47
		Plitossolos (Solos com expressivo acúmulo e segregação de ferro)	3,27
		Vertissolos (baixo grau de desenvolvimento pedogenético e altos teores de argila)	3,73
Proximidade fonte de água (lagos, represas córregos, rios) e áreas úmidas	16,07	Até 500 m	9,53
		Até 1 km	7,67
		Até 2 km	4,47
		Acima de 2 km	2,87

Fonte: Elaboração Autora (2022).

As métricas da paisagem trazem informações quanto à caracterização do critério uso e cobertura da terra. A cidade de Uberaba tem o maior fragmento de vegetação arbórea e ao todo soma 1.489 fragmentos (Tabela 3). Já Uberlândia (Tabela 4) e Araguari (Tabela 5) ficam empatadas quanto à área do maior fragmento de vegetação arbórea. Contudo, é importante destacar que Uberlândia possui 1.211 fragmentos, em contraste com Araguari, que conta com apenas 152. Os fragmentos florestais servem como áreas de conectividade.

Tabela 3 - Métricas da paisagem analisadas para o município de Uberaba-MG

Classes	Área da classe (Km <sup>2</sup> )	Área da classe (%)	Número de fragmentos	Área do maior fragmento (Km <sup>2</sup> )
Água (lagos e represas)	0,34	0,33	120	0,05
Agricultura	3,96	3,91	573	0,35
Vegetação herbácea	16,74	16,51	1719	1,76
Vegetação arbórea	16,99	16,76	1489	2,74
Solo exposto	18,13	17,88	2725	0,64
Área construída/ pavimentada	45,22	44,61	719	34,77
<b>Total</b>	<b>101,38</b>			

Fonte: Elaboração Autora (2022).

Tabela 4 - Métricas da paisagem analisadas para o município de Uberlândia-MG

Classes	Área da classe (Km <sup>2</sup> )	Área da classe (%)	Número de fragmentos	Área do maior fragmento (Km <sup>2</sup> )
Água (lagos e represas)	0,30	0,13	28	0,15
Agricultura	2,40	1,02	601	0,95
Vegetação arbórea	9,24	3,93	1211	0,43
Solo exposto	15,79	6,71	4453	1,40
Vegetação herbácea	52,12	22,16	1863	6,65
Área construída/ pavimentada	155,40	66,06	901	149,45
<b>Total</b>	<b>235,25</b>			

Fonte: Elaboração Autora (2022).

Tabela 5 - Métricas da paisagem analisadas para o município de Araguari-MG

Classes	Área da classe (km <sup>2</sup> )	Área da classe (%)	Número de fragmentos	Área do maior fragmento (km <sup>2</sup> )
Água (lagos e represas)	0,01	0,03	3	0,01
Vegetação herbácea	1,53	3,17	354	0,15
Vegetação arbórea	1,65	3,41	152	0,42
Solo exposto	2,81	5,81	1047	0,31
Agricultura	14,07	29,10	803	3,15
Área construída/ pavimentada	28,27	58,49	174	26,87
Total	48,34			

Fonte: Elaboração Autora (2022).

Comparando o uso e cobertura da terra nas três cidades (Figura 3), verifica-se que, em relação à água, Araguari tem uma porcentagem menor comparada a Uberaba e Uberlândia. No que diz respeito à agricultura Uberlândia apresenta a maior porcentagem, seguida por Uberaba e Araguari. Quanto à vegetação, tanto herbácea, quanto arbórea, observa-se porcentagens maiores em Uberaba e Uberlândia, comprado com Araguari. E em termos de solo exposto e área construída, Uberlândia tem a maior porcentagem de solo exposto e área construída/pavimentada, indicando maior urbanização, seguida de Araguari.

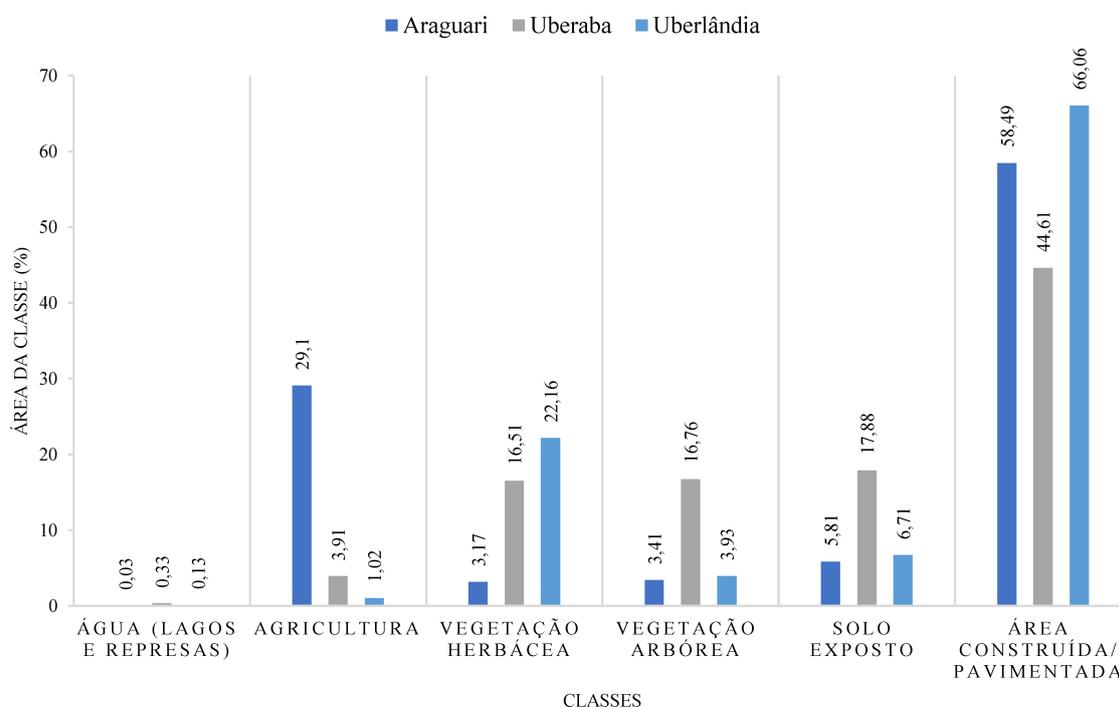


Figura 3 - Distribuição das classes de uso e cobertura da terra analisadas para as cidades de Uberlândia, Uberaba e Araguari – MG

Fonte: Elaboração Autora (2022)

Após a reclassificação utilizando a sintaxe (Tabela 6) na função *r.reclass*; na classe, área construída/pavimentada, todos os *pixels* iguais a 6 foram reclassificados para o valor 1,67, e assim subseqüentemente, conforme nota atribuída pelos especialistas no método Delphi.

Tabela 6 - Exemplo de sintaxe utilizada para reclassificar as camadas *raster* de uso e cobertura da terra utilizando a função *r.reclass*

Notas atribuídas para cada intervalo de classe	Sintaxe utilizada na função <i>r.reclass</i>
<b>Uso e cobertura da terra (Uberlândia)</b>	
Área construída/ pavimentada = 1,67	6 thru 6 = 1,67
Solo exposto = 4,8	33 thru 33 = 4,8
Agricultura = 5	22 thru 22 = 5
Água (lagos e represas) = 6,47	7 thru 7 = 6,47
Vegetação arbórea = 8,8	13 thru 13 = 8,8
Vegetação herbácea = 8,8	17 thru 17 = 8,8

Fonte: Elaboração Autora (2022).

Os mapas dos critérios temperatura superficial aparente, proximidade de corpos hídricos e declividade do terreno também foram reclassificados utilizando as pontuações que receberam dos especialistas (Tabela 7).

Tabela 7 - Sintaxe utilizada para reclassificar as camadas *raster* utilizando a função *r.reclass*

Notas atribuídas para cada intervalo de classe	Sintaxe utilizada na função <i>r.reclass</i>
<b>Temperatura Superficial Aparente</b>	
Abaixo de 10°C = 0,53	0 thru 10 = 0,53
10° a 15°C = 2,07	10.1 thru 15 = 2,07
15 a 20°C = 5,07	15.1 thru 20 = 5,07
20 a 25°C = 7,93	20.1 thru 25 = 7,93
25 a 30°C = 8,93	25.1 thru 30 = 8,93
30 a 35°C = 6,93	30.1 thru 35 = 6,93
35 a 40°C = 5,20	35.1 thru 40 = 5,20
Acima de 40°C = 1,67	* = 1,67
<b>Proximidade de corpos hídricos</b>	
Até 500m – 9,53	0 thru 500 = 9,53
Até 1km – 7,67	500.1 thru 1000 = 7,67
Até 2km – 4,47	1000.1 thru 2000 = 4,47
Acima de 2km – 2,87	* = 2,87
<b>Declividade do terreno</b>	
Entre 0% e 3% - 8,33	0 thru 3 = 8,33
Entre 3% e 8% - 7,80	3.1 thru 8 = 7,80
Entre 8% e 20% - 7,13	8.1 thru 20 = 7,13
Entre 20% e 45% - 5,67	20.1 thru 45 = 5,67
Entre 45% e 75% - 5,73	45.1 thru 75 = 5,73
Acima de 75% - 4,80	75.1 thru 100 = 4,80

Fonte: Elaboração Autora (2022).

## 4.2 Mapas de Qualidade Ambiental para Abelhas

#### 4.2.1 Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas, Uberlândia, MG

As características relevantes da cidade de Uberlândia incluem: solo predominante é do tipo latossolo, a temperatura média que varia entre 20° C e 35° C, a classe predominante no uso e cobertura da terra foi a área construída ou pavimentada, a declividade varia de plano a ondulado e a proximidade de fontes de água é satisfatória, considerando a distância de até 2 km (Figura 4).

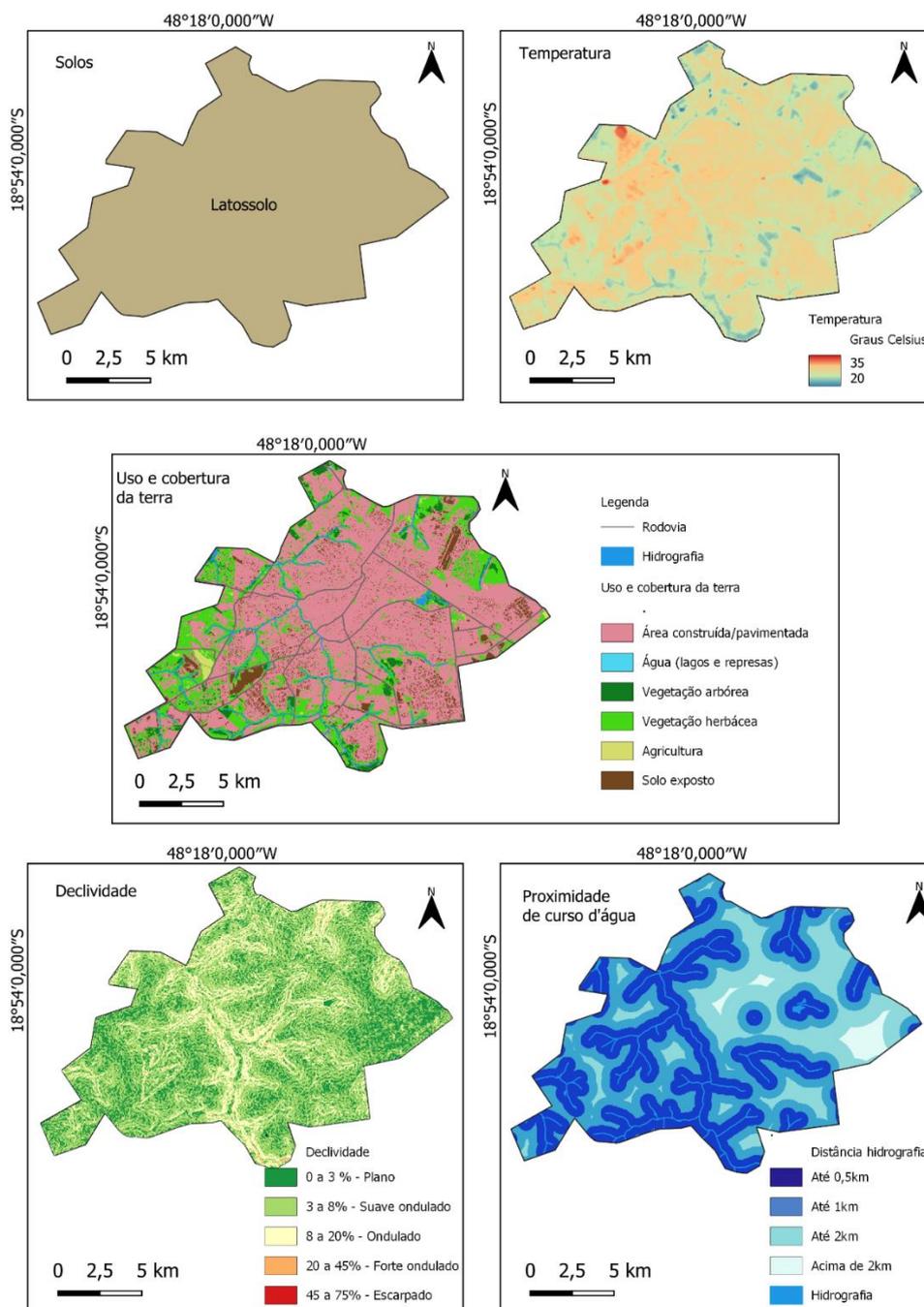


Figura 4 – Cartas temáticas dos critérios utilizados na elaboração do Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA) para Uberlândia, MG  
Fonte: Elaboração Autora (2022)

A análise da qualidade ambiental para abelhas para a área urbana do município de Uberlândia (Figura 5; Tabela 8) mostra que 45% da sua área são locais com baixa qualidade ambiental, principalmente nas áreas mais urbanizadas da cidade. Em contrapartida, o município tem 31% da sua área classificada com qualidade ambiental como alta e muito alta, podendo ser resultado da influência dos parques urbanos, como o Parque do Sabiá, e áreas ao longo dos cursos d'água e remanescentes florestais.

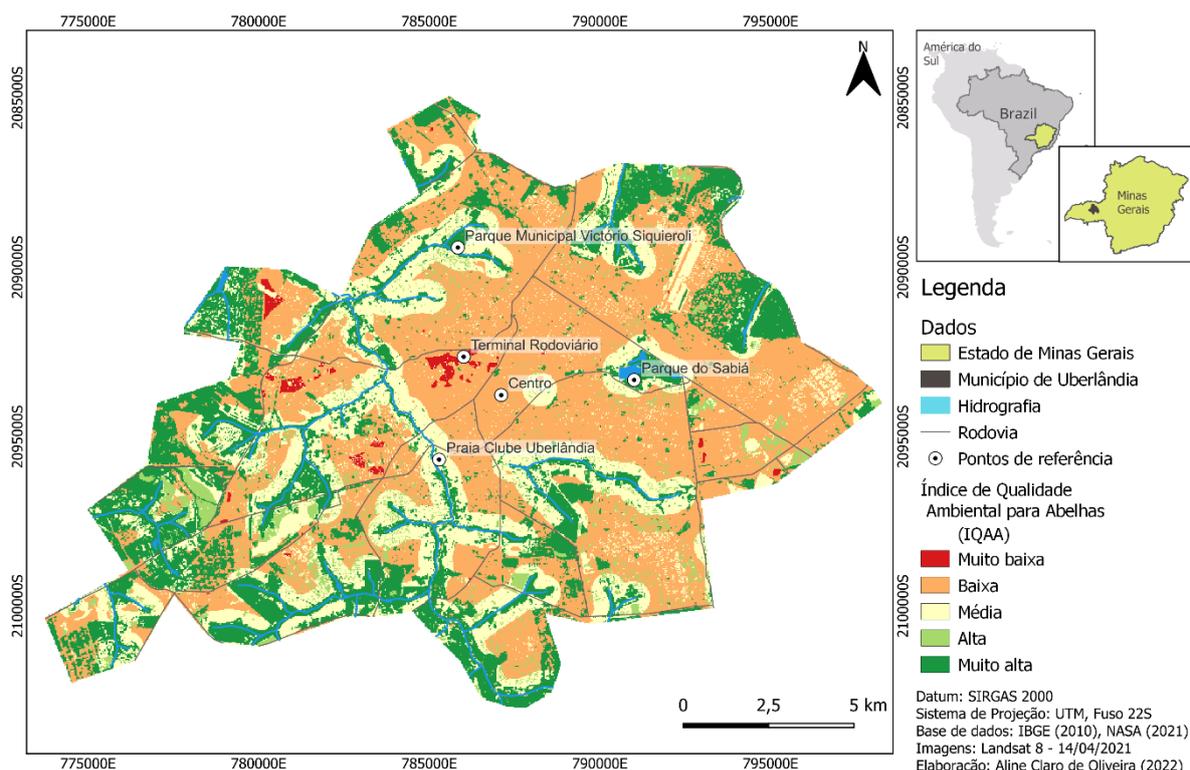


Figura 5 - Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA), Uberlândia, MG  
Fonte: Elaboração Autora (2022)

Tabela 8 – Porcentagem do Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA), obtidos para a cidade de Uberlândia, MG

Valor de pixel	Classes de IQAA	Área (km <sup>2</sup> )	%	
1	Muito baixa	1.658.700	1%	
2	Baixa	106.845.300	45%	
3	Média	54.963.900	23%	
4	Alta	11.403.900	5%	
5	Muito alta	60.376.500	26%	
Total		235.248.300	100%	

Fonte: Elaboração Autora (2022)

Esses resultados podem ser justificados por meio do uso e cobertura da terra, que tem o maior peso na análise multicritério. O município de Uberlândia tem 66% de área construída ou pavimentada, que recebeu a nota mais baixa, e 26% de vegetação arbórea e herbácea, que receberam as maiores notas dos especialistas. Isso se deve a características como vegetação densa, temperaturas mais amenas e proximidade com fontes de água.

Entre as áreas classificadas como qualidade ambiental muito baixa, destaca-se a área do terminal rodoviário, que apresenta no seu entorno, qualidade ambiental baixa e muito baixa e está distante de áreas de qualidade alta e muito alta (Figura 6).

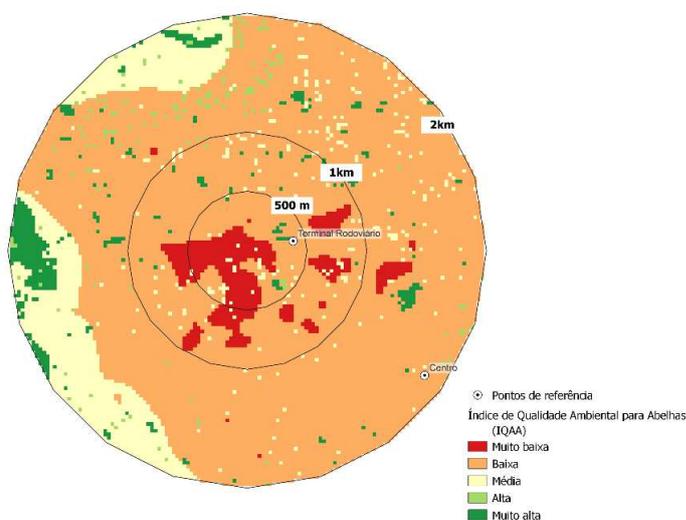


Figura 6 - Recorte das distâncias 500 m, 1 km e 2 km para a qualidade ambiental para abelhas a partir de uma área próxima ao terminal rodoviário de Uberlândia, MG  
 Fonte: Elaboração Autora (2022)

#### 4.2.2 Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas, Uberaba, MG

Algumas características relevantes da cidade de Uberaba incluem: solo predominante é do tipo latossolo, a temperatura média que varia entre 22° C e 35° C, a classe predominante no uso e cobertura da terra foi a área construída ou pavimentada, a declividade varia de plano a ondulado e a proximidade de fontes de água é satisfatória, considerando a distância de até 2 km (Figura 7).

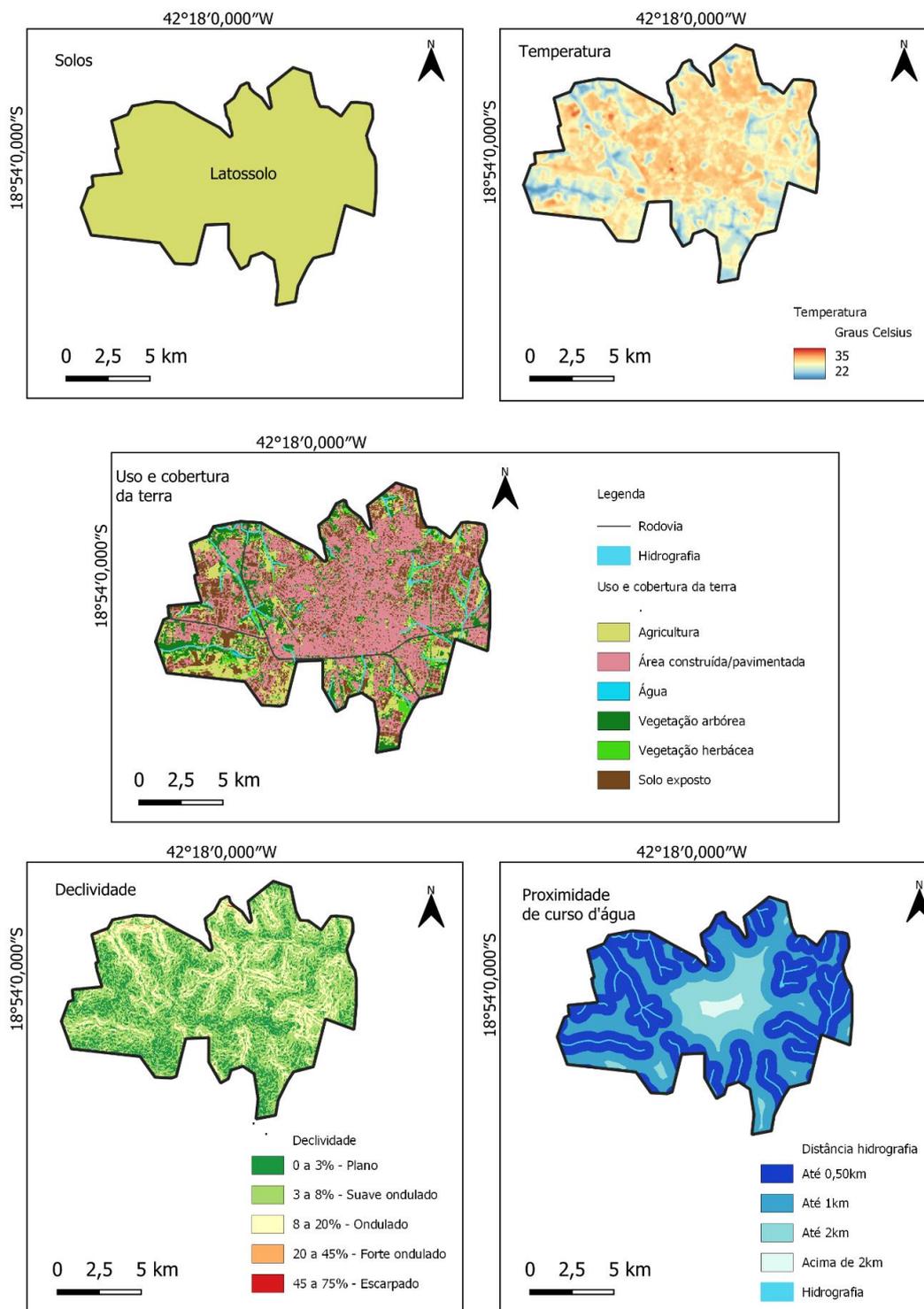


Figura 7 – Cartas temáticas dos critérios utilizados na elaboração do Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA) para Uberaba, MG  
 Fonte: Elaboração Autora (2022).

Nas áreas periféricas e pouco urbanizadas a qualidade ambiental varia de alta a muito alta (Figura 8). A presença de vegetação, como remanescentes florestais e cursos d'água, oferece recursos alimentares (pólen e néctar) e locais possíveis para nidificação. Além disso, as

temperaturas são mais amenas e a proximidade com fontes de água contribui para a qualidade ambiental favorável às abelhas, uma vez que a análise da qualidade ambiental para abelhas considera diversos aspectos, como a disponibilidade de recursos alimentares e de nidificação, a presença de áreas vegetadas e a influência das atividades humanas. Na região central de Uberaba, MG onde a urbanização é mais intensa, a qualidade ambiental para abelhas é predominantemente baixa e muito baixa, correspondendo a 31% da área (Tabela 9). A falta de áreas verdes, a presença de concreto e as altas temperaturas nas ilhas de calor urbanas afetam negativamente as condições para esses insetos.

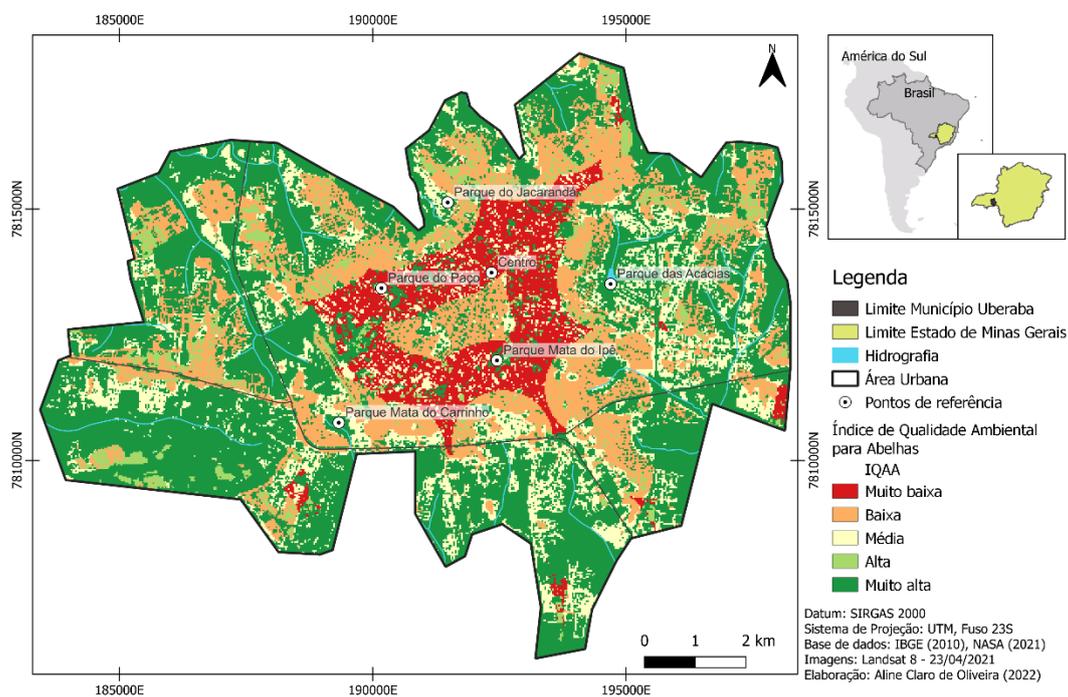


Figura 8 - Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas, Uberaba, MG  
 Fonte: Elaboração Autora (2022)

Tabela 9 – Porcentagem do Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA), obtidos para a cidade de Uberaba, MG

Valor de pixel	Classes de IQAA	Área (km <sup>2</sup> )	%
1	Muito baixa	9.697.500	10%
2	Baixa	21.310.200	21%
3	Média	16.054.200	16%
4	Alta	5.252.400	05%
5	Muito alta	49.056.300	48%
Total		48.322.800	

Fonte: Elaboração Autora (2022).

Um aspecto a se observar é que mesmo tendo áreas de qualidade ambiental muito baixa (Figura 9), ainda existem fragmentos de áreas de qualidade ambiental muito alta, demonstrando a importância da manutenção de praças, parques e áreas verdes nessas áreas.

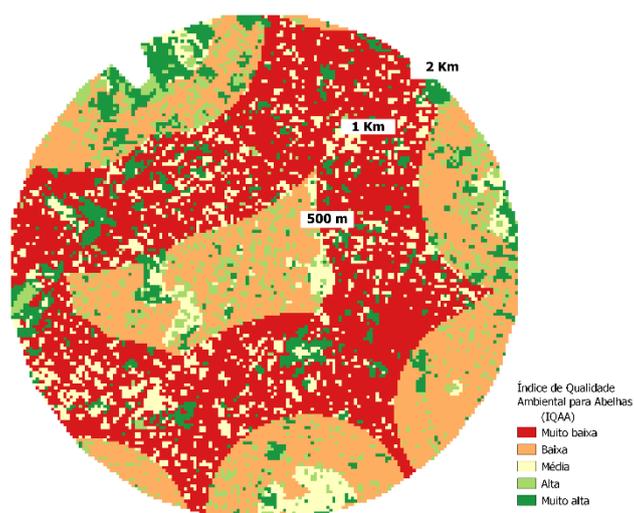


Figura 9 - Recorte das distâncias 500 m, 1 km e 2 km para a qualidade ambiental para abelhas a partir de uma área próxima ao terminal rodoviário de Uberaba, MG

Fonte: Elaboração Autora (2022)

#### 4.2.3 Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas, Araguari, MG

Algumas características relevantes da cidade de Araguari incluem: solo predominante é do tipo latossolo, a temperatura média que varia entre 21° C e 32° C, a classe predominante no uso e cobertura da terra foi a área construída ou pavimentada, a declividade varia de plano a ondulado e a proximidade de fontes de água é escassa, considerando a distância de até 2 km (Figura 10).

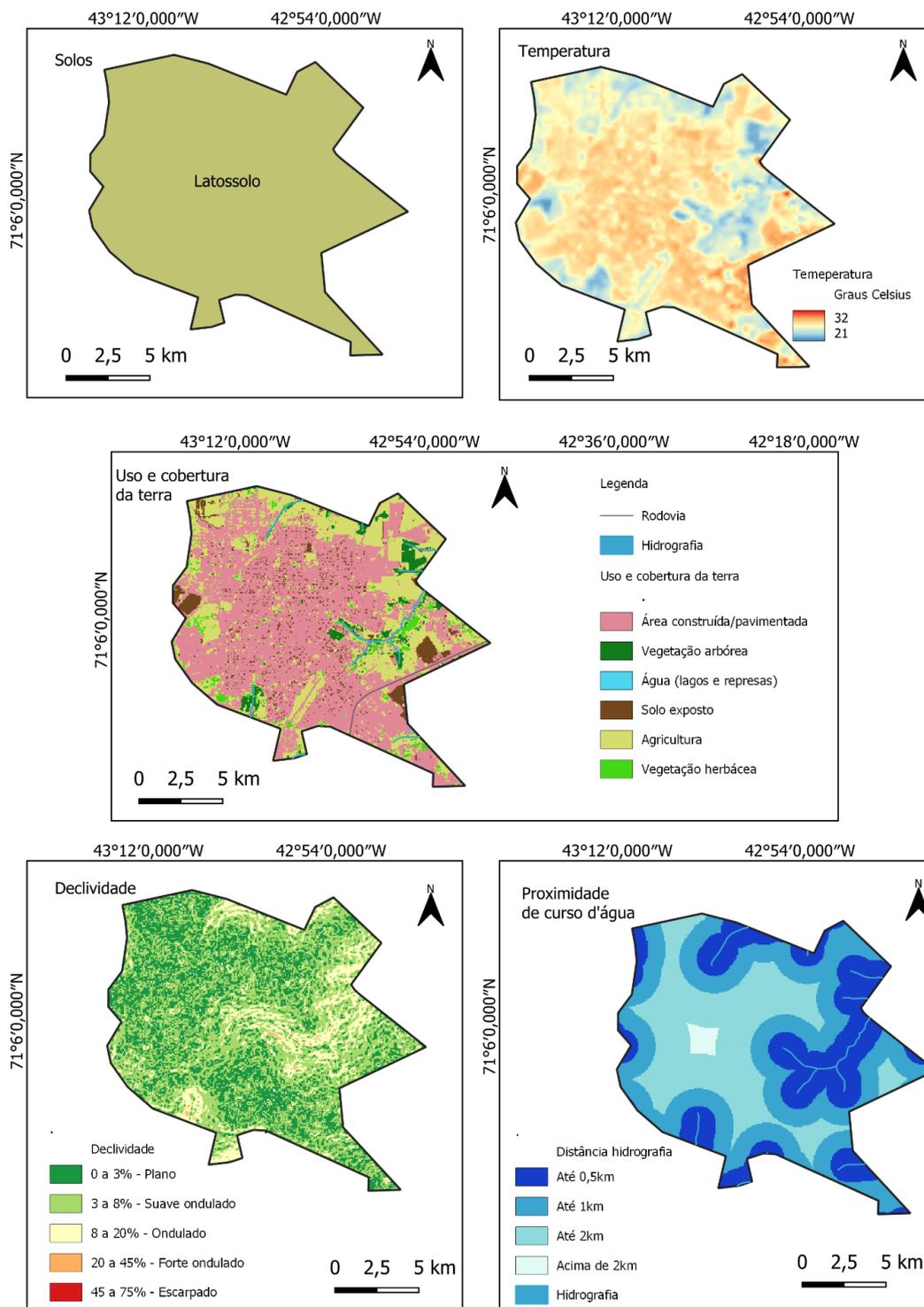


Figura 10 – Cartas temáticas dos critérios utilizados na elaboração do Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA) para Araguari, MG  
Fonte: Elaboração Autora (2022)

A cidade de Araguari apresentou o Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas predominantemente baixo (Figura 11), com cerca de 67%, enquanto as áreas de alta e muito alta qualidade ambiental para as abelhas correspondem apenas à 13% (Tabela 10). Essa

condição pode levar à formação de áreas completamente inadequadas para a permanência das abelhas. A região central de Araguari, em particular, apresenta uma qualidade ambiental baixa, reflexo da ausência de vegetação arbórea e herbácea, formação de ilhas de calor e nenhuma ou poucas fontes de recursos hídricos, criando um ambiente desfavorável à permanência das abelhas e o isolamento de colônias de abelhas sociais. De acordo com Alves (2023) o isolamento e a diminuição da densidade de colônias de abelhas sem ferrão aumentam a possibilidade de endocruzamento nas áreas urbanas, que resulta na geração de machos diploides, aumentando o risco de extinção da espécie.

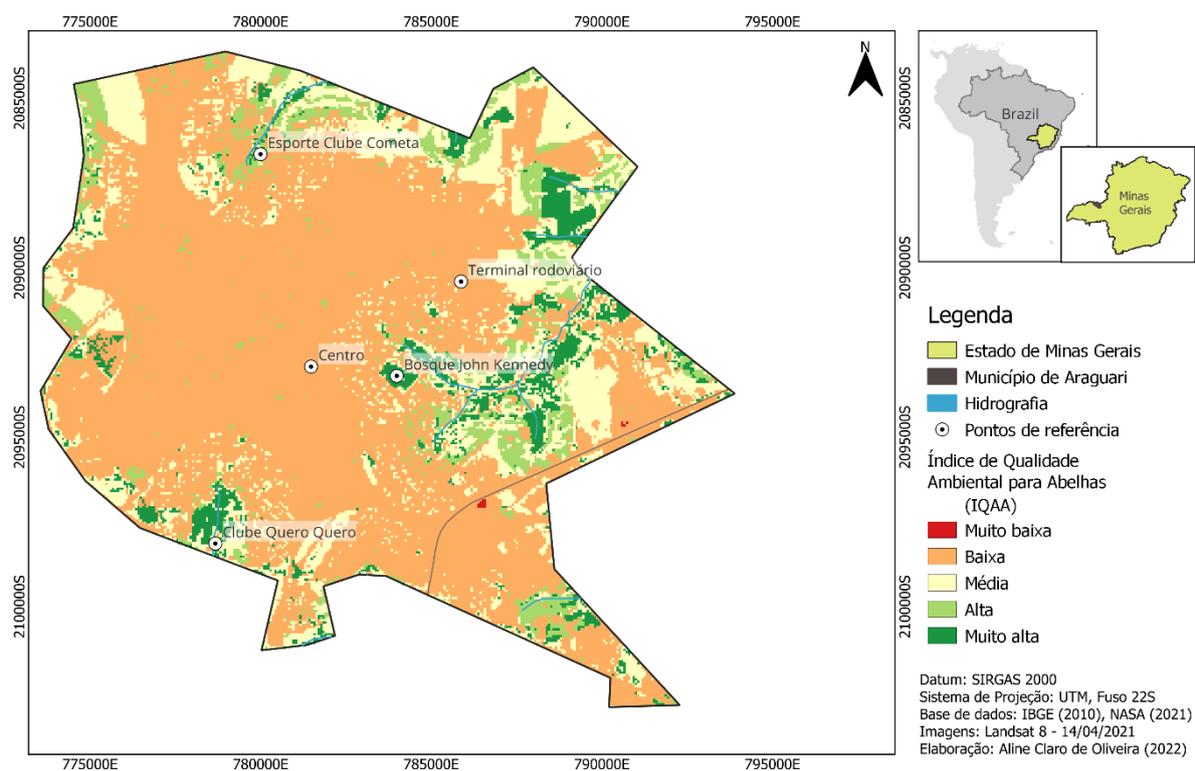


Figura 11 - Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas, Araguari, MG  
Fonte: Elaboração Autora (2022)

Tabela 10 – Porcentagem do Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA), obtidos para a cidade de Araguari, MG

Valor de pixel	Classes de IQAA	Área (km <sup>2</sup> )	%	
1	Muito baixa	0.015300	<0%	
2	Baixa	32.232.600	67%	
3	Média	9.670.500	20%	
4	Alta	3.479.400	7%	
5	Muito alta	2.940.300	6%	
Total		48.322.800		

Fonte: Elaboração Autora (2022).

Em algumas áreas de baixa qualidade ambiental as abelhas podem ficar limitadas aos poucos recursos oferecidos e à sua capacidade voo, que não permite buscar recursos em outras áreas, uma vez que não existem áreas de média e muito alta de qualidade ambiental que interliguem uma área de baixa qualidade ambiental à outra (Figura 12).

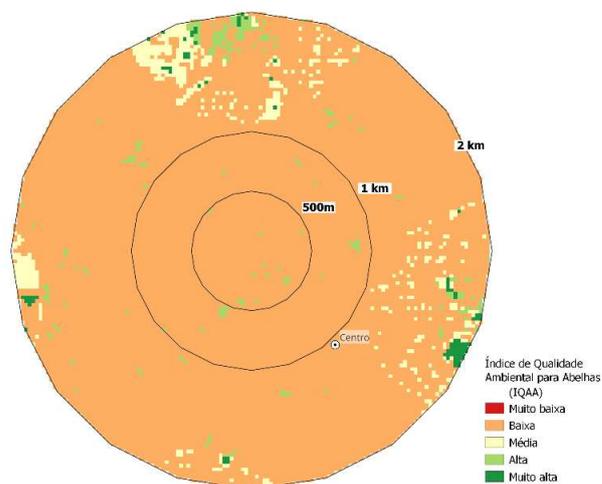


Figura 12 - Recorte das distâncias 500 m, 1 km e 2 km para a qualidade ambiental para abelhas a partir de uma área próxima ao terminal rodoviário de Araguari, MG  
Fonte: Elaboração Autora (2022)

## 5 Discussão

Algumas diretrizes gerais consideradas ideais para um bom IQAA são: proximidade de cursos d'água e áreas com vegetação arbórea e herbácea. Essas são as classes que receberam as maiores notas dentro do critério uso e cobertura da terra e maior peso na aplicação do método Delphi.

Os resultados do IQAA para a área urbana do município de Uberlândia mostram que mesmo tendo a maior área pavimentada/construída das três cidades, ainda assim apresenta uma boa distribuição da qualidade ambiental, que está relacionada com a distribuição da vegetação e proximidade de cursos d'água. Esses resultados corroboram com Oliveira *et al.* (2018), que com a utilização de técnicas de geoprocessamento para estimar a qualidade ambiental, constataram que a cidade de Uberlândia possui muitas áreas com um ótimo Índice de Qualidade Ambiental e que essas áreas estão intimamente relacionadas com a presença de vegetação do local. Apontando também que áreas que concentram estado ruim de qualidade ambiental estão localizadas nas áreas centrais e relacionadas com a alta temperatura e baixa presença de cobertura vegetal.

Araguari apresentou predominantemente baixa qualidade ambiental para abelhas (67%) e nas áreas centrais têm poucas áreas de qualidade ambiental alta ou, pelo menos, média, dificultando a permanência das abelhas nessas áreas. Em seu histórico de crescimento urbano, a cidade realizou a canalização fechada do córrego Brejo Alegre, dando lugar a um canteiro central minimamente qualificado com passeio e pontos de vegetação (Oliveira, 2016). Uma das poucas áreas centrais com alta qualidade ambiental é o Parque Municipal Bosque John Kennedy, uma unidade de conservação com área aproximada de 11,4 hectares, formado principalmente por uma floresta estacional semidecidual. Sendo considerada uma importante área para a manutenção da biodiversidade, destaca-se que no plano de manejo foram observados ninhos de abelhas eussociais em troncos de árvores; ninho da abelha africanizada, *Apis mellifera* L.; ninhos de Mandaguari, *Scaptotrigona depilis* (Moure); ninho de mirim-droryana, *Plebeia droryana* (Friese); além uma fêmea de mamangava-de-toco, *Xylocopa suspecta* Moure & Camargo (Araguari, 2022).

Uberaba apresentou uma extensa área classificada com qualidade ambiental muito baixa, correspondendo a região central, que é a mais modificada pelo processo de urbanização, implicando principalmente em áreas com pouca ou nenhuma vegetação e altamente impermeabilizadas. Embora apresente predominantemente a qualidade ambiental para abelhas muito alta (48%), essa qualidade está mal distribuída, sendo que na área central há uma concentração majoritária de qualidade ambiental muito baixa e à medida que se afasta desta área a qualidade vai melhorando, passando de baixa para muito alta nas áreas periféricas da cidade.

Essa característica é favorecida pelo modelo de crescimento espraiado, que além de urbanizar áreas muito distantes do centro, contribui para a criação de áreas de especulação imobiliária, que se tornam grandes vazios urbanos. Em 2020, essas áreas correspondiam a 29,94% da área total urbanizada de Uberaba (Fabiani, 2020). Esse modelo de crescimento urbano é preocupante, pois ao contrário do que se prevê no Plano Diretor de Uberaba, instituído pela Lei nº359/2006, a implantação dos parques lineares ao longo dos cursos d'água, principalmente localizados nas áreas periféricas não é uma Política Pública efetiva, o que pode favorecer a degradação dessas áreas e conseqüente perda da qualidade ambiental.

A longo prazo, à medida que a urbanização se consolida, aumenta a pressão sobre os remanescentes florestais das áreas periféricas, uma vez que são áreas desassistidas pelo poder público e pela população, que sofrem anualmente com as queimadas, desmatamento e descarte irregular de resíduos. A infraestrutura dos parques em Uberaba é precária, com intervenções públicas apenas paliativas e inadequadas às necessidades das áreas. Além disso, não existem

propostas de recuperação que permitam a reintegração desses espaços na dinâmica urbana (Gomes, 2020).

A discussão apresentada sobre IQAA das três cidades fortalece a opinião dos especialistas quanto ao critério uso e cobertura da terra ter recebido a maior pontuação, pois ele influencia de forma sistêmica o resultado. Dessa forma, o critério que mais interfere na qualidade ambiental para as abelhas é o uso e cobertura da terra, que implica fatores ambientais, como disponibilidade de água, permeabilidade do solo e temperatura que estão relacionadas com a disponibilidade para áreas de nidificação, coleta de recursos e regulação do microclima.

Nas áreas urbanas temos tipicamente áreas compostas por materiais, como concreto, telhados e asfalto, que possuem um valor baixo de albedo e refletem menos e absorvem mais radiação solar, acarretando aumento na temperatura da superfície (Costa *et al.*, 2010). O clima urbano é influenciado diretamente pelo uso do solo, o que provoca alterações nos elementos climáticos próximos à superfície, resultando em mudanças nas temperaturas, umidade relativa, precipitações e circulação do ar (Belém, 2020).

Quanto mais antropizado o local, menor será a disponibilidade de água de qualidade e mais áreas impermeabilizadas irão compor o mosaico urbano; conseqüentemente tem-se menos umidade e áreas vegetadas que contribuirão para o aumento da temperatura e formação de ilhas de calor. Segundo Nucci (2008), uma consequência da ilha de calor urbana é a formação de uma circulação de ar específica, onde o ar aquecido da região central sobe e o ar da periferia converge para o centro, formando um “domo” de poluição sobre a cidade. Esse ar, inicialmente mais limpo e úmido na periferia, perde umidade e se carrega de poluentes ao atravessar áreas urbanas sem vegetação e com tráfego intenso, concentrando partículas poluentes no centro da cidade.

O aumento da temperatura, tanto de forma global, ocasionada pelas mudanças climáticas, quanto de forma local, ocasionada pelas ilhas de calor podem contribuir para o declínio das populações de abelhas e os impactos disso nos serviços ecossistêmicos são desconhecidos. As alterações climáticas podem influenciar as populações consumidoras tanto diretamente, afetando a sobrevivência e a reprodução, como indiretamente, alterando a disponibilidade de recursos florais (Ogilvie *et al.*, 2017).

Soroye *et al.* (2020) avaliaram as mudanças na ocupação de espécies de abelhas e na riqueza regional na América do Norte e na Europa usando um banco de dados de aproximadamente 550.000 registros de ocorrência georreferenciados de 66 espécies de abelhas, previram maiores declínios na ocupação de espécies de abelhas e na riqueza de espécies onde as mudanças nas condições climáticas excedem com mais frequência as tolerâncias

historicamente observadas das espécies individuais. A abundância e diversidade de espécies nativas de abelhas em paisagens urbanas, que estão ausentes em terras rurais próximas, evidenciam o valor biológico e a importância ecológica das cidades. Essa diversidade tem implicações significativas para a conservação da biodiversidade (Hall *et al.*, 2016).

O comportamento e sobrevivência das abelhas é influenciado pelo aumento da temperatura, principalmente nas áreas urbanas. Hamblin *et al.* (2017) usaram um sistema de estudo de abelhas nativas para testar a capacidade dos máximos térmicos críticos ( $CT_{max}$ , uma medida de tolerância ao calor) para prever as respostas da comunidade aos efeitos das ilhas de calor urbanas em Raleigh, NC, EUA e concluíram que as espécies solitárias e as espécies que nidificam em cavidades (abelhas) podem ser mais sensíveis às mudanças climáticas.

As cidades são compostas por edifícios, casas e ruas pavimentadas, o que diminui as áreas permeáveis, ou seja, aquelas áreas compostas por solos expostos ou vegetação. Com isso, há uma diminuição da disponibilidade de recursos para as abelhas que nidificam no solo e a ausência de florestas pode contribuir para o declínio na população de polinizadores que constroem seus ninhos e estabelecem suas colônias na vegetação arbórea. É importante ressaltar que essas abelhas que nidificam no solo, precisam de solos de qualidade, que estejam descompactados e livres de contaminação. Assim, há uma diminuição da riqueza total de abelhas conforme há o aumento de cobertura impermeável nas áreas urbanizadas (Brancher *et al.*, 2023).

A verticalização das cidades também contribui para a intensificação da poluição no ambiente urbano, conforme (Nucci, 2008) a dissipação das ilhas de calor ocorre pela ação dos ventos, contudo, o aumento da rugosidade causado pela verticalização das cidades pode dificultar a dispersão dos poluentes devido à redução na velocidade do vento.

A vegetação nativa tem uma importante função ecológica, por isso a manutenção de espécies nativas representa a coexistência de fauna biodiversa e autóctone e de solos permeáveis, que evitam a erosão e o consequente assoreamento, auxiliando na regulação da água e em parte, de sua qualidade no ambiente urbano (Belém, 2020). Os corredores ecológicos têm uma importante função nos ambientes urbanos, pois contribuem com o aumento conectividade. Uma vez que em locais com baixa conectividade funcional, mesmo que a heterogeneidade ambiental seja alta, os indivíduos não conseguem fluir pela paisagem, ficando enclausurados em manchas florestais com entorno de baixa qualidade. O custo de deslocamento através da paisagem pode então tornar-se demasiado elevado e apenas as espécies mais generalistas, como *Apis mellifera*, que é mais abundante apenas em paisagens impermeáveis de qualidade muito baixa, poderão sobreviver (Boscolo, *et al.*, 2017).

A arborização urbana e a manutenção de áreas verdes são primordiais para a manutenção da biodiversidade e sobrevivência das abelhas nas áreas urbanas, além de fornecer recursos alimentares e de nidificação a vegetação contribui para amenizar a formação de ilhas de calor. Conforme Arruda *et al.* (2023, p.50) “a criação de áreas que otimizam a circulação atmosférica ao nível do pedestre favorece a evapotranspiração e melhora a eficiência da convecção, o que contribui para diluir poluentes atmosféricos e reduzir a temperatura do ar”.

Essa diluição dos poluentes atmosféricos também é importante para as abelhas, pois os contaminantes metálicos quando presentes no néctar e pólen das flores, permanecem nele, inclusive após sua transformação pelas abelhas, em mel (Oliveira e Nagashima, 2018, p. 204). E tudo isso está relacionado ao uso e cobertura da terra que influenciará na poluição atmosférica que determinada área está sujeita, como por exemplo, em áreas próximas a rodovias ou ruas muito movimentadas tem mais lançamento de emissões atmosféricas, liberadas pela queima de combustíveis dos veículos, onde é liberado o gás carbônico junto a outras substâncias que contém contaminantes metálicos, que podem ser depositados na vegetação e contaminar os recursos alimentares das abelhas.

## **6. Considerações finais**

Como resultado, foram identificadas as áreas boas e áreas ruins para a manutenção das abelhas, fornecendo assim subsídios para projetos futuros que visam o planejamento de ambientes urbanos propícios à sobrevivência desses importantes polinizadores. O IQAA mostra que quanto mais urbanizada uma cidade, pior será a qualidade ambiental dela para as abelhas, demonstrando a importância das praças urbanas, jardins nos canteiros centrais e rotatórias, calçadas ecológicas, jardins residenciais e da arborização urbana, que podem auxiliar na manutenção das condições mínimas para a sobrevivência das abelhas em áreas de baixa e muito baixa qualidade ambiental.

A qualidade ambiental para abelhas na área urbana é um fator crucial para a preservação desses polinizadores. Cabendo ao poder público municipal investir mais em Políticas Públicas que busquem promover a arborização urbana, construção de parques lineares e outras áreas verdes, que são benéficas a todos os seres vivos que habitam as áreas urbanas. Nas três cidades ocorrem áreas de baixa e muito baixa qualidade ambiental que demandam atenção. A fim de verificar as possíveis conexões que podem ser feitas entre áreas de qualidade ambiental alta e muito alta dentro de uma área de baixa qualidade ambiental, é importante analisar os resultados

do IQAA considerando o todo. Ao identificar essas áreas é importante preservá-las, pois elas cumprem os requisitos de forrageamento e nidificação para as abelhas, se tornando uma espécie de refúgio para elas em meio a áreas muito antropizadas.

Embora o enfoque neste trabalho tenha tido um recorte para a avaliação da qualidade ambiental urbana para as abelhas, esse índice pode ser utilizado em qualquer área, uma vez que sua construção foi pensada voltada para as condições ambientais ideais para que as abelhas possam encontrar recursos para sua sobrevivência, como nidificação e forrageamento. Assim, os resultados obtidos com o IQAA nos permitem perceber que a metodologia pode ser aplicada em outras cidades de pequeno, médio e grande porte, não se restringindo apenas a uma ferramenta regional, sendo útil para o planejamento de intervenções em pontos estratégicos que necessitam de melhorar suas condições ambientais para sobrevivência das abelhas e de outros polinizadores que habitam as áreas urbanas.

O desenvolvimento do Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA) forneceu uma importante ferramenta para avaliar a aptidão do ambiente urbano em sustentar populações de abelhas. Com base nos critérios escolhidos — proximidade de cursos d'água, declividade do terreno, temperatura superficial aparente, tipos de solo e uso e cobertura da terra —, foi possível identificar áreas que oferecem melhores condições ambientais para as abelhas e aquelas onde as condições são limitadas.

Os resultados indicam que, quanto mais urbanizada a cidade, maior a tendência de apresentar áreas com baixa qualidade ambiental, o que ressalta a importância das áreas verdes urbanas, como praças, jardins residenciais, canteiros centrais arborizados e calçadas ecológicas. Esses espaços desempenham um papel essencial na manutenção das condições mínimas para a sobrevivência das abelhas, fornecendo recursos alimentares e locais de nidificação.

Além disso, foi possível observar que as cidades de Uberaba, Uberlândia e Araguari possuem áreas de alta qualidade ambiental que funcionam como refúgios para as abelhas, mesmo em meio a áreas altamente antropizadas. Essas áreas de refúgio são essenciais para a conectividade ecológica e para a promoção da biodiversidade urbana.

A aplicação do IQAA também mostrou ser uma ferramenta que pode ser adaptada e utilizada em outras cidades, independentemente do seu tamanho ou nível de urbanização. A metodologia aqui empregada não se restringe a um contexto regional e pode orientar o planejamento de políticas públicas para melhorar as condições ambientais nas áreas urbanas. Em particular, a preservação e ampliação das áreas de vegetação nativa devem ser priorizadas para mitigar os impactos negativos da urbanização sobre as abelhas e outros polinizadores urbanos.

Dessa forma, o IQAA se apresenta como um método eficaz para embasar ações de manejo e planejamento ambiental voltadas à conservação de abelhas em ambientes urbanos, contribuindo para a sustentabilidade e biodiversidade dessas áreas.

## Referências

ADLER, F. R.; TANNER, C. J. **Ecossistemas Urbanos: princípios ecológicos para o ambiente construído**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

ALVES, S. G. **Estrutura da comunidade de abelhas em áreas verdes e a influência da paisagem na cidade de Campos dos Goytacazes, RJ**. 65f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Centro de Biociências e Biotecnologia da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2019.

ALVES, S. G. **Distribuição espacial e estrutura genética de abelhas sem ferrão (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) em área urbana no bioma mata atlântica**. 2023. 125f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Biociências e Biotecnologia, 2023. Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

ALVES, I. C.; CORTOPASSI-LAURINO, M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. **Biodiversidade em ação: conservando espécies nativas, corredores ecológicos urbanos...Seguindo a trilha da Jataí**. São Paulo: A.B.E.L.H.A., 52 p., 2017. Disponível em: [https://abelha.org.br/wp-content/uploads/2017/06/Biodiversidade\\_em\\_acao\\_site.pdf](https://abelha.org.br/wp-content/uploads/2017/06/Biodiversidade_em_acao_site.pdf). Acesso em: 12 abr. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017, 2017.

ARAGUARI. **Plano de Manejo do Parque Municipal Bosque John Kennedy de Araguari – PMBJK**. Encarte 2: Trabalhos de campo; diagnóstico do meio físico; diagnóstico do meio biótico; diagnóstico do patrimônio cultural; diagnóstico socioeconômico; diagnóstico da gestão da Unidade de Conservação, recursos humanos, infraestrutura, equipamentos e gestão financeira; Referências Bibliográficas. Araguari: Prefeitura Municipal de Araguari, 2022. Disponível em: <https://araguari.mg.gov.br/assets/uploads/bosque/bosque2.pdf>. Acesso em: 17 out. 2024.

ARRUDA, A. M.; MASIERO, E; KOWALSKI, L. F. Análise do impacto da vegetação urbana na temperatura do ar e na umidade relativa em duas áreas habitacionais distintas de uma cidade de grande porte. **Revista de Arquitetura IMED**, Passo Fundo, v. 12, n. 2, p. 38-55, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.18256/23181109.2023.v12i2.4952>. Acesso em: 06 jun. 2024. <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2023.v12i2.4952>

BALDOCK, K. C.R.; GODDARD, M.A.; HICKS, D. M. A systems approach reveals urban pollinator hotspots and conservation opportunities. **Nature Ecology & Evolution** 3, 363–373 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0769-y>.

BELÉM, A. L. C. **Diálogos em ecologia urbana**. Curitiba: InterSaberes, 2020.

BOSCOLO, D.; TOKUMOTO, P. M.; FERREIRA, P. A.; RIBEIRO, J. W.; SANTOS, J. S. Positive responses of flower visiting bees to landscape heterogeneity depend on functional connectivity levels. **Perspectives in Ecology and Conservation**, [s. l.], v.15, p. 18-24, Jan.–Mar., 2017. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2530064417300329?via%3Dihub>. Acesso em: 12 abr. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.03.002>

BRANCHER, K.P. T.; GRAF, L.V.; HERINGER, G.; ZENNI, R.D. Urbanization and abundance of floral resources affect bee communities in medium-sized neotropical cities. **Austral Ecology**, [s. l.], v. 49, p. 1-17, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/aec.13299>. Acesso em: 28 fev. 2024. <https://doi.org/10.1111/aec.13299>

COELHO, A. L. N. Temperatura de superfície Celsius do sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.7, n.1, 2013. <https://doi.org/10.18227/1678-7226rga.v7i1.2996>

CONRAD, O., BECHTEL, B., BOCK, M., DIETRICH, H., FISCHER, E., GERLITZ, L., WEHBERG, J., WICHMANN, V., AND BÖHNER, J. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA). **Geosci. Model Dev.**, v. 8, issue 7, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>. Acesso em: 21 jun. 2024. <https://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>

COSTA, D. F.; SILVA, H. R; PERES, L. F. Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira - SP através da utilização de geotecnologias. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.5, p.974-985, set./out. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/bzMBJJ8MgLGXdSwHkYMHjYr/?format=pdf>. Acesso em: 10 abr. 2024. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000500019>

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

\_\_\_\_\_. Criação de abelhas sem ferrão. Embrapa Meio-Norte: Teresina, PI. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/166288/1/CriacaoAbelhaSemFerro.pdf>. Acesso em: 13 maio 2024.

FABIANI, T. M. **Os vazios urbanos em Uberaba/MG e as políticas de uso e ocupação do solo**. Dissertação (mestrado) – Pós-graduação em arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Uberlândia, 2020.

FERNANDES, S. C. S. **Análise da evolução da ocupação e uso do solo: aplicação com base num SIG para o Parque Nacional Peneda-Gerês**. 137f. Relatório Final (Curso Licenciatura em Engenharia do Ambiente e dos Recursos Rurais). Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, 2006.

GOMES, M. A. S. Parques urbanos e a problemática dos espaços de lazer não implantados em Uberaba-MG. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia-MG v. 21, n. 78 Dez/2020 p. 237–252. <https://doi.org/10.14393/RCG217857961>

HAMBLIN, A. L.; YOUNGSTEADT, E.; LÓPEZ-URIBE, M. M.; FRANK, S. D. 2017. Physiological thermal limits predict differential responses of bees to urban heat-island effects. **Biology Letters**, 2017. Disponível em:

<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsbl.2017.0125>. Acesso em: 10 abr. 2024.  
<https://doi.org/10.1098/rsbl.2017.0125>

HERNANDEZ J.L., FRANKIE G.W., THORP R.W. Ecology of urban bees: a review of current knowledge and directions for future study. **Cities Environm** (CATE), [S.l.], vol. 2, Iss. 1, Article 3, 2009. Disponível em: <https://digitalcommons.lmu.edu/cate/vol2/iss1/3>. Acesso em: 10 jul. 2024. <https://doi.org/10.15365/cate.2132009>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Documentação do Censo 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2002.

\_\_\_\_\_. Mapa de Solos do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

\_\_\_\_\_. Manual Técnico de Uso da Terra. 2013/Rio de Janeiro: 2013.171p.

HALL, D. M.; CAMILO, G.R.; TONIETTO, R. K.; OLLERTON, J.; AHRNÉ, K.; ARDUSER, M.; ASCHER, J.S.; BALDOCK, K.C.R.; FOWLER, R.; FRANKIE, G.; GOULSON, D.; GUNNARSSON, B.; HANLEY, M. E.; JACKSON, J. I.; LANGELLOTTO, G.; LOWENSTEIN, D.; MENOR, E. S.; PHILPOTT, S. M.; POTTS, S. G.; SIROHI, M. H.; SPEVAK, E. M.; PEDRA, G. N.; THRELFALL, C. G. The city as a refuge for insect pollinators. **Conservation Biology**, [S.l.], v. 31, p. 24-29, 2017. Disponível em: <https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/cobi.12840>. Acesso em: 12 abr. 2024. <https://doi.org/10.1111/cobi.12840>

KERR, W. E. **Biologia, manejo e genética de *Melipona compressipes fasciculata* Smith (Hymenoptera, Apidae)**. Tese (Professor Titular), Universidade Federal do Maranhão, São Luiz, 141p, 1987.

LOBODA, C. R.; DE ANGELIS, B. L. D. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. **Ambiência - Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 1, n. 1 Jan/Jun. 2005.

MINAYO, M. C. S. **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde**. 14 ed. São Paulo: Hucitec, 2014.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: INPE, p. 2899-2906.

NUCCI, J. C. **Qualidade ambiental e adensamento urbano: um estudo de ecologia e planejamento da paisagem aplicado ao distrito de Santa Cecília (MSP)**. 2. ed. Curitiba: O Autor, 2008. 150 p.: il. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=9oaXDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&ots=1Soze5S49p&sig=3iEooz6H611vvrkXKBMulkTyu7U#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 10 abr. 2024.

OGILVIE, J. E.; GRIFFIN, S. R.; GEZON, Z. J.; INOUE, B. D.; UNDERWOOD, N.; INOUE, D. W.; IRWIN, R. E. Interannual bumble bee abundance is driven by indirect climate effects on floral resource phenology. **Ecology Letters**, [s. l.], v.20, ed. 12, p. 1507-1515, dec. 2017. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ele.12854>. Acesso em: 11 abr. 2024. <https://doi.org/10.1111/ele.12854>

OLIVEIRA, D. V.; MATERANO, L. S.; BRITO, J. L. S. Estimativa de índice de qualidade ambiental da cidade de Uberlândia por meio de imagens de satélite. **Revista Cerrados (Unimontes)**, Montes Claros, v. 16, n. 1, 2018. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=576960999006>. Acesso em: 06 jun. 2024.

OLIVEIRA, K. M. G.; NAGASHIMA, L. A. Análise dos elementos metálicos no mel como uma ferramenta para o monitoramento ambiental. **Ambiência**, Guarapuava (PR), v.14, n.1, p. 203 – 211, jan./abr. 2018. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/viewFile/3594/pdf>. Acesso em: 11 abr. 2024. <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2018.14.01>

OLIVEIRA, L. M. **Araguari**: o sistema de espaços livres na forma urbana. Dissertação (mestrado) – Pós-graduação em arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2016.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Relatório Anual 2022 do ONU-Habitat. Disponível em: <https://unhabitat.org/wcr/#forewords-section>. Acesso em: 11 abr. 2024.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System [software]. Versão 3.28. Open Source Geospatial Foundation Project, 2024. Disponível em: <https://qgis.org>.

RABELLO, T. S. **Avaliação da efetividade da conservação da cobertura vegetal do Parque Nacional da Serra da Bocaina através do sensoriamento remoto**. 164f. Dissertação (mestrado) - Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Escola Nacional de Botânica Tropical, Mestrado Profissional em Biodiversidade em Unidades de Conservação, 2016.

SANTOS, S. J. L.; BARBOSA, B. C.; PREZOTO, F. A fauna de abelhas sem ferrão em áreas urbanas: 50 anos de estudos e prioridades de pesquisa no Brasil. **Scientia Plena**, 2020.

SARTORI, A. A. C.; SILVA, R. F. B.; ZIMBACK, C. R. L. Combinação Linear Ponderada na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG. *Revista Árvore*, v.36, n.6, p.1079-1090, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000600009>

SOROYE, P. *et al.*, Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents. **Science**, [s. l], v. 367, ed. 6478, p. 685-688, 2020. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aax8591>. Acesso em: 10 abr. 2024. <https://doi.org/10.1126/science.aax8591>

UBERABA, Lei nº 359, de 11 de outubro de 2006. **Institui o Plano Diretor do Município de Uberaba e dá outras providências**.

VITOUSEK, P.M.; MOONEY, H. A.; LUBCHENCO, J.; MELILLIO, J.M. Human domination of the earth's ecosystems. **Science**, [S. l], v. 277, p. 494-499, 1997. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.494>

## **CAPÍTULO 2**

Avaliação de contaminantes metálicos em amostras de pólen de *Tecoma stans* (L.) Kunth  
(Bignoniaceae) em área urbana

## **Avaliação de contaminantes metálicos em amostras de pólen de *Tecoma stans* (L.) Kunth (Bignoniaceae) em área urbana**

### **Resumo**

As mudanças que ocorrem no uso e cobertura da terra interferem diretamente na biodiversidade e manutenção dos serviços ecossistêmicos. O processo de urbanização é um exemplo claro disso. Nas cidades diferentes fontes de poluição contêm metais que contribuem para a má qualidade ambiental, afetando todos os seres vivos, entre eles, as abelhas. Este estudo teve como objetivo determinar a contaminação por metais em amostras de pólen de *Tecoma stans* (L.) Kunth, uma espécie frequente em ambientes urbanos que recebe muitas visitas das abelhas para coleta de recursos alimentares. As amostras foram coletadas na área urbana da cidade de Uberlândia, MG, no ano de 2023. Por meio da análise espacial da cidade foram selecionados locais com Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA) distintos (baixa, média e muito alta qualidade ambiental), a fim de verificar a influência do ambiente na concentração de metais. Com este objetivo, foram realizadas coletas e análises do pólen de flores de *T. stans* nos locais selecionados. Estas análises permitiram medir a concentração dos elementos químicos alumínio (Al), cálcio (Ca), cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e magnésio (Mg), por meio do espectro de emissão óptica de plasma acoplado indutivamente (ICP-OES). Não foi encontrada diferença estatisticamente significativa entre a quantidade de metais no pólen e os locais com diferentes IQAA. Os resultados de agrupamento mostraram que os metais Cu, Cd, Cr e Mn apresentaram similaridade entre si. Conforme os resultados da PCA, o Fe, Cd, Cr e Mn apresentam correlação positiva e o Cu e Ca negativa. Sendo assim, conclui-se que nas áreas urbanas, as abelhas estão suscetíveis à contaminação por metais, inclusive em áreas classificadas com o IQAA muito alto.

Palavras-chave: *Tecoma stans*; ICP-OES; Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA); biomonitoramento; ecotoxicologia.

## **Analysis of the presence of metals in food resources collected by bees in urban areas**

### **Abstract:**

Changes in land use and land cover directly interfere with biodiversity and the maintenance of ecosystem services. The urbanization process is a clear example of this. In cities, various sources of pollution contain metals that contribute to poor environmental quality, affecting all living beings, including bees. This study aimed to determine metal contamination in pollen samples of *Tecoma stans*, a species common in urban environments and frequently visited by bees for food resources. Samples were collected in the urban area of Uberlândia, MG, in 2023. Through spatial analysis of the city, locations with distinct Environmental Quality Index for Bees (EQIB) levels (low, medium, and very high environmental quality) were selected to verify the influence of the environment on heavy metal concentration. To achieve this objective, pollen samples from *T. stans* buds and flowers were collected and analyzed in the selected locations. The study measured the concentration of the chemical elements aluminum (Al), calcium (Ca), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), and magnesium (Mg) using inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). No statistically significant difference was found between the amount of metals in the pollen and the locations with different EQIB levels. Clustering results showed that Cu, Cd, Cr, and Mn had similarities. According to PCA results, Fe, Cd, Cr, and Mn showed positive correlation, while Cu and Ca showed negative correlation. Therefore, it is concluded that in urban areas, bees are susceptible to metal contamination, even in areas classified with very high EQIB.

**Keywords:** *Tecoma stans*; ICP-OES; Environmental Quality Index for Bees (EQIB); biomonitoring; ecotoxicology.

## 1. Introdução

As mudanças que ocorrem no uso e cobertura da terra interferem diretamente na biodiversidade e manutenção dos serviços ecossistêmicos. O processo de urbanização é um exemplo claro disso. O meio urbano pode ser interpretado do ponto de vista sistêmico, onde alterações dos fluxos ecossistêmicos podem desenvolver diferentes situações, como aumento ou a redução da interação e extinção de fluxos e a criação de novas interações (Belém, 2020). Nas cidades, diferentes fontes de poluição atmosférica, como indústrias e veículos automotores, contêm metais que contribuem para a má qualidade ambiental, afetando todos os seres vivos, entre eles, as abelhas.

Os metais estão presentes no ambiente, e as plantas necessitam deles para a sua nutrição e para o equilíbrio do seu crescimento vegetativo e reprodutivo. O potássio (K), o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) estão entre os minerais exigidos em grandes quantidades pelas plantas, sendo chamados de macronutrientes. Já o cobre (Cu), o ferro (Fe), o manganês (Mn) e o zinco (Zn) são necessários em pequenas quantidades e são denominados micronutrientes. Esses metais são absorvidos do solo, transportados para o néctar das flores e podem ser coletados pelas abelhas, além de chegarem aos animais em geral, incluindo o ser humano, na forma de alimento (Oliveira e Nigashima, 2018).

Embora os metais se encontrem distribuídos no ambiente e alguns sejam necessários para os processos metabólicos dos seres vivos, as atividades antrópicas podem aumentar a quantidade deles disponível no solo, na água e no ar. Com isso, podem ultrapassar os níveis seguros e se tornarem tóxicos, podendo interferir no comportamento das abelhas, pois elas respondem de formas diferentes a cada tipo de metal, aos impactos das misturas na bioacumulação e na toxicidade (Scott *et al.*, 2024).

Os metais transportados pelo ar estão presentes na atmosfera em partículas de grossas e finas de aerossóis. As fontes típicas de aerossóis finos incluem o tráfego de veículos e as atividades industriais, enquanto a fração mais grossa geralmente é gerada pela erosão mecânica e ressuspensão do solo, contendo elementos típicos da crosta terrestre e contaminantes do solo (Goretti *et al.*, 2019).

Os elementos Cu, Pb e Zn estão entre os metais mais fortemente adsorvidos e possuem um tempo de residência que varia de 1000 a 3000 anos. Tais metais tem sua presença aumentada em ambientes de complexos industriais e em áreas rurais de agricultura altamente tecnificada. Além disso, a atividade mineradora é um forte mecanismo de disponibilização de metais. Nos solos, os metais podem se originar a partir da rocha matriz e de outras fontes adicionadas ao

solo. Eles podem ser acumulados no solo pela deposição atmosférica, cinzas, calcário, fertilizantes químicos e adubos orgânicos, bem como pelo lixo domiciliar, que pode conter principalmente cádmio, cobre, chumbo e zinco (Oliveira e Nagashima, 2018).

Dependendo do metal, não existe nível seguro de exposição para as abelhas, mesmo que em doses subletais. Os resultados do estudo de Monchanin *et al.* (2024) mostraram efeitos prejudiciais dos poluentes metálicos no comportamento e na cognição das abelhas *Apis mellifera* L, mesmo em níveis baixos, particularmente do arsênio (As), onde as abelhas forrageiras de colmeias expostas a níveis mais elevados de metais e outros poluentes, desenvolveram cabeças menores, com lóbulos antenais menores, do que aquelas do local mais distante. Essas abelhas mostraram diminuição do desempenho de aprendizagem e memória olfativa, os indivíduos expostos à poluição metálica podem ser menos eficientes na procura de alimento e na interação social, comprometendo em última análise a capacidade da colônia de se alimentar e crescer. Scott *et al.* (2024) afirmam que embora não seja provável que as abelhas forrageiras encontrem metais em concentrações suficientemente elevadas no ambiente para resultar em mortalidade direta, o potencial das abelhas para bioacumular certos metais podem levar a outros impactos subletais.

As abelhas são as principais agentes polinizadoras, tanto em ambientes naturais como em áreas urbanizadas. O pólen é um recurso alimentar fundamental para as abelhas por conter reservas de substâncias bioativas e ser fonte de proteínas, lipídios e micronutrientes, enquanto o néctar representa a principal fonte de açúcares (Rodríguez-Pólit *et al.*, 2023). Diante dessas necessidades nutricionais, fica evidente a importância da presença de espécies vegetais nas áreas urbanas para a manutenção das abelhas, não somente para a coleta de alimento, como também para oferta de recursos e de locais para nidificação. No entanto, o uso e cobertura da terra interfere diretamente na qualidade e quantidade dos recursos ambientais disponíveis para as abelhas. Dessa forma, entender como a qualidade ambiental afeta esses recursos é fundamental para a manutenção da vida desses insetos, uma vez que são cruciais para a polinização. Chicas-Mosier *et al.* (2019) atribuí o estresse dos polinizadores a três fatores principais: 1) fragmentação do habitat; 2) aplicação de produtos químicos; e 3) patógenos introduzidos. O uso e cobertura da terra influencia em todos eles.

Áreas mais antropizadas irão oferecer níveis de poluição maiores do que áreas naturais. Dessa forma, as abelhas estão suscetíveis à diferentes contaminações e poluições conforme o ambiente a qual estão expostas, implicando em alterações no seu comportamento. Ao investigar o efeito indireto da poluição pelos gases de escape de gasolina, os resultados de Leonard *et al.* (2019) mostraram que a poluição do ar relacionada com o tráfego pode prejudicar a detecção

de compostos orgânicos voláteis florais utilizados pelos insetos nas interações inseto-planta e consequentemente impactar a eficiência do forrageamento. Os níveis dos elementos tóxicos determinados nas abelhas seriam resultantes da entrada/liberação ambiental desses produtos químicos, que são frequentemente utilizados em atividades que ocorrem na maioria das classes de uso da terra (agricultura, pastagem, áreas urbanas, estradas) (Barbosa *et al.*, 2021).

Scott *et al.* (2022) testaram a exposição oral dos metais, comumente encontrados em áreas urbanas, arsênio (As), cádmio (Cd), cromo (Cr) e chumbo (Pb) em doses letais e subletais em abelhas *Bombus impatiens* Cresson (Hymenoptera: Apidae) e concluíram que colônias de abelhas expostas a concentrações ambientalmente relevantes de metais experimentaram aumento da mortalidade de crias, pois as crias das abelhas não possuem capacidade de desintoxicação, levando ao aumento da sua mortalidade. Outro fator que os autores observaram que pode influenciar na mortalidade das crias é que as operárias ao consumir recursos contaminadas por metais, podem ter redução na eficiência do cuidado da cria ou na termorregulação do ninho.

As abelhas são consideradas bioindicadoras de qualidade ambiental, algumas substâncias podem causar a morte de colônias inteiras, enquanto outras contaminam em nível não letal os produtos apícolas. Um exemplo são as abelhas jataí (*Tetragonisca angustula* Latreille, 1811) que podem ser consideradas bioindicadores de qualidade ambiental, pois ao coletarem o pólen em diferentes ambientes, essas abelhas podem carregar em seus corpos partículas de aerossóis atmosféricos dos lugares onde visitaram (Barbosa *et al.*, 2021).

Kalbande *et al.* (2008) investigaram o efeito dos poluentes atmosféricos em amostras de pólen, especialmente a bioissorção e a bioacumulação de metais em pólenes e constataram que os expostos ao ar poluído apresentaram maior concentração de Ca, Al e Fe em comparação aos pólenes não expostos. Esses resultados indicam que os pólenes atuam como um bom indicador da poluição atmosférica, dando resultados num curto período de exposição de 5 a 10 horas.

Şeker *et al.* (2022) enfatizam que o pólen armazenado em colônias de abelha é um candidato a espécime ambiental que pode efetivamente ser empregado como um novo bioindicador para monitorar a poluição ecológica. No ambiente urbano, esse pólen pode estar contaminado por metais, pois a água da chuva pode se contaminar ao passar pela superfície e mesma atmosfera, levando aos solos resíduos industriais e aqueles gerados pelos automóveis, como zinco (Zn), cobre (Cu), boro (Br), chumbo (Pb), cromo (Cr), cobalto (Co) e bário (Ba) durante a percolação da água de chuva (Belém, 2020). Assim, o metal encontra como via de entrada na planta, não só o contato com a superfície dela, mas também a contaminação via absorção da água contaminada.

Mejias *et al.* (2018) afirmam que a estratégia adotada para a detecção precoce e espacial de padrões de contaminantes ambientais distintos baseia-se no fato de que a origem botânica é o principal fator determinante da composição química dos produtos apícolas. Assim, a espécie vegetal de origem pode influenciar a presença de metais. Nesse sentido, a *Tecoma stans* (ipê-de-jardim, ipê-amarelo-de-jardim, ipêzinho-de-jardim, bignônia-amarela, sinos-amarelos, ipê-mirim, guarã-guarã, carobinha, amarelinho) foi utilizada nesse estudo por ser uma planta melitófila muito visitada pelas abelhas e por ser amplamente utilizada na arborização urbana de Uberlândia, MG, importante centro comercial e industrial, localizada no Triângulo Mineiro, no Sudeste do Brasil. Plantas melitófilas como a *T. stans* recebem diferentes visitantes florais, que se mostrou uma importante fonte de recursos alimentares para pelo menos 48 espécies de abelhas, tendo como polinizadores efetivos mais abundantes a *Centris tarsata* Smith e *Exomalopsis fulvofasciata* Smith (Hymenoptera: Apidae) e *Scaptotrigona depilis* Moure (Hymenoptera: Apidae) a espécie pilhadora mais frequente (Silva *et al.*, 2007).

Os metais presentes na *T. stans* se tornam biodisponíveis e podem interagir com as abelhas quando estiverem coletando recursos, como pólen e néctar. “A biodisponibilidade de uma espécie química pode ser entendida como a porção elementar que está disponível para ingestão, inalação ou assimilação por um organismo vivo” (Souza, *et al.*, 2015, p. 3). O metal na *T. stans* pode estar disponível não só no néctar e pólen, mas também depositado nas superfícies da planta, como folhas e flores. Os metais pesados podem ser absorvidos pelas abelhas melíferas na vegetação, onde são depositados através de processos secos ou úmidos, ou diretamente absorvidos durante o voo a partir de partículas ressuspensas localmente (Goretti *et al.*, 2019).

A contaminação por metais nas áreas urbanas representa um risco para abelhas, que podem se contaminar enquanto se alimentam e eliminar esse risco de exposição é complexo e requer entender como as abelhas são contaminadas, como esses metais se acumulam nos seus corpos e como essa exposição irá influenciar na saúde das abelhas (Scott *et al.*, 2024). O ambiente urbano é essencialmente uma criação cultural. No entanto, do ponto de vista ecológico, pode ser estudado como um sistema (Belém, 2020). E como sistema, fontes de contaminação podem ter efeitos sinérgicos e as trocas ecológicas que ocorrem podem impactar na qualidade do ambiente. Estudos dentro da área da ecologia urbana têm se voltado para duas grandes áreas, “uma voltada para o desenvolvimento de cidades sustentáveis e outra para a investigação das relações entre o ambiente urbano e os organismos que nele vivem” (Belém, 2020, p. 49).

Assim, a avaliação de contaminantes metálicos em abelhas pode ser um elemento importante para o biomonitoramento das mudanças no ambiente natural como consequência da atividade antrópica (Skorbiłowicz *et al.*, 2019). E os estudos da biodisponibilidade dos metais no ambiente complementam esses estudos buscando entender onde estão as fontes de exposição que as abelhas estão sujeitas. Assim, o monitoramento de muitas espécies de abelhas nativas pode não ser viável, tendo em vista que a análise de metais pesados requer um certo número de indivíduos por espécie (Shi *et al.*, 2023).

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi determinar a contaminação por metais em amostras de pólen de *Tecoma stans*, uma espécie frequente em ambientes urbanos e que recebe muitas visitas das abelhas para coleta de recursos alimentares e verificar se existe relação com a qualidade ambiental urbana do município de Uberlândia, MG, calculada por meio do Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA)

## **2. Materiais e métodos**

### **2.1 Coleta e preparo das amostras**

O estudo foi desenvolvido na área urbana do município de Uberlândia, MG, tendo como referência o mapa do Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA). Foram selecionadas seis áreas com diâmetro aproximado de 1,5 km cada, as quais foram percorridas até o avistamento da espécie *T. stans*.

A coleta das flores de *Tecoma stans* foi realizada no mês de março de 2023, considerado período chuvoso. Dentro de cada área foram coletadas amostras em 10 árvores, totalizando 60 árvores, e em cada uma foram coletadas 120 flores. As amostras foram colocadas em sacos plásticos individuais para cada árvore, que foi georreferenciada utilizando o aplicativo gratuito de celular, MAPinr. Todos os sacos plásticos foram identificados conforme o ponto marcado no georreferenciamento.

Após a coleta as amostras foram armazenadas na geladeira para posterior separação do estame. O estame foi separado utilizando placa de Petri e bastão de vidro e a cada árvore a placa de Petri e o bastão de vidro eram lavados com sabão neutro e água corrente para evitar contaminação de um ponto para outro. Os estames foram colocados dentro do tubo Falcon identificado, que foi armazenado novamente na geladeira.

No laboratório foi realizado o procedimento para extração do pólen do estame. Em cada tubo Falcon foi adicionado 10 ml de água ultrapura e foi feita a agitação manual por 1 minuto. Logo em seguida, com auxílio de um bastão de vidro foi retirado o excesso de massa vegetal, para que sobrasse apenas o pólen. Em seguida os tubos Falcon foram acondicionados na centrífuga, e foram centrifugados a uma rotação de 3000 RPM, por 3 minutos. Após a centrifugação a massa de pólen ficou concentrada no fundo do tubo Falcon e foi feito o descarte da água. Os tubos Falcon contendo apenas o pólen foram colocados no freezer.

## 2.2 Instrumentação e digestão ácida das amostras

A análise das amostras foi implementada utilizando o método analítico de Espectrômetro de Emissão Óptica de Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-OES). A metodologia seguiu Aldgini *et al.* (2019), com algumas adaptações devido a quantidade de pólen disponível em cada amostra coletada. Na etapa de digestão ácida das amostras, em cada 0,05 g de massa pólen foi adicionado 5 mL HNO<sub>3</sub>, sendo aquecido em bloco digestor por 20 min a 160° C. Depois foi adicionado em três etapas: 1 ml HClO<sub>4</sub> por etapa, aquecido em bloco digestor por 5 min a 148° C – até solução ficar transparente, a solução foi filtrada com filtro 0,22 µm e foi completada com água ultrapura até 25 ml em balão volumétrico. Das 60 amostras, 37 tiveram quantidade de pólen suficiente.

## 2.3 Análises estatísticas

Neste trabalho foram selecionadas oito variáveis (Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mg), distribuídos em 37 pontos localizados em áreas de baixa, alta e muito alta qualidade ambiental para abelhas, totalizando 296 amostras (Figura 1). Sendo assim, a matriz possui 37 objetos (pontos, representando unidades amostrais) e oito descritores (elementos químicos).

Primeiramente as amostras foram submetidas a análise de agrupamento, a fim de agrupar os elementos químicos que tenham algum grau de similaridade entre eles. Esta análise pode ser utilizada para classificar uma população em grupos homogêneos de acordo com uma característica de interesse, ou seja, uma análise de agrupamento tenta resumir uma grande quantidade de dados e apresentá-la de maneira fácil de visualizar e entender (em geral, na forma de um dendrograma) (Silva *et al.*, 2022). Foi utilizado o pacote pvclust que calcula automaticamente o nível de corte de similaridade baseado no *Bootstrap* de cada nó. A partir do

conjunto de dados foram determinados os dendrogramas utilizando os seguintes métodos: *complete, ward, single, average, McQuitty, median e centroid*.

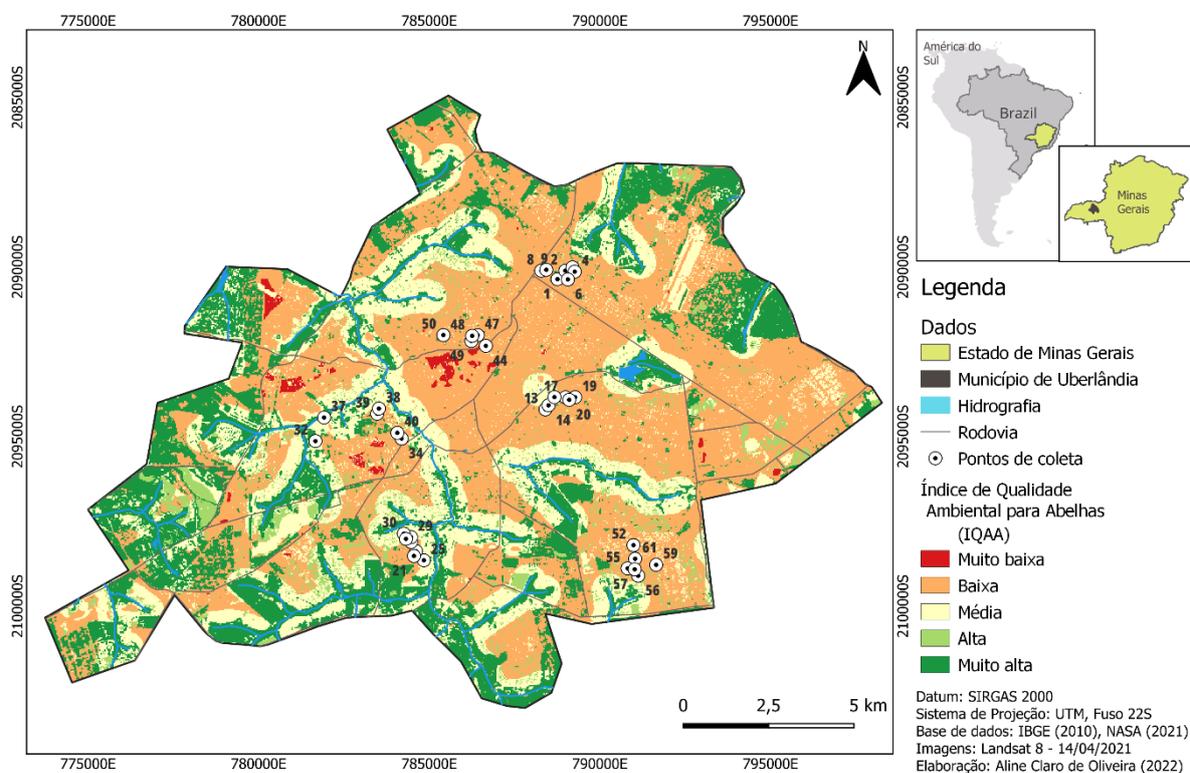


Figura 1 - Distribuição dos 37 pontos de coleta de flores e botões de *Tecoma stans* nas classes de IQAA baixa ( $n = 20$ ), média ( $n = 10$ ) e muito alta ( $n = 7$ )

A fim de analisar se há mais metais disponíveis em áreas de baixa qualidade ambiental para as abelhas do que em áreas de alta e muito alta qualidade ambiental, os dados também foram submetidos à análise dos componentes principais (*Principal Component Analysis - PCA*). Essa ordenação é utilizada em diversas áreas do conhecimento e em Ecologia, ela se popularizou por facilitar a visualização de dados complexos como de distribuição de espécies em diferentes localidades e de potenciais variáveis explicativas (Silva *et al.*, 2022). Foi utilizada a função *scale* para obtenção da matriz centralizada, onde cada valor é subtraído da média da coluna que aquele valor pertence (Silva *et al.*, 2022).

Para complementar a análise da PCA, que possibilita uma análise visual e exploratória, os dados foram submetidos à análise *Permutational Multivariate Analysis of Variance* (PERMANOVA). Ela é usada para testar hipóteses multivariadas que comparam a abundância de diferentes espécies em resposta a diferentes tratamentos ou gradientes ambientais (Silva *et al.*, 2022).

Todas as análises foram feitas usando o software RStudio Team (2020).

### 3. Resultados

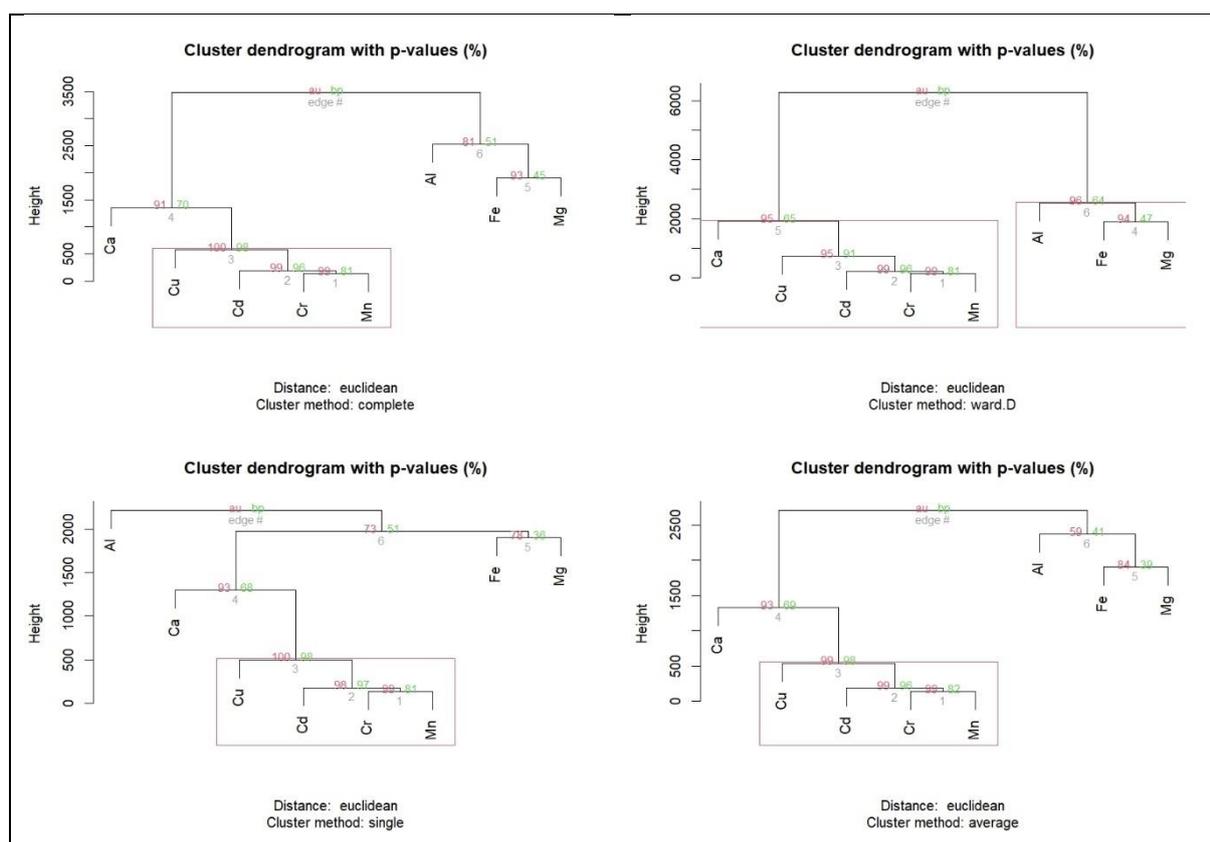
Nas amostras de pólen de *Tecoma stans* foram detectadas as concentrações de oito elementos, a saber, Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn e Mg (Tabela 1). Destes, o Al é o metal em maior abundância, com 8% na crosta terrestre (uma concentração de 82.000  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) (Herrero Fernández, 2017) e foi o elemento que apresentou os maiores valores.

Tabela 1 - Concentração dos metais Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mg (em mg/kg no pólen de peso de massa de pólen) nas amostras de *Tecoma stans* em locais de diferentes qualidades ambientais para abelhas na cidade de Uberlândia, MG

Ponto	IQAA	Al	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn
1	Baixa	546,03	227,66	0	2,44	1,29	10,12	77,2	2,65
2	Baixa	89,26	233,67	0	1,95	1,32	14,58	135,68	1,17
3	Baixa	321,02	194,13	0	3,21	1,38	111,6	161,93	1,02
4	Baixa	352,43	199,54	0	3,23	68,03	10,64	26,8	2,85
6	Baixa	504,39	34,72	0,44	30,86	24,41	74,85	127,54	6,01
8	Baixa	298,23	163,00	0	2,10	1,11	7,91	24,67	0,80
9	Baixa	708,6	95,21	0,65	45,73	19,47	134,52	654,14	10,39
17	Baixa	173,66	167,80	0	4,54	1,26	24,69	37,12	1,43
19	Baixa	122,93	236,56	0	2,61	9,94	30	48,41	0,83
21	Baixa	504,7	67,38	0,31	33,07	22,17	517,78	556,53	12,76
26	Baixa	457,36	189,88	0	2,61	8,11	21,07	37,57	1,34
27	Baixa	1145,16	768,00	0	6,38	3,19	77,64	108,96	2,25
39	Baixa	227,48	148,93	0	1,74	0,79	8,78	31,44	0,40
44	Baixa	1659,98	0	3,19	123,97	104,65	1881,1	1404,91	61,14
47	Baixa	407,73	219,24	0	2,55	1,10	12,22	65,98	1,22
48	Baixa	639,91	103,62	0,78	61,38	44,31	239,48	504,4	85,95
49	Baixa	149,56	163,79	0	1,55	1,55	43,22	34,04	1,4
50	Baixa	414,79	66,53	0,43	26,95	18,51	445,24	606,02	13,65
57	Baixa	849,23	77,18	0,6	45,52	22,42	100,72	608,61	13,04
59	Baixa	1296,8	191,36	0	3,98	1,07	18,64	55,44	0,78
25	Média	125,06	251,88	0	4,77	1,63	132,71	65,48	2,13
28	Média	872,59	108,49	1,03	55,54	202,11	322,21	640,9	19,69
29	Média	308,92	141,96	0	2,64	0,74	3,65	32,09	0,68
30	Média	89,78	189,39	0	2,91	2,2	11,9	35,45	1,03
34	Média	140,32	92,42	0	0,90	1,52	11,23	25,68	0,67
38	Média	724,9	94,85	1,18	57,87	77,16	449,71	703,76	140,41
52	Média	327,81	70,91	0,3	24,1	228,79	75,77	750,49	10,28

55	Média	327,28	91,07	0,32	22,71	15,51	75,67	819	18,88
56	Média	423,51	87,68	0,36	26,05	135,87	168,32	1055,15	23,79
61	Média	482,15	77,00	0,45	30,97	97,45	149,01	575,00	16,31
13	Muito alta	138,88	381,63	0	4,78	1,15	52,72	103,79	1,81
14	Muito alta	266,96	92,86	0	1,62	0,64	3,19	21,08	0,49
16	Muito alta	307,02	68,44	0,31	23,75	429,48	117,77	585,62	10,87
20	Muito alta	140,92	177,33	0	1,92	1,01	22,83	42,31	0,96
32	Muito alta	584,00	120,53	1,02	33,72	45,63	128,3	620,27	18,90
37	Muito alta	19,45	557,41	0	4,77	2,45	105,61	187,70	2,91
40	Muito alta	619,93	83,44	0,69	50,02	34,73	184,39	521,74	15,90

Em todos os dendrogramas de similaridade, os elementos químicos Cu, Cd, Cr e Mn aparecem em um mesmo agrupamento, evidenciando que há entre eles um alto grau de similaridade (Figura 2).



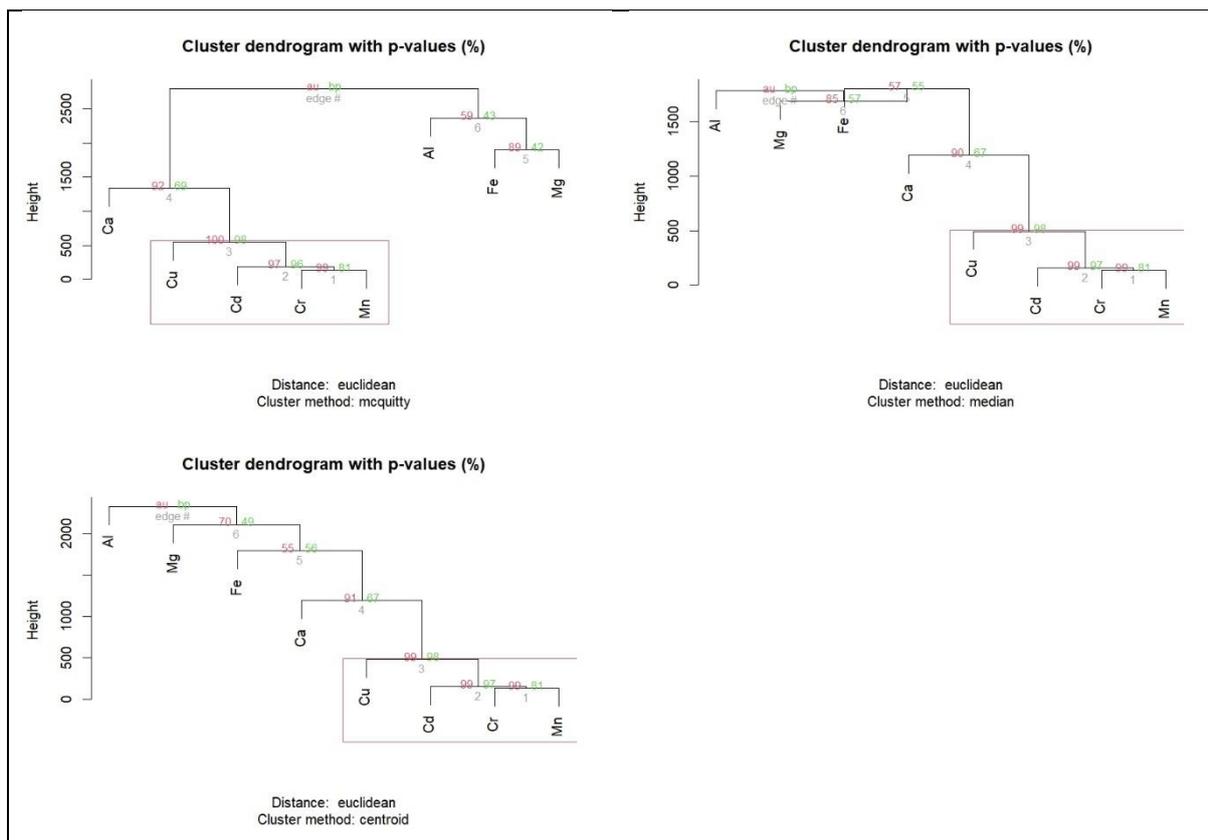


Figura 2 – Dendrogramas de similaridade determinados por diferentes métodos de agrupamento hierárquico

O primeiro e o segundo componentes principais (PC1 e PC2) explicaram 74,6% da variação dos dados (Figura 3), e a sobreposição das elipses e a distância dos centroides demonstram que não há diferenciação de disponibilidade de metais entre os diferentes IQAAs. As setas em sentidos opostos significam que Ca e Cu têm correlação negativa, e as setas no mesmo sentido significam que os elementos Fe, Cd, Cr e Mn têm correlação positiva, ou seja, quando se tem muito de um elemento terá muito dos outros. O Al não apresenta correlação ou similaridade com nenhum outro elemento.

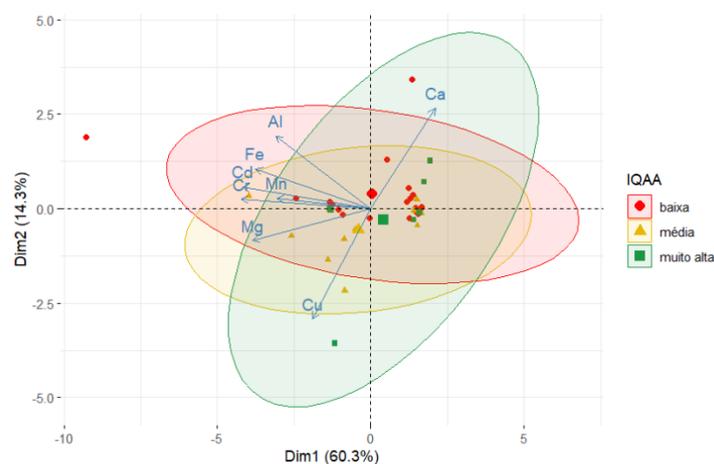


Figura 3 – Análise dos componentes principais em relação a disponibilidade de metais em locais com diferentes Índices de Qualidade Ambiental para as Abelhas (IQAA), na cidade de Uberlândia, MG.

Os resultados da PERMANOVA corroboram com a interpretação da PCA. A variância explicada pela variável preditora (qualidade ambiental) é de aproximadamente 5,8% (0,05798). Isso significa que o IQAA não tem uma influência significativa na variação total da disponibilidade de metais  $p = 0,3699$ .

#### 4. Discussão

A concentração de metais no pólen de *Tecoma stans* não apresentou variação significativa em relação aos diferentes Índices de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA). O que evidencia que as abelhas estão expostas à contaminação por metais, independentemente da qualidade ambiental da área. A alta correlação entre os metais Cd, Cr e Mn aponta que esses elementos provêm de fontes comuns, como proximidade de estradas e áreas industriais. Estudos anteriores, como os de Şeker *et al.* (2022); Barbosa *et al.* (2021); Herrero Skorbiłowicz *et al.* (2018); Fernández (2017); Duong e Lee (2011); (Nogueira, 2006) já destacaram a influência da atividade veicular e industrial na emissão desses metais no ambiente.

Tanto o Cd, Cr e Mn provocam efeitos diversos nas abelhas. A ingestão de manganês altera os níveis de aminas biogênicas cerebrais levando as abelhas a iniciarem as atividades no campo precocemente, resultando em menos viagens de forrageamento ao longo de sua vida (Sovik *et al.*, 2015). A exposição crônica ao cádmio causa redução significativa na duração, distância e velocidade média do voo de zangões abelhas (Gao *et al.*, 2024). A presença do Cd nos recursos alimentares não é detectada pelas abelhas da espécie *A. mellifera*. Essas abelhas não rejeitam soluções de sacarose contaminadas com Cd e sua ingestão não altera a sensibilidade à sacarose (Burden *et al.*, 2019). Os efeitos agudos e crônicos combinados do Cd e do Cu em *A. mellifera* afeta a aptidão das larvas e das forrageadoras quando esses metais estão presentes simultaneamente (Di *et al.*, 2020).

A ausência de diferenciação significativa entre os locais com diferentes IQAAs pode ser explicada pela natureza difusa da poluição por contaminantes metálicos nas áreas urbanas, reforçando a necessidade de preservar as áreas com vegetação mais densa. No estudo conduzido por Nogueira (2006) com a bromélia *Tillandsia usneoides* L., foi confirmado que as altas concentrações dos elementos Cu e Zn estão associadas à proximidade da planta em áreas industriais e próximas a emissões veiculares. O Cu apresentou distribuição igual em regiões industriais e em locais próximos a avenidas com tráfego intenso (Adachi e Tainosho, 2004; Nogueira, 2006; Thorpe e Harrison, 2008). O mesmo acontece quando se compara a presença

de metais entre diferentes tipos de uso e cobertura da terra. Barbosa *et al.* (2021) ao analisarem os metais presentes no corpo de abelhas jataí (*Tetragonisca angustula*) coletadas em oito áreas com remanescentes de Mata Atlântica em São Paulo, constataram que aquelas que vivem em áreas mais vegetadas têm níveis menores de mercúrio (Hg), cobre, cádmio e cromo, sendo que estes dois últimos têm como fonte principal os agroquímicos usados no manejo da terra na agricultura. As concentrações de Zn, Cd, Mn, Mg, Ba e Sr nas abelhas estão associadas ao solo descoberto, pastagens e áreas urbanas, enquanto a cobertura florestal nativa exerce um efeito benéfico sobre os níveis de Hg, Cd e Cr (Barbosa *et al.*, 2021).

Os resultados da análise dos componentes principais (PCA) revelaram que metais como Fe, Cd, Cr e Mn apresentam uma correlação positiva, o que sugere que esses elementos coocorrem frequentemente em ambientes urbanos contaminados, enquanto o Cu e o Ca apresentaram correlação negativa, possivelmente indicando diferentes fontes de origem para esses metais. Isso reforça a necessidade de um monitoramento mais abrangente para identificar as fontes específicas de cada metal e seu impacto sobre os polinizadores. No entanto, embora o Ca, juntamente com o Fe, Mg e Mn sejam considerados micro contaminantes e necessários ao organismo vivo, acima dos níveis necessários para cada organismo, esses metais podem se tornar potencialmente tóxicos (Oliveira e Nagashima, 2018). Abelhas adultas acumulam quantidades significativas de Ca e Pb em seus corpos, mas não acumulam Cr e As. Além disso, os adultos acumulam concentrações significativamente mais altas de metais do que as crias, destacando a necessidade de identificar os perigos e a capacidade de bioacumulação dos metais comuns (Scott *et al.*, 2024).

Esses resultados destacam a necessidade de intervenções ambientais que abordem não apenas a criação de espaços verdes, mas também a mitigação das fontes de poluição em áreas urbanas, visando a proteção efetiva dos polinizadores. A inclusão de medidas de controle de poluentes e o fortalecimento de políticas ambientais são essenciais para garantir que áreas classificadas como de alta qualidade ambiental realmente funcionem como refúgios seguros para as abelhas, pois as abelhas além de enfrentar problemas como o desmatamento, o uso excessivo de agrotóxicos, a falta de alimento, a água contaminada (envenenamento) e a falta de abrigo para nidificação, nas últimas décadas elas estão sofrendo com o Distúrbio do Colapso da Colônia (CCD), um fenômeno em que as operárias saem do ninho e não voltam, ou depois que saem, não encontram mais o caminho de volta (Santos; Barchuk; Teixeira, 2023). Esse estudo demonstra a importância de as abelhas terem fontes alternativas de alimento que não estejam contaminadas, e essas áreas tem maior probabilidade de estarem localizadas longe de locais de tráfego intenso e industrializadas.

## 5. Considerações finais

Os resultados deste estudo mostram que, apesar de a paisagem urbana oferecer variações significativas de qualidade ambiental, conforme indicado pelo Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA), não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na presença de metais nas amostras de pólen de *Tecoma stans* em áreas com diferentes classificações de qualidade ambiental. Isso sugere que, mesmo em regiões classificadas como de alta qualidade ambiental, as abelhas continuam expostas à contaminação por metais, um fator preocupante para a saúde desses polinizadores e para a sustentabilidade dos ecossistemas urbanos.

Esses resultados reforçam a complexidade das interações entre a urbanização e a saúde ambiental. A presença de contaminantes metálicos, provenientes de várias fontes, como tráfego veicular e atividades industriais, parece ser difusa e não restrita a áreas urbanizadas de menor qualidade ambiental. Isso implica que políticas de conservação e planejamento urbano devem ir além da preservação de áreas verdes, considerando também a mitigação de fontes de poluição que podem impactar as abelhas, mesmo em áreas de qualidade ambiental considerada elevada. Nesse sentido, o planejamento das paisagens urbanas deve ser pensado sob a perspectiva de contribuir diretamente para aumentar a qualidade ambiental.

A continuidade de pesquisas que explorem a relação entre a urbanização, a contaminação por metais e a saúde de polinizadores como as abelhas é essencial. As estratégias de gestão urbana devem se concentrar não apenas em criar e preservar habitats, mas também em controlar os fatores que afetam negativamente esses ambientes, garantindo a resiliência das populações de abelhas e outros organismos cruciais para a biodiversidade urbana. Nesse contexto, o pólen coletado em espécies melitófilas, como a *T. stans*, pode ser usado para monitorar a poluição por metais e fornecer parâmetros sobre a qualidade ambiental para as abelhas na área urbana. Podendo revelar novas descobertas no campo da ecotoxicologia e evidenciar como estes metais estão associados no ambiente.

## Referências

ADACHI, K.; TAINOSHO, Y. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. **Environment international**, v. 30, n. 8, p. 1009-1017, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.04.004>. Acesso em: 28 jun. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.04.004>

ALDGINI, H. M.M.; AL-ABBADI, A. A.; ABU-NAMEH, E.S.M.; ALGHAZEER, R. O. Determination of metals as bio indicators in some selected bee pollen samples from Jordan. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, Issue 7, 2019, p. 1418-1422. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.03.005>. Acesso em: 23 maio 2023. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.03.005>

BARBOSA, M. M.; FERNANDES, A. C. C.; ALVES, R. S. C.; ALVES, D. A.; JÚNIOR BARBOSA, F.; BATISTA, B.L.; RIBEIRO, A. A.; CARNEIRO, M. F. H. Effects of native forest and human-modified land covers on the accumulation of toxic metals and metalloids in the tropical bee *Tetragonisca angustula*. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [S. l.], v. 215, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014765132100258X>. Acesso em: 08 fev. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112147>

BELEM, A. L. C. **Diálogos em ecologia urbana**. Curitiba: InterSaberes, 2020.

BURDEN, C.M.; MORGAN, M.O.; HLADUN, K.R.; AMDAM, G. V.; TRUMBLE, J. J.; SMITH, B. H. Acute sublethal exposure to toxic heavy metals alters honey bee (*Apis mellifera*) feeding behavior. **Sci Rep**, [S. l.], v. 9, n. 4253, 2019. Disponível em: [https://doi-org.ez177.periodicos.capes.gov.br/10.1038/s41598-019-40396-x](https://doi.org.ez177.periodicos.capes.gov.br/10.1038/s41598-019-40396-x). Acesso em: 17 jun. 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40396-x>

CHICAS-MOSIER A.M.; DINGES C.W.; AGOSTO-RIVERA J.L.; GIRAY T.; OSKAY D.; ABRAMSON C.I. Honey bees (*Apis mellifera spp.*) respond to increased aluminum exposure in their foraging choice, motility, and circadian rhythmicity. **PLoS ONE**. [S.l.], vol.14, issue 6, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218365>. Acesso em: 10 jul. 2024. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218365>

DI, N.; ZHANG, k.; HLADUN, K. H.; RUSTY, M.; CHEN, Y.; ZHU, Z.; LIU, T.; TRUMBLE, J. T. Joint effects of cadmium and copper on *Apis mellifera* forgers and larvae. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, [S. l.], v. 237, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108839>. Acesso em: 17 jun. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108839>

DUONG, T. T. T.; LEE, B. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. **Journal of Environmental Management**, [s. l.], v. 92, issue 3, 2011, pages 554-562. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.010>. Acesso em: 03 jul. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.010>

GAO, S.; ZHENG, F.; YUE, L.; CHEN, B. Chronic cadmium exposure impairs flight behavior by dampening flight muscle carbon metabolism in bumblebees. **Journal of Hazardous Materials**, [S. l.], v. 466, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133628>. Acesso em: 03. jul. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.133628>

GORETTI, E.; PALLOTTINI, M.; ROSSI, R.; LA PORTA, G.; CENCI GOGA, B. T.; ELIA, A.C.; GALLETI, M.; MORONI, B.; PETROSELLI, C.; SELVAGGI, R.; CAPPELLETTI, D. Heavy metal bioaccumulation in honey bee matrix, an indicator to assess the contamination level in terrestrial environments. **Environmental Pollution**, [S. l.], v. 256, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113388>. Acesso em: 03 jul. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113388>

HERRERO FERNÁNDEZ, Z. **Análise de metais pesados em solos de Pernambuco com diferentes atividades antrópicas**. 2017. 92f. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Recife, PE, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/27599>. Acesso em: 20 jun. 2024.

KALBANDE, D.M.; DHADSE, S.N.; CHAUDHARI, P.R.; WATE, S. R. Biomonitoring of heavy metals by pollen in urban environment. **Environmental Monitoring and Assessment**. v. 138, p. 233–238, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9793-0>. Acesso em: 29 abr. 2024. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9793-0>

LEONARD, R.J.; VERGOZ, V.; PROSCHOGO, N.; MCARTHUR, C.; HOCHULI, D.F. Petrol exhaust pollution impairs honey bee learning and memory. **Oikos**, [s. l.], v. 128, n. 2, p. 264-273, 2019. Disponível em: <https://doi.org.ez177.periodicos.capes.gov.br/10.1111/oik.05405>. Acesso em: 02 fev. 2024. <https://doi.org/10.1111/oik.05405>

MEJIAS, E.; GÓMEZ, C. J.; GAREIL, P.; DELAUNAY, N.; MONTENEGRO, G. Caracterização de alterações do perfil fenólico em pólen apícola poluído com metais via eletroforese capilar. **Ciencia e Investigación Agraria**, Santiago, v. 1, pág. 51-63, abr. 2018. Disponível em: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-16202018000100051&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-16202018000100051&lng=es&nrm=iso). Acesso em: 30 de jan. 2024.

MONCHANIN, C.; DRUJONT, E.; LE ROUX, G.; LÖSEL, P. D.; BARRON, A. B.; DEVAUD, J.M.; ELGER, A.; LIHOREAU, M. Environmental exposure to metallic pollution impairs honey bee brain development and cognition. **Journal of Hazardous Materials**, [S. l.], v. 465, Mar. 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389423025025?via%3Dihub>. Acesso em: 11 abr. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133218>

NOGUEIRA, Cláudio Ailton. **Avaliação da poluição atmosférica por metais na região metropolitana de São Paulo utilizando a Bromélia Tillandsia Usneoides L. como biomonitor**. 2006. Tese (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-29052007-135539/pt-br.php>. Acesso em: 30 de jan. 2024.

OLIVEIRA, K. M. G.; NAGASHIMA, L. A. Análise dos elementos metálicos no mel como uma ferramenta para o monitoramento ambiental. **Ambiência**, Guarapuava (PR), v.14, n.1, p. 203 – 211, jan./abr. 2018. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/viewFile/3594/pdf>. Acesso em: 11 abr. 2024. <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2018.14.01>

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System [software]. Versão 3.28. Open Source Geospatial Foundation Project, 2024. Disponível em: <https://qgis.org>.

RODRÍGUEZ-PÓLIT, C.; GONZALEZ-PASTOR, R.; HEREDIA-MOYA, J.; CARRERA-PACHECO, S.E.; CASTILLO-SOLIS, F.; VALLEJO-IMBAQUINGO, R.; BARBA-OSTRIA, C.; GUAMÁN, L.P. Chemical Properties and Biological Activity of Bee Pollen. **Molecules**, [s. l.], v. 28, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules28237768>. Acesso em: 02 fev. 2024. <https://doi.org/10.3390/molecules28237768>

RSTUDIO TEAM. RStudio: Integrated Development for R [software]. Boston: RStudio, PBC, 2020. Disponível em: <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>.

SANTOS, L. H. dos.; BARCHUK, A. R.; TEIXEIRA, I. R. do V. Urban bees: The social species inhabiting central green spaces of Poços de Caldas, Minas Gerais, Brazil. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 12, n. 12, p. e47121243842, 2023. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/43842>. Acesso em: 10 jul. 2024. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i12.43842>

SCOTT, S.B.; SIVAKOFF, F.S.; GARDINER, M.M. Exposure to urban heavy metal contamination diminishes bumble bee colony growth. **Urban Ecosystems**, 25, 989–997, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com.ez177.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11252-022-01206-x>. Acesso em: 02 fev. 2024. <https://doi.org/10.1007/s11252-022-01206-x>

SCOTT, S. B.; LANNO, R.; GARDINER, M. M. Acute toxicity and bioaccumulation of common urban metals in *Bombus impatiens* life stages. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 915, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.169997>. Acesso em: 17 jun. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.169997>

ŞEKER, M.; ERDOĞAN, A.; KORKMAZ, S.; KÜPLÜLÜ, ÖZLEM. Bee pollens as biological indicators: An ecological assessment of pollution in Northern Turkey via ICP-MS and XPS analyses. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 36161–36169, 2022. Disponível em: <https://doi-org.ez177.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s11356-021-18007-y>. Acesso em: 29 abr. 2024. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18007-y>

SHI, X.; MA, C.; GUSTAVE, W.; ORR, M. C.; YUAN, Z.; CHEN, J.; YANG, G.; NIU, Z.; ZHOU, Q.; XIA, C. LUO, A.; ZHU, C. The impact of heavy metal pollution on wild bee communities in smallholder farmlands. **Environmental Research**, [s.l.], v. 233, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116515>. Acesso em: 17 jun. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116515>

SILVA, C. I.; AUGUSTO, S. C.; SOFIA, S. H.; MOSCHETA, I. S. Diversidade de Abelhas em *Tecoma stans* (L.) Kunth (Bignoniaceae): Importância na Polinização e Produção de Frutos. **Neotropical Entomology**, [s. l.], v. 36, p. 331-341, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2007000300002>. Acesso em: 12 jun. 2024. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2007000300002>

SILVA, F.R.; GONÇALVES-SOUZA, T.; PATERNO, G.B.; PROVETE D.B.; VANCINE, M.H. **Análises ecológicas no R.** Nupeea: Recife, PE, Canal 6: São Paulo. 640 p. 2022. Disponível em: <https://analises-ecologicas.com/>. Acesso em: 28 jun. 2024.

SKORBIŁOWICZ, E.; SKORBIŁOWICZ, M.; CIEŚLUK, I. Bees as Bioindicators of Environmental Pollution with Metals in an Urban Area. **Journal of Ecological Engineering**, [s. l.], v.19, n. 3, p. 229-234, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.12911/22998993/85738>. Acesso em: 17 jun. 2024. <https://doi.org/10.12911/22998993/85738>

SOUZA, V. L. B.; LIMA, V.; HAZIN, C. A.; FONSECA, C. K. L.; SANTOS, S. O. Biodisponibilidade de metais-traço em sedimentos: uma revisão. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**. Gramado, v. 3, 2014. Disponível em: <https://www.bjrs.org.br/revista/index.php/REVISTA/article/view/135>. Acesso em: 21 abr. 2024. <https://doi.org/10.15392/bjrs.v3i1A.135>

SOVIK, ERIK; CLINT J., PERRY; ANGIE, LAMORA; ANDREW B., BARRON; YEHUDA, BEN-SHAHAR. Negative impact of manganese on honeybee foraging. **Biology Letters**, 2015. Disponível em: <http://doi.org/10.1098/rsbl.2014.0989>. Acesso em: 05 abr. 2024. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.0989>

THORPE, A.; HARRISON, R. M. Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review. **Science of the total environment**, v. 400, n. 1-3, p. 270-282, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.007>. Acesso em: 28 jun. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.007>

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo destacou a importância da criação de ambientes urbanos que favoreçam a sobrevivência das abelhas, polinizadores essenciais para a manutenção dos ecossistemas urbanos e rurais. A partir da aplicação do Índice de Qualidade Ambiental para Abelhas (IQAA), foi possível identificar áreas urbanas que oferecem condições propícias e outras que apresentam riscos para a manutenção dessas espécies. As áreas urbanizadas, em geral, apresentam uma qualidade ambiental mais baixa, reforçando a necessidade de intervenções voltadas para a preservação e criação de espaços verdes que possam servir de refúgio e fornecer recursos adequados às abelhas.

Os resultados obtidos sugerem que políticas públicas que promovam a arborização urbana, a criação de parques lineares e a manutenção de jardins com espécies de flores são fundamentais para melhorar a qualidade ambiental nas cidades e, conseqüentemente, garantir a sobrevivência das abelhas. Além disso, os esforços de conservação devem se concentrar em áreas que já apresentam boas condições ambientais, para que possam servir de refúgios em meio a regiões mais antropizadas.

Embora o foco do trabalho tenha sido a qualidade ambiental urbana para as abelhas, a metodologia proposta pode ser aplicada em outras cidades, de diferentes portes, permitindo a expansão das ações de planejamento ambiental. Dessa forma, a abordagem proposta pelo IQAA pode ser uma ferramenta utilizada para orientar intervenções em áreas que necessitam de melhorias nas condições ambientais a fim de preservar as abelhas.

Como perspectiva futura, recomenda-se que novos estudos explorem a relação entre a qualidade ambiental e outros fatores que possam influenciar a saúde das abelhas, como a disponibilidade de plantas nativas adequadas para sua alimentação e nidificação. Investir na criação de corredores ecológicos e na recuperação de áreas degradadas é uma ação crucial para mitigar o impacto negativo da urbanização e garantir a preservação desses importantes polinizadores.