

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E ESTRUTURA GENÉTICA DE ABELHAS  
SEM FERRÃO (HYMENOPTERA: APIDAE: MELIPONINI) EM ÁREA  
URBANA NO BIOMA MATA ATLÂNTICA

**SÔNIA GUIMARÃES ALVES**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE – UENF  
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
AGOSTO 2023

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E ESTRUTURA GENÉTICA DE ABELHAS  
SEM FERRÃO (HYMENOPTERA: APIDAE: MELIPONINI) EM ÁREA  
URBANA NO BIOMA MATA ATLÂNTICA

**SÔNIA GUIMARÃES ALVES**

Tese apresentada ao Centro de  
Biotecnologia e Biociências da  
Universidade Estadual do Norte  
Fluminense Darcy Ribeiro, como parte  
das exigências para obtenção do título  
de Doutora em Ecologia e Recursos  
Naturais.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Cristina Gaglianone  
Coorientadora: Profa. Dra. Silvia Helena Sofia (UEL)

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
AGOSTO 2023

### FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

A474

Alves, Sônia Guimarães.

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E ESTRUTURA GENÉTICA DE ABELHAS SEM FERRÃO  
(HYMENOPTERA : APIDAE : MELIPONINI) EM ÁREA URBANA NO BIOMA MATA ATLÂNTICA /  
Sônia Guimarães Alves. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

125 f. : il.

Inclui bibliografia.

Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Norte  
Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Biociências e Biotecnologia, 2023.

Orientadora: Maria Cristina Gaglianone.

Coorientadora: Silvia Helena Sofia.

1. Nidificação . 2. Urbanização. 3. Região Neotropical . 4. Polinizadores. 5. Estrutura  
Genética . I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 577

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E ESTRUTURA GENÉTICA DE  
ABELHAS SEM FERRÃO (HYMENOPTERA: APIDAE: MELIPONINI)  
EM ÁREA URBANA NO BIOMA MATA ATLÂNTICA

**SÔNIA GUIMARÃES ALVES**

Tese apresentada ao Centro de  
Biotecnologias e Biotecnologia da  
Universidade Estadual do Norte  
Fluminense Darcy Ribeiro, como parte  
das exigências para obtenção do título  
de Doutora em Ecologia e Recursos  
Naturais

Aprovada em: 29/08/2023

Comissão Examinadora:



Documento assinado digitalmente

FERNANDA HELENA NOGUEIRA FERREIRA

Data: 08/11/2023 17:13:11-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Dra. Fernanda Helena Nogueira-Ferreira (INBIO/UFU)

Documento assinado digitalmente



HELDER CANTO RESENDE

Data: 21/11/2023 16:13:45-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Helder Canto Resende (UFV)

---

Prof. Dr. Wilson Frantine da Silva (UENP)

---

Profa. Silvia Helena Sofia (UEL – coorientadora)

Documento assinado digitalmente



MARIA CRISTINA GAGLIANONE

Data: 24/11/2023 09:44:00-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Profa. Dra. Maria Cristina Gaglianone (orientadora)



Governo do Estado do Rio de Janeiro  
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

## DECLARAÇÃO

Eu, Marina Satika Suzuki, coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais (PPG-ERN) da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), seguindo a Resolução CPPG nº2 de 2021, declaro validadas as assinaturas constantes da Folha de Assinaturas da Tese intitulada “**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E ESTRUTURA GENÉTICA DE ABELHAS SEM FERRÃO (HYMENOPTERA: APIDAE: MELIPONINI) EM ÁREA URBANA NO BIOMA MATA ATLÂNTICA**” de autoria de Sônia Guimarães Alves, defendida no dia 29 de agosto de 2023.

Campos dos Goytacazes, 24 de novembro de 2023

Marina Satika Suzuki  
Coordenadora PPG-ERN / UENF  
ID. Funcional 641333-1



Documento assinado eletronicamente por **Marina Satika Suzuki, Coordenadora**, em 24/11/2023, às 12:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento nos art. 28º e 29º do [Decreto nº 48.209, de 19 de setembro de 2022](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.rj.gov.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=6](http://sei.rj.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=6), informando o código verificador **63927204** e o código CRC **AB7214BF**.

Referência: Processo nº SEI-260009/002124/2021

SEI nº 63927204

Avenida Alberto Lamego, 2000, - Bairro Pq. Califórnia, Campos dos Goytacazes/RJ, CEP 28013-602  
Telefone: - [www.uenf.br](http://www.uenf.br)

*Dedico este trabalho às crianças da minha família, as crianças da minha cidade e do meu país, que possam crescer em um mundo que cuide das abelhas.*

## AGRADECIMENTOS

Há 17 anos atrás olhando o cartaz da seleção para o Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais-PPGERN sonhei um dia poder entrar para o programa. Hoje escrevo os agradecimentos da minha tese, com esse sonho realizado. Isso só foi possível porque tive acesso à uma Universidade Pública, com bolsa e bandeirão que permitiu que me dedicasse integralmente. Então VIVA a Universidade pública! Viva a UENF! Viva as instituições de fomento Capes e a FAPERJ pelo programa de bolsas para pós graduação! Viva a todos os professores que contribuíram para minha formação, todos os funcionários e colaboradores que mantém essa Universidade VIVA!

Em especial agradeço a minha orientadora e melhor professora que tive na Universidade, Maria Cristina Gaglianone, incansável na conservação dos polinizadores e na formação de novos alunos. Viva as professoras Ângela Pierre Vitória e Marina Suzuki, e ao professor Leandro Rabelo Monteiro que estiveram mais próximos e contribuíram para esta trajetória de diferentes formas.

Agradeço aos colegas do grupo de pesquisa do Laboratório de Ciências Ambientais pela parceria em vários momentos, mas em especial à Vivian Manhães companheira de campo, que com seus olhos de águia localizou muitas colônias, identificou e montou as minúsculas abelhas, sempre com muito carinho. Ao meu amigo Lázaro da Silva Carneiro parceiro de todas as horas na alegria e na tristeza, pela ajuda nos campos, pela coragem para alcançar as colônias mais altas, pela ajuda com a estatística, mapas, por me ajudar a enxergar meu trabalho de forma mais ampla e otimista, por tornar meus dias mais leves e divertidos. Agradeço também à Beatriz Ribeiro parceirinha na formatação, nas horas de maior tensão ela sempre me acalmava.

Meu muito obrigada à Elizabete Costa da PPGERN que não mediu esforços em me ajudar e pelas palavras de incentivo.

Precisaria de outra tese para agradecer ao pessoal do laboratório de genética da UEL principalmente à querida amiga Thais Kotelok Diniz (Tatarrrrr), que me acolheu com tanto cuidado em Londrina e dedicou tanto do seu precioso tempo para me ajudar em todas as etapas da genética. Aos amigos Wilson Frantine e Camila Savada pela recepção maravilhosa na cidade desconhecida. Agradeço à Gabriele Antico Freiria por todo o ensinamento e busca incansável de respostas. E sem dúvida, meu muito obrigada a

querida professora e coorientadora Silvia Helena Sofia, tudo isso só foi possível graças a sua energia e empolgação, que desde do início apoiou a ideia de fazermos a análise genética das abelhas campistas.

Agradeço à Edmeia Nogueira Dias, a Eduardo Linhares e suas famílias, a Prefeitura Municipal de Campos dos Goytacazes e à direção do Bosque Manoel Cartucho pela permissão para fazer as amostragens do material biológico. Agradeço a todos os companheiros da UENF, do prédio Ecologia Experimental que deixaram meus dias mais interessantes e entre um café e outro me ajudaram a encontrar soluções, análises e ideias para tese.

Agradeço aos membros da banca avaliadora pela disponibilidade em participar da banca e contribuir para o aperfeiçoamento desse trabalho.

Por fim agradeço à minha família pelo exemplo de dedicação à Academia. Agradeço profundamente a minha mãe e irmã por acreditarem tanto em mim, pelo apoio e por compreenderem a minha ausência. Agradeço ao meu grande companheiro Nilo Terra Arêas Neto que acreditou no meu sonho e me deu todo o suporte emocional e financeiro para realizá-lo.



## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	<b>xv</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ESTRUTURA DA TESE</b> .....	<b>xviii</b>
<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>1</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO I: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E COMPORTAMENTO DAS ABELHAS SEM FERRÃO NA ÁREA URBANA: UMA REVISÃO DOS ESTUDOS NA REGIÃO NEOTROPICAL</b> .....	<b>8</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>1.2 METODOLOGIA</b> .....	<b>11</b>
<b>1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>11</b>
1.3.1 Composição e distribuição de abelhas sem ferrão .....	13
1.3.2 Comportamento de nidificação de abelhas sem ferrão nas áreas urbanas ....	15
1.3.3 Urbanização, disponibilidade de recursos e comportamento de forrageamento das abelhas sem ferrão.....	18
1.3.3.1 Urbanização e forrageamento na Meliponicultura .....	24
<b>1.4 CONCLUSÃO</b> .....	<b>27</b>
<b>1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>29</b>
<b>APÊNDICE</b> .....	<b>40</b>
<b>CAPÍTULO II: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS COLÔNIAS DE ABELHAS SEM FERRÃO (APIDAE: MELIPONINI) EM UMA ÁREA URBANA NO BIOMA MATA ATLÂNTICA</b> .....	<b>47</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>47</b>
<b>2.1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>48</b>
<b>2.2 METODOLOGIA</b> .....	<b>50</b>
2.2.1 Área de estudo.....	50

2.2.2 Desenho amostral .....	51
2.2.3 Composição e densidade de colônias de abelhas sem ferrão nas unidades amostrais.....	52
2.2.4 Substrato de nidificação.....	53
2.2.5 Análise de dados .....	53
<b>2.3 RESULTADOS.....</b>	<b>55</b>
2.3.1 Composição e densidade de colônias de abelhas sem ferrão .....	55
2.3.2 Análise dos substratos utilizados no estabelecimento das colônias .....	58
2.3.3 Análise dos atributos das colônias.....	62
<b>2.4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>64</b>
<b>2.5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>71</b>
<b>2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>72</b>
<b>CAPÍTULO III: DIVERSIDADE GENÉTICA DE COLÔNIAS DE <i>Nannotrigona testaceicornis</i> (APIDAE: MELIPONINI) DE ÁREAS URBANAS .....</b>	<b>80</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>80</b>
<b>3.1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>80</b>
<b>3.2 METODOLOGIA .....</b>	<b>83</b>
3.2.1 Espécie estudada .....	84
3.2.2 Área de estudo e amostragem de abelhas .....	84
3.2.3 Extração do DNA .....	85
3.2.4 Obtenção dos marcadores microssatélites: seleção de <i>primers</i> , amplificação e genotipagem.....	86
3.2.5 Análises genéticas .....	86
<b>3.3 RESULTADOS.....</b>	<b>87</b>
3.3.1 Diversidade genética.....	87
3.3.2 Frequências alélicas .....	88
3.3.3 Análise genética das agregações .....	90
<b>3.4 DISCUSSÃO .....</b>	<b>93</b>
<b>3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>96</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>102</b>
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>106</b>

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

**Figura 1.1.** Frequência das publicações com ASF por estado ou províncias. .... 12

**Figura 1.2.** Frequência dos estudos realizados com abelha sem ferrão por biomas. (Ne= biomas não especificados). .... 13

### CAPÍTULO II

**Figura 2.1.** Unidades amostrais (contendo uma área central e transectos) distribuídas nas macrozonas da área urbana de Campos dos Goytacazes de acordo com o Plano Diretor do Município (PMCG, 2020). Adaptado de <https://www.campos.rj.gov.br/plano-diretor>. .... 52

**Figura 2.2.** Distribuição das colônias de abelha sem ferrão na área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ. .... 56

**Figura 2.3.** Rede ecológica com interação abelhas e árvores utilizadas como substrato de nidificação na área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ. Espécies de árvores com maiores valores de centralidade de intermediação (betweenness). .... 61

**Figura 2.4.** Substrato e características das colônias das espécies mais abundantes encontradas na área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ: *Nannotrigona testaceicornis* (N\_test) e *Plebeia droryana* (P\_dror) **a)** altura da entrada das colônias; **b)** DAP das árvores com colônias; **c)** altura da entrada das colônias por substrato: árvores e construções; **d)** direção da abertura das colônias. .... 63

**Figura 2.5.** Frequência de colônias de abelhas sem ferrão (%) encontradas nas diferentes densidades de madeira: Macia, Intermediária e Dura, vistoriadas na área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ. .... 63

**Figura 2.6.** Análise de correspondência canônica (CCA) mostrando a correlação entre espécies de abelha e atributos das colônias encontradas na área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ. Altura da entrada da colônia (ACOL); Diâmetro na altura do peito (DAP); Direção da abertura da colônia (DABE) e Densidade da madeira (DMAD) das colônias.

T\_angu= *Tetragonisca angustula*, P\_dror= *Plebeia droryana*, N\_test= *Nannotrigona testaceicornis* e T\_spin= *Trigona spinipes*. .....64

### CAPÍTULO III

**Figura 3.1.** Localização das unidades amostrais onde foram encontradas as populações de *N. testaceicornis* na área urbana de Campos dos Goytacazes (ao centro). Imagem de satélite a 366m (Google Earth Pro). .....85

**Figura 3.2.** Conjuntos de alelos encontrados nas agregações das colônias de *Nannotrigona testaceicornis* em cinco áreas (LIC, USI, SES, ARM e HOR) na área urbana do município de Campos dos Goytacazes, estado do Rio de Janeiro. No eixo x são mostrados os pares alelos de microssatélites (ex. par 1 e 2; 3 e 4; 5 e 6 e, assim por diante) para cada loco (Nets 37, Nets 09, Nets 41, Nets 59, Mbi 259, Prem 83 e Prem 87) analisado nas agregações de dois (LIC, USI, SES e ARM) e três colônias (USI, SES e HOR). A presença do algarismo zero representa falha na amplificação. ....91

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

**Tabela 1.1.** Famílias de plantas com o maior número de tipos polínicos utilizados por abelhas sem ferrão na área urbana da região Neotropical. As fontes das amostras de pólen analisadas foram: a) corbícula; b) potes de pólen c) potes de mel; d) regurgitação. Também foram consideradas as visitas em flor. NI= não informado.....24

### CAPÍTULO II

**Tabela 2.1.** Densidade (col/ha) e abundância de colônias de abelhas sem ferrão nas unidades amostrais na área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ avaliadas em duas vistorias sazonais (1 e 2).....57

**Tabela 2.2.** Espécies arbóreas vistoriadas neste levantamento, com o quantitativo de número ( $N^{\circ}A$ ) e densidade de árvores (DA), por macrozona na área urbana de Campos dos Goytacazes (RJ), e abundância e frequência de colônias de abelhas sem ferrão encontradas nas respectivas espécies. (T)= Total de árvores vistoriadas; (C) abundância de colônias de abelha sem ferrão, (FC%)= Frequência de colônias MC= macrozona central, MCU= macrozona de consolidação urbana, MAC= macrozona de adensamento controlado.....59

**Tabela 2.3.** Resumo dos modelos que explicaram a abundância total e a abundância das colônias das espécies mais abundantes de abelhas sem ferrão baseados nos atributos das unidades amostrais: riqueza, abundância e densidade de árvores.**Erro! Indicador não definido.**

### CAPÍTULO III

**Tabela 3.1.** Diversidade genética das populações da espécie de Meliponini *Nannotrigona testaceicornis* encontradas na área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ obtida a partir de marcadores microsatélites. N – Número de indivíduos analisados, A – número total de alelos,  $R_A$  – riqueza alélica,  $N_A$  – número médio de alelos,  $N_E$  – número de alelos

efetivos,  $N_P$  – alelos privados,  $H_E$  – heterozigosidade esperada,  $H_O$  – heterozigosidade observada,  $F_{IS}$  – índice de endogamia. ....88

**Tabela 3.2.** Conjunto de alelos para os sete locos microssatélites de *Nannotrigona testaceicornis* e suas frequências nas diferentes amostras analisadas (LIC, USI, SES, BEN, ARM e HOR), coletadas em colônias desta espécie em seis áreas urbanas no município de Campos dos Goytacazes, estado do Rio de Janeiro. ....89

**Tabela 3.3.** Índices de similaridade (Bray-Curtis) entre pares de amostras de uma mesma agregação (números iguais, letras diferentes) e entre agregações diferentes. ....92

## LISTA DE ANEXOS

### CAPÍTULO I

**APÊNDICE A - Tabela S1.** Artigos científicos sobre abelhas sem ferrão na área urbana da região neotropical, publicados entre 2003 e 2023 e disponíveis nas bases de dados Scopus, Web of Science, Scielo e Scholar google, utilizados nesta revisão.....40

### CAPÍTULO III

**APÊNDICE A - Tabela S1.** Diversidade genética por loco da espécie *Nannotrigona testaceicornis* de áreas urbanas em Campos dos Goytacazes/RJ obtida a partir de marcadores microssatélites. N – Número de indivíduos analisados,  $N_A$  – número médio de alelos,  $N_E$  – número de alelos efetivos,  $H_o$  – heterozigosidade observada  $H_E$  – heterozigosidade esperada,  $uH_E$  – heterozigosidade imparcial e  $F$  – índice de fixação. ....102

**APÊNDICE B - Tabela S2.** Ocorrência dos alelos nos diferentes locos das amostras de LIC, USI, SES, BEN, ARM e HOR, destacando suas incidências nas agregações de *N. testaceicornis*. ....104

**APÊNDICE C - Tabela S3.** Análise da Variância Molecular (AMOVA) e variação genética ( $F_{ST}$ ) para as amostras de *Nannotrigona testaceicornis* nas seis Unidades amostrais estudadas, mostrando a porcentagem de variação entre e dentro de populações, obtida a partir de marcadores microssatélites.....105

**APÊNDICE D - Figura S1.** Relação entre distância genética e distância geográfica das populações de *Nannotrigona testaceicornis* (Meliponini) encontradas na área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ.....105

## RESUMO

A expansão da urbanização está intimamente ligada ao aumento da população, já que o aumento populacional significa maior demanda por espaço para moradias, infraestrutura, serviços e empregos, levando à expansão das cidades, tanto horizontalmente quanto verticalmente. Isso resulta na conversão de habitats naturais em áreas urbanas de baixa qualidade ambiental, com a impermeabilização do solo, ilhas de calor, poluição e perda de biodiversidade. A urbanização e a agricultura são apontadas como principais causas do declínio dos polinizadores. No entanto, estudos mostram que as cidades podem ser ecossistemas mais favoráveis para polinizadores quando comparadas com áreas destinadas à agricultura moderna. O manejo adequado das cidades, incluindo o plantio de flores, manutenção de áreas verdes e corredores ecológicos, pode transformar as áreas urbanas em hotspots para os polinizadores. Dentre os polinizadores, as abelhas sem ferrão (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) cumprem um importante papel na polinização de plantas com florescimento abundantemente em um curto espaço de tempo, assim como melhoram a qualidade dos frutos em áreas de cultivo. Seus serviços ecossistêmicos contribuem para 15 dos 17 dos objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS) da ONU. No entanto pouco se sabe sobre suas respostas ao ambiente urbano. Neste trabalho buscamos identificar a distribuição espacial e o comportamento de forrageamento e nidificação das abelhas sem ferrão na área urbana da região Neotropical, investigar a ocorrência e distribuição das colônias de abelhas sem ferrão na área urbana de uma cidade brasileira de médio porte localizada no Bioma Mata Atlântica. Assim como avaliar a estrutura genética da população de uma espécie de abelha sem ferrão a fim de entender como a urbanização afeta as abelhas sem ferrão a nível molecular. Esperamos com este trabalho proporcionar insights valiosos para a conservação das abelhas sem ferrão em ambientes urbanos e contribuir para orientar ações de planejamento urbano que tornem as cidades refúgios para esses importantes polinizadores.

**Palavras-Chave:** Crescimento populacional, expansão urbana, abelhas sem ferrão, estrutura genética.



## ABSTRACT

Urban sprawl is closely linked to population growth, as an increase in population leads to a higher demand for housing space, infrastructure, services and jobs, resulting in the expansion of cities, both horizontally and vertically. This results in the conversion of natural habitats into urban areas with poor environmental quality, including soil impermeability, heat islands, pollution and biodiversity loss. Urbanization and agriculture are identified as the main causes of pollinator decline. However, studies indicate that cities can be more favorable ecosystems for pollinators when compared to areas dedicated to modern agriculture. Proper urban management, including flower planting, conservation of green spaces fragments, and creating ecological corridors, can transform urban areas into hotspots for pollinators. Among the pollinators, stingless bees (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) play an important role in pollinating flowering plants that bloom abundantly in a short period, as well as improving the quality of fruits in cultivated areas. Their ecosystem services contribute to 15 of the 17 UN Sustainable Development Goals (SDGs). However, little is known about their responses to the urban environment. In this study, we aim to identify the spatial distribution, foraging and nesting behavior of stingless bees in the urban area of the Neotropical region. We investigate the occurrence and distribution of stingless bee nests in the urban area of a medium-sized Brazilian city located in the Atlantic Forest biome. As well as evaluating the genetic structure of populations of one specie of stingless bees in order to understand how urbanization affects stingless bees at the molecular level. With this work, we hope to provide valuable insights for the conservation of stingless bees in urban environments and contribute to guide urban planning actions that make cities refuges for these important pollinators.

**Key-words:** Population growth, urban sprawl, stingless bees, genetic structure.

## ESTRUTURA DA TESE

Esta tese foi escrita em formato de capítulos e é composta de:

1. **Introdução Geral** que sintetiza a relação entre crescimento populacional e urbanização considerando as implicações para os polinizadores, com foco nas abelhas sem ferrão.
2. Primeiro capítulo intitulado: **Distribuição espacial e comportamento das abelhas sem ferrão na área urbana: uma revisão dos estudos na região neotropical**. Neste capítulo foi feita uma revisão de literatura onde procuramos identificar a influência da urbanização na distribuição, comportamento de nidificação e forrageamento das abelhas sem ferrão na região Neotropical. Para isso avaliamos artigos publicados em periódicos nos últimos 20 anos que tratavam de levantamento de colônias, substratos de nidificação e recursos utilizados por abelhas sem ferrão em cidades da região Neotropical. Tratamos também de aspectos que precisam ser considerados para instalação de meliponários na área urbana.
3. Segundo capítulo intitulado: **Distribuição espacial das colônias de abelhas sem ferrão (Apidae: Meliponini) em uma área urbana no bioma mata atlântica**. Neste capítulo investigamos a ocorrência e distribuição de colônias de abelhas sem ferrão na área urbana de Campos dos Goytacazes uma cidade brasileira de médio porte no interior do estado do Rio de Janeiro, localizada no Bioma Mata Atlântica. Procuramos identificar os fatores que influenciam a presença dessas colônias em 20 unidades amostrais distribuídas em três Macrozonas que foram definidas pelo Plano Diretor do Município. Testamos o efeito da estrutura da vegetação sobre a abundância das colônias utilizando como métrica a riqueza, abundância e densidade das árvores nas unidades amostrais. Avaliamos as árvores que serviram de substratos de nidificação registrando a espécie, medida de DAP, densidade da madeira assim como as características das colônias como altura, DAP da árvore onde foram encontradas e direção da abertura.
4. Terceiro capítulo intitulado: **Diversidade genética de colônias de *Nannotrigona testaceicornis* (Apidae: Meliponini) de área urbana inserida no Bioma Mata Atlântica**. Neste capítulo fizemos a análise genética da espécie de abelha sem

ferrão *Nannotrigona testaceicornis* utilizando marcadores microssatélites para avaliar a diversidade e estrutura genética das populações encontradas nas unidades amostrais na área urbana da cidade de Campos dos Goytacazes/RJ.

- 5. Considerações Finais** onde são pontuadas as contribuições desta tese e as lacunas que precisam ser preenchidas por futuros estudos com abelhas sem ferrão na área urbana.

## INTRODUÇÃO GERAL

A expansão da urbanização está diretamente relacionada com o aumento populacional, já que um maior número de pessoas aumenta a demanda por espaço para construção de moradias, infraestrutura, serviços e empregos, o que a torna um grande desafio para a conservação da biodiversidade (De Palma *et al.*, 2018). Esse desafio continuará a ser enfrentado nas próximas décadas considerando que a previsão das Nações Unidas é que a população mundial chegue a cerca de 9,7 bilhões de pessoas até 2050 com dois terços dessa população vivendo nas cidades. Na América Latina onde a população quadruplicou entre 1950 e 2022, deve atingir seu pico com quase 752 milhões de habitantes até 2052 (Nações Unidas, 2019). Para acomodar todas essas pessoas, as cidades terão que se expandir horizontal e verticalmente o que resulta na conversão de habitats naturais em áreas urbanas de baixa qualidade ambiental, com solo impermeabilizado, ilhas de calor, plantas e animais exóticos, poluição, fragmentação dos ecossistemas e perda da biodiversidade (McKinney, 2008).

Por outro lado, a agricultura moderna se expande resultando em uma paisagem homogênea com grandes áreas de monocultura, acrescida da utilização indiscriminada de herbicidas e pesticidas, além da conversão de habitats naturais (Ollerton *et al.*, 2014; Goulson *et al.*, 2015). A destruição das áreas naturais significa para os polinizadores a perda de local para nidificação e forrageamento, o isolamento das populações, mudança de comportamento e interrupção das interações ecológicas (Fischer e Lindenmayer, 2007). Assim, a agricultura e a urbanização vêm sendo apontadas como as principais ações antrópicas responsáveis pelo declínio dos polinizadores (Vanbergen, 2013; Fortel *et al.*, 2014), algo preocupante já que perda dos polinizadores tem como consequência direta a perda de diversas espécies vegetais (Winfrey *et al.*, 2009), pois atuam na reprodução de cerca de 80% das angiospermas, o que faz desses animais um elemento chave para a manutenção das funções ecossistêmicas, produção agrícola e segurança alimentar (Ollerton, 2011; Potts *et al.*, 2016).

Diante da potencial perda dos polinizadores e suas consequências, muitos pesquisadores voltaram a atenção para a cidade e o impacto da urbanização sobre os polinizadores (Wenzel *et al.*, 2020). Apesar dos resultados até agora serem controversos, já se sabe que as cidades podem ser ecossistemas mais amigáveis para os polinizadores

quando comparadas com áreas rurais utilizadas para agricultura moderna (Baldock *et al.*, 2015), isso porque segundo Burdine e McCluney (2019) as características dos habitats locais atenuam os efeitos da urbanização sobre os polinizadores e os serviços da polinização. Desta forma, o manejo correto das cidades, com plantio de flores, manutenção das árvores, a criação de áreas verdes e corredores ecológicos pode promover a conservação dos polinizadores e fazer das áreas urbanas hotspots para serviços de polinização (Theodorou *et al.*, 2020). Essa nova abordagem proposta pela ecologia urbana, que considera o valor ecológico da cidade e que transforma a forma como os gestores veem a cidade promovendo um maior envolvimento dos cidadãos para participação na construção de cidades mais sustentáveis. Cidades que funcionem como um abrigo para insetos polinizadores, com diversas oportunidades para pesquisas como inventários, monitoramentos e a identificação de áreas que necessitam de intervenção, auxiliando tomadores de decisão nas ações de conservação (Hall *et al.*, 2017).

Dentre os polinizadores que requerem maior conhecimento sobre suas respostas ao ambiente urbano estão as abelhas sem ferrão (Hymenoptera: Apidae: Meliponini), que apesar de representarem 70% das abelhas sociais conhecidas e serem o grupo mais diversificado entre as abelhas sociais dos trópicos (Hubbell e Johnson 1977; Michener, 2007), tem apenas 6% das pesquisas sobre insetos sociais dedicadas a estudá-las (Grüter, 2020).

As abelhas sem ferrão são encontradas nas regiões tropical e subtropical, pertencem ao grupo de abelhas que possuem corbícula (corbiculadas) uma estrutura côncava na perna posterior que lhes permite transportar pólen e resina de maneira altamente eficiente (Martins *et al.*, 2014). Distinguem-se das outras abelhas corbiculadas principalmente por terem um ferrão atrofiado (não funcional) e uma nervura alar reduzida (Michener, 2007). Suas colônias são perenes, compostas por centenas a milhares de indivíduos e apresentam divisão de castas onde rainha, operárias e zangão assumem diferentes funções na colônia (Nogueira-Neto, 1997). As operárias cuidam da prole, da segurança da colônia, coletam recursos e eventualmente podem colocar ovos, mas esta é a função principal da rainha, a única capaz de produzir fêmeas, que só nascem de ovos diploides (Michener, 1974). A maioria das espécies fundam suas colônias em cavidades preexistentes nos troncos das árvores, mas também são encontradas espécies que nidificam no solo, em colônias abandonadas de outros insetos e até mesmo em

construções humanas como muros, postes e caixas de eletricidade. A escolha de um bom local para fundação de uma nova colônia é feita pelas operárias durante o enxameação e é fundamental para a sobrevivência das ASF. É na colônia que as ASF passam a maior parte do tempo em contato uma com as outras, se comunicando através de feromônios e informações táteis para atender as necessidades da colônia, cuidam das crias, armazenam alimento, se refugiam dos inimigos e se protegem das mudanças de temperatura (Grüter, 2020).

As ASF cumprem um importante papel na polinização, ao forragearem em grupos aumentam sua eficiência na polinização de plantas com florescimento abundantemente em um curto espaço de tempo, assim como melhoram a qualidade dos frutos em áreas de cultivo. Além disso, possuem importante papel socioeconômico através da atividade de criação de abelhas sem ferrão (meliponicultura), que visa à produção de mel e cera, e é fonte de geração de renda para muitos meliponicultores (Samejima, 2004; Quezada *et al.*, 2018).

Os serviços ecossistêmicos prestados pelas ASF contribuem direta ou indiretamente para 15 dos 17 objetivos, projetados pela ONU para alcançar a sinergia entre o bem-estar humano e a manutenção dos recursos ambientais (Patel *et al.*, 2020). Entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) ODS que contam com a contribuição das ASF podemos evidenciar os objetivos “redução da fome”, através da polinização que aumenta a produtividade dos cultivos agrícolas; “diminuição da desigualdade” o aumento da produtividade facilita que a agricultura familiar tenha bons resultados facilitando o acesso ao crescimento sustentável da renda para grupos de baixa renda. Exemplificamos ainda um terceiro objetivo “promoção da igualdade de gênero”, através da participação das mulheres na criação de abelhas sem ferrão (meliponicultura).

Assim novos estudos que forneçam informações sobre a biologia e comportamento das abelhas sem ferrão podem colaborar para a conservação das espécies (Jaffé *et al.*, 2015; Cortopassi-Laurino *et al.*, 2016). Neste trabalho buscamos identificar a distribuição espacial e o comportamento de forrageamento e nidificação das abelhas sem ferrão em uma maior escala revisando publicações sobre abelhas sem ferrão na área urbana da região Neotropical, tema do primeiro capítulo. Em uma menor escala, buscamos investigar a ocorrência e distribuição das colônias de abelhas sem

ferrão na área urbana de Campos dos Goytacazes, uma cidade brasileira de médio porte e o maior município do interior do estado do Rio de Janeiro localizada no Bioma Mata Atlântica, cujos resultados apresentamos no capítulo 2. Por fim, avaliamos a estrutura genética das populações de uma espécie de abelha sem ferrão encontradas na área urbana de Campos dos Goytacazes a fim de entender como a urbanização afeta a distribuição das abelhas sem ferrão a nível molecular. Esperamos com este trabalho contribuir para um maior conhecimento sobre fatores que influenciam a distribuição e comportamento das abelhas sem ferrão na área urbana e fornecer informações para que gestores públicos possam nortear o planejamento de ações que tornem as áreas urbanas refúgios para abelhas sem ferrão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baldock, K. C. R.; Goddard, M. A.; Hicks, D. M., Kunin, W. E.; Mitschunas, N.; Osgathorpe, L. M.; Memmott, J. (2015). Where is the UK's pollinator biodiversity? The importance of urban areas for flower-visiting insects. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1803).
- Burdine, J.D.; McCluney, K. E. (2019). Interactive effects of urbanization and local habitat characteristics influence bee communities and flower visitation rates. *Oecologia* 190(4), 715-723.
- Cortopassi-Laurino, M., Alves, D. A. E.; Imperatriz-Fonseca, V. L. (2009). Árvores neotropicais, recursos importantes para a nidificação de abelhas sem ferrão (Apidae, Meliponini). *Mensagem doce*, 100: 21-28.
- De Palma, A.; Sanchez-Ortiz, K.; Martin, P. A.; Chadwick, A.; Gilbert, G.; Bates, A. E.; ... Purvis, A. (2018). Challenges With Inferring How Land-Use Affects Terrestrial Biodiversity: Study Design, Time, Space and Synthesis. *Advances in Ecological Research*, 58: 163–199.
- Fischer, J.; Lindenmayer, D. B. (2007). Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, 16: 265–280.
- Fortel, L.; Henry, M.; Guilbaud, L.; Guirao, A. L.; Kuhlmann, M.; Mouret, H.; Oriane, R.; Vaissière, B. E. (2014). Decreasing Abundance, Increasing Diversity and Changing Structure of the Wild Bee Community (Hymenoptera: Anthophila) along an Urbanization Gradient. *PloS one*, 9(8): e104679.
- Goulson, D.; Nicholls, E.; Botías, C.; Rotheray, E. L. (2015). Bee declines driven by combined stress from parasites, pesticides, and lack of flowers. *Science*, 347(6229): 1255957.
- Grüter, C. (2020). *Stingless Bees: Their behaviour, ecology and evolution*. Gewerbestrasse: Springer Nature Switzerland, 394p.
- 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.; Gunnarson, B.; Hanley,



- M. E.; Jackson, J. I.; Langellotto, G.; Lowenstein, D.; Minor, E. S.; Philpott, S. M.; Potts, S. G.; Sirohi, M. H.; Spevak, E. M.; Stone, G. N.; Threlfall, C. G. (2017). The city as a refuge for insect pollinators. *Conservation Biology*, 31(1): 24-29.
- Hubbell S. P.; Johnson L. K. (1977). Competition and nest spacing in a tropical stingless bee community. *Ecology*, 58: 949–963
- Jaffé, R.; Pope, N.; Carvalho, A. T.; Maia, U. M.; Blochtein, B.; Lopes De Carvalho, C. A.; Carvalho-Zilse, G. A.; Freitas, B. M.; Menezes, C.; Ribeiro, M. F.; Venturieri, C. G.; Imperatriz-Fonseca, V. L. (2015). Bees for development: Brazilian survey reveals how to optimize stingless beekeeping. *PloS one*, 10(3): e0121157.
- Martins, A. C; Melo, G. A. R.; Renner, S. S. (2014) The corbiculate bees arose from New World oil-collecting bees: implications for the origin of pollen baskets. *Molecular phylogenetics and evolution*, 80: 88-94.
- Michener, C.D. (2007). *The Bees of the World*. 2.ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press. 953p.
- Michener, C. D. (1974). *The social behavior of the bees: a comparative study*. Harvard University Press, 404p.
- McKinney, M. L. (2008). Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems*, 11(2): 161–176.
- Nações Unidas, Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais, Divisão de População (2019). *Perspectivas de Urbanização Mundial 2018: Destaques* (ST/ESA/SER.A/421). 38p.
- Ollerton, J.; Erenler, H.; Edwards, M.; Crockett, R. (2014). Extinctions of aculeate pollinators in Britain and the role of large-scale agricultural changes. *Science*, 346(6215): 1360–1362.
- Nogueira-Neto, P. (1997). *Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão*. São Paulo: Editora Nogueirapis. 445p.
- Ollerton, J.; Winfree, R.; Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals?. *Oikos*, 120(3): 321–326.

- Patel, V.; Pauli, N.; Biggs, E.; Barbour, L.; Boruff, B. (2020). Why bees are critical for achieving sustainable development. *Ambio*, 50(1): 49–59.
- Potts, S. G.; Imperatriz-Fonseca, V.; Ngo, H. T.; Aizen, M.A.; Biesmeijer, J.C.; Breeze, T.D.; Dicks, L. V.; Garibaldi, L. A.; Hill, R.; Settle, J.; Vanbergen, A. J. (2016). Safeguarding pollinators and their values to human well-being. *Nature*, 540: 220–229.
- Quezada-Euán, J.J.G.; Nates-Parra, G.; Maués, M.M.; Imperatriz-Fonseca, V.L.; Roubik, D.W. (2018). Economic and cultural values of stingless bees (Hymenoptera: Meliponini) among ethnic groups of tropical America. *Sociobiology*, 65(4): 534–557.
- Samejima, H.; Marzuki, M.; Nagamitsu, T.; Nakasizuka, T. (2004). The effects of human disturbance on a stingless bee community in a tropical rainforest. *Biological Conservation*, 120(4): 577–587.
- Theodorou, P.; Radzevi Ą, I.R.; Lentendu, G.; Kahnt, B.; Husemann, M.; Bleidorn, C.; Settele, J.; Schweiger, O.; Grosse, I.; Wubet, T.; Murray, T. E.; Paxton, R.J. (2020). Urban areas as hotspots for bees and pollination but not a panacea for all insects. *Nature communications*, 11(1), 576.
- Vanbergen, A. J. (2013). Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(5): 251-259.
- Wenzel, A.; Grass, I.; Belavadi, V.V.; Tschardtke, T. (2020) How urbanization is driving pollinator diversity and pollination – A systematic review. *Biological Conservation*, 241: 108321.
- Winfree, R.; Aguilar, R.; Vázquez, D. P.; Lebuñ, G.; Aizen, M. A. (2009). A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology*, 90(8): 2068–2076.

## **CAPÍTULO I: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E COMPORTAMENTO DAS ABELHAS SEM FERRÃO NA ÁREA URBANA: UMA REVISÃO DOS ESTUDOS NA REGIÃO NEOTROPICAL**

### **RESUMO**

As abelhas sem ferrão são eussocias, constroem colônias perenes com muitos indivíduos e são responsáveis pela polinização de 66% das espécies de plantas cultivadas e de muitas espécies nativas. Com ocorrência nas regiões tropicais e subtropicais do mundo, Meliponini possui cerca de 500 espécies de abelhas descritas e 80% delas se encontra na região Neotropical, que concentra uma das maiores biodiversidades do planeta e que passou por uma rápida e desordenada urbanização. A influência da urbanização sobre o comportamento das abelhas varia de acordo com as condições ambientais e com o táxon ou grupo funcional e essa influência sobre abelhas sem ferrão ainda é pouco estudada. Assim, esta revisão teve como objetivo compilar a influência das condições ambientais das áreas urbanas da região Neotropical sobre a distribuição, o comportamento de nidificação e o forrageamento das abelhas sem ferrão. Para isso foram compiladas 52 publicações de trabalhos desenvolvidos em seis países da região Neotropical, que tratavam de abelhas sem ferrão na área urbana. Cerca de 50% das publicações que analisaram os recursos utilizados e a influência do ambiente urbano sobre o comportamento de nidificação e forrageamento mostram a retirada da vegetação comum nas áreas urbanas como um grande desafio para abelhas sem ferrão, já que diminui a disponibilidade de recursos e locais de nidificação. Além disso, a falta de vegetação junto com os materiais utilizados na construção das cidades contribui para o aumento da temperatura e diminuição da umidade. Cerca de 30% das publicações descreveram a comunidade encontrada nas áreas urbanas. Os gêneros de abelhas sem ferrão mais comuns foram *Nannotrigona*, *Tetragonisca*, *Scaptotrigona* e *Trigona*, representados por espécies com maior plasticidade, capazes de nidificar em construções humanas, forragear em altas temperaturas e baixa umidade e utilizar ampla gama de plantas nativas ou exóticas. A meliponicultura na área urbana foi objeto de estudo de 5% das publicações que analisaram a qualidade do mel, pólen e própolis das abelhas sem ferrão; destes trabalhos, cerca de 50% relatam a contaminação por metais pesados ou microrganismos. A conservação das abelhas sem ferrão nas áreas urbanas é possível desde que políticas públicas sejam discutidas por arquitetos, gestores públicos e ecólogos, a fim de implantar um paisagismo ecológico, que priorize a criação de áreas verdes e leve em consideração plantas melitófilas nativas, podas planejadas da vegetação, conservação de árvores antigas e disponibilização de cavidades artificiais. Estas estratégias poderiam contribuir para minimizar a falta de recursos alimentares e local de nidificação, limitações comuns em áreas urbanas e para possibilitar a conservação de uma maior diversidade de espécies.

**Palavras-chave:** Meliponini, polinizadores, serviços ecossistêmicos, urbanização.

## 1.1 INTRODUÇÃO

As mudanças no uso do solo provocadas pela urbanização têm influência sobre diferentes parâmetros da biodiversidade, esta influência pode ser positiva ou negativa, a depender do táxon e das condições do ambiente. As respostas dentro dos táxons também podem variar de acordo com as necessidades ecológicas dos diferentes grupos funcionais (Theodorou *et al.*, 2020). Assim, as áreas urbanas funcionam como filtros ambientais que facilitam o estabelecimento de algumas espécies, enquanto outras podem se tornar mais vulneráveis às alterações no ambiente (Buchholz e Egerer, 2020). Em geral, espécies de abelhas eussocias e generalistas mostram uma tendência de aumento da abundância nas áreas urbanas, beneficiadas pela heterogeneidade dos recursos e locais de nidificação, enquanto espécies solitárias que nidificam no solo podem ser mais afetadas pela impermeabilização do solo nas áreas urbanas (Ayers e Reham, 2021). Entretanto, esta generalização precisa ser analisada com cautela, na Argentina as abelhas solitárias que nidificam no solo são mais abundantes na área urbana, a impermeabilização do solo mostrou ser um fator menos importante e a maior abundância é atribuída ao menor contato com seres humanos pelo fato de nidificarem no solo. Neste caso as abelhas que nidificam em cavidades acima do solo são mais frequentes em locais mais tranquilos e arborizados no subúrbio (Amado-de-Santis e Chacoff, 2020). Também contradizendo a generalização, um levantamento realizado na área urbana do bioma cerrado na Bahia encontrou maior abundância de Meliponini espécies eussocias em áreas menos urbanizadas (Bulhões *et al.*, 2021)

O declínio dos polinizadores em todo mundo despertou o interesse por estudos com foco em ecologia urbana da polinização e polinizadores (Wenzel *et al.*, 2020). No entanto, a maioria dos estudos apresentados na literatura foram realizados em áreas urbanas da região temperada na Europa e América do Norte, com uma tendência a sub-representação das regiões tropicais e subtropicais (Brant *et al.*, 2022; Rahimi *et al.*, 2022). Dentro dessas regiões sub-representadas está a região neotropical, considerada a de maior biodiversidade do planeta, incluindo sete dos 35 hotspots mundiais (Williams *et al.*, 2011). Na região Neotropical são encontradas 80% das cerca de 500 espécies de abelhas sem ferrão (tribo Meliponini) descritas (Camargo e Pedro, 2013). Com isso, entender os

impactos da urbanização sobre esses insetos na região Neotropical é essencial para desenvolver estratégias de conservação das populações e dos serviços ecológicos da polinização prestados pelas abelhas sem ferrão (Lima *et al.*, 2018). É necessário considerar as condições ambientais específicas da região Neotropical para avaliar a influência da urbanização sobre os polinizadores, evitando erros decorrentes da extrapolação de estudos regionais realizados em outras regiões do planeta para a definição de modelos mundiais (De Palma *et al.*, 2016).

As abelhas sem ferrão (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) distribuem-se na região tropical e subtropical e formam o grupo mais diverso entre as abelhas eussociais nos trópicos (Hubbell e Johnson, 1977; Michener 2007). Elas cumprem um importante papel na polinização, forrageando em grupos, o que aumenta sua eficiência na polinização de plantas que florescem abundantemente em um curto espaço de tempo, e melhoram a qualidade dos frutos em áreas de cultivo, são fundamentais para manutenção da biodiversidade e garantia da segurança alimentar nas regiões onde ocorrem (Grüter, 2020). Além disso, as ASF possuem importante papel socioeconômico através da atividade de criação de abelhas sem ferrão (meliponicultura), que visa à produção de mel e cera, e é fonte de geração de renda para muitos meliponicultores (Samejima, 2004; Quezada *et al.*, 2018). As colônias tem muitos indivíduos e ficam ativas o ano todo são encontradas em cavidades ou forquilhas nos troncos das árvores, fendas de rochas, em colônias de outras espécies como cupins e no solo. A rainha é responsável pela reprodução, enquanto centenas a milhares de operárias coletam recursos, fazem a manutenção da colônia, cuidam da prole e da segurança da rainha (Roubik, 2006). A colônia se reproduz por divisão reprodutiva, quando um grupo de operárias sai em busca de uma nova cavidade, próxima à colônia antiga. Essa proximidade é importante, porque é da colônia antiga que as abelhas retiram recursos para abastecer a nova colônia para receber uma rainha virgem e mesmo depois da colônia estabelecida mantém uma certa dependência até se tornar totalmente independente. Depois de se instalar na nova colônia, a rainha virgem sai uma única vez para acasalar (geralmente com um único macho) e a partir daí iniciar a postura de ovos (Van Veen e Sommeijer, 2000).

Recente revisão sobre ameaças à sobrevivência de abelhas sem ferrão (Toledo-Hernández *et al.*, 2022) identificou as ações antrópicas que poderiam ter impacto negativo nas comunidades de abelhas sem ferrão em cultivos agrícolas. Os autores

demonstraram que desmatamento e, perda de habitat, competição por recursos com espécies introduzidas, transmissão de patógenos, mudança de temperatura, utilização de pesticidas e fertilizantes são fatores que podem colocar em riscos as populações de abelhas sem ferrão.

Estes fatores atuam também no ambiente urbano além da liberação de elementos tóxicos associada às atividades antrópicas como tráfego de veículos (emissão de gases, desgaste de pneus, desgaste de revestimentos das ruas e estradas), intemperismo das construções e emissões industriais (Hanfi *et al.*, 2020). Esta constatação nos leva a acreditar que as populações de abelhas sem ferrão também podem estar altamente ameaçadas nas cidades.

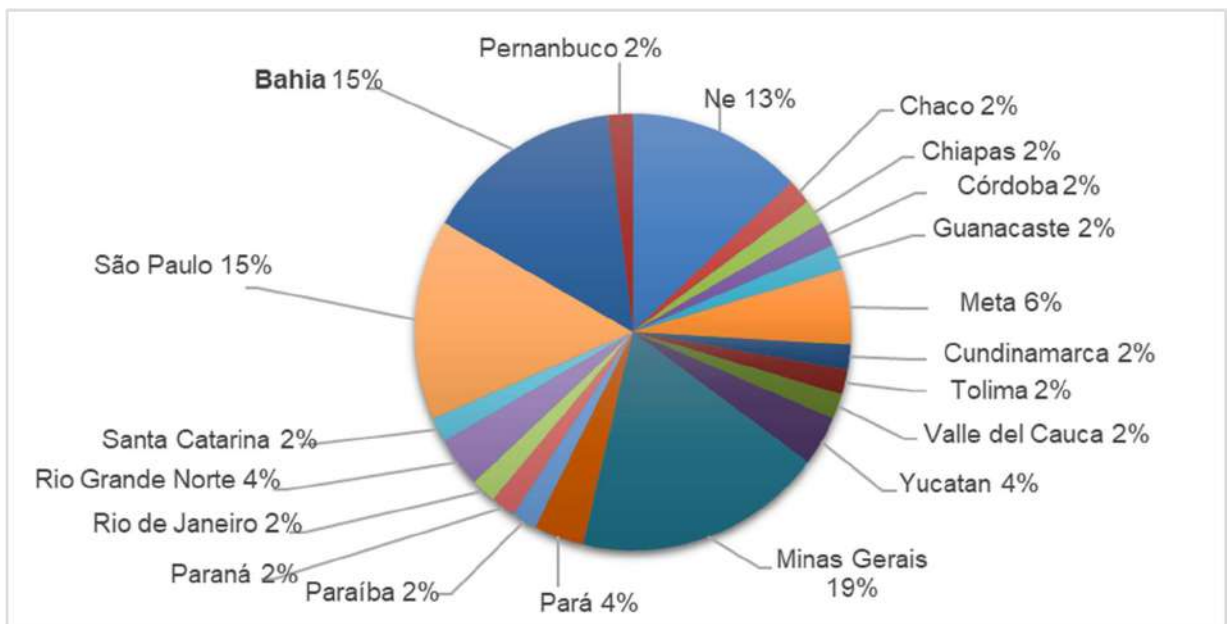
Neste estudo, propomos uma revisão bibliográfica de trabalhos realizados em áreas urbanas da região neotropical, buscando traçar padrões e fazer paralelos da distribuição espacial e o comportamento de forrageamento e nidificação das abelhas sem ferrão. A revisão foi organizada analisando os seguintes aspectos, em áreas urbanas na região neotropical: 1) composição e distribuição de abelhas sem ferrão; 2) comportamento de nidificação e os substratos utilizados; 3) forrageamento e recursos utilizados.

## **1.2 METODOLOGIA**

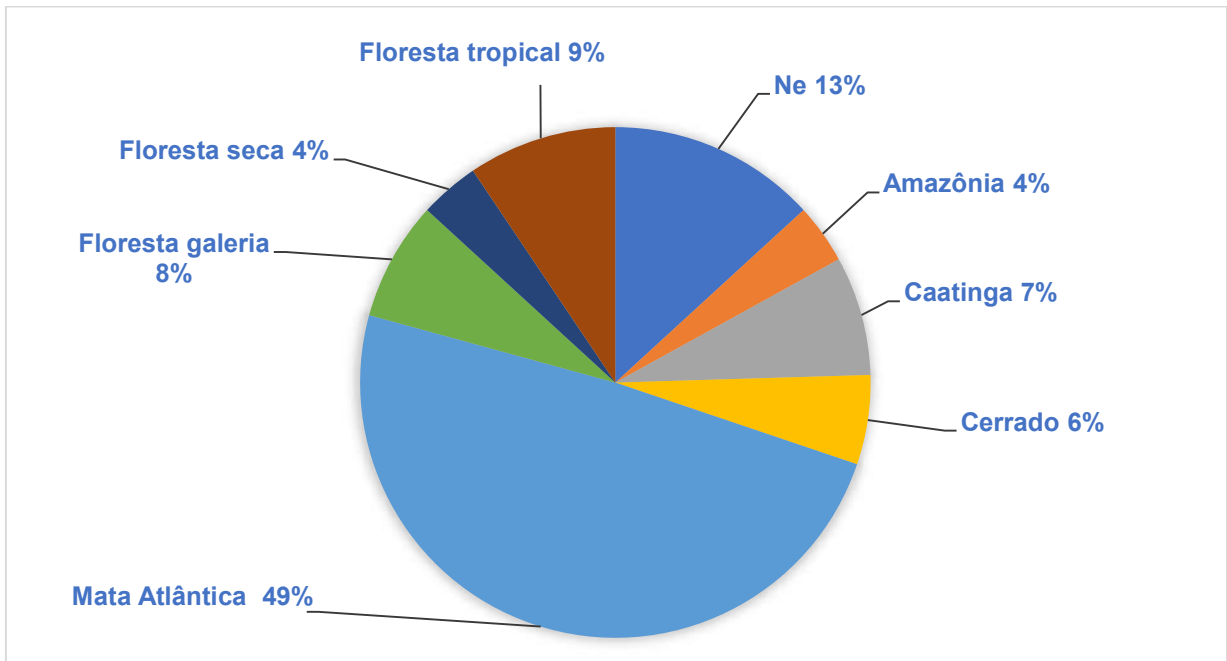
A fim de identificar publicações científicas sobre o tema “abelhas sem ferrão na área urbana da região neotropical”, buscamos artigos científicos no conteúdo disponível nas bases de dados Scopus, Web of Science, Scielo e Scholar Google. A busca foi feita utilizando uma composição de palavras-chave incluindo táxon e área de estudo em português, inglês e espanhol: Abelha sem ferrão AND urbanização (“stingless bee”, “abeja sin aguijón”, “urbanization”; “urbanización”), Meliponini AND área urbana (urban area, área urbana), cidade (city, ciudad). Também foram utilizadas referências cruzadas obtidas entre estudos com recorte temporal de 20 anos (2003 a 2023). Trabalhos realizados fora da região Neotropical, fora das áreas urbanas e que não tratavam de abelhas sem ferrão, foram excluídos.

## **1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Foram encontradas 52 publicações realizadas em localidades de seis países da região Neotropical (Tabela S1). Observamos uma baixa equidade no número de publicações disponíveis nas bases de dados consultadas. Neste sentido, o Brasil liderou com o maior número de publicações (64%), seguido pela Colômbia e México (11% cada), Argentina (3%), Costa Rica e El Salvador (2%). Baixa equidade também observada na frequência das publicações por estados ou províncias (Figura 1.1), os estados brasileiros com maior número de publicações foram Minas Gerais, Bahia e São Paulo. A identificação dos biomas estudados em algumas publicações não é clara, por isso em 13% das publicações não foi possível especificar, 49% dos estudos foram realizados no bioma Mata Atlântica (Figura 1.2).



**Figura 1.1.** Frequência das publicações com ASF por estado ou províncias.



**Figura 1.2.** Frequência dos estudos realizados com abelha sem ferrão por biomas. (Ne= biomas não especificados).

### 1.3.1 Composição e distribuição de abelhas sem ferrão

No ambiente urbano observa-se uma mudança na composição de espécies, com maior densidade de colônias de abelhas que utilizam vários tipos de substrato, e menor densidade de colônia das abelhas que nidificam exclusivamente em cavidades de árvores. Quando comparado com outros ambientes menos alterados pelas ações humanas, o ambiente urbano observa-se a alteração na frequência das espécies dependendo das suas características, que podem conferir menor ou maior potencial para sobreviver às mudanças no ambiente provocadas pela urbanização (Nates-Parra *et al.*, 2008; Amado-de-Santis e Chacoff, 2020).

Os gêneros mais comuns encontrados na área urbana da região Neotropical foram *Tetragonisca* Moure, 1946, *Melipona* Illiger, 1806, *Scaptotrigona* Moure, 1942, *Nannotrigona* Cockerell, 1922 e *Plebeia* Schwarz, 1938. Estudos realizados no Brasil, México e Colômbia listaram as espécies de abelhas sem ferrão encontradas na área urbanas. No Brasil, ocorrem 244 espécies de abelhas sem ferrão (Pedro, 2014), segundo Lima dos Santos *et al.* (2020) que avaliaram 44 estudos realizados em áreas urbanas no Brasil, a riqueza total de Meliponini encontrada foi de 60 espécies. Na Colômbia ocorrem



120 espécies de abelhas sem ferrão (Nates-Parra e Rosso-Londoño, 2016). Dentre os estudos avaliados nesta revisão (Morillo, 2004; Nates-Parra *et al.*, 2006, 2008; Nates-Parra e Rosso-Londoño, 2013; Martínez-López *et al.*, 2017) foram registradas nas áreas urbanas da Colômbia 22 espécies, 18% das espécies descritas para o país. Das 46 espécies que ocorrem no México (Ayala *et al.*, 2013) 13% foram encontradas na área urbana (Fierro *et al.*, 2012; May-Itza *et al.*, 2021).

Estas espécies apresentam diferentes tamanhos corporais, que variam de 4 mm a 10 mm e raio de voo (entre 600 m e 2 km, respectivamente) que são determinantes para a capacidade de dispersão, um dos fatores que pode influenciar na distribuição das colônias (Ramírez *et al.*, 2013). O padrão de distribuição mais frequente das colônias de abelhas sem ferrão de uma mesma espécie nas áreas urbanas foi o padrão agrupado (Morillo, 2004; Aidar *et al.*, 2013; Iraheta *et al.*, 2015; Vieira *et al.*, 2016; Martínez-López *et al.*, 2017; Valadares *et al.*, 2021; Antonini e Martins, 2022). Segundo os autores, o tamanho corporal e o raio de voo limitam a dispersão de espécies pequenas, como *Nannotrigona testaceicornis* (Lepelletier, 1836), *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811), *Nannotrigona mellaria* (Smith, 1862) (Araújo *et al.*, 2004; Martínez-López *et al.*, 2017). O padrão de distribuição agrupado também pode ser explicado pelo comportamento de nidificação das ASF, já que uma menor distância espacial entre as colônias facilita o transporte de material da colônia mãe durante a fundação e manutenção de novas colônias de abelhas sem ferrão (Antonini e Martins, 2022). O padrão agrupado também é influenciado pela distribuição das árvores que representa a disponibilidade de cavidades para nidificação (Fierro *et al.*, 2012; Aidar *et al.*, 2013) e de alimento (Ramírez *et al.*, 2013). Por outro lado, abelhas com comportamento mais defensivo, como *Trigona spinipes* (Fabricius, 1793) e *Partamona helleri* (Friese, 1900) tendem a apresentar padrão de distribuição próximo ao uniforme, com uma maior distância espacial entre as colônias (Vieira *et al.*, 2016; Valadares *et al.*, 2021).

Várias questões importantes podem ser decorrentes dos fatores mencionados acima. O tamanho corporal, por exemplo, pode ser um fator limitante para a dispersão das abelhas entre os habitats fragmentados comumente associados às áreas urbanas. Estes habitats encontram-se frequentemente isolados por áreas degradadas e altamente modificadas (Araújo *et al.*, 2004) e a distância geográfica entre as áreas de habitat nas regiões urbanas podem representar a maior limitação para a distribuição e fluxo gênico

de abelhas pequenas. Segundo Barbosa *et al.* (2022) *T. angustula* consegue atravessar paisagens heterogêneas e modificadas por ações antrópicas desde que a distância geográfica entre um fragmento e outro não seja muito grande e permita a dispersão. Caso contrário, as populações tendem a ficar isoladas em pequenos fragmentos com poucos machos e fêmeas reprodutoras, limitadas pelo alto custo energético necessário para atravessar grandes distâncias de solo impermeabilizado ou de áreas degradadas. A presença dos machos é fundamental para aumentar o fluxo gênico já que as rainhas fisogástricas tem sua circulação limitada (Francisco *et al.*, 2017; Barbosa *et al.*, 2022).

Outra importante consequência de uma distribuição limitada é que 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. Os machos diploides aumentam o risco de extinção das espécies principalmente em populações pequenas, porque podem ser inviáveis ou inférteis e diminuem o potencial de manutenção da colônia ao ocuparem as células que seriam das operárias, responsáveis por conseguir recursos, defesa da colônia e cuidados com a prole (Vollet-Neto *et al.*, 2018). O estudo comparativo das colônias de *Nannotrigona perilampoides* entre área rural e área urbana realizado em Mérida no México (May-Itza *et al.*, 2021) mostrou um maior número de machos diploides na área urbana que na área rural, suportando a hipótese de que a distribuição e densidade das colônias pode ser altamente afetada nas áreas urbanas.

### 1.3.2 Comportamento de nidificação de abelhas sem ferrão nas áreas urbanas

As diferentes espécies de abelhas sem ferrão apresentam diferentes requerimentos ecológicos, tais como nidificar no solo, em colônias de outras espécies, em rachaduras de rochas, cavidades em árvores ou construções humanas. Sendo assim, as ameaças na área urbana podem atingir diferentemente esses vários grupos de abelhas sem ferrão. A retirada da vegetação comumente associada à expansão das cidades, por exemplo, ameaça muito as abelhas que nidificam em cavidades acima do solo (Amado-de-Santis e Chacoff, 2020), enquanto as construções humanas em si podem representar uma vantagem para espécies que conseguem nidificar nessas estruturas, tornando-as bem sucedidas em áreas urbanas (Zanette *et al.*, 2005;

Guimarães-Alves e Gaglianone, 2021; Brant *et al.*, 2022). Já abelhas que nidificam no solo estão mais protegidas do contato com humanos (Amado-de-Santis e Chacoff, 2020), mas o solo impermeabilizado comum nas cidades limita a disponibilidade de local de nidificação. Essas características podem gerar respostas diferentes aos distúrbios antrópicos, que para serem melhor compreendidas necessitam de muitos estudos utilizando escalas de análises mais amplas (Antonini e Martins, 2022).

A retirada da vegetação, associada à urbanização, é considerado um fator que influencia de várias formas o comportamento de nidificação das abelhas sem ferrão nas áreas urbanas. Leva à perda e fragmentação dos habitats (Ramírez *et al.*, 2013), mudanças na estrutura da vegetação e no tamanho do habitat. O grau de distúrbio vai ser determinado pelo nível da mudança na estrutura e composição da vegetação dos fragmentos de habitat (Antonini *et al.*, 2013). A retirada da vegetação e a substituição por construções e vias pavimentadas, por exemplo, altera a disponibilidade de locais de nidificação e recursos disponíveis, o que impacta negativamente as populações das abelhas sem ferrão (Ramírez *et al.*, 2013). A perda de local para nidificação se dá principalmente pela retirada de árvores nativas antigas, que são substituídas por espécies exóticas, mais novas e com troncos de menor diâmetro, e com pouca ou nenhuma cavidade (Fierro *et al.*, 2012). Árvores antigas no ambiente urbano são encaradas como risco para as pessoas, já que estão sujeitas a cair durante tempestades e causarem transtornos nas vias urbanas e residências. Contudo, essas árvores antigas normalmente são maiores e têm maior disponibilidade de cavidades, com tamanho necessário para abrigar as colônias das ASF (Eltz *et al.*, 2003; Ribeiro e Taura, 2019). Dada a importância dessas árvores para a fauna urbana, projetos de conservação deveriam ser implementados com vistorias regulares, adubação, planejamento das podas e da retirada quando necessário a fim de controlar a integridade dos indivíduos e evitar acidentes.

Com as alterações na vegetação, as áreas urbanas funcionam como um filtro, mais permeável para abelhas com maior plasticidade capazes de nidificar em construções humanas como *N. testaceicornis*, *T. angustula* (Nates-Parra *et al.*, 2008; Antonini e Martins, 2022), ou impermeável para abelhas que só nidificam em troncos de árvores, como *Tetragona clavipes* (Fabricius, 1804) e *Melipona quadrifasciata* Lepeletier 1836, *Cephalotrigona capitata* (Smith, 1854) entre outras (Nates-Parra *et al.*, 2008; Antonini e

Martins, 2022). A ausência de árvores altas e de maior diâmetro limita a disponibilidade de local de nidificação para abelhas que nidificam exclusivamente em árvores, seja em cavidades nos troncos (como *M. quadrifasciata*), ou colônias externas nas forquilhas das árvores (como espécies de *Trigona*, Nates-Parra *et al.*, 2008; Antonini *et al.*, 2013; Valadares *et al.*, 2021). Neste último caso, abelhas que estabelecem suas colônias em forquilhas poderiam ser entendidas como menos susceptíveis aos efeitos da deflorestação. Entretanto, Martins *et al.* (2013) registraram declínio da comunidade de *T. spinipes*, entre outras espécies, em área urbana no Brasil os autores atribuem essa diminuição ao rápido processo de urbanização ocorrido durante os 40 anos da pesquisa. Na comunidade de abelhas sem ferrão avaliada por Araújo *et al.* (2016), *T. spinipes* foi a única espécie relacionada à vegetação, a baixa abundância de suas colônias foi associada a falta de local de nidificação e recurso alimentar necessário em maior quantidade para atender a demanda de suas colônias super populosas.

Espécies que apresentam maior especificidade nos locais de nidificação, como *Partamona testacea* (Klug, 1807) são encontradas com frequência em florestas, mas não foram registradas em ambientes urbanos, suas colônias são encontradas em terrenos argilosos associadas à colônias de cupim, dificilmente encontrados na área urbana (Nates-Parra *et al.*, 2008).

Por outro lado, algumas abelhas sem ferrão como *Tetragonisca angustula*, *N. testaceicornis* e *Nannotrigona melanocera* (Schwarz, 1938) são consideradas comuns no ambiente urbano na região neotropical (Morillo, 2004; Nates-Parra *et al.*, 2008, 2013; Aidar *et al.*, 2013; Martins *et al.*, 2013; Iraheta *et al.*, 2015; Araújo *et al.*, 2016; Fierro *et al.*, 2012). Essa grande adequação ao ambiente urbano é atribuída ao fato de suas colônias serem pequenas e por isso as cidades potencialmente ofertarem grande abundância de cavidades, além da capacidade intrínseca de usar construções humanas como substrato (Vieira *et al.*, 2016). Para estas espécies, a resposta à falta de árvores no ambiente urbano pode ser positiva ou neutra, já que a natureza do substrato parece não importar, mas sim a disponibilidade de cavidades (Matinéz-López *et al.*, 2017).

Entretanto, para muitas espécies, a natureza do substrato é altamente importante, e influencia na ocorrência de diferentes espécies de abelhas nas cidades. Por isso, a forma como os ambientes urbanos são planejados pode garantir ou impedir a conservação das abelhas sem ferrão na área urbana (Zanette *et al.*, 2005). As

construções modernas que utilizam materiais laminados com superfícies lisas, como gesso cartonado, vidro e alumínio, não fornecem cavidades para abelhas. Diferente das construções mais antigas que utilizam madeira e tijolos de barro, substratos mais viáveis para a nidificação por permitirem a existência de cavidades com o desgaste ao longo do tempo.

O planejamento urbano deve considerar também a localização das construções, de modo que permita a formação de corredores verdes para conectar áreas vegetadas, permitindo a dispersão das espécies de abelhas na paisagem urbana (Francel *et al.*, 2020). A presença de corredores verdes no ambiente urbano oferece às abelhas uma maior diversidade de plantas e servem como trampolins onde as abelhas encontram recursos e local de nidificação.

Além da instalação de corredores de vegetação, a utilização de ninhos-isca entre os fragmentos urbanos é uma estratégia que pode contribuir na dispersão das abelhas sem ferrão na área urbana (Arena *et al.*, 2018). A instalação dos ninhos-isca aumenta a oferta de cavidades e fornece local de nidificação para abelhas sem ferrão em áreas sem vegetação. Com a fundação de novas colônias pesquisadores e meliponicultores observam a melhora na circulação das abelhas. Estratégia fundamental para promover a variabilidade genética e a conservação no ambiente urbano.

### 1.3.3 Urbanização, disponibilidade de recursos e comportamento de forrageamento das abelhas sem ferrão

A urbanização afeta o forrageamento das abelhas sem ferrão, através da alteração em fatores bióticos, como a disponibilidade das plantas, a sazonalidade da oferta de recursos e o comportamento de coespecíficos, assim como através da alteração de fatores abióticos que interferem principalmente na disponibilidade de recursos e nas condições fisiológicas ótimas.

A disponibilidade de recursos pode variar na quantidade e na qualidade, como consequência da urbanização levando a mudanças no comportamento de forrageamento das abelhas sem ferrão. A redução na abundância de plantas com floração em massa, que são fontes importantes de alimento para as abelhas sem ferrão, pode ter um impacto significativo na disponibilidade de recursos. Isso leva as abelhas sem ferrão a visitarem

um número maior de plantas para obter recursos suficientes para suprir as necessidades da colônia (Faria *et al.*, 2012). *M. quadrifasciata* e *Melipona rufiventris* Lepeletier, 1836 observadas em uma floresta urbana durante a maior parte do ano demonstraram preferência por algumas espécies de plantas, buscaram plantas alternativas apenas quando suas plantas de interesse estavam com pouca ou nenhuma flor (Barth *et al.*, 2020). Além disso, o comportamento de *Scaptotrigona* aff. *depilis* também variou influenciado pela sazonalidade. Durante a estação chuvosa, quando os recursos eram mais abundantes, as abelhas sem ferrão armazenaram o máximo de alimento possível a fim de garantir recursos suficientes para atravessar a estação seca, quando os recursos tendem a ser mais escassos (Aleixo *et al.*, 2017).

A riqueza de plantas nas áreas urbanas pode ser maior do que em áreas naturais devido à presença de espécies nativas e exóticas na ornamentação urbana (Vossler, 2019). As abelhas sem ferrão generalistas são capazes de utilizar recursos de ambos os tipos de plantas (Frankie *et al.*, 2013; Vossler, 2019). Um estudo realizado na Costa Rica por Frankie *et al.* (2013) relata o comportamento pilhador em ASF, ao coletar néctar em flores exóticas, como *Thevetia peruviana* (Pers.) K.Schum (Apocynaceae) e *Thunbergia grandiflora* Roxb. (Acanthaceae). Devido ao formato tubular dessas flores, as abelhas não conseguem alcançar o néctar diretamente, e assim, gastam parte do tempo abrindo buracos na base da corola para acessar o néctar (Frankie *et al.*, 2013). Esse comportamento versátil de forrageamento em espécies nativas e exóticas é benéfico para a conservação das abelhas sem ferrão nas áreas urbanas. No entanto, pode resultar em um aumento na dominância de espécies de ASF generalistas, pois a capacidade de utilizar recursos de plantas nativas e exóticas aumenta a plasticidade dessas abelhas no ambiente urbano (Zanette *et al.*, 2005). Por outro lado, o forrageamento em plantas exóticas pode beneficiar o sucesso reprodutivo das plantas invasoras e ter um efeito negativo na conservação de espécies de plantas nativas (Vossler, 2019). Isso reduz a possibilidade de manutenção de espécies de abelhas sem ferrão com exigências mais específicas em relação às fontes de alimento.

Além da supressão da vegetação nativa, da substituição por espécies exóticas e consequente alteração na composição da vegetação, o manejo inadequado da vegetação nas cidades, com podas constantes e sem respeitar o período do florescimento, também resulta em diminuição brusca na disponibilidade de recursos florais néctar e pólen

fundamentais para sobrevivência das abelhas (Francel *et al.*, 2020). O néctar é fonte principalmente de carboidratos e vitaminas para abelhas adultas, enquanto o pólen é fonte de proteínas, garantindo a nutrição da prole na colônia (Nogueira-Neto, 1997). As alterações na disponibilidade de alimento influenciam na distância de forrageamento, a ausência de alimento dentro da área de forrageamento, faz com que as campeiras sejam obrigadas a buscar recursos além de raio de voo esperado (Campbel *et al.*, 2019). Ainda não se sabe de que forma a paisagem urbana afeta as atividades de voo das abelhas, mas existe uma variação no tempo de retorno para a colônia dentro de um gradiente entre área natural a totalmente urbanizada (Arena *et al.*, 2023).

A falta de recursos alimentares nas áreas urbanas é um fator de estresse para abelhas com colônias perenes e que necessitam de recursos o ano inteiro, como as ASF (May-Itza *et al.*, 2021). Todos os fatores discutidos acima, que interferem na disponibilidade de recursos para as ASF no ambiente urbano podem, em última análise, ser limitantes para o desenvolvimento corporal das ASF. A comparação do tamanho corporal dos indivíduos das diferentes castas e da área corbicular das operárias de *Melipona (Melikerria) fasciculata* Smith, 1854, entre área urbana e área preservada na Amazônia mostrou que a diferença no status nutricional das colônias resultou em rainhas e área corbicular menores na área urbana (Oliveira *et al.*, 2019). Assim como, a falta de recursos nas áreas verdes urbanas resultou em um menor tamanho corporal das abelhas da espécie *Nannotrigona perilampoides*, quando comparadas com abelhas da área rural (May-Itza *et al.*, 2021). Isso acontece porque a quantidade e qualidade do alimento disponível no ambiente no período do desenvolvimento larval é determinante para o tamanho corporal das abelhas (Roubik e Ackerman, 1987; Pech-May *et al.*, 2012). A diminuição do tamanho corporal pode influenciar no fitness das abelhas, em especial dos machos, afetando sua longevidade e capacidade reprodutiva, além de ser uma desvantagem durante a disputa com machos concorrentes (Pech-May *et al.*, 2012; May-Itza *et al.*, 2021). Segundo Teixeira e Campos (2005), o tamanho corporal também influencia no início das atividades de forrageamento. Abelhas menores não forrageiam em temperatura ambiente abaixo de 15°C, enquanto abelhas maiores do gênero *Melipona* iniciam suas atividades mais cedo demonstrando ter maior controle sobre a temperatura corporal.

Os fatores abióticos como intensidade da luz, do vento e a temperatura influenciam na sazonalidade dos recursos e na fisiologia das abelhas (Hrncir e Maia-Silva, 2013). A atividade de voo e a capacidade das abelhas sem ferrão conseguem recurso vai depender da biologia de cada espécie (De Moura *et al.*, 2022). O ambiente urbano, caracterizado pela presença de materiais que retêm calor e pela redução das áreas vegetadas, favorece a formação de ilhas de calor, com temperaturas mais elevadas do que as áreas tropicais e subtropicais em geral (Yang *et al.*, 2016). Quando as abelhas voam, elas podem superaquecer, e essa resposta fisiológica é mais rápida em ambientes com temperaturas altas, uma vez que está relacionada ao potencial de absorção de calor e ao tempo necessário para atingir a temperatura máxima ou se resfriar. Abelhas menores tendem a superaquecer e resfriar mais rapidamente do que as abelhas maiores. As abelhas maiores conseguem atingir a temperatura ideal para o voo em ambientes mais frios, o que lhes permite iniciar o forrageamento mais cedo do que as abelhas menores, possibilitando assim o acesso a uma maior disponibilidade de recursos (Maia-Silva *et al.*, 2014).

Abelhas de pequeno porte apresentam um maior potencial para forragear nas altas temperaturas das ilhas de calor urbanas e podem apresentar comportamentos diferentes de acordo com o recurso que buscam. Essa mudança no comportamento foi observada em *Plebeia catamarcensis* (Holmberg, 1903) na cidade de Córdoba na Argentina (Zeballos *et al.*, 2022). A busca pelo néctar aumentou de acordo com o aumento da temperatura, enquanto suas saídas para forrageamento em busca de pólen foram preferencialmente pela manhã, independente da temperatura. Estes resultados foram explicados como estratégias para evitar a competição pelo recurso mais escasso conforme as horas passam.

A umidade relativa do ar mostrou ser um fator importante para o forrageio nas áreas urbanas. A umidade nas áreas urbanas é baixa, afetada pela diminuição da evapotranspiração provocada pela falta de águas abertas, pouca umidade do solo (normalmente impermeabilizado) e pouca vegetação (Adebayo, 1991). A baixa precipitação e umidade são uma ameaça para as ASF que precisam manter suas colônias perenes, já que esses fatores abióticos estão associados à disponibilidade de recursos no ambiente (Hrncir *et al.*, 2019). Poucas espécies de abelhas sem ferrão conseguem sobreviver em habitats expostos a longos períodos de seca. Algumas



espécies mostram adaptação à baixa umidade como *Melipona (Melipona) subnitida* Ducke, 1910, que a fim de evitar a escassez de recursos na estação seca, aumenta o número de forrageiras e o tempo de forrageamento em períodos de maior umidade e precipitação (Maia-Silva *et al.*, 2015).

Alguns trabalhos buscaram conhecer os recursos utilizados por ASF na área urbana e para isso utilizaram diferentes metodologias. Além das metodologias diretas, de observações em flores, métodos indiretos incluem a análise do pólen encontrado nas corbículas, nos potes de mel e de pólen e nas “pelotas de lixo” das colônias. Estes funcionam como indicativo dos recursos disponíveis no momento da amostragem, ou dos recursos utilizados ao longo do tempo (Roubik, 1989). Os recursos armazenados nas colônias também permitem avaliar a distribuição espaço-temporal das plantas com flores, assim como a influência da sazonalidade florística na seleção de alimentos das abelhas (Aleixo *et al.*, 2017).

O pólen da corbícula e as pelotas de lixo de colônias da área urbana da província do Chaco, Argentina, foram utilizadas por Vossler (2019) para analisar os recursos utilizados por quatro espécies de abelhas sem ferrão: *Plebeia catamarcensis* (Holmberg, 1903), *Scaptotrigona jujuyensis* (Schrottky, 1911), *T. angustula* e *Geotrigona argentina* Camargo & Moure, 1996. Seus resultados mostraram que, com exceção de *P. catamarcensis*, a carga polínica das abelhas estudadas foi na maioria monofloral. Esse comportamento pode ser um indicativo de maior oferta de recursos, quando as abelhas sem ferrão focam em poucas espécies de plantas que oferecem grande quantidade de recursos com o menor gasto de energia (Aleixo *et al.*, 2017). A riqueza de tipos polínicos foi maior nas pelotas de lixo, o que indica que os recursos florais são explorados ao longo do tempo por diferentes operárias, e o pólen é proveniente de diferentes potes.

O pólen e mel armazenados em potes nas colônias também fornecem informações importantes sobre as condições ambientais. Em áreas urbanas, apesar do aumento da riqueza há uma diminuição da frequência das espécies vegetais. Isso pode levar ao incremento da qualidade nutricional do mel e do pólen armazenados, já que as abelhas visitam espécies diferentes em busca de recursos (Oliveira *et al.*, 2021). A riqueza da vegetação da região metropolitana de Salvador foi refletida no pólen e no mel heterofloral encontrados nos potes das colônias de *M. scutellaris*. A diversidade polínica conferiu alto valor nutricional ao pólen armazenado, com variedade de ácidos graxos (12) e outros

macronutrientes. No entanto, a análise dos recursos também mostrou que o mel das áreas mais urbanizadas, mais fragmentadas e com menos espécies de plantas apresentaram uma menor diversidade de tipos polínicos (Andrade *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2021). Dentre os trabalhos analisados na região neotropical, abordando ASF, 9 fizeram análise polínica utilizando pólen retirado das corbículas (n= 5), potes de mel (n= 1) e potes de pólen (n= 4) a fim de identificar as plantas utilizadas por ASF na área urbana. As famílias de plantas com maior riqueza de tipos polínicos encontradas foram Fabaceae, Anacardiaceae, Euphorbiaceae, Myrtaceae, Malvaceae, Asteraceae e Rubiaceae (Tabela 1.1). Dentre as espécies de plantas identificadas nos potes de pólen de *S. aff. depilis* foram frequentes *Schinus terebinthifolius*, *Eucalyptus moluccana*, *Eugenia uniflora*, *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth (Aleixo *et al.*, 2017). O pólen de *M. caesalpiniiifolia* Benth foi o mais frequente nas amostras de *M. scutellaris* (Andrade *et al.*, 2019), enquanto nos potes de pólen de *M. mandaçaia* na Bahia os pólenes mais frequentes foram de *Leucaena leucocephala* e *Mimosa pudica* (Carneiro-Neto *et al.*, 2017). Para *T. angustula* os tipos polínicos mais frequentes foram *Byrsonima basiloba* A. Juss., *Byrsonima sericea* D.C., *Cecropia* sp., *Tapirira guianensis* entre outros (Bastos *et al.*, 2020). Das análises feitas com o pólen retirado da corbícula de *Melipona quadrifasciata* em Minas Gerais *Solanum granuloseprosum*, *Solanum tabacifolium* representaram 62% do pólen coletado (Antonini *et al.*, 2006).

**Tabela 1.1.** Famílias de plantas com o maior número de tipos polínicos utilizados por abelhas sem ferrão na área urbana da região Neotropical. As fontes das amostras de pólen analisadas foram: a) corbícula; b) potes de pólen c) potes de mel; d) regurgitação. Também foram consideradas as visitas em flor. NI= não informado.

<b>País</b>	<b>Autor</b>	<b>Fonte das amostras analisadas</b>	<b>Tipos polínicos</b>	<b>Família + tipos polínicos</b>
Brasil	Aleixo <i>et al.</i> , 2013	corbícula	77	Leguminosae, Malvaceae
Brasil	Andrade <i>et al.</i> , 2019	potes mel	111	Fabaceae
Brasil	Antonini <i>et al.</i> , 2006	corbícula e regurgitação	NI	Asteraceae, Solananceae, Myrtaceae, Euphorbiaceae, Convolvulaceae
Brasil	Barth <i>et al.</i> , 2020	corbícula	NI	Myrtaceae, Melastomataceae, Fabaceae
Brasil	Bastos <i>et al.</i> , 2020	potes pólen	53	Fabaceae, Asteraceae, Rubiaceae
Brasil	Faria <i>et al.</i> , 2012	corbícula	68	Fabaceae, Myrtaceae, Malvaceae
Costa Rica	Frankie <i>et al.</i> , 2013	visita flor	NI	Arecaceae, Asteraceae, Euphorbiaceae, Fabaceae
Brasil	Nascimento <i>et al.</i> , 2018b	mel	85	Fabaceae, Anacardiaceae, Arecaceae, Euphorbiaceae
Brasil	Carneiro-Neto <i>et al.</i> , 2017	potes pólen	39	Fabaceae
Brasil	Oliveira <i>et al.</i> , 2021	potes pólen	58	Fabaceae, Myrtaceae, Anacardiaceae
Argentina	Vossler, 2019	Corbícula e lixo	66	NI

### 1.3.3.1 Urbanização e forrageamento na Meliponicultura

A criação de Meliponini (meliponicultura) vem se popularizando em áreas urbanas da região neotropical. As ASF são menos defensivas, comportamento que facilita seu manejo e permite que as colônias sejam instaladas próximas as comunidades humanas sem oferecer riscos. A meliponicultura em área urbana pode ser uma alternativa à conservação de ASF, uma vez que manejo das colônias feitos pelo homem oferece uma alternativa de local de nidificação e de recursos alimentares (Nates-Parra *et al.*, 2008).

Estudos mostram que as colônias de abelhas sem ferrão das áreas urbanas, além de fornecerem produtos como própolis e mel, também servem como bioindicadores da qualidade ambiental (Pech-May *et al.*, 2012; Oliveira *et al.*, 2020, 2021). Entretanto a

proximidade das ações antrópicas aumenta a exposição das colônias de abelhas sem ferrão à poluição do ar, solo e água urbana, e essas condições são refletidas nos recursos armazenados nas colônias. Por isso é importante avaliar as condições ambientais no entorno das colônias antes da implantação de meliponários em áreas urbanas (Nascimento *et al.*, 2018a, 2018b).

As condições do ambiente em que as abelhas forrageiam afetam diretamente a composição dos elementos dos produtos da colônia (Oliveira *et al.*, 2020). A presença de substâncias tóxicas ou microrganismos provenientes das ações antrópicas podem contaminar o pólen, o mel e o geoprópolis (Pascoal *et al.*, 2014). O pólen das colônias de *T. angustula* localizados em áreas de mineração, por exemplo, apresentou alguns metais em níveis considerados tóxicos e o conteúdo dos potes de pólen mostrou relação com o material das partículas em suspensão coletadas em áreas próximas às colônias (Nascimento *et al.*, 2018b). Em outro estudo, o mel de *M. scutellaris* apresentou metais como Cd, Pb, Hg demonstrando a presença de fontes destes metais no ambiente (Nascimento *et al.*, 2018a).

O raio de voo das abelhas deve ser considerado para análise das condições do entorno do local de instalação de colônias. Abelhas com raio de voo maior podem acessar áreas contaminadas mais distantes. Uma análise da qualidade do mel da espécie *M. subnitida* na área urbana e agrícola do Rio Grande do Norte mostrou que o mel das duas áreas estava contaminado por pesticidas com a mesma frequência (Pinheiro *et al.*, 2020). Como *M. subnitida* tem um raio de voo em torno de 4000 m, é provável que a coleta dos recursos florais tenha ocorrido nas áreas agrícolas onde os pesticidas são aplicados com regularidade.

A contaminação por elementos químicos tóxicos das áreas urbanas coloca em risco a sobrevivência das abelhas e outros polinizadores em solos modificados pela ação humana. Barbosa *et al.* (2021) demonstraram que o aumento da heterogeneidade da paisagem associada às intervenções antrópicas como expansão urbana e agricultura, resulta em aumento das fontes de poluição. A alteração no uso do solo pelas ações humanas foi relacionada ao acúmulo de Hg, Zn, Cd e Cr no corpo de *T. angustula*. A variação de elementos químicos encontrados em *T. angustula* foi atribuída principalmente ao material utilizado na construção das estradas, que com o tempo fica disponível na poeira e áreas de solo exposto. Juntamente com condições geológicas e meteorológicas,

as abelhas armazenam os elementos químicos inorgânicos utilizados nas atividades passadas realizadas no local. As florestas urbanas têm um papel importante para barrar a dispersão de elementos prejudiciais como Hg e Cd no ambiente (Barbosa *et al.*, 2021), o que é mais um elemento que justifica a importância destes fragmentos de vegetação na área urbana.

Outros materiais encontrados nas colônias de ASF podem ser utilizados como indicadores da qualidade ambiental. O geoprópolis também conhecido como “batume”, cumpre importante papel na proteção contra inimigos naturais e manutenção da temperatura da colônia pode ser uma boa opção para avaliar qualidade do solo, já que é uma mistura de resina com exsudados de plantas, cera, partículas e areia e silte. (Nogueira-Neto, 1997). A análise da concentração de metais tóxicos no geoprópolis das colônias de *Melipona scutellaris* Latreille, 1811 na região metropolitana de Salvador, foi utilizada para indicar a qualidade do solo da região e uma maior concentração de metais foi encontrada nas colônias da área urbana quando comparadas com áreas não urbanas (Bonsucesso *et al.*, 2018).

A introdução de abelhas sem ferrão transportadas de áreas onde são nativas para outras onde não são registradas é uma ameaça para as abelhas nativas. A meliponicultura está associada à introdução de espécies exóticas nas áreas de criação, mas pouco se sabe sobre a introdução de abelhas nas cidades (Fitch *et al.*, 2019). No Brasil meliponicultores transportam abelhas entre Estados e regiões fora da área de ocorrência das espécies desrespeitando a legislação vigente (Felix e Freitas, 2021). Um exemplo é *M. scutellaris* (uruçu nordestina), nativa do nordeste do Brasil (Camargo e Pedro, 2013), que já é encontrada em outros estados brasileiros. Na cidade de Curitiba, Paraná, seu primeiro registro foi feito por Graf *et al.* (2020), quando os autores procuravam medir o impacto ecológico da introdução de espécies em ecossistemas nativos. A classificação de *M. scutellaris* foi de uma espécie exótica casual, com poucos espécimes encontrados provenientes de caixas racionais de meliponicultores. Segundo Graf *et al.* (2020), as baixas temperaturas da região podem ser fator limitante para o estabelecimento *M. scutellaris* em Curitiba. No entanto, novos estudos precisam ser feitos a fim de avaliar o real potencial invasivo da espécie para a região, considerando que *M. scutellaris* já é encontrada em São Paulo, Goiás e Minas Gerais. Assim como, já há o

registro em Uberlândia/MG de um híbrido resultante do cruzamento entre *M. scutellaris* e *Melipona capixaba* Moure & Camargo, 1994 (Nascimento *et al.*, 2000).

A contaminação das colônias de ASF pela poluição urbana é um risco real, o que significa que, os cuidados para implantação das colônias devem ser redobrados. Por outro lado, a meliponicultura na área urbana é uma atividade que além de promover a conservação das ASF na área urbana poderá ser um incentivo à melhoria da qualidade ambiental, já que para que as abelhas sobrevivam e as colônias fiquem fortes e produtivas é necessário maior oferta de recursos. Esses recursos vão ser mais abundantes com o incentivo à criação de áreas verdes como praças, jardins e bosques urbanos, o que envolverá a participação direta dos meliponicultores, dos cidadãos em geral e gestores públicos, levando à uma maior conscientização dos moradores da cidade da importância de não só das abelhas, mas da vegetação urbana.

#### **1.4 CONCLUSÃO**

É urgente a realização de estudos com ASF na área urbana nos países e biomas da região neotropical, já sabemos que as ASF que conseguem sobreviver no ambiente urbano são aquelas que apresentam uma maior plasticidade no seu comportamento de forrageamento e nidificação. Assim, com o aumento da urbanização previsto para as próximas décadas, conhecer as características e respostas das ASF ao ambiente urbano, será fundamental para o manejo e conservação de um maior número de espécies.

A retirada da vegetação parece ser o principal desafio para as abelhas sem ferrão, já que resulta em fragmentos de habitat como praças, jardins, bosques compostos por vegetação nativa e/ou ornamental, com menor disponibilidade de árvores mais velhas, com alteração na temperatura e na umidade das áreas urbanas. Essas consequências da retirada da vegetação diminuem a disponibilidade de locais para nidificação para abelhas que utilizam cavidades preexistentes nas árvores e a oferta de pólen, néctar e resinas para as ASF, condições fundamentais para a sua sobrevivência e reprodução.

A diminuição da disponibilidade de recursos no ambiente urbano, aumenta o gasto energético para forrageamento das ASF, uma vez que precisam ir mais longe em busca de recursos. A falta de recursos no período do desenvolvimento das larvas resulta em abelhas de menor tamanho, o que pode interferir no comportamento e nas interações

abelha-planta. As espécies de plantas exóticas aumentam a riqueza de plantas no ambiente urbano e aparecem como uma opção de forrageamento para as ASF. No entanto, espécies exóticas invasoras representam uma ameaça para plantas nativas e seu potencial invasivo precisa ser avaliado antes de serem utilizadas na ornamentação urbana. As características da área urbana beneficiam abelhas generalistas, que conseguem suprir suas necessidades nutricionais em épocas de escassez ao utilizar recursos de várias espécies de plantas.

As espécies de abelhas sem ferrão dos gêneros *Tetragonisca*, *Plebeia* e *Nannotrigona* que conseguem nidificar em construções humanas foram as mais frequentes nos trabalhos avaliados nesta revisão, mostrando que a retirada das árvores antigas limita a distribuição das espécies de menor plasticidade que dependem exclusivamente das cavidades em árvores para nidificar como as do gênero *Melipona* e *Cephalotrigona*.

O padrão de distribuição agregado foi o mais observado nas áreas urbanas da região Neotropical. Este padrão reflete a biologia das abelhas sem ferrão, que com raio de voo curto e a necessidade de fundar novas colônias próximas à colônia mãe, dependem da disponibilidade de locais de nidificação para aumentar sua distribuição.

Como medidas de conservação das abelhas sem ferrão na área urbana, sugerimos políticas públicas que sejam discutidas por arquitetos, gestores públicos e ecólogos visando à criação de corredores ecológicos e áreas verdes, que atendam as necessidades paisagísticas, mas que utilizem plantas melitófilas, nativas, minimizando a falta de recursos e aumentando a dispersão das abelhas. A parceria com gestores e prestadores de serviços nas cidades, como empresas de eletricidade ou outras responsáveis pela manutenção da vegetação em vias públicas, poderia evitar podas radicais que diminuem a sobrevivências ou o florescimento das árvores nas cidades, e a instalação de estruturas com cavidades que possam funcionar como local de nidificação para ASF. Assim, sugerimos ações que visem a melhoria da qualidade ambiental, que permitam que as áreas urbanas da região neotropical apresentem condições mais amigáveis para a sobrevivência das abelhas sem ferrão.

## 1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adebayo, Y. R. (1991). Day-time effects of urbanization on relative humidity and vapour pressure in a tropical city. *Theoretical Applied Climatology*, 43: 17–30.
- Aidar, I. F.; Santos, A. O. R.; Bartelli, B. F.; Martins, G. A.; Nogueira-Ferreira, F. H. (2013). Nesting ecology of stingless bees (Hymenoptera, Meliponina) in urban areas: the importance of afforestation. *Bioscience Journal*, 29(5): 1361–1369.
- Albernaz, J. M.; Carvalho, C. A. L. de; Silva, F.L.; Neisse, A. C.; Silva, I. P.; Costa, M. A. P. C.; Machado, C. S.; Sodré, G. S. (2022). Inventory of social stingless nests in an anthropized area. *Diversitas Journal*, 7(3): 1245–1260.
- Aleixo, K. P.; de Faria, L. B.; Garófalo, C. A.; Imperatriz-Fonseca, V. L.; da Silva, C. I. (2013). Pollen collected and foraging activities of *Frieseomelitta varia* (Lepeletier) (Hymenoptera: Apidae) in an urban landscape. *Sociobiology*, 60(3): 266–276.
- Aleixo, K. P.; Menezes, C.; Imperatriz-Fonseca, V. L.; da Silva, C. I. (2017). Seasonal availability of floral resources and ambient temperature shape stingless bee foraging behavior (*Scaptotrigona* aff. *depilis*). *Apidologie*, 48(1): 117–127.
- Amado-de-Santis, A. A.; Chacoff, N. P. (2020). Urbanization affects composition but not richness of flower visitors in the Yungas of Argentina. *Neotropical Entomology*, 49: 568–577.
- Andrade, B. R.; Nascimento, A. S.; Franco, E. L.; Santos, D. R.; Alves, R. M. O.; Costa, M. A. P. C.; Carvalho, C. A. L. (2019). Pollen spectrum and trophic niche width of *Melipona scutellaris* Latreille, 1811 (Hymenoptera: Apidae) in highly urbanized and industrialized sites. *Sociobiology*, 66(2): 279–286.
- Antonini, Y.; Martins, R. P. (2022). Urbanization affects the occurrence of a large stingless bee species in a large city. *Urban Ecosystems*. Disponível em: <<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-594102/v1>>. Acesso em: 28 jul. 2023.
- Antonini, Y.; Martins, R. P.; Aguiar, L. M.; Loyola, R. D. (2013). Richness, composition and trophic niche of stingless bee assemblages in urban forest remnants. *Urban Ecosystems*, 16: 527–541.



- Antonini, Y.; Soares, S. M.; Martins, R. P. (2006). Pollen and nectar harvesting by the stingless bee *Melipona quadrifasciata anthidioides* (Apidae: Meliponini) in an urban forest fragment in Southeastern Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 41(3): 209–215.
- Araújo, E. D.; Costa, M.; Chaud-Netto, J.; Fowler, H. G. (2004). Body size and flight distance in stingless bees (Hymenoptera: Meliponini): inference of flight range and possible ecological implications. *Brazilian Journal of Biology*, 64(3B): 563–568.
- Araújo, G. J.; Antonini, Y.; Silva, L. S.; Faria-Mucci, G. M. (2016). Onde os mais adaptados permanecem: comunidade de abelhas sem ferrão (Hymenoptera: Apidae, Meliponini) em áreas urbanas do município de Ubá, Minas Gerais, Brasil. *EntomoBrasilis*, 9(3): 175–179.
- Arena, M. V. N.; Destéfani, F. C.; da Silva, T. N.; Mascotti, J. C. S.; Silva-Zacarin, E. C. M.; Toppa, R. H. (2018). Challenges to the conservation of stingless bees in Atlantic Forest patches: old approaches, new applications. *Journal of Insect Conservation*, 22: 627–633.
- Arena, M. V. N.; Toppa, R. H.; Martines, M.; Alves-dos-Santos, I. (2023). Release experiments as an indicator of flying activities of stingless bees in urban areas. *Frontiers in Sustainable Cities*, 4: 1103835.
- Ayala, R.; Gonzalez, V.; Engel, M. (2013). Mexican stingless bees (Hymenoptera: Apidae): diversity, distribution and Indigenous knowledge, p. 135-152. In: Vit, P.; Pedro, S.R.M.; Roubik, D.W., (Eds.). *Pot-Honey: A Legacy of Stingless Bees*. New York: Springer New York. 654p.
- Ayers, A. C.; Rehan, S. M. (2021). Supporting bees in cities: How bees are influenced by local and landscape features. *Insects*, 12(2): 128.
- Barbosa, M. M.; Fernandes, A. C. C.; Alves, R. S. C.; Alves, D. A.; Barbosa-Junior, F.; Batista, B. L.; Ribeiro, M. C.; Carneiro, M. F. H. (2021). 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*, 215: 112147.

- Barbosa, M. M.; Jaffé, R.; Carvalho, C. S.; Lanes, E. C. M.; Alves-Pereira, A.; Zucchi, M. I.; Corrêa, A. S.; Ribeiro, M. C.; Imperatriz-Fonseca, V. L.; Alves, D. A. (2022). Landscape influences genetic diversity but does not limit gene flow in a Neotropical pollinator. *Apidologie*, 53: 48.
- Barth, O. M.; de Freitas, A. S.; Vanderborght, B. (2020). Pollen preference of stingless bees (*Melipona rufiventris* and *M. quadrifasciata anthidioides*) inside an urban tropical forest at Rio de Janeiro city. *Journal of Apicultural Research*, 59(1): 1–6.
- Bastos, B. P.; Lima, L. C. L.; Dórea, M. C. (2020). Pollen sources used by *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) (Apidae, Meliponini) in the Atlantic Forest, northern coast of Bahia. *Sociobiology*, 67(4): 535–544.
- Bonsucesso, J. S.; Gloaguen, T. V.; do Nascimento, A. S.; de Carvalho, C. A. L.; Dias, F. S. (2018). Metals in geopolis from beehive of *Melipona scutellaris* in urban environments. *Science of The Total Environment*, 634: 687–694.
- Brant, R. A.; Arduser, M.; Dunlap, A. S. (2022). There must be a better way: A review of published urban bee literature and suggested topics for future study. *Landscape and Urban Planning*, 226: 104513.
- Buchholz, S.; Egerer, M. H. (2020). Functional ecology of wild bees in cities: towards a better understanding of trait-urbanization relationships. *Biodiversity and Conservation*, 29: 2779–2801.
- Bulhões, F. K. M.; Woitowicz, F. C. G.; Ramos, R. L.; Oliveira, F. F. (2021). Checklist of bee species (Hymenoptera: Apoidea: Anthophila) in the urban areas of Cerrado in Barreiras, Bahia, Brazil. *EntomoBrasilis*, 14: e978.
- Camargo, J. M. F.; Pedro, S. R. M. (2013). Meliponini Lepeletier, 1836. In: Moure, J.S.; Urban, D.; Melo, G.A.R. (Eds.). *Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region - online version*. Disponível em: <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>. Acesso em: 10 de novembro de 2022.
- Campbell, A. J.; Gomes, R. L. C.; da Silva, K. C.; Contrera, F. A. L. (2019). Temporal variation in homing ability of the neotropical stingless bee *Scaptotrigona* aff. *postica* (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Apidologie*, 50: 720–732.

- Carneiro-Neto, T. F. S.; Rebouças, P. O.; Pereira, J. E.; Duarte, P. M.; Santos, M. H. L. C.; Silva, G. C.; Siqueira, K. M. M. (2017). Spectrum of pollen stored by *Melipona mandacaia* (Smith, 1863) (Hymenoptera: Apidae, Meliponini) in an urban arid landscape. *Sociobiology*, 64(3): 284–291.
- De Moura, M. E. K.; Faita, M. R.; Amandio, D. T. T.; Bertoldo, J. G.; Lima, V. P.; Poltronieri, A.S. (2022). Influence of some abiotic factors on the flight activity of stingless bees (Hymenoptera: Meliponini) in Southern Brazil. *Journal of Apicultural Research*, 1-7.
- De Palma, A.; Abrahamczyk, S.; Aizen, M. A.; Albrecht, M.; Basset, Y.; Bates, A.; Blake, R. J.; Boutin, C.; Bugter, R.; Connop, S.; Cruz-López, L.; Cunningham, S. A.; Darvill, B.; Diekötter, T.; Dorn, S.; Downing, N.; Entling, M. H.; Farwig, N.; Felicioli, A.; Fonte, S. J.; Fowler, R.; Franzén, M.; Goulson, D.; Grass, I.; Hanley, M. E.; Hendrix, S. D. *et al.* (2016). Predicting bee community responses to land-use changes: Effects of geographic and taxonomic biases. *Scientific Reports*, 6: 31153.
- Eltz, T.; Brühl, C. A.; Imiyabir, Z.; Linsenmair, K. E. (2003). Nesting and nest trees of stingless bees (Apidae: Meliponini) in lowland dipterocarp forests in Sabah, Malaysia, with implications for forest management. *Forest Ecology and Management*, 172(2-3): 301–313.
- Faria, L. B.; Aleixo, K. P.; Garófalo, C. A.; Imperatriz-Fonseca, V. L.; Silva, C. I. (2012). Foraging of *Scaptotrigona aff. depilis* (Hymenoptera, Apidae) in an urbanized area: seasonality in resource availability and visited plants. *Psyche: A Journal of Entomology*, 2012: 630628.
- Felix, J. A.; Freitas, B. M. (2021). Richness and distribution of the meliponine fauna (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) in the state of Ceará, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 93(3): e20190767.
- Fierro, M. M.; Cruz-López, L.; Sánchez, D.; Villanueva-Gutiérrez, R.; Vandame, R. (2012). Effect of biotic factors on the spatial distribution of stingless bees (Hymenoptera: Apidae, Meliponini) in fragmented neotropical habitats. *Neotropical Entomology*, 41(2): 95–104.

- Fitch, G.; Wilson, C. J.; Glaum, P.; Vaidya, C.; Simao, M. C.; Jamieson, M. A. (2019). Does urbanization favour exotic bee species? Implications for the conservation of native bees in cities. *Biology Letters*, 15: 20190574.
- Francel, A. E.; Moreno-Elcure, F. A.; Vargas, H. C. (2020). Habitat analysis for stingless bees in buildings associated with the architectural concept campus, case of the University of Tolima, Colombia. *Livestock Research for Rural Development*, 32(5): 1–24.
- Francisco, F. O.; Santiago, L. R.; Mizusawa, Y. M.; Oldroyd, B. P.; Arias, M. C. (2017). Population structuring of the ubiquitous stingless bee *Tetragonisca angustula* in southern Brazil as revealed by microsatellite and mitochondrial markers. *Insect Science*, 24(5): 877–890.
- Frankie, G. W.; Vinson, S. B.; Rizzardi, M. A.; Griswold, T. L.; Coville, R. E.; Grayum, M. H.; Martinez, L. E. S.; Foltz-Sweat, J.; Pawelek, J. C. (2013). Relationships of bees to host ornamental and weedy flowers in urban Northwest Guanacaste Province, Costa Rica. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 86(4): 325–351.
- Graf, L. V.; Zenni, R. D.; Gonçalves, R. B. (2020). Ecological impact and population status of non-native bees in a Brazilian urban environment. *Revista Brasileira de Entomologia*, 64(2): e20200006.
- Grüter, C. (2020). *Stingless Bees: Their behaviour, ecology and evolution*. Gewerbestrasse: Springer Nature Switzerland, 394p.
- Guimarães-Alves, S.; Gaglianone, M. C. (2021). Bee guilds' responses to urbanization in neotropics: A case study. *Diversity*, 13(8): 365.
- Hanfi, M.Y.; Mostafa, M. Y. A.; Zhukovsky, M.V. (2020). Heavy metal contamination in urban surface sediments: sources, distribution, contamination control, and remediation. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192: 32.
- Hrncir, M.; Maia-Silva, C. (2013). On the diversity of foraging-related traits in stingless bees, p. 201–215. In: Vit, P.; Pedro, S.R.M.; Roubik, D. (Eds.). *Pot-Honey: A legacy of stingless bees*. New York: Springer New York. 654p.

- Hrncir, M.; Maia-Silva, C.; Teixeira-Souza, V. H. S.; Imperatriz-Fonseca, V. L. (2019). Stingless bees and their adaptations to extreme environments. *Journal of Comparative Physiology A*, 205: 415–426.
- Hubbell, S. P.; Johnson, L. K. (1977). Competition and nest spacing in a tropical stingless bee community. *Ecology*, 58(5): 950–963.
- Iraheta, C. E. R.; Martínez, M. A. H.; Romero, L. A. A.; Álvarez, M. E. C.; Arévalo, D. R.; González, V. A. R. (2015). Stingless bee distribution and richness in El Salvador (Apidae, Meliponinae). *Journal of Apicultural Research*, 54(1): 1–10.
- Lima dos Santos, S. J.; Barbosa, B. C.; Prezoto, F. (2020). A fauna de abelhas sem ferrão em áreas urbanas: 50 anos de estudos e prioridades de pesquisa no Brasil. *Scientia Plena*, 16(12): 128001.
- Lima, N. E.; Carvalho, A. A.; Lima-Ribeiro, M. S.; Manfrin, M. H. (2018). Caracterização e história biogeográfica dos ecossistemas secos neotropicais. *Rodriguésia*, 69(4): 2209–2222.
- Maia-Silva, C.; Hrncir, M.; Silva, C. I.; Imperatriz-Fonseca, V. L. (2015). Survival strategies of stingless bees (*Melipona subnitida*) in an unpredictable environment, the Brazilian tropical dry forest. *Apidologie*, 46: 631–643.
- Maia-Silva, C.; Imperatriz-Fonseca, V.L.; Silva, C.I.; Hrncir, M. (2014). Environmental windows for foraging activity in stingless bees, *Melipona subnitida* Ducke and *Melipona quadrifasciata* Lepeletier (Hymenoptera: Apidae: Meliponini). *Sociobiology*, 61(4): 378–385.
- Martínez-López, S.; Soto-Medina, E. A.; Sandoval-Arango, S.; Otero-Ospina, J. T. (2017). Spatial distribution and nesting habits of *Nannotrigona mellaria* (Apidae: Meliponini) in one locality of Cali (Colômbia). *Acta Zoológica Mexicana*, 33(2): 161–168.
- Martins, A. C.; Gonçalves, R. B.; Melo, G. A. R. (2013). Changes in wild bee fauna of a grassland in Brazil reveal negative effects associated with growing urbanization during the last 40 years. *Zoologia (Curitiba)*, 30(2): 157–176.
- May-Itza, W. J.; Araújo-Freitas, C.; Paxton, R. J.; Moo-Valle, H.; Medina-Medina, L. A.; Quezada-Euán, J. J. G. (2021). Stingless bees in urban areas: low body size and

- high frequency of diploid males at mating congregations of *Nannotrigona perilampoides* (Hymenoptera: Meliponini) in Mérida, Yucatán, México. *Apidologie*, 52: 755–766.
- Michener, C. D. (2007). *The Bees of the World*. 2.ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press. 953p.
- Morillo, E. P. (2004). *Estructura de la comunidad de abejas sin aguijón en tres unidades de paisaje del piedemonte llanero colombiano (Meta, Colômbia)*. Monografía (Graduação em Biologia). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá – Colômbia. 85p.
- Nascimento, A. S.; Chambó, E. D.; Oliveira, D. J.; Andrade, B. R.; Bonsucesso, J. S.; Carvalho, C. A. L. (2018<sup>a</sup>). Honey from stingless bee as indicator of contamination with metals. *Sociobiology*, 65(4): 727–736.
- Nascimento, N. D. O.; Nalini, H. A.; Ataíde, F.; Abreu, A. T.; Antonini, Y. (2018b). Pollen storage by stingless bees as an environmental marker for metal contamination: spatial and temporal distribution of metal elements. *Sociobiology*, 65(2): 259–270.
- Nascimento, V. A.; Matusita, S. H.; Kerr, W. E. (2000). Evidence of hybridization between two species of *Melipona* bees. *Genetics and Molecular Biology*, 23(1): 79–81.
- Nates-Parra, G.; Rosso-Londoño, J. M. (2013). Diversidad de abejas sin aguijón (Hymenoptera: Meliponini) utilizadas en meliponicultura en Colômbia. *Acta Biológica Colombiana*, 18(3): 415–426.
- Nates-Parra, G.; Rosso-Londoño, J. M. (2016). Abejas sin aguijón (tribu Meliponini), p. 113–128. In: Nates-Parra, G. (Ed.). *Iniciativa Colombiana de polinizadores: Capítulo Abejas ICPA*. Bogotá: Universidad Nacional de Colômbia (Sede Bogotá), Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. 364p.
- Nates-Parra, G.; Palacios, E.; Parra-H, A. (2008). Efecto del cambio del paisaje en la estructura de la comunidad de abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae) en Meta, Colômbia. *Revista de Biología Tropical*, 56(3): 1295–1308.

- Nates-Parra, G.; Rodriguez-C, A.; Vélez, E. D. (2006). Abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) en cementerios de la cordillera oriental de Colômbia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1): 25–35.
- Nogueira-Neto, P. (1997). *Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão*. São Paulo: Editora Nogueirapis. 445p.
- Oliveira, D. J.; Santos, D. R.; Andrade, B. R.; Nascimento, A. S.; Da Silva, M. O.; Mercês, C. C.; Lucas, C. I. S.; Da Silva, S. M. P. C.; Carvalho, P. D.; Silva, F. L.; Estevinho, L. M.; Carvalho, C. A. L. (2021). Botanical origin, microbiological quality and physicochemical composition of the *Melipona scutellaris* pot-pollen (“samburá”) from Bahia (Brazil) Region. *Journal of Apicultural Research*, 60(3): 457–469.
- Oliveira, F. A.; Abreu, A. T.; Nascimento, N. O.; Froes, R. E. S.; Nalini-Jr, H. A.; Antonine, Y. (2020). Mineral content in honey and pollen from native stingless bees *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) in the Iron Quadrangle, Brazil. *Journal of Apicultural Research*, 59(4): 378–389.
- Oliveira, M. O.; Brito, T. F.; Campbell, A. J.; Contrera, F. A. L. (2019). Body size and corbiculae area variation of the stingless bee *Melipona fasciculata* Smith, 1854 (Apidae, Meliponini) under different levels of habitat quality in the eastern Amazon. *Entomologia Generalis*, 39(1): 45–52.
- Pascoal, A.; Rodrigues, S.; Teixeira, A.; Feás, X.; Estevinho, L. M. (2014). Biological activities of commercial bee pollens: Antimicrobial, antimutagenic, antioxidant and antiinflammatory. *Food and Chemical Toxicology*, 63: 233–239.
- Pech-May, F. G.; Medina-Medina, L.; May-Itzá, W. J.; Paxton, R. J. Quezada-Euán, J. J. G. (2012). Colony pollen reserves affect body size, sperm production and sexual development in males of the stingless bee *Melipona beecheii*. *Insectes Sociaux*. 59:417–424.
- Pedro, S. R. M. (2014). The stingless bee fauna in Brazil (Hymenoptera: Apidae). *Sociobiology*, 61(4): 348–354.

- Pinheiro, C. G. M. D. E.; Oliveira, F. A. D. S.; Oloris, S. C. S.; Da Silva, J. B. A.; Soto-Blanco, B. (2020). Pesticide residues in honey from stingless bee *Melipona subnitida* (Meliponini, Apidae). *Journal of Apicultural Science*, 64(1): 29–36.
- Quezada-Euán, J. J. G.; Nates-Parra, G.; Maués, M. M.; Imperatriz-Fonseca, V. L.; Roubik, D. W. (2018). Economic and cultural values of stingless bees (Hymenoptera: Meliponini) among ethnic groups of tropical America. *Sociobiology*, 65(4): 534–557.
- Rahimi, E.; Barghjelveh, S.; Dong, P. (2022). A review of diversity of bees, the attractiveness of host plants and the effects of landscape variables on bees in urban gardens. *Agriculture & Food Security*, 11: 6.
- Ramírez, V. M.; Calvillo, L. M.; Kevan, P. G. (2013). Effects of human disturbance and habitat fragmentation on stingless bees, p. 269–282. *In*: Vit, P.; Pedro, S.R.M.; Roubik, D. (Eds.). *Pot-Honey: A legacy of stingless bees*. New York: Springer New York. 654p.
- Ribeiro, M. F.; Taura, T. A. (2019). Presence of *Plebeia* aff. *flavocincta* nests in urban areas. *Sociobiology*, 66(1): 66–74.
- Roubik, D. W.; Ackerman, J.D. (1987). Long-term ecology of euglossine orchid bees (Apidae: Euglossini) in Panama. *Oecologia*, 73: 321–333.
- Roubik, D. W. (1989). *Ecology and natural history of tropical bees*. New York: Cambridge University Press. 526p.
- Roubik, D. W. (2006). Stingless bee nesting biology. *Apidologie*, 37(2): 124–143.
- Samejima, H.; Marzuki, M.; Nagamitsu, T.; Nakasizuka, T. (2004). The effects of human disturbance on a stingless bee community in a tropical rainforest. *Biological Conservation*, 120(4): 577–587.
- Teixeira, L. V.; Campos, F. N. M. (2005). Início da atividade de voo em abelhas sem ferrão (Hymenoptera, Apidae): influência do tamanho da abelha e da temperatura ambiente. *Revista Brasileira de Zociências*, 7(2): 195–202.
- Theodorou, P.; Radzevičiūtė, R.; Lentendu, G.; Kahnt, B.; Husemann, M.; Bleidorn, C.; Settele, J.; Schweiger, O.; Grosse, I.; Wubet, T.; Murray, T. E.; Paxton, R. J. (2020).



- Urban areas as hotspots for bees and pollination but not a panacea for all insects. *Nature Communications*, 11: 576.
- Toledo-Hernández, E.; Peña-Chora, G.; Hernández-Velázquez, V. M.; Lormendez, C. C.; Toribio-Jiménez, J.; Romero-Ramírez, Y.; León-Rodríguez, R. (2022). The stingless bees (Hymenoptera: Apidae: Meliponini): a review of the current threats to their survival. *Apidologie*, 53: 8.
- Valadares, E. F.; Carvalho, A. T.; Martins, C. F. (2021). Nest density, spatial distribution, and bionomy of *Trigona spinipes* (Apidae: Meliponini). *Journal of Apicultural Research*, 1-12.
- Van Veen, J. W.; Sommeijer, M. J. (2000). Colony reproduction in *Tetragonisca angustula* (Apidae, Meliponini). *Insectes Sociaux*, 47: 70–75.
- Vieira, K. M.; Netto, P.; Amaral, D. L. A. S.; Mendes, S. S.; Castro, L. C.; Prezoto, F. (2016). Nesting stingless bees in urban areas: a reevaluation after eight years. *Sociobiology*, 63(3): 976–981.
- Vollet-Neto, A.; Blochtein, B.; Viana, B.; Santos, C.F.; Menezes, C.; Nunes-Silva, P.; Jaffé, R.; Amoedo, S. (2018). *Desafios e recomendações para o manejo e o transporte de polinizadores*. São Paulo: A.B.E.L.H.A. 100p.
- Vossler, F. G. (2019). Native and ornamental exotic resources in pollen loads and garbage pellets of four stingless bees (Apidae, Meliponini) in an urban environment with riparian native forest. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 91(4): e20190360.
- Wenzel, A.; Grass, I.; Belavadi, V. V.; Tschardtke, T. (2020) How urbanization is driving pollinator diversity and pollination – A systematic review. *Biological Conservation*, 241: 108321.
- Williams, K.; Ford, A.; Rosauer, D. F.; Silva, N.; Mittermeier, R.; Bruce, C.; Larsen, F. W.; Margules C. (2011). Forests of East Australia: The 35th Biodiversity Hotspot, p. 295–310. In: Zachos, F.E.; Habel, J.C. (Eds.) *Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas*. New York: Springer, New York. 546p.
- Yang, L.; Qian, F.; Song, D.-X.; Zheng, K.-J. (2016). Research on Urban Heat-Island Effect. *Procedia Engineering*, 169: 11–18.

- Zanette, L. R. S.; Martins, R. P.; Ribeiro, S. P. (2005). Effects of urbanization on Neotropical wasp and bee assemblages in a Brazilian metropolis. *Landscape and Urban Planning*, 71(2-4): 105–121.
- Zeballos, M.; Calviño, A. A.; Zamudio, F. (2022). Is the flight and foraging activity of small-size stingless bee affected by the urban heat island? The case of *Plebeia catamarcensis* (Meliponini) in Cordoba city (Argentina). *Journal of Apicultural Research*, 61(5): 632–641.

## APÊNDICE

**APÊNDICE A – Tabela S1.** Artigos científicos sobre abelhas sem ferrão na área urbana da região neotropical, publicados entre 2003 e 2023 e disponíveis nas bases de dados Scopus, Web of Science, Scielo e Scholar Google, utilizados nesta revisão.

<b>Autor</b>	<b>Ano</b>	<b>Título</b>	<b>País</b>	<b>Estado</b>	<b>Bioma</b>	<b>Periódico</b>	<b>Temática</b>
1 Aidar <i>et al.</i>	2013	Nesting ecology of stingless bees (Hymenoptera, Meliponina) in urban areas: the importance of afforestation	Brasil	MG	Cerrado	<i>Bioscience Journal</i>	Distribuição, comportamento de nidificação
2 Albernaz <i>et al.</i>	2022	Inventory of social stingless nests in an anthropized area	Brasil	BA	Mata atlântica	<i>Diversitas journal</i>	Distribuição, comportamento de nidificação
3 Aleixo <i>et al.</i>	2017	Seasonal availability of floral resources and ambient temperature shape stingless bee foraging behavior ( <i>Scaptotrigona aff. depilis</i> )	Brasil	SP	Mata atlântica	<i>Apidologie</i>	Sazonalidade de recursos, comportamento de forrageamento
4 Aleixo <i>et al.</i>	2013	Pollen collected and foraging activities of <i>Frieseomelitta varia</i> (Lepeletier)(Hymenoptera: Apidae) in an urban landscape	Brasil	SP	Mata atlântica	<i>Sociobiology</i>	Sazonalidade de recursos, comportamento de forrageamento
5 Andrade <i>et al.</i>	2019	Pollen Spectrum and Trophic Niche Width of <i>Melipona scutellaris</i> Latreille, 1811 (Hymenoptera: Apidae) in Highly Urbanized and Industrialized Sites	Brasil	BA	Mata atlântica	<i>Sociobiology</i>	Recurso e nicho trófico
6 Antonini e Martins	2022	Urbanization Affects the Occurrence of a Large Stingless Bee Species in a Large City	Brasil	MG	Mata atlântica	<i>Urban ecosystem</i>	Efeitos da fragmentação

7	Antonini <i>et al.</i>	2013	Richness, composition and trophic niche of stingless bee assemblages in urban forest remnants	Brasil	MG	Mata atlântica	<i>Urban ecosystem</i>	Perda de habitat, conservação
8	Antonini <i>et al.</i>	2006	Pollen and nectar harvesting by the stingless bee <i>Melipona quadrifasciata anthidioides</i> (Apidae: Meliponini) in an urban forest fragment in Southeastern Brazil	Brasil	MG	Mata atlântica	<i>Studies on Neotropical Fauna and Environment</i>	Recursos e habitat
9	Araujo Jr. <i>et al.</i>	2016	Where the most adapted remains stingless bee in Ubá Minas Gerais, Brasil	Brasil	MG	Mata atlântica	<i>EntomoBrasilis</i>	Nidificação
10	Arena <i>et al.</i>	2018	Challenges to the conservation of stingless bees in Atlantic Forest patches: old approaches, new applications	Brasil	SP	Mata atlântica	<i>Journal of Insect Conservation</i>	Conservação
11	Arena <i>et al.</i>	2023	Release experiments as an indicator of flying activities of stingless bees in urban areas	Brasil	SP	Mata atlântica	<i>Frontiers in sustainable cities</i>	comportamento de voo, meliponicultura
12	Ayala <i>et al.</i>	2013	Mexican Stingless Bees (Hymenoptera: Apidae): Diversity, Distribution, and Indigenous Knowledge	Mexico	*	*	<i>Springer science</i>	Diversidade e distribuição
13	Barbosa <i>et al.</i>	2021	Effects of native forest and human-modified land covers on the accumulation of toxic metals and metalloids in the tropical bee <i>Tetragonisca angustula</i>	Brasil	SP	Mata atlântica	<i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i>	Biomonitoramento
14	Barbosa <i>et al.</i>	2022	Landscape influences genetic diversity but does not limit gene flow in a Neotropical pollinator	Brasil	SP	Mata atlântica	<i>Apidologie</i>	Paisagem, Fluxo gênico
15	Barth <i>et al.</i>	2020	Pollen preference of stingless bees ( <i>Melipona rufiventris</i> and <i>M.</i>	Brasil	RJ	Mata atlântica	<i>Journal of Apicultural Research</i>	Recurso alimentar, Palinologia

16	Bastos <i>et al.</i>	2020	<i>quadrifasciata anthidioides</i> ) inside an urban tropical forest at Rio de Janeiro city Pollen Sources used by <i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811) (Apidae, Meliponini) in the Atlantic Forest, Northern Coast of Bahia	Brasil	BA	Mata atlântica	<i>Sociobiology</i>	Recurso alimentar, Palinologia
17	Bonsucesso <i>et al.</i>	2018	Metals in geopropolis from beehive of <i>Melipona</i> <i>scutellaris</i> in urban environments	Brasil	BA	Mata atlântica	<i>Science of The Total Environment</i>	Indicadores ambientais
18	Campbel <i>et al.</i>	2019	Temporal variation in homing ability of the neotropical stingless bee <i>Scaptotrigona aff. Postica</i> (Hymenoptera:Apidae: Meliponini)	Brasil	PA	Amazônia	<i>Apidologie</i>	Raio de voo e sazonalidade de recursos
19	De Moura <i>et al.</i>	2022	Influence of some abiotic factors on the flight activity of stingless bees (Hymenoptera: Meliponini) in Southern Brazil	Brasil	SC	Mata atlântica	<i>Journal of Apicultural Research</i>	Atividade de voo, influencia de fatores abióticos
20	Faria <i>et al.</i>	2012	Foraging <i>scaptotrigona</i> in urbanized area: seasonality in resource availability and visited plants	Brasil	SP	Mata atlântica	<i>Psyche</i>	Sazonalidade e Interação abelha- planta
21	Fierro <i>et al.</i>	2012	Effect of biotic factors on the spatial distribution of stingless bees in fragmented neotropical habitats	Mexico	Chiapas	Floresta tropical	<i>Behavioral Ecology</i>	Comportamento de nidificação, distribuição
22	Francel <i>et al.</i>	2020	Habitat analysis for stingless bees in buildings associated with the architectural concept campus, case of the university of of Tolima, Colombia	Colombia	Tolima	Floresta tropical	<i>Livestock Research for Rural Development</i>	Nidificação

23	Frankie <i>et al.</i>	2013	Relationships of Bees to Host Ornamental and Weedy Flowers in Urban Northwest Guanacaste Province, Costa Rica	Costa Rica	Guanacaste	Floresta tropical	<i>Kansas Entomological Society</i>	Recursos florais
24	Graff <i>et al.</i>	2020	Ecological impact and population status of non-native bees in a Brazilian urban environment.	Brasil	PR	Mata atlântica	<i>Revista Brasileira de Entomologia</i>	Ecologia funcional e polinização
25	Iraheta <i>et al.</i>	2015	Stingless bee distribution and richness in El Salvador (Apidae, Meliponinae).	El Salvador	*	Floresta tropical	<i>Journal of Apicultural Research</i>	Distribuição espacial e riqueza
26	Lima dos Santos <i>et al.</i>	2021	A fauna de abelhas sem ferrão em áreas urbanas: 50 anos de estudos e prioridades de pesquisa no Brasil	Brasil	*	*	<i>Scientia Plena</i>	Biodiversidade
27	Maia-silva <i>et al.</i>	2014	Environmental windows for foraging activity in stingless bees, <i>Melipona subnitida</i> Ducke and <i>Melipona quadrifasciata</i> Lepeletier (Hymenoptera: Apidae: Meliponini)	Brasil	SP	Mata atlântica	<i>Sociobiology</i>	Janela termal para forrageamento
28	Maia-Silva <i>et al.</i>	2015	Survival strategies of stingless bees ( <i>Melipona subnitida</i> ) in an unpredictable environment, the Brazilian tropical dry forest.	Brasil	RN	Caatinga	<i>Apidologie</i>	Comportamento de forrageamento em áreas secas
29	Martínez-López <i>et al.</i>	2017	Spatial distribution and nesting habits of <i>Nannotrigona mellaria</i> (Apidae: Meliponini) in one locality of Cali (Colombia)	Colombia	Valle del Cauca	*	<i>Acta Zoologica Mexicana</i>	Distribuição espacial e nidificação
30	May-Itza <i>et al.</i>	2021	Stingless bees in urban areas: low body size and high frequency of diploid males at mating congregations of	Mexico	Yucatan	Floresta seca	<i>Apidologie</i>	Tamanho corporal e diploidia em machos

31	Morillo	2004	<i>Nannotrigona perilampoides</i> (Hymenoptera: Meliponini) in Merida, Yucatan, Mexico Estructura de la comunidad de abejas sin aguijón en tres unidades de paisaje del piedemonte llanero Colômbiano (Meta, Colômbia).	Colombia	Meta	Floresta galeria	Dissertação	Community, conservation
32	Nascimento <i>et al.</i>	2018a	Honey from stingless bees as indicator of	Brasil	BA	Mata atlântica	<i>Sociobiology</i>	Palinologia e indicador ambiental
33	Nascimento <i>et al.</i>	2018b	Pollen storage by stingless bees as an environmental marker for metal contamination:spatial and temporal distribution of metal elements	Brasil	MG	Cerrado	<i>Sociobiology</i>	Palinologia e indicador ambiental
34	Nates-Parra e Velez	2006	Abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae: Meliponini) en cementerios de cordillera oriental de Colombia	Colômbia	Meta CundinaMarca	Floresta galeria	<i>Acta Biologica Colombiana</i>	Distribuição
35	Nates-Parra <i>et al.</i>	2008	Efecto del cambio del paisaje en la estructura de la comunidad de abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae) en Meta, Colombia	Colombia	Meta	Floresta galeria	<i>Revista de Biología Tropical</i>	Comunidade
36	Nates-Parra	2013	Diversidad de abejas sin aguijón (Hymenoptera: Meliponini) utilizadas en meliponicultura en Colômbia	Colômbia	*	*	<i>Acta Biologica Colombiana</i>	Meliponicultura
37	Nates-Parra e Rosso	2016	Abejas sin aguijón (tribu Meliponini. Iniciativa colombiana de polinizadores :abejas ICPA	Colombia	*	*	<i>Universidade Nacional da Colombia</i>	Biodiversidade
38	Neto <i>et al.</i>	2017	Spectrum of pollen stored by <i>Melipona mandaçaia</i>	Brasil	BA	Caatinga	<i>Sociobiology</i>	Análise polínica, forrageamento

39	Oliveira <i>et al.</i>	2019	Body size and corbiculae area variation of the stingless bee <i>Melipona fasciculata</i> Smith, 1854 (Apidae, Meliponini) under different levels of habitat quality in the eastern	Brasil	PA	Amazônia	<i>Entomologia Generalis</i>	Tamanho corporal, recurso floral
40	Oliveira <i>et al.</i>	2020	Mineral content in honey and pollen from native stingless bees <i>Tetragonisca angustula</i> (Latreille, 1811) in the Iron Quadrangle, Brazil	Brasil	MG	Cerrado/Mata Atlântica	<i>Journal of Apicultural Research</i>	Biomonitoring
41	Oliveira <i>et al.</i>	2021	Botanical origin, microbiological quality and physicochemical composition of the <i>Melipona scutellaris</i> pot-pollen (sambura) from Bahia (Brazil) Region	Brasil	BA	Mata Atlântica	<i>Journal of Apicultural Research</i>	Biomonitoramento
42	Pech-May <i>et al.</i>	2012	Colony pollen reserves affect body size, sperm production and sexual development in males of the stingless bee <i>Melipona beecheii</i>	Mexico	Yucatan	Floresta tropical	<i>Insectes Sociaux</i>	Recurso alimentar e tamanho corporal
43	Pinheiro <i>et al.</i>	2020	Pesticide residues in honey from stingless bee <i>Melipona subnitida</i> (Meliponini, Apidae)	Brasil	RN	Caatinga	<i>Journal of Apicultural Science</i>	Contaminação mel
44	Ramirez <i>et al.</i>	2013	Effects of Human Disturbance and Habitat Fragmentation on Stingless Bees	México	*	*	<i>Springer science</i>	Fragmentação do ambiente
45	Ribeiro e Taura	2021	Presence of <i>Plebeia aff. flavocincta</i> Nests in Urban Areas	Brasil	BA/PE	Caatinga	<i>Sociobiology</i>	Nidificação
46	Teixeira e Melo Campos	2005	Stingless bees (hymenoptera, apidae) flight activity beginning: body size	Brasil	MG	Mata Atlântica	<i>Revista Brasileira de Zociências</i>	Atividade de voo



			and ambient temperature influence					
47	Toledo-Hernandez <i>et al.</i>	2022	The stingless bees (Hymenoptera: Apidae: Meliponini): a review of the current threats to their survival	México	*	*	<i>Apidologie</i>	Desmatamento e agrotóxicos
48	Valadares <i>et al.</i>	2021	Nest density, spatial distribution, and bionomy of <i>Trigona spinipes</i>	Brasil	PB	Mata Atlântica	<i>Journal of Apicultural Research</i>	Distribuição e nidificação
49	Vieira <i>et al.</i>	2016	Nesting stingless bees in urban areas: a reevaluation after eight years	Brasil	MG	Mata Atlântica	<i>Sociobiology</i>	Distribuição e nidificação
50	Vossler	2019	Native and ornamental exotic resources in pollen loads and garbage pellets of four stingless bees (Apidae, Meliponini) in an urban environment with riparian native forest	Argentina	Chaco	Mata ciliar de altura média	<i>Anais da Academia Brasileira de Ciências</i>	Entomopalinologia de plantas nativas e exóticas
51	Zanette <i>et al.</i>	2005	Effects of urbanization on Neotropical wasp and bee assemblages in a Brazilian metropolis	Brasil	MG	Mata Atlântica	<i>Landscape and Urban Planning</i>	Estrutura de habitat
52	Zeballos <i>et al.</i>	2022	Is the flight and foraging activity of small-size stingless bees affected by the urban heat island? The case of <i>Plebeia catamarcensis</i> (Meliponini) in Cordoba city (Argentina)	Argentina	Córdoba	Floresta seca	<i>Journal of Apicultural Research</i>	Atividade de voo e tamanho corporal

---

## CAPÍTULO II: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS COLÔNIAS DE ABELHAS SEM FERRÃO (APIDAE: MELIPONINI) EM UMA ÁREA URBANA NO BIOMA MATA ATLÂNTICA

### RESUMO

A abelhas sem ferrão são abelhas eussociais com colônias perenes, com muitos indivíduos que forrageiam em grupo e por isso são importantes polinizadores de plantas nativas e cultivadas. Ocorrem na região tropical e subtropical do planeta com maior riqueza na região neotropical, uma região com déficit de pesquisas científicas. Assim, pouco se sabe sobre a biologia e comportamento das ASF na área urbana. O levantamento das colônias pode ser uma importante metodologia para fornecer informações sobre ASF para orientar ações de manejo e conservação. O objetivo deste estudo foi investigar a ocorrência e distribuição de colônias de abelhas sem ferrão na área urbana de Campos dos Goytacazes, uma cidade brasileira de médio porte e o maior município do interior do estado do Rio de Janeiro, e identificar os fatores que as influenciam. Para isso percorremos 20 unidades amostrais, em três macrozonas definidas pelo plano diretor do Município, onde registramos o DAP, altura, densidade da madeira de todas as árvores e a direção da abertura e altura das colônias. Nos 58,56 ha de área urbana foram vistoriadas 1293 árvores onde foram encontradas 129 colônias de quatro espécies: *Nannotrigona testaceicornis*, *Plebeia droryana*, *Trigona spinipes*, *Tetragonisca angustula*. A densidade de colônias em 55% das unidades amostrais foi menor que um. A abundância de árvores foi a variável que melhor explicou o número total de colônias. A maior frequência de colônias foi encontrada em árvores com densidade da madeira maior que 70%. A altura das colônias das duas espécies mais abundantes, *N. testaceicornis*, *P. droryana*, não apresentou variação significativa e as colônias de *P. droryana* estavam em árvores com maior DAP. Apesar da área de estudo ser uma cidade de médio porte pudemos observar que o crescimento urbano desordenado e a falta de planejamento ameaçam a sobrevivência das abelhas sem ferrão na área urbana principalmente pela falta de árvores mais antigas. Sugerimos ações que visem a conservação das abelhas sem ferrão na área urbana como aumento de oferta de flores nas unidades amostrais, manutenção das árvores antigas e incentivo à meliponicultura na área urbana.

**Palavras-chave:** Substrato de nidificação, densidade de colônias, polinizadores.

## 2.1 INTRODUÇÃO

As abelhas são consideradas os principais polinizadores bióticos das plantas nativas e das cultivadas (Patel *et al.*, 2020). Isso se deve ao fato de que, com exceção das abelhas necrófagas, todas as espécies de abelhas utilizam produtos florais em todas as fases da vida (Michener, 2007). Pesquisas em todo mundo relatam o declínio das populações de abelhas provocado por ações antrópicas que causam profundas alterações na paisagem, muitas vezes irreversíveis, através do aumento de superfícies impermeabilizadas, da destruição e fragmentação de áreas naturais, da introdução de espécies de plantas exóticas, da poluição da água, do ar e do solo e da perda de habitat para espécies animais e vegetais (IPBES, 2016). A mudança no uso do solo provocada pela urbanização é um dos maiores desafios enfrentados para a conservação da biodiversidade em todo o mundo (De Palma, 2018), o que está diretamente relacionado ao tamanho da população humana. Entre os anos de 1950 e 2018 a população urbana passou de 751 para 4,2 bilhões de pessoas e esse número continua a aumentar; a previsão da Organização Mundial das Nações Unidas é que até 2050 a população urbana mundial ultrapasse 60%, podendo chegar a mais de 80% em regiões mais populosas da América do Norte e América do Sul. Para o Brasil, a expectativa é que a população urbana ultrapasse 90% naquele ano (Nações Unidas, 2019).

Para atender as necessidades de moradia, alimentação, trabalho e lazer dessa crescente população, as cidades passam por um intenso processo de urbanização (McKinney, 2008). Com isso é necessário que sejam adotadas práticas que conciliem o crescimento urbano com a conservação das espécies (Geslin *et al.*, 2016), o que só é possível através do conhecimento da forma como as abelhas respondem a essas mudanças no uso do solo. Apesar do aumento no número de pesquisas relacionadas a este tema nos últimos 20 anos, os dados de composição, distribuição e abundância das espécies de abelhas nas áreas urbanas são escassos principalmente na América Latina, África, Ásia e Oceania, e insuficientes para que se conheça a real situação das suas populações (Wenzel, 2020). A falta de estudos nessas regiões limita o conhecimento do estado de conservação das abelhas e impacta diretamente o grupo de abelhas sem ferrão (ASF) (Hymenoptera: Apidae: Meliponini), que ocorrem na região tropical e subtropical do planeta com maior riqueza na região neotropical (Ayala *et al.*, 2013).

No Brasil são registradas 254 espécies em 30 gêneros de ASF (GAR Melo, informação pessoal; Moraes *et al.*, no prelo). As colônias de ASF são perenes, com centenas a milhares de indivíduos dependendo da espécie (Sakagami, 1982). É o grupo mais diverso de abelhas sociais, e suas colônias apresentam divisão de castas compostas por uma (em geral) rainha, muitas operárias e alguns machos. O hábito de nidificação das ASF varia com a espécie; a maior parte nidifica em cavidades preexistentes em árvores, mas suas colônias podem ser encontradas em rachaduras em rochas, colônias abandonadas de outras espécies de insetos, e cavidades subterrâneas. Algumas espécies mais adaptadas ao ambiente antrópico nidificam em construções humanas (Camargo, 1970; Michener, 2007).

Para a formação de uma nova colônia de ASF, um grupo de operárias enxameia em busca de uma cavidade, e ao encontrá-la preparam-na fechando frestas e levando recursos alimentares que são retirados da colônia mãe. Só então uma rainha virgem passa a habitar a nova colônia da qual sairá depois de alguns dias para acasalar e em seguida começar a oviposição (Nogueira-Neto, 1997). A dependência da colônia mãe permanece por algum tempo, o que limita a fundação da nova colônia a algumas centenas de metros próximo da colônia mãe (Nogueira-Neto, 1986; Roubik, 2006).

As colônias de ASF são suas unidades reprodutivas e podem ser usadas para quantificar suas populações (Silva *et al.*, 2013). A localização e estrutura das colônias das abelhas sem ferrão são consideradas respostas evolutivas às diferentes exigências e variações ambientais, que indicam as condições ambientais a que essas abelhas estão submetidas (Vergara *et al.*, 1986). Algumas destas condições são a presença de competição interespecífica, disponibilidade de recursos alimentares e o local de nidificação (Batista *et al.*, 2003; Santana e Oliveira, 2010). Um exemplo concreto é a possibilidade de utilizar levantamentos das colônias de ASF para avaliar a disponibilidade de recursos e substrato de nidificação na Mata Atlântica, reduzida a pequenos fragmentos (Ribeiro *et al.*, 2009), em especial nas áreas urbanas, onde os remanescentes de vegetação nativa estão restritos a florestas e parques urbanos.

O levantamento das colônias fornece informações que podem ser utilizadas para orientar ações de manejo e conservação. Contudo, apesar da importância de mapear a ocorrência destas espécies na cidade, são raros os estudos sobre ecologia de abelhas e seus hábitos de nidificação em áreas urbanas no Brasil (Albernaz *et al.*, 2022). A

escassez de informações sobre estas abelhas em áreas urbanas dificulta ações para o seu manejo. Pensar na conservação de abelhas sem ferrão em cidades do bioma Mata Atlântica é urgente pelo seu histórico de degradação no uso e ocupação do solo (Fundação SOS Mata Atlântica, 2021).

O objetivo deste estudo foi investigar a ocorrência e distribuição das colônias de abelhas sem ferrão na área urbana de Campos dos Goytacazes, uma cidade brasileira de médio porte e o maior município do interior do estado do Rio de Janeiro, e identificar os fatores que as influenciam. Para isso procuramos: 1) Identificar a composição de espécies de abelhas sem ferrão nidificando na área urbana; 2) Avaliar a densidade e distribuição das colônias de abelhas sem ferrão na área urbana; 3) Avaliar as características das espécies arbóreas que servem de substrato para nidificação ou de fontes de recursos florais para essas abelhas.

## **2.2 METODOLOGIA**

### **2.2.1 Área de estudo**

O estudo foi realizado na área urbana do município de Campos dos Goytacazes estado do Rio de Janeiro, originalmente composta por um mosaico de ecossistemas do Bioma Mata Atlântica (Luz *et al.*, 2011). A população total é de 483.552 mil habitantes, dos quais cerca de 85% vivem em aproximadamente 87,73 km<sup>2</sup> de área urbana (IBGE, 2022). O clima é tropical quente e úmido AW (classificação de Köppen-Geiger), com inverno seco (abril a setembro) e verão chuvoso (outubro a março); precipitação média anual entre 800 e 1200 mm (Köppen e Geiger, 1928). A temperatura média fica em torno de 32°C nos meses mais quentes e de 19°C nos meses mais frios.

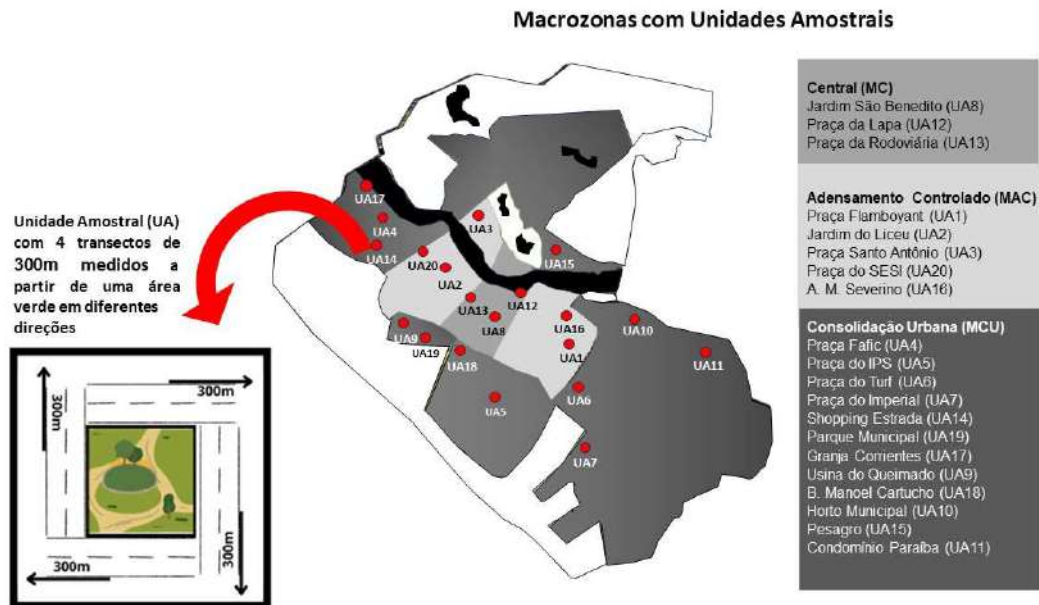
O município de Campos dos Goytacazes foi fundado em 1835 e cresceu impulsionado pela monocultura canavieira. A partir de 1950, com o declínio da indústria do açúcar, a área urbana desse município cresceu rapidamente construída sobre as terras sem vegetação deixadas pelo cultivo da cana de açúcar (Pedlowski *et al.*, 2002). A maior parte da vegetação encontrada na área urbana é resultado de plantios públicos e privados em locais específicos (Carneiro da Silva e Pedlowski, 2000), que foram sendo modificados ao longo do tempo.

### 2.2.2 Desenho amostral

O levantamento das colônias de ASF foi realizado em 20 unidades amostrais (UAs) composta por uma área verde central (jardim, praça ou bosque) a partir da qual foram delimitados quatro transectos de 300 m (Figura 2.1). A seleção das unidades amostrais foi feita a partir da marcação em uma imagem aérea do Google Earth da cidade de Campos dos Goytacazes e a validação da presença de árvores no local. Posteriormente, a imagem do Google foi sobreposta ao mapa do Plano Diretor de Campos dos Goytacazes (PMCG, 2007) a fim de certificar que as unidades amostrais contemplavam as três principais macrozonas delimitadas pelo Plano Diretor: Macrozona Central (MC), Macrozona de Adensamento Controlado (MAC) e Macrozona de Consolidação Urbana (MCU).

O Plano Diretor define a Macrozona de Adensamento Controlado como as áreas com infraestrutura que admitem adensamento horizontal e vertical controlado. Diferentemente, a Macrozona de Consolidação Urbana abrange áreas ocupadas de forma integral ou parcial nas quais são admitidas densidades populacionais baixas e médias e para as quais se torna indispensável a complementação da infraestrutura e serviços urbanos (PMCG, 2020).

Como as unidades amostrais foram escolhidas de acordo com a presença de árvores (característica importante para a presença de colônias de ASF), o número de UA variou em cada macrozona. O levantamento de colônias foi feito em três UAs na MC, cinco UAs na MAC e 12 UAs na MCU (Figura 2.1).



**Figura 2.1.** Unidades amostrais (contendo uma área central e transectos) distribuídas nas macrozonas da área urbana de Campos dos Goytacazes de acordo com o Plano Diretor do Município (PMCG, 2020). Adaptado de <https://www.campos.rj.gov.br/plano-diretor>.

### 2.2.3 Composição e densidade de colônias de abelhas sem ferrão nas unidades amostrais

Cada UA foi vistoriada duas vezes entre agosto de 2020 e setembro de 2022, uma vez na estação seca e uma vez na estação chuvosa. Devido ao período de pandemia da COVID-19, em algumas áreas não foi possível realizar as duas vistorias no mesmo ano. Em cada vistoria dois observadores percorriam as UAs observando construções e árvores sob vários ângulos, contornando o tronco para observar seu perfil contra os raios solares, o que facilitava ver a movimentação das abelhas na entrada das colônias. Com auxílio de um binóculo, o tronco e galhos das árvores eram vistoriados até aproximadamente a altura de 6 m. A presença de lagartos nos troncos serviu muitas vezes como indicativo da presença das colônias, já que esses animais têm por hábito parar na entrada das colônias para predação das abelhas.

As colônias encontradas foram georreferenciadas, marcadas com lacre plástico numerado, a altura da abertura da colônia foi medida com uma trena de 5 m posicionada do chão até a abertura, para colônias acima de 5 m marcávamos no tronco o final da trena e com a ajuda da escada reposicionávamos a trena na marcação do tronco até a

abertura da colônia, a direção da abertura registrada com uma bússola. Todas as informações da colônia eram registradas em uma planilha de campo. Pelas características da abelha e da abertura da colônia a espécie das abelhas era identificada, para confirmação da identificação cinco abelhas de cada colônia foram coletadas e fotos das entradas foram tiradas.

As abelhas amostradas foram levadas ao laboratório, montadas individualmente em alfinetes entomológicos, identificadas e depositadas na Coleção de Abelhas do Laboratório de Ciências Ambientais do Centro de Biociências e Biotecnologia da UENF. A identificação das abelhas foi feita por especialistas e através da comparação com a coleção chave.

#### 2.2.4 Substrato de nidificação

Todas as árvores dentro das UAs com diâmetro na altura do peito medido (DAP) maior ou igual a 30 cm, consideradas potenciais substratos para nidificação de ASF (Cortopassi-Laurino *et al.*, 2009) foram identificadas, georreferenciadas e tiveram seu DAP registrado. Para calcular o DAP, medimos com auxílio de uma fita métrica a circunferência do tronco em centímetros na altura do peito (CAP) e depois esse valor foi dividido pelo valor de  $\pi$  (3,14). As árvores foram identificadas no menor nível taxonômico possível com auxílio da literatura especializada (Lorenzi 1992, 2002), projeto Flora Brasil (Brazil Flora Group, 2019) e Guia de Vegetação de praças: Campos dos Goytacazes (Pereira *et al.*, 2021). A densidade da madeira das espécies arbóreas encontradas nas unidades amostrais foi obtida dos dados do *Global Wood Density Database* (Zanne *et al.*, 2009), os valores obtidos foram classificados como madeira macia ( $> 0.50 \text{ g/cm}^3$ ), madeira de dureza intermediária ( $0.51\text{-}0.72 \text{ g/cm}^3$ ), ou madeira dura ( $< 0.73 \text{ g/cm}^3$ ) de acordo com Melo *et al.* (1990). Muros e outras construções dentro das UAs também foram vistoriados.

#### 2.2.5 Análise de dados

O padrão de distribuição das colônias de cada espécie foi calculado utilizando o índice do vizinho mais próximo (R) (Clark e Evans, 1954). Esta medida é dada pela razão



entre a média das distâncias entre os pontos vizinhos e a relação entre o número de pontos na área analisada. O resultado menor do que zero ( $R < 0$ ) indica distribuição agrupada;  $R = 0$  indica distribuição aleatória e se a distância média for maior do que zero ( $R > 0$ ) a distribuição é considerada uniforme (Clark e Evans 1954). O cálculo foi realizado no ArcGIS utilizando as coordenadas geográficas da entrada de cada colônia.

A fim de visualizar as interações entre as espécies de abelhas e o substrato de nidificação (árvores), plotamos uma rede de interações com dados quantitativos da interação entre espécies de abelhas e espécies arbóreas onde as colônias foram encontradas. Para avaliar a importância do nó (árvore) na conexão da rede, medimos o grau de centralidade de intermediação (*betweenness*). Analisamos a estrutura global da rede com as métricas densidades (*density*) e modularidade (*modularity*). As análises foram feitas utilizando o pacote Igraph do programa R versão 3.5.1 (R Development Core Team, 2009; Csárdi *et al.*, 2023).

Para testar o efeito da estrutura da vegetação arbórea (riqueza, abundância e densidade de árvores) sobre a abundância total das colônias e a abundância das colônias das espécies com maior abundância relativa de colônias, utilizamos um modelo linear generalizado (MLG) com distribuição binomial negativa. Testamos a colinearidade entre as variáveis preditoras usando o fator de inflação de variância (vif) do pacote do car. O melhor modelo foi selecionado usando o menor valor do critério de informação de Akaike (AIC). Essas análises foram realizadas no programa R versão 3.5.1. (R Development Core Team 2009) assumindo um nível de significância de 95%.

A fim de identificar a amplitude na densidade da madeira das árvores utilizadas pelas abelhas como substrato, calculamos a frequência das árvores com colônias nas classes madeira macia ( $> 0.50 \text{ g/cm}^3$ ), madeira de dureza intermediária ( $0.51\text{-}0.72 \text{ g/cm}^3$ ) e madeira dura ( $< 0.73 \text{ g/cm}^3$ ), através da razão entre o número de árvores ocupadas por colônias de ASF e o número total de árvores em cada classe.

Plotamos boxplots para visualizar as distribuições da altura da entrada das colônias em diferentes substratos (árvores e construções), da altura e DAP das colônias das espécies mais abundantes; testamos a significância com ANOVA. Essas análises foram feitas no R versão 3.5.1 (R Development Core Team 2009).

Uma análise de correspondência canônica (CCA) foi utilizada a fim de identificar a relação entre o comportamento de nidificação das espécies e: 1) altura da entrada da

colônia; 2) DAP das árvores; 3) direção da abertura da colônia; 4) densidade da madeira. Essas análises foram feitas no programa Past versão 2.14 (Hammer *et al.*, 2001).

## 2.3 RESULTADOS

### 2.3.1 Composição e densidade de colônias de abelhas sem ferrão

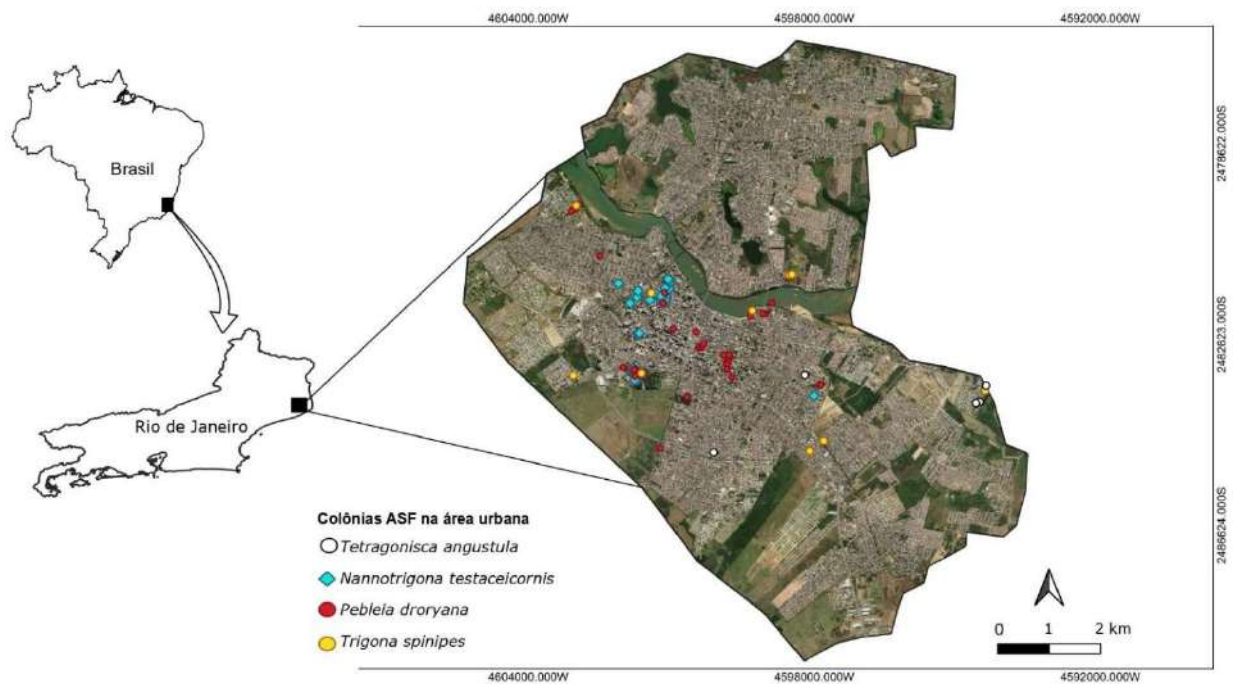
Na área vistoriada (58,56 ha de área urbana), correspondente às 20 unidades amostrais, foram encontradas 129 colônias de quatro espécies de Meliponini: *Nannotrigona testaceicornis* Lepeletier, 1836 (58% do total de colônias), *Plebeia droryana* (Friese, 1900) (30%), *Trigona spinipes* (Fabricius, 1793) (8%), *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) (4%) (Figura 2.2; Tabela 2.1).

Na primeira vistoria foi encontrado um total de 118 colônias e na segunda vistoria 111 colônias. Das 117 colônias registradas na primeira vistoria, 17 não foram encontradas na segunda vistoria; destas, 10 colônias eram de *N. testaceicornis*, seis colônias de *P. droryana* e uma colônia de *T. angustula*. Na segunda vistoria 12 novas colônias foram registradas, sendo oito de *N. testaceicornis* e quatro de *P. droryana*.

A densidade de colônias nas UAs variou entre 0 e 13,3 colônias/ha na primeira vistoria e 0 e 14,0 colônias/ha na segunda vistoria. As UAs com maiores densidades nas duas vistorias foram Jardim do Liceu (13,3/14,0 colônias/ha) e Usina do Queimado (9,9 colônias/ha). Ocorreu diminuição na densidade de colônias em três UAs (Praça do IPS, Jardim São Benedito e Rodoviária), enquanto o Jardim do Liceu apresentou aumento na densidade. Em três UAs não encontramos nenhuma colônia nas duas vistorias (Tabela 2.1). A espécie de abelha com maior densidade de colônias nas duas vistorias foi *N. testaceicornis* (1,12 e 1,09 colônias/ha, respectivamente), enquanto *T. angustula* apresentou a menor densidade de colônias nas duas vistorias (0,08 e 0,06 respectivamente).

O padrão de distribuição observado para *N. testaceicornis* e *P. droryana* foi agrupado ( $R= 0,54$  e  $Z\text{-score} = -6,122$ ;  $R= 0,51$  e  $Z\text{-score} = -5,599$ , respectivamente); *T. spinipes* apresentou padrão uniforme ( $R= 1,84$  e  $Z\text{-score} = 3,604$ ). Não foi calculado este índice para *T. angustula* devido ao baixo número de colônias encontrado.

O total de área percorrida na Macrozona Central (MC) foi de 9,06 ha, na Macrozona de Adensamento Controlado (MAC) 12,89 ha e na Macrozona de Consolidação Urbana (MCU) de 36,6 ha (Tabela 2.1). As quatro espécies de abelhas foram encontradas na MAC e na MCU, enquanto na MC foram encontradas colônias de duas espécies (*P. droryana* e *T. spinipes*). A macrozona com a maior densidade de colônias de ASF foi a MAC (4,26 col/ha) e a menor foi encontrada na MCU (1,09 col/ha) (Tabela 2.1). Na MAC foram encontradas 52 colônias em árvores e 10 em construções, na MCU 31 colônias em árvores e 14 em construção e na MC todas as colônias estavam em árvores.



**Figura 2.2.** Distribuição das colônias de abelha sem ferrão na área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ.

**Tabela 2.1.** Densidade (col/ha) e abundância de colônias de abelhas sem ferrão nas unidades amostrais na área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ avaliadas em duas vistorias sazonais (1 e 2).

Unidade Amostral	Área (ha)	Col/ha Vist. 1 e 2	Abundância total		<i>Plebeia droryana</i>		<i>Nannotrigona testaceicornis</i>		<i>Trigona spinipes</i>		<i>Tetragonisca angustula</i>	
			Vist.1	Vist.2	Vist.1	Vist.2	Vist.1	Vist.2	Vist.1	Vist.2	Vist.1	Vist.2
<b>Macrozona Central (MC)</b>												
Jardim São Benedito (UA8)	3,69	3,0 e 2,2	11	8	11	8	0	0	0	0	0	0
Praça da Lapa (UA12)	2,43	2,5 e 2,5	6	6	5	5	0	0	1	1	0	0
Praça da Rodoviária (UA13)	2,94	1,7 e 1,4	5	4	5	4	0	0	0	0	0	0
<b>Área/densidade total</b>	<b>9,06</b>	<b>2,42</b>										
<b>Ad. Controlado (MAC)</b>												
Praça Flamboyant (UA1)	2,38	1,7 e 1,3	4	3	3	2	1	1	0	0	0	0
Jardim do Liceu (UA2)	3,08	13,3 e 14,0	41	43	1	2	40	41	1	1	0	0
Praça Santo Antônio (UA3)	2,36	0,0 e 0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Praça do SESI (UA20)	2,49	3,6 e 3,2	9	8	0	0	9	8	0	0	0	0
A. M. Severino (UA16)	2,58	0,4 e 0,4	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
<b>Área/densidade total</b>	<b>12,89</b>	<b>4,26</b>										
<b>Consolidação Urbana (MCU)</b>												
Praça Fafic (UA4)	1,66	0,6 e 0,6	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Praça do IPS (UA5)	3,77	0,3 e 0,0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Praça do Turf (UA6)	2,64	0,8 e 0,8	2	2	0	0	0	0	2	2	0	0
Praça do Imperial (UA7)	2,89	0,0 e 0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Shopping Estrada (UA14)	3,18	0,3 e 0,3	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0
Parque Municipal (UA19)	4,36	0,2 e 0,2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Granja Corrientes (UA17)	2,53	1,6 e 1,6	4	4	3	3	0	0	1	1	0	0
Usina do Queimado (UA9)	2,32	9,9 e 9,9	23	23	5	7	17	13	1	1	0	0
B. Manoel Cartucho (UA18)	4,53	0,2 e 0,2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Horto Municipal (UA10)	2,67	0,0 e 0,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pesagro (UA15)	3,97	0,5 e 0,5	2	2	0	0	0	0	2	2	0	0
Condomínio Paraíba (UA11)	2,09	1,9 e 1,9	4	4	0	0	0	0	1	1	3	3
<b>Área/densidade total</b>	<b>36,6</b>	<b>1,09</b>										
<b>Total: ha/col. vistoria</b>	<b>58,56</b>		<b>118</b>	<b>111</b>	<b>36</b>	<b>34</b>	<b>67</b>	<b>63</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
<b>No. total de colônias</b>			<b>129</b>		<b>40</b>		<b>75</b>		<b>10</b>		<b>5</b>	
<b>Dens. total/ Dens. espécie</b>		<b>3,95</b>	<b>1,99</b>	<b>1,91</b>	<b>0,61</b>	<b>0,58</b>	<b>1,12</b>	<b>1,09</b>	<b>0,17</b>	<b>0,17</b>	<b>0,08</b>	<b>0,06</b>

### 2.3.2 Análise dos substratos utilizados no estabelecimento das colônias

Os substratos mais utilizados como locais de nidificação foram as cavidades em árvores (73%) seguido por construções (16%) e forquilhas em árvores (7%). Para *N. testaceicornis*, 26% de todas as colônias localizadas nas duas vistorias foram encontradas em construções humanas (n= 20); esse percentual foi de 5% para *P. droryana* (n= 2) e de 20% para *T. angustula* (n= 1). As colônias de *T. spinipes* foram encontradas em forquilhas de árvores, com exceção de uma colônia que estava no chão. Segundo relato de um funcionário do local, a colônia caiu da árvore há muitos anos e, como não foi removida, conseguiu se restabelecer no substrato no chão.

No total foram vistoriadas 1293 árvores de 70 espécies. A abundância de árvores em cada UA variou entre 34 (Parque Imperial) e 121 árvores (Usina do Queimado) e a riqueza variou entre nove espécies (Parque imperial) e 31 espécies (Horto municipal). O número de árvores por Macrozona variou entre 197 e 740, a maior densidade de árvores foi encontrada na MAC (27,69) (Tabela 2.2). As espécies de árvores mais abundantes foram *Caesalpinia pluviosa* (n= 247), *Delonix regia* (n= 121), *Ficus benjamina* (n= 80) e *Licania tomentosa* (n= 78).

Do total de árvores vistoriadas, 5,5% (35% das espécies arbóreas) possuíam pelo menos uma colônia de abelha sem ferrão. As colônias de *N. testaceicornis* ocorreram em cinco espécies de árvores sendo 60% delas em *C. pluviosa*; as colônias de *P. droryana* ocorreram em 11 espécies, sendo 23% em *F. benjamina* e 17% na palmeira *Roystonea oleracea*, enquanto *T. angustula* e *T. spinipes* utilizaram quatro espécies de árvores para nidificar. *N. testaceicornis* apresentou 47 colônias em agregações de 2 a 5 colônias na mesma árvore, já *P. droryana* apresentou três agregações de 2 e 3 colônias, totalizando sete colônias. A rede de interações construída entre as espécies de abelhas e as espécies arbóreas usadas como substrato de nidificação (Figura 2.3) mostrou maior número de ligações de *Plebeia droryana*, a segunda espécie com maior número de colônias amostradas. O grau de modularidade foi de 0,404 enquanto a densidade de ligações foi de 0,131. As espécies arbóreas com maior grau de centralidade de intermediação foram *C. pluviosa*, *F. benjamina* e *Terminalia catapa*.

A abundância de árvores foi a melhor variável explicativa para a variação no número total de colônias e no número de colônias das espécies de abelhas mais

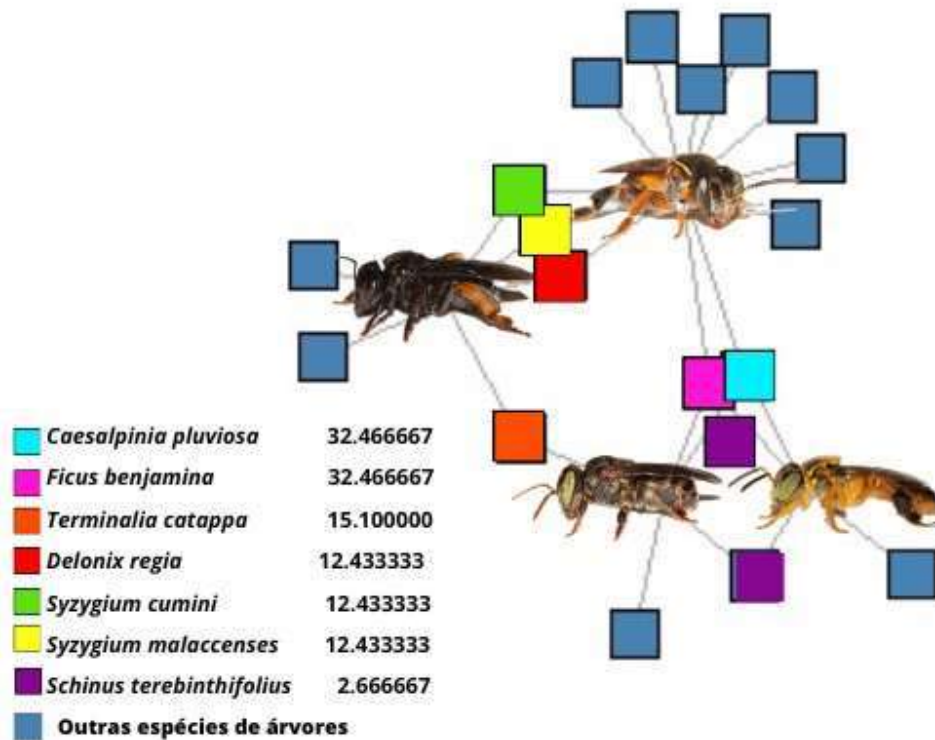
abundantes *N. testaceicornis* e *P. droryana*. A riqueza de espécies de árvores mostrou uma relação negativa com a abundância total das colônias e com a abundância de colônias de *N. testaceicornis* (Tabela 2.3).

**Tabela 2.2.** Espécies arbóreas vistoriadas neste levantamento, com o quantitativo de número (N°A) e densidade de árvores (DA), por macrozona na área urbana de Campos dos Goytacazes (RJ), e abundância e frequência de colônias de abelhas sem ferrão encontradas nas respectivas espécies. (T)= Total de árvores vistoriadas; (C) abundância de colônias de abelha sem ferrão, (FC%)= Frequência de colônias MC= macrozona central, MCU= macrozona de consolidação urbana, MAC= macrozona de adensamento controlado.

Espécies arbóreas	MC		MCU		MAC		T	C	FC%
	N°A	DA	N°A	DA	N°A	DA			
<i>Adenantha pavonine</i> L.	0	0	1	0,027	1	0,08	2	1	50
<i>Albizia lebeck</i> (L.) Benth.	0	0	0	0	1	0,08	1	0	0
<i>Anacardium occidentale</i> L.	0	0	4	0,11	2	0,15	6	0	0
<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam.	1	0,11	7	0,19	3	0,23	11	0	0
<i>Averrhoa carambola</i> L.	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Azadirachta indica</i> A.Juss.	0	0	2	0,054	0	0	2	0	0
<i>Bauhinia variegata</i> L.	1	0,11	2	0,054	2	0,15	5	0	0
<i>Bombacopsis glabra</i> (Pasq.) A.Robyns	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Caesalpinia leiostachya</i> (Benth.) Ducke	0	0	7	0,19	9	0,70	16	8	50
<i>Caesalpinia pluviosa</i> DC.	49	5,40	69	1,88	128	9,93	246	4 3	17
<i>Callistemon viminalis</i> (Sol. ex Gaertn.)G.Don	0	0	0	0	1	0,08	1	0	0
<i>Calycophyllum spruceanum</i> (Benth.) K.Schum.	0	0	2	0,054	0	0	2	0	0
<i>Cascabela thevetia</i> (L.) Lippold	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Cassia fistula</i> L.	3	0,33	11	0,30	1	0,08	15	1	7
<i>Cassia grandis</i> L. f.	6	0,66	3	0,08	7	0,54	16	2	13
<i>Cassia javanica</i> L.	0	0	6	0,16	0	0	6	0	0
<i>Cecropia obtusifolia</i> Bertol.	0	0	2	0,05	0	0	2	0	0
<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	1	0,11	7	0,19	3	0,23	11	0	0
<i>Centrolobium Mart. ex Benth.</i>	0	0	0	0	1	0,08	1	0	0
<i>Chloroleucon tortum</i> (Mart.) Pittier	13	1,43	0	0	0	0	13	3	23
<i>Chrysophyllum cainito</i> L.	0	0	13	0,35	0	0	13	0	0
<i>Clitoria fairchildiana</i> R.A.Howard	5	0,55	15	0,41	5	0,39	25	0	0
<i>Cocos nucifera</i> L.	0	0	0	0	1	0,08	1	0	0
<i>Cordia abyssinica</i> R.Br.	0	0	9	0,24	0	0	9	0	0
<i>Couroupita guianensis var. surinamensis</i> (Mart. ex Berg) Eyma	0	0	0	0	2	0,15	2	0	0
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	0	0	0	0	1	0,08	1	1	100
<i>Delonix regia</i> (Bojer ex Hook.) Raf.	30	3,31	65	1,77	26	2,01	121	6	5
<i>Dypsis lutescens</i> (H.Wendl.) Beentje & J.Dransf.	0	0	0	0	2	0,15	2	0	0

<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Euphorbia tirucalli</i> L.	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Ficus benjamina</i> L.	23	2,54	39	1,06	18	0	80	1 2	15
<i>Genipa americana</i> L.	0	0	7	0,19	2	0,15	9	0	0
<i>Gmelina arborea</i> Roxb.	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Guadua tagoara</i> (Nees) Kunth	0	0	1	0	0	0	1	1	100
<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	1	0,11	8	0,22	9	0,70	18	0	0
<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	0	0	11	0,30	0	0	11	0	0
<i>Handroanthus umbellatus</i> (Sond.) Mattos	12	1,32	2	0,05	0	0	14	1	7
<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.	0	0	3	0,08	0	0	3	0	0
<i>Hibiscus tiliaceus</i> L.	0	0	4	0,11	4	0	8	0	0
<i>Inga edulis</i> Mart.	0	0	2	0,05	0	0	2	0	0
<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don	1	0,11	6	0,16	0	0	7	0	0
<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Licania tomentosa</i> (Benth.) Fritsch	15	1,66	34	0,93	29	0	78	0	0
<i>Mammea americana</i> L.	0	0	2	0,05	0	0	2	0	0
<i>Mangifera indica</i> L.	7	0,77	79	2,16	26	0	112	0	0
<i>Manilkara zapota</i> (L.) P.Royen	0	0	3	0,08	0	0	3	0	0
<i>Melia azedarach</i> L.	0	0	2	0,05	0	0	2	0	0
<i>Moringa oleifera</i> Lam.	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Pachira aquatica</i> Aubl.	2	0,22	3	0,08	3	0,23	8	0	0
<i>Paubrasilia echinata</i> (Lam.) Gagnon, H.C.Lima & G.P.Lewis	0	0	3	0,08	2	0,15	5	0	0
<i>Persea americana</i> Mill.	0	0	5	0,13	0	0	5	0	0
<i>Phoenix roebelenii</i> O'Brien	0	0	1	0	1	0,08	2	0	0
<i>Psidium guajava</i> L.	1	0,11	2	0,05	0	0	3	0	0
<i>Roystonea oleracea</i> (Jacq.) O.F.Cook	1	0,11	116	3,17	7	0	124	6	5
<i>Salix humboldtiana</i> Willd.	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Sapindus saponaria</i> L.	0	0	7	0,19	0	0	7	0	0
<i>Schefflera actinophylla</i> (Endl.) Harms	0	0	2	0,05	0	0	2	0	0
<i>Schinus molle</i> L.	1	0,11	18	0,49	4	0	23	1	4
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	1	0,11	24	0,65	14	0	39	5	13
<i>Senna siamea</i> (Lam.) H.S.Irwin & Barneby	0	0	5	0,13	0	0	5	0	0
<i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S. Irwin & Barneby	0	0	4	0,11	2	0,15	6	0	0
<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	0	0	6	0,16	0	0	6	0	0
<i>Spondias mombin</i> L.	0	0	4	0,11	1	0,08	5	0	0
<i>Spondias purpurea</i> L.	0	0	7	0,19	1	0,08	8	0	0

<i>Syagrus schizophylla</i> (Mart.) Glassman	0	0	0	0	1	0,08	1	0	0
<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	2	0,22	14	0,38	5	0	21	6	29
<i>Syzygium malaccense</i> (L.) Merr. & L.M.Perry	0	0	9	0,24	4	0	13	2	15
<i>Tamarindus indica</i> L.	2	0,22	5	0,13	0	0	7	0	0
<i>Terminalia catappa</i> L.	12	1,32	25	0,68	17	0	54	5	9
NI	6	0,66	42	1,14	11	0	59	1	
<b>Total de árvores:</b>	<b>197</b>		<b>740</b>		<b>357</b>		<b>129</b>	<b>3</b>	
<b>Densidade total de árvores por macrozona:</b>		<b>21,74</b>		<b>20,21</b>		<b>27,69</b>			



**Figura 2.3.** Rede ecológica com interação abelhas e árvores utilizadas como substrato de nidificação na área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ. Espécies de árvores com maiores valores de centralidade de intermediação (betweenness).

**Tabela 2.3.** Resumo dos modelos que explicaram a abundância total e a abundância das colônias das espécies mais abundantes de abelhas sem ferrão baseados nos atributos das unidades amostrais: riqueza, abundância e densidade de árvores.



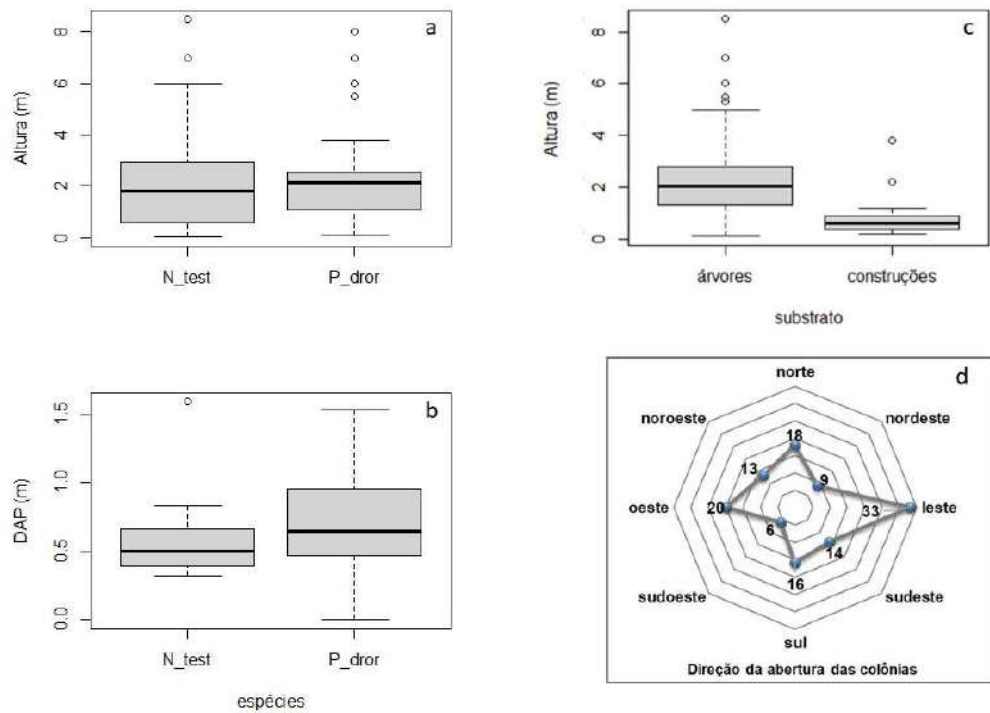
Variáveis resposta	Variáveis explicativas			$\Delta AICc$	df	wAICc	$R^2$
	Abundância	Riqueza árvores	Abundância árvores				
Total de colônias		-0.12020	0.0573	0.0	4	0.684	0.702
<i>Nannotrigona testaceicornis</i>		-0.24470	0.1532	0.4454	5	0.617	0.767
<i>Plebeia droryana</i>			0.0309	0.0	3	0.415	0.196

### 2.3.3 Análise dos atributos das colônias

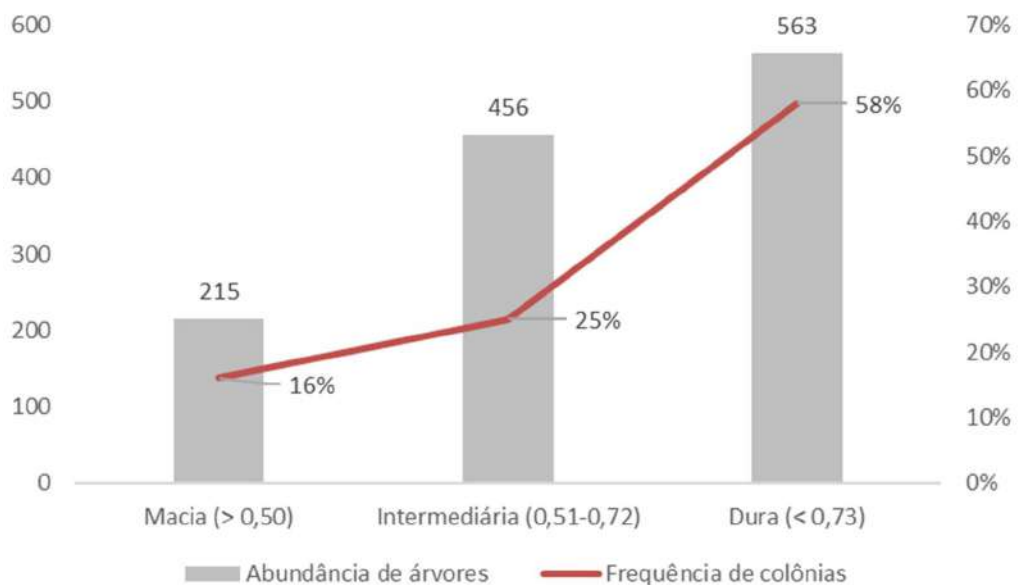
A altura da entrada das colônias variou entre 0,10 cm e 8 m, não foi verificada diferença significativa entre as alturas das entradas das duas espécies mais abundantes, *N. testaceicornis* e de *P. droryana* ( $F= 1,188$ ;  $p= 0,278$ ) (Figura 2.4a). O DAP das árvores existentes nas unidades amostrais variou entre 30 cm (DAP mínimo avaliado) e 1,91 m; as árvores com DAP maior que 80 cm representaram 10% das árvores vistoriadas. O DAP das árvores onde foram encontradas colônias de ASF variou significativamente entre as duas espécies de abelhas ( $F= 7,18$ ;  $p= 0,008754$ ) (Figura 2.4b). No geral, a altura da entrada das colônias foi significativamente maior nas colônias encontradas nas árvores do que a altura da entrada das colônias encontradas em construções ( $F= 15,27$ ;  $p= 0,0001615$ ) (Figura 2.4c). Em 25% das colônias, a abertura estava voltada para o leste (Figura 2.4d).

Observamos maior frequência de colônias nas árvores com densidade da madeira maior que  $70 \text{ g/cm}^3$ , e baixa frequência de colônias em árvores de madeira com dureza menor que  $50 \text{ g/cm}^3$  (Figura 2.5). a densidade da madeira de todas as árvores vistoriadas variou entre 0,22 e  $1,17 \text{ g/cm}^3$ .

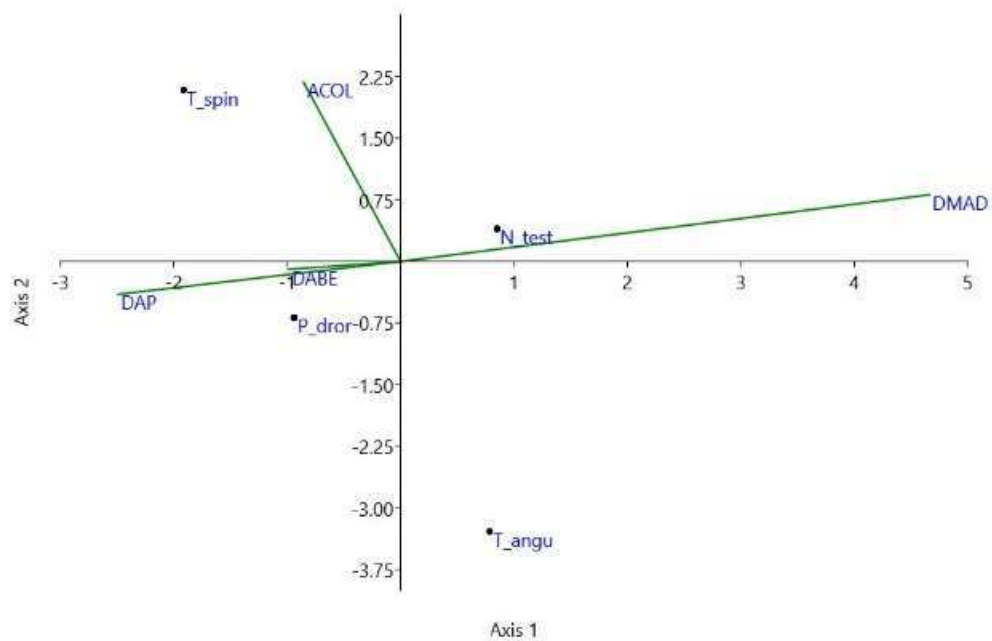
A análise de correspondência canônica mostrou que as colônias de *N. testaceicornis* apresentam relação com a densidade da madeira enquanto *P. droryana* mostrou uma maior relação com a direção da abertura e o DAP das árvores onde as colônias foram estabelecidas (Figura 2.6).



**Figura 2.4.** Substrato e características das colônias das espécies mais abundantes encontradas na área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ: *Nannotrigona testaceicornis* (N\_test) e *Plebeia droryana* (P\_drdr) **a)** altura da entrada das colônias; **b)** DAP das árvores com colônias; **c)** altura da entrada das colônias por substrato: árvores e construções; **d)** direção da abertura das colônias.



**Figura 2.5.** Frequência de colônias de abelhas sem ferrão (%) encontradas nas diferentes densidades de madeira: Macia, Intermediária e Dura, vistoriadas na área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ.



**Figura 2.6.** Análise de correspondência canônica (CCA) mostrando a correlação entre espécies de abelha e atributos das colônias encontradas na área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ. Altura da entrada da colônia (ACOL); Diâmetro na altura do peito (DAP); Direção da abertura da colônia (DABE) e Densidade da madeira (DMAD) das colônias. T\_angu= *Tetragonisca angustula*, P\_dror= *Plebeia droryana*, N\_test= *Nannotrigona testaceicornis* e T\_spin= *Trigona spinipes*.

## 2.4 DISCUSSÃO

A composição de abelhas sem ferrão encontrada neste estudo foi semelhante à de outros estudos realizados em áreas urbanas do Brasil (Aidar *et al.*, 2013; Vieira *et al.*, 2016). A riqueza de espécies observada foi menor, comparada com outros estudos realizados em áreas urbanas do bioma Mata Atlântica (Carvalho e Marchini, 1999; Vieira *et al.*, 2016, Albernaz *et al.*, 2022). Vários fatores podem ter contribuído para a baixa riqueza de espécies encontrada na área de estudos, como aqueles relacionados ao histórico de construção da cidade de Campos dos Goytacazes. A cidade foi construída sobre terras que antes eram utilizadas para o plantio de cana de açúcar e passaram por intenso desmatamento (Pedlowski *et al.*, 2002). Além disso, a expansão urbana não privilegiou o plantio de árvores e a criação de áreas verdes, e avança sobre os poucos remanescentes de vegetação no entorno da cidade como pode ser visto na imagem de satélite da figura 2.1 a cidade cresceu com árvores antigas restritas a poucas áreas de

jardins na cidade. Esses fatores provavelmente foram limitantes para o estabelecimento de populações de espécies de abelhas sem ferrão, principalmente as de médio porte, pela baixa oferta de locais de nidificação.

Outro fator que pode influenciar na baixa riqueza de espécies encontrada é a escassez de recursos alimentares na área urbana de Campos dos Goytacazes. Estudo realizado nas áreas verdes de Campos dos Goytacazes (Guimarães Alves e Gaglianone, 2021) utilizou a cobertura de flores das áreas urbanas como medida de recursos disponíveis para as abelhas na área urbana, os resultados mostraram uma média de cobertura de flores de apenas 32% nas 12 áreas verdes estudadas, algumas delas avaliadas neste estudo também. Além da riqueza de espécies com flores ser insuficiente para manter grandes populações e uma comunidade diversa de abelhas sem ferrão, o manejo inadequado das plantas arbustivas e herbáceas também contribuem para a menor oferta de recurso na cidade de Campos dos Goytacazes. Como apontado por Pedlowsky *et al.*, 2002) o manejo incorreto da vegetação na área urbana é prejudicial para a vegetação. Durante os campos desta pesquisa pudemos observar podas radicais nas espécies arbustivas deixando-as muito pequenas incapazes de florescer, junto com a falta de manutenção dos canteiros sem adubação e irrigação insuficiente, resultam na escassez de flores nas áreas verdes da cidade.

As espécies encontradas *Nannotrigona testaceicornis*, *Plebeia droryana* e *Tetragonisca angustula* são espécies pequenas (3,5 mm a 4 mm) com maior plasticidade no forrageamento e no comportamento de nidificação. Como espécies generalistas utilizam recursos de várias espécies de plantas nativas ou exóticas e podem se beneficiar da heterogeneidade de recursos do ambiente urbano. Suas colônias são pequenas, construídas tanto em cavidades em árvores como em construções humanas, permitem a ocupação de cavidades menores, aumentando a possibilidade de encontrar local de nidificação natural ou antrópico, como muros, frestas em janelas e portas (Vieira *et al.*, 2016).

O padrão de distribuição agrupado apresentado por *P. droryana* e *N. testaceicornis* foi anteriormente observado para essas espécies (Aidar *et al.*, 2013; Iraheta *et al.*, 2015; Vieira *et al.*, 2016; López *et al.*, 2017). Vários fatores podem explicar esse padrão de distribuição. Essas espécies têm um raio de voo pequeno entre 500 m e 900 m (Menezes *et al.*, 2023), e apresentam grande dependência da colônia mãe para fundar novas

colônias. A proximidade entre elas facilita que as operárias transportem recursos para construção e alimentos durante e algum tempo após a instalação da nova colônia no processo de enxameação (Van-Veen e Sommeijer, 2000). O menor raio de voo das abelhas sem ferrão também funciona como uma forma de evitar encontros agressivos com outras espécies ou indivíduos de outras colônias (Vieira *et al.*, 2016). Neste estudo *N. testaceicornis* apresentou 47 colônias em agregações (mais de uma colônia na mesma árvore) e *P. droryana* apresentou três agregações. O fato de dessas espécies poderem estabelecer mais de duas colônias em um mesmo substrato contribui para o padrão de distribuição agrupado (Nates-Parra, 2008).

Além da baixa riqueza de espécies registrada neste levantamento, a baixa abundância de colônias de *T. angustula* indicam que a matriz urbana da área de estudo está em condições que demandam atenção. *T. angustula* tem ampla distribuição, bastante frequente, e geralmente figura entre as espécies mais abundantes nos levantamentos realizados em áreas urbanas (Morillo, 2004; Araújo, 2016; Gonçalves e Araújo, 2021). Os resultados observados neste trabalho podem ser um indicativo de que a matriz urbana da cidade de Campos dos Goytacazes não é uma matriz permeável para abelhas sem ferrão. Apesar de *T. angustula* ter potencial para circular no ambiente fragmentado e heterogêneo das áreas urbanas, sua distribuição é limitada na situação de travessias de grandes distâncias por áreas pavimentadas entre fragmentos com vegetação (Barbosa, 2022). Para que haja permeabilidade entre os fragmentos é necessária a presença de árvores que funcionem com trampolins durante a dispersão e como fontes de recursos alimentares (Antonini e Martins, 2022).

Das colônias de *T. spinipes* 70% foram encontradas em árvores antigas e altas, a menos de 400 m de corpos hídricos, inclusive do Rio Paraíba do Sul. *Trigona spinipes* tem ampla distribuição na América do Sul (Biesmeijer e Slaa, 2006), suas colônias variam entre 5.000 e 180.000 indivíduos (Almeida e Laroca, 1988; Camargo, 2007). e, assim como *Apis mellifera*, é uma espécie dominante na visitação das flores em áreas urbanas (Cortopassi-laurino e Ramalho, 1988). Segundo Valadares *et al.* (2021) o microclima é fundamental para essa espécie, que encontraria recursos alimentares e local de nidificação em abundância nas florestas, no entanto suas colônias são mais comuns em áreas abertas e em árvores decíduas. Esses ambientes mais ventilados onde os raios solares incidem diretamente sobre a colônia aumentam a capacidade de termorregulação

e reduzem a umidade mais rapidamente após chuvas intensas comuns no Bioma Mata Atlântica (Silva e Ramalho, 2016).

Neste levantamento, assim como em outros estudos realizados em área urbana a densidade média de colônia de *T. spinipes* foi baixa de 0,16 colônias/ha (Taura e Laroca, 1991; Souza *et al.*, 2005). Uma explicação comumente dada para baixa densidade de colônias da espécie, está no fato de se tratar de abelhas agressivas com comportamento agonístico e patrulhamento eficiente. No entanto, outros fatores podem estar influenciando a baixa densidade na área urbana. Observamos algumas colônias serem retiradas por moradores pelo fato de acharem que elas incomodam furando as frutas e por não oferecerem nenhuma vantagem como por exemplo um mel de qualidade, o que a torna uma espécie sem nenhum interesse comercial (Aidar *et al.*, 2013). Além disso é possível que as condições ambientais da área urbana tenham impacto negativo sobre *T. spinipes*, já que a fundação das suas colônias maiores e mais populosas, depende da forquilha de grandes árvores, em áreas abertas e expostas. Com o desmatamento, árvores de grande porte estão cada vez mais escassas nas áreas urbanas e algumas estão mal conservadas e seus galhos não conseguem suportar as colônias pesadas. Corroborando a ideia da forte relação de *T. spinipes* com as árvores de grande porte, observamos neste levantamento que suas colônias apresentaram um padrão de distribuição uniforme que acompanhou a distribuição das árvores mais antigas conservadas nas margens do rio. As colônias de *T. spinipes* sofrem influência da luminosidade e umidade e essas variáveis ambientais podem ser fatores limitantes para sua distribuição na matriz urbana (Valadares *et al.*, 2021).

Em geral a densidade das colônias das espécies de abelhas sem ferrão foi baixa; 55% das unidades amostrais apresentaram densidade abaixo de um. Devido à baixa equitabilidade da distribuição entre as áreas, ao juntar todas as UAs a densidade média aumentou para 3,95 colônias/ha, influenciada pelas áreas com maior densidade de colônias, uma densidade alta quando comparada com outros estudos realizados em área urbana (Souza *et al.*, 2005; Aidar *et al.*, 2013; Vieira *et al.*, 2016). No entanto, ainda bem abaixo da capacidade de suporte de um ecossistema que seria de 16 colônias/ha densidade proposta por Nates-Parra *et al.* (2008), ao analisar outros estudos com abelhas sem ferrão em diferentes regiões tropicais. Quanto à densidade de colônias por espécie, *P. droryana* estaria dentro da capacidade de suporte, diferente de *N.*

*testaceicornis* que estaria acima do valor de densidade proposto para áreas urbanas pela autora supracitada, que é de 1,03 col/ha. O acompanhamento das colônias se faz necessário para que seja possível compreender a dinâmica dentro das UAs ao longo do tempo.

Um estudo a longo prazo também será relevante para acompanhar a capacidade das colônias de sobreviver nas UAs. Observamos a perda 1,3% de colônias entre a primeira e segunda vistoria, mas não podemos afirmar se é uma perda natural ou provocada por fatores externos. Considerando que as colônias muitas vezes estão expostas ao contato frequente com seres humanos. Algumas estão em árvores de praças que sediam eventos como feiras livres, shows musicais, oportunidades em que as pessoas se encostam nas árvores e até deixam lixo na entrada das colônias, danificando a estrutura da colônia e impedindo o tráfego das abelhas. Ao longo deste trabalho, foi comum observar as árvores onde as colônias estão instaladas sendo utilizadas como depósito de lixo ou para pendurar fios elétricos, pano de lavadores de carros e gaiolas com pássaros. Situações como estas foram observadas por Ribeiro e Taura (2019) em duas cidades do Ceará, e os autores apontaram como causadoras da destruição de colônias, além da retirada constante de árvores. Durante este levantamento apenas uma árvore foi cortada e duas árvores caíram por estarem atacadas por cupim. Porém deve-se levar em consideração que o presente trabalho teve duração de dois anos, diferentemente do trabalho supracitado, que aplicou um recorte temporal de cinco anos. É possível que um estudo ao longo do tempo aponte a retirada das árvores como uma ameaça para as colônias encontradas neste levantamento.

A importância do planejamento do uso do solo levando em consideração a conservação das árvores na área urbana para o estabelecimento de colônias de ASF fica evidente ao analisar os resultados de densidade de árvores e colônias entre as macrozonas. As áreas com maior densidade média de árvores Macrozona Central (MC) e Macrozona de Adensamento Controlado (MAC) foram também as áreas com maior densidade média de colônias de ASF. A maior densidade de colônias de *N. testaceicornis* foi encontrada na MAC e a de *P. droryana* na MC.

A rede de interações mostra modularidade em torno de 40% encontrada na rede de interações indica a formação de grupos, com abelhas se ligando a grupos específicos de árvores. Espécies vegetais comuns a três dos quatro grupos são *Caesalpinia pluviosa*

e *Ficus benjamina* indicando que cumprem um importante papel como espécies intermediadoras para a presença de colônias na área urbana. Este conceito foi proposto aqui para definir as espécies vegetais que podem servir como substratos para a nidificação de várias espécies de abelhas com uma importante função ecológica. Assim, a retirada dessas árvores pode diminuir a oferta de substrato de nidificação para grande parte da comunidade encontrada na cidade. A importância de *C. pluviosa* também foi verificada em um levantamento de colônias realizado no *campus* da Universidade Federal de Uberlândia (Aidar *et al.*, 2013) onde foi verificada sua utilização como substrato de nidificação para seis espécies de abelhas sem ferrão. No entanto, sua importância para essas abelhas não se restringe ao Brasil; *C. pluviosa* é citada por Francel *et al.* (2020) como uma espécie arbórea relacionada à presença de Meliponini na Colômbia.

No presente estudo, a abundância de árvores foi o fator mais explicativo (70%) da abundância total das colônias de abelhas e da abundância das colônias de *N. testaceicornis*. A riqueza de árvores mostrou relação negativa com a abundância total de colônias e com a abundância de colônias por espécie. Este resultado é contrário ao encontrado por Fierro *et al.* (2012) e Gonçalves e Araújo (2021), que afirmaram que a riqueza de árvores afetava positivamente a riqueza e abundância de abelhas. A UA com maior riqueza de espécies de árvores não apresentou colônias de abelhas sem ferrão e as colônias foram encontradas em 35% das espécies disponíveis. A composição da espécie de árvores deve ser observada no planejamento urbano, algumas árvores oferecem melhores condições para a instalação das colônias e quando essas espécies estão em abundância favorecem a fundação de novas colônias. É o caso de *C. pluviosa* (Sibipiruna) bastante utilizada na arborização urbana e que apresenta troncos grossos e cavidades favoráveis para a construção das colônias (Aidar *et al.*, 2013).

Para ASF um diâmetro mínimo do tronco é necessário para a instalação das células de cria e potes de alimentos, o DAP mínimo encontrado neste trabalho, que foi de 32cm para árvores com colônias de *N. testaceicornis* e 30cm para as árvores com colônias de *P. droryana*. Valores de DAP próximos ao encontrado na literatura para *N. testaceicornis* que é de 25 cm e de 27 cm para *P. droryana* (Cortopassi-Laurino *et al.*, 2009). A baixa frequência de árvores com DAP acima de 80cm registradas, indica uma forte ameaça para sobrevivência das ASF na área urbana. A presença de árvores mais antigas com troncos mais grossos é importante para conservar as espécies de ASF com



menor plasticidade nas áreas urbanas. Essas espécies nidificam exclusivamente em cavidades preexistentes em árvores ou colônias de outras espécies, que são encontrados mais facilmente nas árvores mais antigas. Este fato é explicado porque à medida que as árvores envelhecem ficam mais propensas à perda de galhos e tornam-se menos resistentes ao ataque de fungos e insetos, fatores que aumentam a possibilidade de formação de cavidades em seus troncos (Harper *et al.*, 2005). Essas cavidades em árvores são consideradas fundamentais para a manutenção da biodiversidade, uma vez que não só ASF, mas também outros insetos, pequenos mamíferos e aves utilizam essas cavidades como abrigo ou para nidificar (Lindenmayer *et al.*, 1997).

Das colônias encontradas na área urbana de Campos dos Goytacazes 58% estavam em árvores com densidade da madeira classificada como dura (< 73%). A deterioração da madeira, para que surjam cavidades depende além da idade, da composição química e da densidade da madeira (Mackensen *et al.*, 2003), espécies com menor densidade de madeira poderiam favorecer o aparecimento de cavidades, no entanto podem colocar a colônia em risco já que deterioram mais rápido (Scheffer e Morrell, 1998).

Deve-se levar em consideração, entretanto, que os valores de densidade da madeira utilizados neste estudo foram obtidos em um banco de dados global (Zanne *et al.*, 2009) pode levar a um resultado pouco preciso já que a densidade da madeira pode variar acompanhando as mudanças de temperatura e umidade no ambiente. A análise local da densidade das árvores avaliadas poderia trazer dados mais precisos para esta análise.

A análise da direção e sentido da entrada das colônias mostrou que 26% das colônias estavam voltadas para o leste e 7% voltadas para nordeste de onde vem o vento predominante na cidade de Campos dos Goytacazes. A atividade de voo das abelhas é influenciada por vários fatores entre eles a velocidade do vento, que quando muito forte aumenta o gasto energético das abelhas (Hilário *et al.*, 2007). As abelhas sem ferrão em geral são de pequeno porte (menor que 0,8cm) e por isso mais afetadas pela intensidade do vento como *P. droryana* que cessam o voo com ventos a partir de 5,0 m/s (18,0 km/h) (Oliveira, 1973). Assim, é esperado que as abelhas sem ferrão evitem cavidades voltadas para o vento predominante.

A altura da abertura das colônias de *N. testaceicornis* e *P. droryana* não apresentou diferença estatística, o que significa que elas podem concorrer por cavidades. Os resultados mostraram que *P. droryana* apresentou maior plasticidade quanto a escolha da espécie de árvore, mas parece ser mais limitada quanto à altura das cavidades que utiliza para nidificar. Os resultados da análise de correspondência canônica mostram que a influência das características das árvores sobre as colônias de abelhas sem ferrão varia de acordo com a espécie, como era esperado. Por exemplo, as colônias de *T. spinipes* são construídas em maiores alturas e em forquilhas das árvores (Valadares *et al.*, 2016), por isso suas colônias têm uma maior relação com a variável altura. As colônias de *P. droryana* tem a influência da direção da abertura da colônia e do DAP, suas colônias foram encontradas em árvores com maior DAP entre as abelhas estudadas, enquanto para *N. testaceicornis* a densidade da madeira aparece como a variável mais influente. As árvores onde suas colônias foram encontradas apresentaram a maior densidade média (0,89) o que é explicado pelo grande número de colônias encontradas em *C. pluviosa*. Essas informações podem contribuir para que ações que visem o plantio de árvores na área urbana considerem espécies que atendam às necessidades de nidificação das diferentes espécies de abelha sem ferrão, promovendo uma maior diversidade na área urbana.

## 2.5 CONCLUSÃO

Apesar da área de estudo ser uma cidade de médio porte pudemos observar que o crescimento urbano desordenado e a falta de planejamento ameaçam a sobrevivência das abelhas sem ferrão na área urbana. Como as abelhas funcionam como bioindicadores da qualidade ambiental, a perda da sua diversidade serve como um alerta para a qualidade do ambiente urbano que está sendo construído. Sugerimos a promoção de ações de conservação das abelhas sem ferrão existentes e até mesmo o aumento da riqueza de espécies na cidade. Essas ações podem começar pela melhoria das unidades amostrais, aumentando a oferta de recursos inserindo novas plantas nas praças e jardins públicos. A criação de uma equipe de manutenção das árvores com poda correta e adubação que possa retardar a perda das árvores antigas em especial as que abrigam colônias de abelhas sem ferrão. Ações educativas de conscientização da sociedade e

por fim o incentivo à meliponicultura com a criação de espécies de abelhas nativas acompanhada do plantio de plantas melitófilas, o que seria uma opção de renda para algumas famílias acompanhada de melhoria ambiental.

## 2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aidar, I. F.; Santos, A. O. R.; Bartelli, B. F.; Martins, G. A.; Nogueira-Ferreira, F. H. (2013). Nesting ecology of stingless bees (Hymenoptera, Meliponina) in urban areas: the importance of afforestation. *Bioscience Journal*, 29(5): 1361–1369.
- Albernaz, J. M.; Carvalho, C. A. L.; Silva, F. L.; Neisse, A. C.; Silva, I. P.; Costa, M. A. P. C.; Machado, C. S.; Sodr e, G. S. (2022). Inventário de ninhos de abelhas sociais sem ferrão em uma área antropizada. *Diversitas Journal*, 7(3): 1245–1260.
- Almeida, M. C.; Laroca, S. (1988). *Trigona spinipes* (Apidae, Meliponinae): taxonomia, bionomia e rela es tróficas em áreas restritas. *Acta Biológica Paranaense*, 17(1): 67-108.
- Antonini, Y., Martins, R. P. (2022). Urbanization affects the occurrence of a large stingless bee species in a large city. *Urban Ecosystems*. Disponível em: <<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-594102/v1>>. Acesso em: 28 jul. 2023.
- Araújo, G. J.; Antonini, Y.; Silva, L. S.; Faria-Mucci, G. M. (2016). Onde os mais adaptados permanecem: comunidade de abelhas sem ferrão (Hymenoptera: Apidae, Meliponini) em áreas urbanas do município de Ubá, Minas Gerais, Brasil. *EntomoBrasilis*, 9(3): 175–179.
- Ayala, R.; Gonzalez, V.; Engel, M. (2013). Mexican stingless bees (Hymenoptera:Apidae): diversity, distribution and Indigenous knowledge, p. 135-152. In: Vit, P.; Pedro, S.R.M.; Roubik, D.W., (Eds.). *Pot-Honey: A Legacy of Stingless Bees*. New York: Springer New York. 654 p.
- Barbosa, M. M.; Jaffé, R.; Carvalho, C. S.; Lanes, E. C. M.; Alves-Pereira, A.; Zucchi, M. I.; Corrêa, A. S.; Ribeiro, M. C.; Imperatriz-Fonseca, V. L.; Alves, D. A. (2022). Landscape influences genetic diversity but does not limit gene flow in a Neotropical pollinator. *Apidologie*, 53: 48.

- Batista, M. A.; Ramalho, M.; Soares, A. E. (2003). Nesting sites and abundance of Meliponini (Hymenoptera: Apidae) in heterogeneous habitats of the Atlantic Rain Forest, Bahia, Brazil. *Lundiana: International Journal of Biodiversity*, 4(1): 19-23.
- Brazil Flora Group (2021). *Brazilian Flora 2020 project - Projeto Flora do Brasil 2020*. Version 393.386. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Checklist dataset <https://doi.org/10.15468/1mtkaw> accessed via GBIF.org on 2023-07-31. Acesso em: 10 mai 2021.
- Camargo, J. M. F. (1970). Ninhos e biologia de algumas espécies de Meliponídeos (Hymenoptera: Apidae) da região de Porto Velho, Território de Rondônia, Brasil. *Revista de Biologia Tropical*, 16(2): 207-239.
- Camargo, J. M. F. (2007). *Trigona spinipes*. In: J. S. Moure, D. Urban; G.A.R. Melo (orgs.), Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region. Curitiba, Sociedade Brasileira de Entomologia, 14: 1058 p.
- Carneiro da Silva, V. A.; Pedlowski, M.A. (2000). Trees And Urban Life Quality: A Case Study On Spatial Segregation In The Municipality Of Campos dos Goytacazes, Rio De Janeiro, Brazil. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 39.
- Carvalho, C. A. L.; Marchini, L. C. (1999). Abundância de ninhos de Meliponinae (Hymenoptera: Apidae) em biótopo urbano no município de Piracicaba-SP. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, 74(1), 35-44.
- Clark, P. J.; Evans, F. C. (1954). Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, 35(4), 445-453.
- Cortopassi-Laurino, M.; Ramalho, M. (1988). Pollen harvest by Africanized *Apis mellifera* and *Trigona spinipes* in São Paulo botanical and ecological views. *Apidologie*, 19(1): 1-24.
- Cortopassi-Laurino, M., Alves, D. A. E.; Imperatriz-Fonseca, V. L. (2009). Árvores neotropicais, recursos importantes para a nidificação de abelhas sem ferrão (Apidae, Meliponini). *Mensagem doce*, 100: 21-28.
- Csárdi, G.; Nepusz, T.; Traag, V.; Horvát, Sz.; Zanini, F.; Noom, D.; Müller, K. (2023). *\_igraph: Network Analysis and Visualization in R*.

- De Palma, A.; Abrahamczyk, S.; Aizen, M. A.; Albrecht, M.; Basset, Y.; Bates, A.; Blake, R. J.; Boutin, C.; Bugter, R.; Connop, S.; Cruz-López, L.; Cunningham, S.A.; Darvill, B.; Diekötter, T.; Dorn, S.; Downing, N.; Entling, M .H.; Farwig, N.; Felicioli, A.; Fonte, S. J.; Fowler, R.; Franzén, M.; Goulson, D.; Grass, I.; Hanley, M. E.; Hendrix, S. D. *et al.* (2016). Predicting bee community responses to land-use changes: Effects of geographic and taxonomic biases. *Scientific Reports*, 6: 31153.
- Fierro, M. M.; Cruz-López, L.; Sánchez, D.; Villanueva-Gutiérrez, R.; Vandame, R. (2012). Effect of biotic factors on the spatial distribution of stingless bees (Hymenoptera: Apidae, Meliponini) in fragmented neotropical habitats. *Neotropical Entomology*, 41(2): 95–104.
- Francel, A. E.; Moreno-Elcure, F. A.; Vargas, H. C. (2020). Habitat analysis for stingless bees in buildings associated with the architectural concept campus, case of the University of Tolima, Colombia. *Livestock Research for Rural Development*, 32(5): 1–24.
- Fundação SOS Mata Atlântica. (2021). Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2019/2020. Relatório Técnico/Fundação SOS Mata Atlântica/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 73 p.
- Geslin, B.; Le Féon, V.; Folschweiller, M.; Flacher, F.; Carmignac, D.; Motard, E., ... Dajoz, I. (2016). The proportion of impervious surfaces at the landscape scale structures wild bee assemblages in a densely populated region. *Ecology and evolution*, 6(18): 6599-6615.
- Gonçalves, P. S.; Araújo, W. S. de. (2021). Diversity of Eusocial Bees in Natural and Anthropized Areas of a Tropical Dry Forest in the Parque da Sapucaia (Montes Claros, Minas Gerais, Brazil). *Sociobiology*, 68(1): e5305.
- Guimarães-Alves, S.; Gaglianone, M.C. (2021). Bee guilds' responses to urbanization in neotropics: A case study. *Diversity*, 13(8): 365.
- Hammer, Q.; Harper, D. A. T; Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, 4(1): 9 p.

- Harper, M. J.; McCarthy, M. A.; Ree, R. (2005). The abundance of hollow-bearing trees in urban dry sclerophyll forest and the effect of wind on hollow development. *Biological Conservation*, 122(2): 181-192.
- Hilário, S. D.; Ribeiro, M. F.; Imperatriz-Fonseca, V. L. (2007). Efeito do vento sobre a atividade de voo de *Plebeia remota* (Holmberg, 1903) (Apidae, Meliponini). *Biota Neotropica*, 7(3), 225–232.
- IBGE. (2022). *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 fev. 2023.
- IPBES. (2016). Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. *In*: Potts, S. G.; Imperatriz-Fonseca, V. L.; Ngo, H. T.; Biesmeijer, J. C.; Breeze, T. D., Dicks, L. V.; ... Vanbergen, A. J. (eds.). *Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*: Bonn. 36 p.
- Köppen, W.; Geiger, R. (1928). *Klimate der Erde*. Verlag Justus Perthes: Gotha, Germany, 91-102.
- Lindenmayer, D. B.; Cunningham, R. B.; Donnelly, C. F. (1997). decay and collapse of trees with hollows in eastern Australian forests: impacts on arboreal marsupials. *Ecological Applications*, 7(2): 625–641.
- Martínez-López, S.; Soto-Medina, E.A.; Sandoval-Arango, S.; Otero-Ospina, J.T. (2017). Spatial distribution and nesting habits of *Nannotrigona mellaria* (Apidae: Meliponini) in one locality of Cali (Colômbia). *Acta Zoológica Mexicana*, 33(2): 161–168.
- Lorenzi, H. (1992). *Árvores brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil*. 2.ed. Odessa, SP: Editora Plantarum: Nova Odessa, 384p.
- Lorenzi, H. (2002). *Árvores brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil*. 2.ed. Odessa, SP: Editora Plantarum: Nova Odessa, 2, 368p.

- Luz, C. F. P.; Barth, O. M.; Martin, L., Silva, C. G.; Turcq, B. J.; (2011). Palynological evidence of the replacement of the hygrophilous forest by field vegetation during the last 7,000 years B.P. in the northern coast of Rio de Janeiro, Brazil. *Anais Da Academia Brasileira De Ciências*, v. 83, n. 3, p 939–952.
- Mackensen, J.; Bauhus, J.; Webber, E.; (2003). Decomposition rates of coarse woody debris – a review with particular emphasis on Australian tree species. *Australian Journal of Botany*, 51: 27–37.
- Mateus, S.; Pereira, U. C. R.; Cabette, H. S. R.; Zucchi R. (2009). Locais de nidificação das abelhas nativas sem ferrão (Hymenoptera, Apidae, Meliponinae) do Parque Municipal do Bacaba, Nova Xavantina-MT. *Mensagem Doce*, São Paulo, 100: 60-62.
- McKinney, M. L. (2008). Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urban Ecosystems*, 11(2): 161–176.
- Melo, J. E.; Coradin, V. T. R.; Mendes, J. C. (1990). Classes de densidade de madeira para a Amazônia Brasileira. *Anais do Congresso Florestal Brasileiro 6*. Campos do Jordão, SP: Sociedade Brasileira de Silvicultura, São Paulo. v.3. p.695-699.
- Menezes, C., Alves, D. A., Lucena, D. A. A., Almeida, E. A. B. (2023). *Abelhas sem ferrão relevantes para a meliponicultura no Brasil*. 1.ed. São Paulo: Associação Brasileira de Estudos das Abelhas. 95p.
- Michener, C. D. (2007). *The Bees of the World*. 2.ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press. 953p.
- Morillo, E. P. (2004). *Estructura de la comunidad de abejas sin aguijón en tres unidades de paisaje del piedemonte llanero colombiano (Meta, Colômbia)*. Monografía (Graduação em Biologia). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá – Colômbia. 85p.
- Nates-Parra, G.; Palacios, E.; Parra-H, A. (2008). Efecto del cambio del paisaje en la estructura de la comunidad de abejas sin aguijón (Hymenoptera: Apidae) en Meta, Colômbia. *Revista de Biología Tropical*, 56(3): 1295–1308.

- Nogueira-Neto, P. (1997). *Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão*. São Paulo: Editora Nogueirapis. 445p.
- Oliveira, M. A. C. (1973). Algumas observações sobre a atividade externa de *Plebeia saiqui* e *Plebeia droryana*. Dissertação (Mestrado em Zoologia), São Paulo, Universidade de São Paulo-USP, 79p.
- Patel, V.; Pauli, N.; Biggs, E.; Barbour, L.; Boruff, B. (2020). Why bees are critical for achieving sustainable development. *Ambio*, 50(1): 49–59.
- Pedlowski, M. A.; Carneiro da Silva, V. A.; Adell, J.J.C.; Heynen, N. C. (2002). Urban forest and environmental inequality in Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brazil. *Urban Ecosystems*, 6(1-2): 9-20.
- Pereira, M. E. C.; Jasmim, J. M.; Pereira, M. H. (2021). *Guia de vegetação de praças*. Campos dos Goytacazes: EdUENF. 70p.
- PMCG. Prefeitura Municipal de Campos dos Goytacazes (2007). Projeto de lei do Plano diretor. Secretaria de Planejamento. SECPLAN. Disponível em <https://www.campos.rj.gov.br/plano-diretor.php>. Acesso em: 15 mar. 2023.
- R Development Core Team. (2009). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- Ribeiro, M. C.; Metzger, J. P.; Martensen, A. C.; Ponzoni, F. J.; Hirota, M. M. (2009) The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, 142: 1141–1153.
- Ribeiro, M. F.; Taura, T. A. (2019). Presence of *Plebeia* aff. *flavocincta* nests in urban areas. *Sociobiology*, 66(1): 66–74.
- Roubik, D. W. (2006). Stingless bee nesting biology. *Apidologie*, 37(2): 124–143.
- Sakagami, S. F. (1982) Stingless bees. In: Hermann, H. R. (ed.) *Social insects*, v.3. New York: Academic Press, p.361–423.



- Santana, A. C.; Oliveira, F. F. (2010). Inventário das espécies de abelhas (Hymenoptera, Apiformes) do Campus da UFBA (Ondina), Salvador, BA: dados preliminares III. *Cadombá*, 6(1): 28–51.
- Scheffer, T. C.; Morrell, J. J. (1998). *Natural Durability Of Wood: A Worldwide Checklist Of Species*. Corvallis, Oregon: Oregon State University Research Contribution, 22: 58.
- Silva, M. D.; Ramalho, M. (2016). The influence of habitat and species attributes on the density and nest spacing of a stingless bee (Meliponini) in the Atlantic Rainforest. *Sociobiology*, 63: 991-997.
- Silva, M. D.; Ramalho, M.; Monteiro, D. (2013). Diversity and habitat use by stingless bees (Apidae) in the Brazilian Atlantic Forest. *Apidologie*, 44: 699-707.
- Souza, S. G. X.; Melo, A. M. C.; Neves, E. L.; Teixeira, A. (2005). As abelhas sem ferrão (Apidae: Meliponina) residentes no campus Federação/Ondina da Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil. *Cadombá*, 1(1): 57-69.
- Taura, H. M.; Laroca, S. (1991). Abelhas altamente sociais (Apidae) de uma área restrita em Curitiba (Brasil): Distribuição dos ninhos e abundância relativa. *Acta Biológica Paranaense*, 20(1-4): 85-101.
- Nações Unidas, Departamento de Assuntos Econômicos e Sociais, Divisão de População (2019). *Perspectivas de Urbanização Mundial 2018: Destaques* (ST/ESA/SER.A/421). 38p.
- Valadares, E. F.; Carvalho, A. T.; Martins, C. F. (2021). Nest density, spatial distribution, and bionomy of *Trigona spinipes* (Apidae: Meliponini). *Journal of Apicultural Research*, 1-12.
- Van Veen, J. W.; Sommeijer, M. J. (2000). Colony reproduction in *Tetragonisca angustula* (Apidae, Meliponini). *Insectes Sociaux*, 47: 70–75.
- Vergara B. C.; Villa L. A.; Nates P. G. (1986). Nidificación de meliponinos (Hymenoptera: Apidae) de la Región Central de Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 34(2): 181–184.

- Vieira, K. M.; Netto, P.; Amaral, D. L. A. S.; Mendes, S. S.; Castro, L. C.; Prezoto, F. (2016). Nesting stingless bees in urban areas: a reevaluation after eight years. *Sociobiology*, 63(3): 976–981.
- Wenzel, A.; Grass, I.; Belavadi, V. V.; Tschardtke, T. (2020). How urbanization is driving pollinator diversity and pollination – A systematic review. *Biological Conservation*, 241: 108321.
- Zanne, A.; Lopez-Gonzalez, G.; Coomes, D.; Ilic, J.; Jansen, S.; Lewis, S.; Miller, R.; Swenson, N.; Wiemann, M.; Chave, J. (2009). *Global Wood Density Database*. Dryad Digital Repository.

## **CAPÍTULO III: DIVERSIDADE GENÉTICA DE COLÔNIAS DE *Nannotrigona testaceicornis* (APIDAE: MELIPONINI) DE ÁREAS URBANAS**

### **RESUMO**

A retirada da vegetação, comum em áreas urbanas pode impedir que algumas espécies de ASF dispersem pela matriz urbana, deixando populações restritas a fragmentos como praças, bosques, jardins públicos e particulares. A baixa capacidade de dispersão associada à concentração de colônias em um mesmo habitat pode levar a diminuição na abundância dos indivíduos e à perda da diversidade genética, assim como o aumento da endogamia e da deriva genética. *Nannotrigona testaceicornis* (Lepeletier, 1836) é uma das espécies de abelha sem ferrão (ASF) que comumente ocorrem em áreas urbanas. Nessas áreas, os ninhos são encontrados em edificações, como muros e paredes, e em troncos de árvores, às vezes formando "agregações". Em um cenário mundial onde populações de abelhas estão em declínio, sendo a urbanização uma das causas atribuídas a este fato, ainda são escassos os estudos genéticos envolvendo populações de abelhas sem ferrão em áreas urbanas. Assim, o presente estudo teve como objetivos investigar: 1) a diversidade genética e estrutura populacional de *N. testaceicornis* habitando áreas urbanas; 2) as possíveis relações de parentesco entre as colônias desta espécie formando agregações em um mesmo substrato. Para tanto, operárias de *N. testaceicornis*, amostradas em colônias (N = 3 a 12) de seis áreas urbanas foram genotipadas em sete locos microssatélites. Apesar dos resultados precisarem de aprofundamento, observamos estruturação genética, baixa riqueza alélica e um grande número de alelos compartilhados indicando tratar de uma mesma população e que apesar da urbanização ainda ocorre fluxo gênico. Assim, consideramos que a conservação de algumas espécies de abelhas sem ferrão na área urbana é possível, mas recomendamos a criação de corredores ecológicos a fim de manter ou aumentar a conexão entre as áreas.

**Palavras-chave:** Microssatélite, agregações, Meliponini.

### **3.1 INTRODUÇÃO**

A urbanização está invariavelmente relacionada com redução e degradação de vegetação natural, produzindo um efeito negativo sobre as populações de algumas espécies de abelhas, mais vulneráveis às mudanças produzidas nesses locais, ao mesmo tempo que beneficia outras (Wilson e Jamieson, 2019). De fato, resultados obtidos em diversos estudos reforçam a ideia de que ambientes urbanos podem inclusive representar refúgios para algumas espécies de abelhas, que conseguem

explorar bem os recursos (ex. flores e locais para nidificação) disponíveis em tais ambientes (McFrederick e LeBun, 2006; Frankie *et al.*, 2009; Hall *et al.*, 2017; Theodorou *et al.*, 2020; Tavares-Brancher *et al.*, 2023). Por outro lado, o aumento de áreas impermeáveis, comuns em áreas urbanas, constitui um fator relevante para o declínio na riqueza de espécies de abelhas nestas áreas (Tavares-Brancher *et al.*, 2023).

Na região Neotropical, onde o avanço da urbanização sobre florestas nativas tem se perpetuado por décadas (DeFries *et al.*, 2010), a perda de habitats naturais representa uma séria ameaça a fauna nativa de abelhas, dentre as quais estão as abelhas eussocias da tribo Meliponini, conhecidas popularmente como abelhas sem ferrão (ASF). Esta tribo de Apidae reúne cerca de 600 espécies com distribuição Pantropical, com a maior diversidade do grupo ocorrendo nos neotrópicos (Grüter, 2020; Roubik, 2023), sendo o Brasil o país com o maior número de espécies da tribo, com mais de 240 espécies catalogadas (Pedro, 2014). As espécies conhecidas apresentam uma ampla gama de estilos de vida e adaptações ecológicas, exibindo hábitos de nidificação diversificados, podendo construir suas colônias subterrâneas, totalmente expostas, em termiteiros, no interior de troncos de árvores vivas ou secas ou em edificações produzidas pela atividade humana (Grüter, 2020; Roubik, 2023). No Brasil, do conjunto de espécies da tribo, algumas têm sido mais frequentemente encontradas em ambientes urbanos, a exemplo de *Trigona spinipes* (Fabricius, 1793), *Trigona hyalinata* (Lepelletier, 1836), *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811), *Nannotrigona testaceicornis* (Lepelletier, 1836), e *Plebeia droryana* (Friese, 1900) entre outras, onde são capazes de nidificar em muros, paredes e outros tipos de edificações (Taura e Laroca, 2001; Aidar *et al.*, 2013; Araújo *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2016; Vieira *et al.*, 2016). A capacidade de ocupar com sucesso ambientes urbanos tem sido atribuída ao hábito generalista espécies deste grupo capaz de explorar uma gama diversa de plantas nativas e exóticas presentes em parques e jardins urbanos (Cortiopassi-Laurino *et al.*, 1988; Zotarelli *et al.*, 2014).

A tribo inclui abelhas de tamanho relativamente pequeno, variando de cerca de 2 a 15 mm, que formam colônias perenes, que variam de poucas dezenas até muitos milhares de indivíduos, dependendo da espécie (Michener, 2007; Roubik, 2023). Em

Meliponini, assim como em outros grupos de abelhas, o tamanho corpóreo é um fator limitante para a capacidade de dispersão, ou seja, a capacidade de voo mostrou uma relação direta com o tamanho do corpo e das asas (Araújo *et al.*, 2004).

A reprodução se dá a partir da fundação de uma nova colônia de forma gradativa, dependendo da espécie pode demorar de duas semanas a seis meses para que a nova colônia se torne independente da colônia antiga (Van-Veen e Sommeijer, 2000). Isso porque a mão de obra, material utilizado para preparar a cavidade para fundação da nova colônia e os recursos alimentares iniciais são trazidos da antiga colônia pelas operárias, que transitam entre uma colônia e outra. Esse comportamento resulta em um padrão de distribuição agregado, já que para facilitar esse trabalho as novas colônias são fundadas a cerca de 300 m de distância da colônia mãe (Grünter, 2020). A fundação da nova colônia demanda de 10% a 30% das operárias da antiga colônia, que junto com a rainha virgem passam a ocupar a nova colônia. Cerca de duas semanas após ocupação da nova colônia, a rainha virgem sai para acasalar com um único macho, em geral são monândricas, mas existem casos de poliandria citados na literatura (Imperatriz-Fonseca *et al.*, 1998). A distância exata desse voo nupcial ainda é desconhecida, mas baseado na distância intertegular é estimado ente 420 e 966 m (Bueno *et al.*, 2023). Durante a cópula a rainha armazena o material genético do macho na espermateca o que distende seu abdome (fisogastria). Ao retornar para colônia inicia a oviposição de ovos diploides para fêmeas e haploides para machos.

O batimento das asas durante a oviposição provoca o desgaste das asas, esse fator associado ao abdome fisogástrico limitam a capacidade de voo da rainha, que fica impossibilitada de abandonar a colônia em situação desfavorável, como por exemplo, quando a colônia está ameaçada por predadores ou quando ocorre a retirada da vegetação que deixa a área sem recursos para manutenção da colônia ou local para novas colônias. Como a retirada da vegetação é comum em áreas urbanas as populações de ASF ficam potencialmente impedidas de dispersar pela matriz urbana, restritas a fragmentos como praças, bosques, jardins públicos e particulares. A baixa capacidade de dispersão associada à concentração de colônias em um mesmo habitat torna as ASF mais suscetíveis aos distúrbios ambientais (Quezada-Euán *et al.*, 2012), leva ao isolamento e à subdivisão das populações que podem apresentar uma

diminuição na abundância dos indivíduos e na diversidade genética, assim como o aumento da endogamia e da deriva genética (Clegg e Phillimore, 2010).

A diminuição na diversidade genética implica na perda da capacidade adaptativa das espécies, um menor número de alelos nos genótipos deixa a população mais vulnerável, uma vez que diminui as chances de a população ter um alelo capaz de resistir às mudanças sazonais e temporais no ambiente (Sodré *et al.*, 2002). Em populações pequenas e isoladas em fragmentos o cruzamento entre parentes próximos e a perda de diversidade genética são inevitáveis, resultando em um aumento nos níveis de homozigose e na exposição de alelos recessivos prejudiciais. A curto prazo, isso reduz a reprodução e a sobrevivência, e a longo prazo, diminui a capacidade das populações de evoluir em resposta às mudanças ambientais, aumentando o risco de extinção (Frankham *et al.*, 2002).

Até o momento são raros os estudos abordando aspectos genéticos de espécies de Meliponini em ambientes urbanos (Fonseca *et al.*, 2017; May-Itzá *et al.*, 2021). Assim, questões como: Qual a diversidade genética das colônias encontradas na área urbana? b) Agrupamentos de colônias encontrados em unidades amostrais com maior abundância e riqueza de árvores apresentam maior diversidade genética? c) A matriz urbana permite que haja fluxo gênico ou as populações estão isoladas? d) colônias encontradas nas mesmas árvores são aparentadas? permanecem ainda a espera de maiores estudos para serem respondidas.

A espécie *Nannotrigona testaceicornis* apresenta ampla distribuição ao longo do bioma Mata Atlântica (Camargo *et al.* 2023) e são encontradas com frequência em áreas urbanas (Taura e Laroca, 2001; Fonseca *et al.*, 2017). Um hábito comum de *N. testaceicornis* é nidificar em agregações, com várias colônias em um mesmo substrato (Fonseca *et al.*, 2017). Esses últimos autores, detectaram um baixo número de alelos privados em agregações desta espécie. Com base nisto, o presente estudo teve como objetivos investigar: 1) a diversidade genética e estrutura populacional de *N. testaceicornis* habitando áreas urbanas; 2) as possíveis relações de parentesco entre as colônias desta espécie formando agregações em um mesmo substrato.

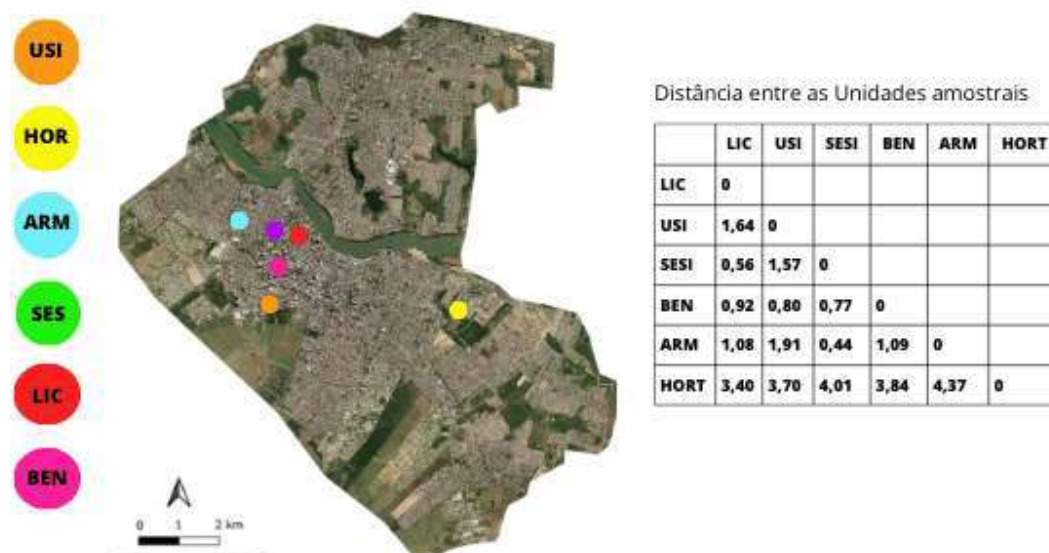
### 3.2 METODOLOGIA

### 3.2.1 Espécie estudada

*Nannotrigona testaceicornis* é uma espécie de abelha sem ferrão popularmente conhecida como Iraí, mede cerca de 4 mm e vive em colônias perenes com cerca de 2500 indivíduos. Essa espécie pode construir suas colônias em cavidades de árvores, paredes e muros, ou ainda sob o solo ou em associação com formigas e cupins (Fonseca *et al.*, 2017). Possui um raio de voo de cerca de 950 m (Araújo *et al.*, 2004). Tem uma ampla distribuição no Brasil, sendo encontrada nos estados da Bahia, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, em áreas inseridas no bioma Mata Atlântica (Camargo *et al.*, 2023).

### 3.2.2 Área de estudo e amostragem de abelhas

As coletas foram realizadas em 6 áreas (unidades amostrais) distribuídas no perímetro urbano da cidade de Campos dos Goytacazes (Figura 3.1), estado do Rio de Janeiro, região inserida no bioma Mata Atlântica. As colônias de *N. testaceicornis* utilizadas para esta análise foram encontradas durante o levantamento descrito no capítulo 2 desta tese. Cada unidade amostral (UA) era composta por uma área verde (praça, bosque ou jardim) mais quatro transectos de 300 m saindo das áreas verdes, sempre que possível em direções opostas. Todas as construções como muros, paredes, postes e árvores dentro das UA foram vistoriadas. Como medida de qualidade ambiental para sobrevivência de ASF, contamos, identificamos, registramos a localização e medimos o DAP de todas as árvores encontradas dentro das UA com DAP acima de 30 cm. Amostras de dez operárias de cada colônia foram retiradas de 42 colônias de *N. testaceicornis*. As operárias de cada colônia foram coletadas com rede entomológica, armazenadas em álcool absoluto e levadas para o laboratório de Genética e Ecologia Animal (LAGEA) do Departamento de Biologia Geral, da Universidade Estadual de Londrina, onde foram realizadas as análises moleculares.



**Figura 3.1.** Localização e distância entre as unidades amostrais onde foram encontradas as populações de *N. testaceicornis* na área urbana de Campos dos Goytacazes (ao centro). Imagem de satélite a 366m (Google Earth Pro).

### 3.2.3 Extração do DNA

Para extração do DNA retiramos uma das pernas do 2º par, de 10 abelhas da mesma colônia. Deste conjunto foi feito um *pool* e, assim, cada colônia foi considerada uma amostra (ou indivíduo). Após a retirada as pernas foram lavadas em álcool 70% para remoção de contaminantes e em seguida dilaceradas com a ajuda de uma pequena tesoura para facilitar a ação do Chelex e da proteinase K. O protocolo utilizado foi o de extração do DNA com Chelex para amostras normais (Walsh *et al.*, 2013) com modificações, conforme descrito a seguir: adição de 60 µl 5% Chelex (InstaGene™ Matrix, BioRad) com acréscimo de 3 µl de proteinase K nas amostras. As amostras foram colocadas no termociclador por duas horas a 63° C e depois por 5 minutos a 95°C para inativação da proteinase K. Depois desta etapa o material foi



centrifugado por 1 min a 9 mil rpm para separar o DNA do líquido do Chelex e do resto das pernas.

O produto da extração foi ressuspenso em 50  $\mu$ L de TE (10 mM Tris, 1 mM EDTA, pH 8,0) e armazenado a  $-20^{\circ}\text{C}$ . A concentração do DNA foi determinada a partir de espectrofotometria utilizando o quantificador NanoDrop 2000c UV-Vis (Thermo Science) e, posteriormente, diluídas em água ultrapura na concentração de 5ng/ $\mu$ L.

### 3.2.4 Obtenção dos marcadores microssatélites: seleção de *primers*, amplificação e genotipagem

Para as amplificações dos locos microssatélites foram selecionados sete pares de *primers* polimórficos (Nets37, Nets09, Nets41, Nets59, Mbi259, Prem 83, Prem 87), sendo os três últimos heterólogos para esta espécie, descritos por diferentes autores (Francisco, 2002; Oliveira *et al.*, 2006; Francisco *et al.*, 2011). Nas reações de amplificação foi utilizado o protocolo de Penha *et al.* (2015), com pequenas modificações. As amplificações foram realizadas em volume final de 10  $\mu$ L contendo 2  $\mu$ L da amostra de DNA a 8  $\mu$ L de reagente composto por (5  $\mu$ L) 1X GoTaq Green Master Mix (Promega), 0,2  $\mu$ L de glicerol, 0,25  $\mu$ L de *primer* M13 marcado com fluorescência (Schuelke 2000) (FAM, HEX, NED ou PET, ), 0,125  $\mu$ M de *primer Reverse*, 0,0125  $\mu$ M de *primer Forward* e água ultrapura para completar o volume final. A reação foi conduzida em termociclador (PTC-100, MJ Research, Inc.) com desnaturação inicial a  $94^{\circ}\text{C}$  por 5 min, seguida de 10 ciclos que por sua vez consistem em três etapas: desnaturação a  $94^{\circ}\text{C}$  por 30 s, anelamento definido para cada *primer* por 1 min e extensão a  $72^{\circ}\text{C}$  por 1 min, seguida por mais 25 ciclos de três etapas:  $89^{\circ}\text{C}$  por 30 s, anelamento por 1 min e extensão a  $72^{\circ}\text{C}$  por 1 min, seguida por uma extensão final a  $72^{\circ}\text{C}$  por 30 min. Posteriormente, os produtos da PCR foram submetidos à eletroforese capilar em sequenciador automático ABI-PRISM 3500 xL (Applied Biosystems).

### 3.2.5 Análises genéticas

Para análises dos locos microssatélites, inicialmente foi utilizado o programa Genemake 2.2.1 (Van Oosterhout *et al.*, 2004), para testar a eventual presença de alelos nulos ou outros erros de genotipagem, como alelos *dropout* e erros de leitura em virtude de picos *stutter*.

Em seguida utilizamos GenAlex v. 6.2 (Peakall e Smouse, 2006), para calcular a quantidade de alelos ( $A$ ), a média de alelos por loco ( $NA$ ), número de alelos efetivos ( $NE$ ) número de alelos privados ( $NP$ ), heterozigosidade observada ( $HO$ ) e heterozigosidade esperada ( $HE$ ). A riqueza alélica ( $RA$ ) e o coeficiente de endogamia ( $F_{IS}$ ) por população e por loco foram estimadas utilizando Fstat v2.9.3 (Goudet, 2001).

O *software* GenAIEx 6.5 também foi utilizado para calcular os índices de estruturação genética par-a-par e a estatística  $F$  (Wright, 1951), que por meio da análise de variância molecular (AMOVA) (Excoffier *et al.*, 1992), estima a variância genética dentro e entre populações ( $F_{ST}$ ). A significância do  $F_{ST}$  foi estimada através de 1000 aleatorizações e foram considerados significativos valores de  $P < 0,05$ . O teste de Mantel (1000 permutações) foi utilizado para estimar a existência de possíveis correlações entre distância geográfica (km) e os valores de distância genética ( $\Phi_{ST}$ ) com valores significativos de  $P < 0,05$ .

O programa Genepop v.1.2 (Raymond e Rousset, 1995), foi utilizado para testar o Equilíbrio de Hardy-Weinberg e o teste “U” (déficit ou excesso de heterozigoto) e entre os pares de locos, a correção sequencial de Bonferroni (Rice, 1989) foi posteriormente utilizada para ajustar a significância (valor de  $P$ ). As análises de similaridade foram calculadas utilizando-se o índice de Bray-Curtis no programa Past versão 2.14 assumindo nível de significância de 95% (Hammer *et al.*, 2001).

### 3.3 RESULTADOS

#### 3.3.1 Diversidade genética

Para o conjunto de 42 colônias analisadas, foram detectados 34 alelos, que variaram de 1 a 32 por loco e de 13 a 27 alelos por colônia amostrada (Tabela 3.1). A riqueza alélica ( $R_A$ ) variou de 1,848 a 2,448, com média de 2,166 alelos. O número

médio de alelos ( $N_A$ ) variou de 1,857 a 3,857. O número médio de alelos efetivos ( $N_E$ ) variou de 1,724 a 2,533 e o de alelos privados ( $N_P$ ) de 0 a 2. A heterozigosidade esperada ( $H_E$ ) variou de 0,349 a 0,531, com um valor médio de 0,464; a heterozigosidade observada ( $H_O$ ) variou de 0,429 a 0,748, e média de 0,608 (Tabela 3.1). Para todas as amostras a heterozigosidade observada foi maior que a esperada. Os valores de  $F_{IS}$  encontrados não foram estatisticamente significativos. A Tabela com os valores obtidos de diversidade genética para cada loco analisado encontra-se no Apêndices (Tabela S1).

**Tabela 3.1.** Diversidade genética das populações da espécie de Meliponini *Nannotrigona testaceicornis* encontradas na área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ obtida a partir de marcadores microsatélites.  $N$  – Número de indivíduos analisados,  $A$  – número total de alelos,  $R_A$  – riqueza alélica,  $N_A$  – número médio de alelos,  $N_E$  – número de alelos efetivos,  $N_P$  – alelos privados,  $H_E$  – heterozigosidade esperada,  $H_O$  – heterozigosidade observada,  $F_{IS}$  – índice de endogamia.

Microsatélites									
UA	$N$	$A$	$R_A$	$N_A$	$N_E$	$N_P$	$H_E$	$H_O$	$F_{IS}$
LIC	12	27	2,238	3,857	2,533	0	0,531	0,652	-0,345
USI	12	22	2,081	3,143	2,265	1	0,491	0,640	-0,399
SES	7	22	2,202	3,143	2,371	2	0,521	0,748	-0,418
BEN	3	19	2,448	2,714	2,450	2	0,474	0,667	-0,200
ARM	3	13	1,848	1,857	1,724	0	0,349	0,429	-0,333
HOR	5	20	2,045	2,857	2,150	2	0,415	0,514	-0,090
<b>Total</b>	42	34	2,166	2,929	2,249		0,464	0,608	-0,297

### 3.3.2 Frequências alélicas

Todos os locos analisados foram polimórficos. Os locos com maior número de alelos foram Nets 09 e Prem 87, ambos com oito alelos cada. O alelo 182 do loco Nets 37 foi o que apresentou a maior frequência em todas as populações (Tabela 2). A Tabela S2 traz a ocorrência dos alelos nas diferentes amostras, destacando suas incidências nas agregações.

Dos sete locos analisados, observou-se que em três (Nets 37, Nests 41 e Mbi 259), um alelo de cada um desses foi compartilhado por 100% das amostras. Outro alelo com ocorrência frequente foi o 223 (loco Nets 59), sendo compartilhado pela maioria das colônias (= indivíduos) amostradas (Tabela 3.2).

**Tabela 3.2.** Conjunto de alelos para os sete locos microssatélites de *Nannotrigona testaceicornis* e suas frequências nas diferentes amostras analisadas (LIC, USI, SES, BEN, ARM e HOR), coletadas em colônias desta espécie em seis áreas urbanas no município de Campos dos Goytacazes, estado do Rio de Janeiro.

<b>Loco</b>	<b>Alelos</b>	<b>LIC</b>	<b>USI</b>	<b>SES</b>	<b>BEN</b>	<b>ARM</b>	<b>HOR</b>
<b>Nets 37</b>	<b>174</b>	0.042	0.083	0.143	0.000	0.000	0.000
	<b>182</b>	0.958	0.917	0.857	1.000	1.000	0.800
	<b>184</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200
<b>Nets 09</b>	<b>134</b>	0.000	0.000	0.000	0.250	0.000	0.000
	<b>136</b>	0.167	0.455	0.167	0.000	0.000	0.400
	<b>142</b>	0.111	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000
	<b>144</b>	0.111	0.182	0.250	0.250	0.250	0.100
	<b>146</b>	0.444	0.318	0.500	0.250	0.750	0.200
	<b>148</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.200
	<b>150</b>	0.167	0.000	0.000	0.250	0.000	0.100
	<b>154</b>	0.000	0.000	0.083	0.000	0.000	0.000
<b>Nets 41</b>	<b>203</b>	0.708	0.750	0.643	0.833	1.000	1.000
	<b>205</b>	0.083	0.250	0.214	0.167	0.000	0.000
	<b>207</b>	0.208	0.000	0.143	0.000	0.000	0.000
<b>Nets 59</b>	<b>221</b>	0.150	0.136	0.167	0.250	0.500	0.100
	<b>223</b>	0.600	0.773	0.667	0.500	0.500	0.800
	<b>225</b>	0.000	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000
	<b>227</b>	0.050	0.045	0.000	0.250	0.000	0.100
	<b>229</b>	0.200	0.000	0.167	0.000	0.000	0.000
<b>Mbi 259</b>	<b>200</b>	0.375	0.375	0.429	0.333	0.333	0.100
	<b>203</b>	0.042	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000
	<b>209</b>	0.583	0.583	0.571	0.667	0.667	0.900
<b>Prem 83</b>	<b>197</b>	0.100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.400
	<b>199</b>	0.050	0.167	0.000	0.000	0.000	0.200
	<b>201</b>	0.500	0.500	0.643	0.667	0.500	0.300
	<b>205</b>	0.350	0.333	0.357	0.333	0.500	0.100
<b>Prem 87</b>	<b>135</b>	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.250
	<b>136</b>	0.000	0.000	0.083	0.000	0.000	0.000
	<b>137</b>	0.318	0.273	0.250	0.000	0.000	0.500
	<b>139</b>	0.091	0.273	0.083	0.333	0.500	0.000
	<b>141</b>	0.273	0.273	0.333	0.167	0.250	0.000
	<b>145</b>	0.045	0.000	0.083	0.167	0.000	0.000
	<b>147</b>	0.227	0.182	0.167	0.167	0.250	0.250
<b>155</b>	0.000	0.000	0.000	0.167	0.000	0.000	
<b>% Locos Polimórficos</b>		100%	100%	100%	86%	72%	86%

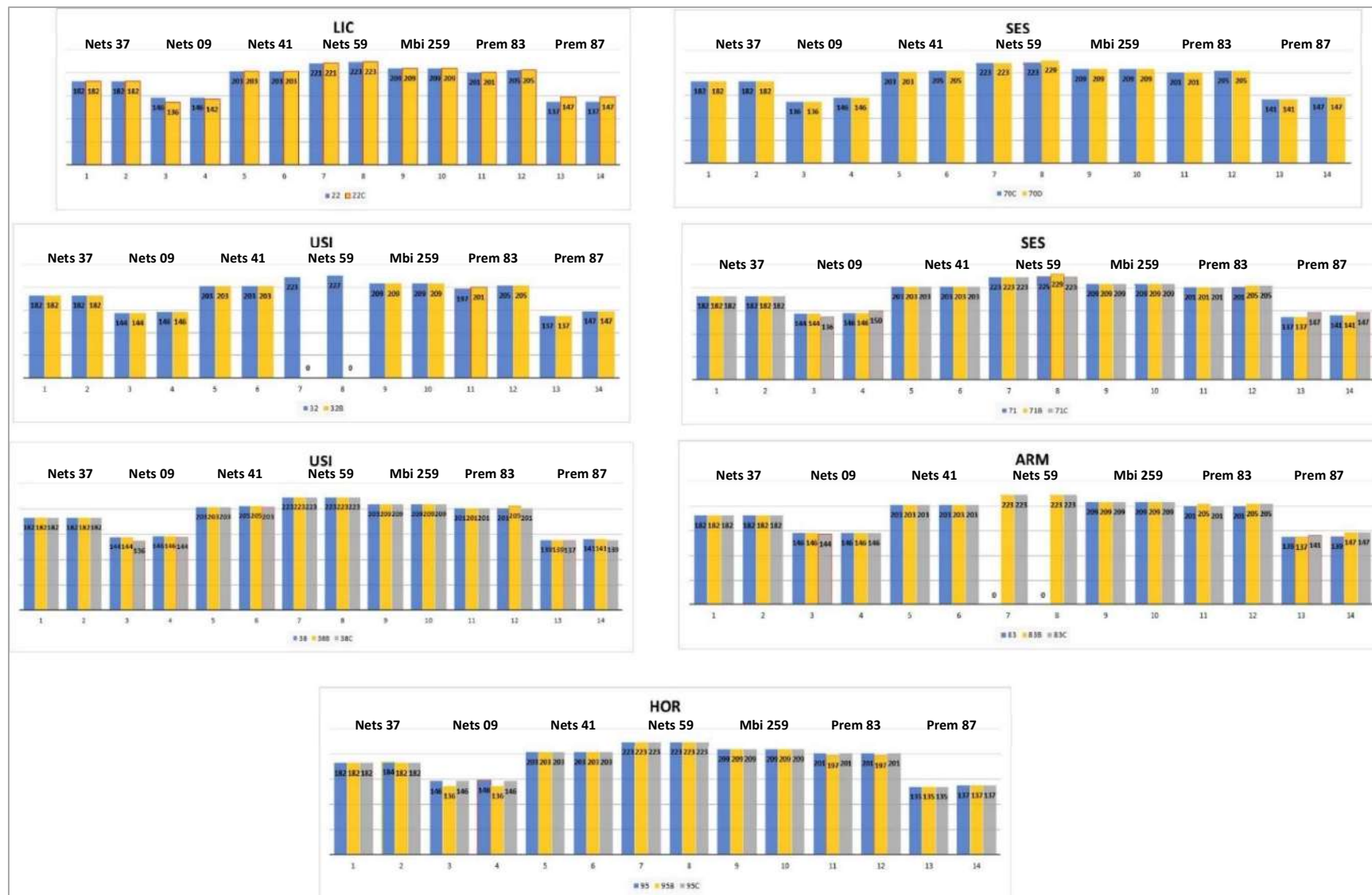
A análise de variância molecular (AMOVA) mostrou que a variância genética global ( $F_{ST} = 0,010$ ) não foi significativa, com 99% da variação distribuída dentro das amostras e 1% apenas entre estas (Tabela S3). Não foi encontrada relação entre distância genética e distância geográfica das populações ( $R^2 = 0,6328$ ;  $P = 0,800$ ) (Figura S1).

### 3.3.3 Análise genética das agregações

Das 42 colônias de *N. testaceicornis* 18 estavam em agregações, ou seja, mais de uma colônia ocupava o mesmo substrato; três destas agregações continham, cada uma, duas colônias, totalizando seis colônias, enquanto quatro agregações foram constituídas por três colônias cada (somando 12 no total). Essas agregações apresentaram 70% de seus locos em homozigose e compartilharam diversos alelos (Tabela S2 e Figura 3.2). As agregações encontradas foram as seguintes: LIC (colônias 22 e 22C); USI (colônias 32 e 32B; 38, 38B e 38C); SES (colônias 70 e 70D; 71, 71B e 71C); ARM (83, 83B e 83C) e HOR (95, 95B e 95C).

A Figura 3.2 ilustra uma tendência clara de compartilhamento da maioria dos alelos dentro de cada agregação, e mesmo entre as agregações, mas em menor grau neste último caso. : 1) Na agregação de LIC (colônia 22 e 22C), alelos distintos entre as duas colônias foram encontrados apenas para os locos Nets 09 e Prem 87; para os demais locos a coincidência de alelos foi completa; 2) Nas duas colônias em agregação de USI (colônias 32 e 32B) foi encontrado um resultado bastante similar ao detectado em LIC, ou seja, se desconsideramos o loco Nets 59, que mostrou falha na amplificação para uma das amostras, apenas o alelo 201 de Prem 83 diferiu entre as colônias. Este mesmo padrão de sobreposição (compartilhamento) nos alelos de cada loco, nas diferentes agregações, foi observado para as demais amostras analisadas.

Os índices de similaridade tanto entre as amostras de cada agregação, quanto entre as diferentes agregações se mostraram elevados, variando de cerca de 90% até 99,9% de similaridade. Os casos de menor similaridade envolveram amostras em que houve falhas na amplificação de algum loco, tendo sido atribuído o valor zero nestes casos (Tabela 3.3).



**Figura 3.2.** Conjuntos de alelos encontrados nas agregações de colônias de *Nannotrigona testaceicornis* em cinco áreas (LIC, USI, SES, ARM e HOR) na área urbana do município de Campos dos Goytacazes, estado do Rio de Janeiro. No eixo x são mostrados os pares alelos de microssatélites (ex. par 1 e 2; 3 e 4; 5 e 6 e, assim por diante) para cada loco (Nets 37, Nets 09, Nets 41, Nets 59, Mbi 259, Prem 83 e Prem 87) analisado nas agregações de dois (LIC, USI, SES e ARM) e três colônias (USI, SES e HOR). A presença do algarismo zero representa falha na amplificação.

**Tabela 3.3.** Índices de similaridade (Bray-Curtis) entre pares de amostras de uma mesma agregação (números iguais, letras diferentes) e entre agregações diferentes.

	22	22C	32	32B	38	38B	38C	70C	70D	71	71B	71C	83	83B	83C	95	95B	95C
22	1	0,99347909	0,99578383	0,90444258	0,99693016	0,99769939	0,99615089	0,9946319	0,99348908	0,99731286	0,99731698	0,99310873	0,90512175	0,99693721	0,99655304	0,99769585	0,99304482	0,99846272
22C	0,99347909	1	0,99387443	0,90246965	0,99348409	0,99425507	0,99500192	0,99731903	0,99617445	0,99309816	0,99310873	0,99808795	0,89979036	0,99426386	0,99617445	0,9911776	0,99189502	0,99193858
32	0,99578383	0,99387443	1	0,90506064	0,99578705	0,99655568	0,99423742	0,99579028	0,99617737	0,99693487	0,99770467	0,99426825	0,90155006	0,99732518	0,99770642	0,99425067	0,99190127	0,99501343
32B	0,90444258	0,90246965	0,90506064	1	0,90368509	0,90460251	0,90168067	0,90376569	0,90263268	0,90406368	0,90422417	0,90225564	0,99630314	0,90559733	0,90597576	0,90192791	0,89704641	0,90268456
38	0,99693016	0,99348409	0,99578705	0,90368509	1	0,99923372	0,99692308	0,99616858	0,99502488	0,99884925	0,99731903	0,99387911	0,90520134	0,99617445	0,99732109	0,99693016	0,99305019	0,99769585
38B	0,99769939	0,99425507	0,99655568	0,90460251	0,99923372	1	0,9961568	0,99693721	0,9957935	0,99808356	0,99808649	0,99464832	0,90444258	0,9969419	0,99808795	0,99616564	0,99228395	0,99693016
38C	0,99615089	0,99500192	0,99423742	0,90168067	0,99692308	0,9961568	1	0,9961568	0,9950096	0,99730666	0,99577411	0,99462778	0,90319865	0,99462778	0,9950096	0,99615089	0,99612703	0,99691834
70C	0,9946319	0,99731903	0,99579028	0,90376569	0,99616858	0,99693721	0,9961568	1	0,99885277	0,99501725	0,99502488	0,99770642	0,90108969	0,99617737	0,99808795	0,99309816	0,99228395	0,99386032
70D	0,99348908	0,99617445	0,99617737	0,90263268	0,99502488	0,9957935	0,9950096	0,99885277	1	0,99464012	0,99617737	0,99656357	0,89995814	0,99503627	0,99694423	0,9919571	0,9911368	0,99271752
71	0,99731286	0,99309816	0,99693487	0,90406368	0,99884925	0,99808356	0,99730666	0,99501725	0,99464012	1	0,99846743	0,99349407	0,90474192	0,99655568	0,99693721	0,99731286	0,99343376	0,99807914
71B	0,99731698	0,99310873	0,99770467	0,90422417	0,99731903	0,99808649	0,99577411	0,99502488	0,99617737	0,99846743	1	0,99350401	0,90322581	0,99656095	0,9969419	0,99578383	0,99190127	0,99654776
71C	0,99310873	0,99808795	0,99426825	0,90225564	0,99387911	0,99464832	0,99462778	0,99770642	0,99656357	0,99349407	0,99350401	1	0,89958159	0,99465649	0,99656357	0,99234303	0,99075501	0,99233716
83	0,90512175	0,89979036	0,90155006	0,99630314	0,90520134	0,90444258	0,90319865	0,90108969	0,89995814	0,90474192	0,90322581	0,89958159	1	0,90292887	0,90330682	0,90428212	0,89856298	0,90504202
83B	0,99693721	0,99426386	0,99732518	0,90559733	0,99617445	0,9969419	0,99462778	0,99617737	0,99503627	0,99655568	0,99656095	0,99465649	0,90292887	1	0,99809087	0,99540582	0,99075501	0,99616858
83C	0,99655304	0,99617445	0,99770642	0,90597576	0,99732109	0,99808795	0,9950096	0,99808795	0,99694423	0,99693721	0,9969419	0,99656357	0,90330682	0,99809087	1	0,99502106	0,9911368	0,99578383
95	0,99769585	0,9911776	0,99425067	0,90192791	0,99693016	0,99616564	0,99615089	0,99309816	0,9919571	0,99731286	0,99578383	0,99234303	0,90428212	0,99540582	0,99502106	1	0,99381762	0,99923136
95B	0,99304482	0,99189502	0,99190127	0,89704641	0,99305019	0,99228395	0,99612703	0,99228395	0,9911368	0,99343376	0,99190127	0,99075501	0,89856298	0,99075501	0,9911368	0,99381762	1	0,99458623
95C	0,99846272	0,99193858	0,99501343	0,90268456	0,99769585	0,99693016	0,99691834	0,99386032	0,99271752	0,99807914	0,99654776	0,99233716	0,90504202	0,99616858	0,99578383	0,99923136	0,99458623	1

### 3.4 DISCUSSÃO

De um modo geral, o conjunto de resultados do presente estudo revelou elevada similaridade no conjunto de alelos microssatélites obtidos para as 42 amostras obtidas nas colônias de *N. testaceicornis* das seis áreas urbanas onde as abelhas foram coletadas. Ao compararmos os alelos compartilhados nas agregações em um mesmo substrato, os resultados mostraram uma coincidência quase absoluta nos conjuntos de alelos compartilhados, indicando, muito provavelmente, um elevado grau de parentesco genético entre as colônias em um mesmo substrato.

Nossos resultados podem ser explicados, em parte, pelo hábito de, assim como outras espécies de Meliponini, *N. testaceicornis* fundar colônias novas a partir de colônias maternas que são utilizadas como fonte de recursos e materiais para construção das novas colônias (Nogueira-Neto, 1997). Além disto, o fato desta espécie construir colônias perenes, que tende a permanecer por muitos anos em um mesmo local (Roubik, 2023), as chances de encontrarmos em uma mesma área várias colônias apresentando parentesco genético alto parece ser bem elevada. A filopatria comum nessas abelhas (Inoue *et al.*, 1984; Vollet-Neto *et al.*, 2018.), decorrente do processo de nidificação dependente da colônia materna, somada à baixa capacidade de dispersão em abelhas da tribo Meliponini, um grupo que congrega predominantemente espécies de pequeno porte, a exemplo de *N. testaceicornis*, a limitação na dispersão dos indivíduos (Araújo *et al.* 2004) podem ser fatores que contribuíram para a similaridade genética alta encontrada entre as várias unidades amostrais (áreas de estudo). O tamanho do corpo reduzido tem sido apontado como um fator que limita a capacidade de voo e dispersão das espécies (Greenleaf, 2007). No caso de *N. testaceicornis* a capacidade de voo foi estimada em cerca de 950 m (Araújo *et al.*, 2004).

Merece destaque ainda, a similaridade genética conspicuamente elevada entre amostras de colônias agregadas. Neste caso, não se pode descartar que a retirada da vegetação comum em áreas urbanas limite a oferta de substratos disponíveis e represente um outro componente que contribui para a concentração de colônias aparentadas em um mesmo substrato (Fonseca *et al.*, 2017). Contudo, em relação à limitação no número de locais para nidificação, Taura e Laroca (1991) destacam que algumas espécies de abelhas silvestres, dentre as quais várias de abelhas sem ferrão,



podem ser favorecidas pelo aumento da oferta de substratos que podem ser usados por essas abelhas, como edificações humanas. No caso de *N. testaceicornis*, que exibe o hábito frequente de nidificar em cavidades como ocos de árvores, ou muros e paredes (Fonseca *et al.*, 2017), há vários estudos que reportam a incidência de colônias desta espécie em diferentes tipos de locais em ambientes urbanos (Taura e Laroca, 1991; Fonseca *et al.*, 2017), a manutenção do fluxo gênico encontrado indica que este não seja um fator tão limitante para esta espécie de abelha sem ferrão.

Todas as populações de *N. testaceicornis* apresentaram a heterozigosidade observada maior que a heterozigosidade esperada, indicando que não está havendo endogamia, já que o endocruzamento aumenta a proporção de homozigotos. Diversos fatores evolutivos podem estar interferindo na transmissão dos alelos entre as populações como mutações, fluxo gênico, aumentando a riqueza alélica ou ainda, a deriva genética pode estar atuando já que se trata de pequenas populações (Hinten *et al.*, 2003).

O número de alelos privados encontrados neste estudo foi baixo variando de 0 a 2 alelos. Assim, como observado por Fonseca *et al.* (2017). Tais resultados reforçam a presença de estruturação genética e nos levam a acreditar que se trata de uma única população, que com o passar do tempo, foi separada pela urbanização. De um modo geral, podemos dizer que a urbanização não afetou a estrutura genética para a maioria dos pares de amostras analisadas, não impedindo, aparentemente, o fluxo gênico. O fato de estarem separadas em ambientes (UA) distintos, não resultou em estruturação genética. Os machos cumprem importante papel como o sexo dispensor, já que abandonam a colônia após emergência, passando a viver na natureza sem vínculo com suas colônias de origem (Santos *et al.*, 2016). O potencial dispensor dos machos também foi observado para outros grupos de abelhas como Euglossini (Cerântola *et al.*, 2011; López-Urbe *et al.*, 2015).

A área (UA) com os menores índices de diversidade para *N. testaceicornis* (ARM) foi representada por uma população com apenas três colônias em uma mesma árvore. A composição alélica é bem semelhante o que indica tratar de uma colônia aparentada. Interessante ressaltar que a composição alélica desta agregação é muito semelhante a agregação BEN que fica a cerca de 1 km de distância. É possível que fizessem parte de uma mesma população ou mesmo que estariam mantendo fluxo gênico, uma vez que

esta distância está dentro dos limites da capacidade de dispersão desta espécie (Araújo *et al.*, 2016).

Em termos de conservação, embora, de um modo geral, os nossos resultados apontem para níveis aparentemente satisfatórios de diversidade genética nas seis amostras estudadas, com base no número reduzido de alelos em várias dessas amostras e a elevada similaridade na composição alélica das áreas, recomendamos o monitoramento em médio e longo prazo das populações de *N. testaceicornis* encontradas.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aidar, I. F.; Santos, A. O. R.; Bartelli, B. F.; Martins, G. A.; Nogueira-Ferreira, F. H. (2013). Nesting ecology of stingless bees (Hymenoptera, Meliponina) in urban areas: the importance of afforestation. *Bioscience Journal*, 29(5): 1361–1369.
- Araújo, E. D.; Costa, M.; Chaud-Netto, J.; Fowler, H. G. (2004). Body size and flight distance in stingless bees (Hymenoptera: Meliponini): inference of flight range and possible ecological implications. *Brazilian Journal of Biology*, 64(3B): 563–568.
- Araújo, G. J.; Antonini, Y.; Silva, L. S.; Faria-Mucci, G. M. (2016). Onde os mais adaptados permanecem: comunidade de abelhas sem ferrão (Hymenoptera: Apidae, Meliponini) em áreas urbanas do município de Ubá, Minas Gerais, Brasil. *EntomoBrasilis*, 9(3): 175–179.
- Bueno, F. G. B.; Santos, C. F.; Otesbelgue, A.; Menezes, C.; Van Veen, J.; Blochtein, B.; Alves, D. A. (2023). The queens of the stingless bees: from egg to adult. *Insectes Sociaux*, 70(1): 43-57.
- Camargo, J. M. F.; Pedro, S. R. M.; Melo, G. A. R. (2023). Meliponini Lepeletier, 1836. In Moure, J. S., Urban, D. & Melo, G. A. R. (Orgs). *Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region – versão online* Disponível em: <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>. Acesso em: 10 ago. 2023.
- Cerântola, N. C. M.; Oi, C. A.; Cervini, M.; Del Lama, M. A. (2011) Genetic differentiation of urban populations of *Euglossa cordata* from the state of São Paulo, Brazil. *Apidologie*: 42: 214–222.
- Clegg, S. M.; Phillimore, A. B. (2010). The influence of gene flow and drift on genetic and phenotypic divergence in two species of *Zosterops* in Vanuatu. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1543): 1077-1092.
- Cortopassi-Laurino, M.; Ramalho, M. (1988). Pollen harvest by Africanized *Apis mellifera* and *Trigona spinipes* in São Paulo botanical and ecological views. *Apidologie*, 19(1): 1-24.
- DeFries, R. S.; Rudel, T.; Uriarte, M.; Hansen, M. (2010). Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geoscience*, 3(3): 178-181.

- Excoffier, L.; Smouse, P.; Quattro, J. (1992). Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: Application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics*, 131: 479-491.
- Fonseca A. S.; Oliveira, E. J. F; Freitas, G. S.; Assis, A. F; Souza, C. C. M; Contel, E. P. B.; Soares, A. E. E. (2017). Genetic Diversity in *Nannotrigona testaceicornis* (Hymenoptera: Apidae) Aggregations in Southeastern Brazil. *Journal of Insect Science*, 17(1): 9.
- Francisco F.O. (2002) Diversidade Genética de populações de Abelhas sem ferrão *Plebeia remota*: análise do DNA mitocondrial e microssatélites, 30 MSc thesis, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São 31 Paulo, SP
- Francisco FO, Brito RM, Santiago LR, Gonçalves PHP, Pioker FC, Domingues-Yamada AMT and Arias MC (2011) Isolation and characterization of 15 microsatellite loci in the stingless bee *Plebeia remota* (Apidae, Meliponini). *Conserv Genet Resour* 3:417-419.
- Frankham, R.; Briscoe, D. A., Ballou, J. D. (2002). *Introduction to conservation genetics*. Cambridge University Press. 644p.
- Frankie, G. W.; Rizzardi, M.; Vinson, S. B.; Griswold, T. L. (2009). Decline in bee diversity and abundance from 1972-2004 on a flowering leguminous tree, *Andira inermis* in Costa Rica at the interface of disturbed dry forest and the urban environment. *ournal of the Kansas Entomological Society*, 82(1): 1–20.
- Goudet J. (2001). FSTAT, a program to estimate and test gene diversities and fixation indices (version 2.9.3).
- Greenleaf, S. S.; Williams, N. M.; Winfree, R.; Kremen, C. (2007). Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia*, 153: 589-596.
- Grüter, C. (2020). *Stingless Bees: Their behaviour, ecology and evolution*. Gewerbestrasse: Springer Nature Switzerland, 394p.
- 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.; Gunnarson, B.; Hanley, M. E.; Jackson, J. I.; Langellotto, G.; Lowenstein, D.; Minor, E. S.; Philpott, S. M.;

- Potts, S. G.; Sirohi, M. H.; Spevak, E. M.; Stone, G. N.; Threlfall, C. G. (2017). The city as a refuge for insect pollinators. *Conservation Biology*, 31(1): 24-29.
- Hammer, Q.; Harper, D.A.T & Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, 4(1): 9.
- Hinten, G.; Harriss, F.; Rossetto, M.; Braverstock, P. R. (2003). Genetic variation and island biogeography: microsatellite and mitochondrial DNA variation in island populations of the Australian bush rat, *Rattus fuscipes greyii*. *Conservation Genetics*, 4: 759-778.
- Imperatriz-Fonseca, V. L.; Matos, E. T.; Ferreira, F.; Velthuis, H. H. W. (1998). A case of multiple mating in stingless bees (Meliponinae). *Insectes sociaux*, 45: 231-233.
- Inoue, T., S. F. Sakagami, S. Salmah, and S. Yamane. 1984. The process of colony multiplication in the Sumatran stingless bee *Trigona (Tetragonula) laeviceps*. *Biotropica* 16: 100–111.
- López-Urbe, M. M.; Morreale, S. J.; Santiago, C. K.; Danforth, B. N. (2015). Nest suitability, fine-scale population structure and male-mediated dispersal of a solitary ground nesting bee in an urban landscape. *PloS one*, 10(5): e0125719.
- May-Itza, W. J.; Araújo-Freitas, C.; Paxton, R. J.; Moo-Valle, H.; Medina-Medina, L. A. Quezada-Euán, J. J. G. (2021). Stingless bees in urban areas: low body size and high frequency of diploid males at mating congregations of *Nannotrigona perilampoides* (Hymenoptera: Meliponini) in Mérida, Yucatán, México. *Apidologie*, 52: 755–766.
- McFrederick, Q. S.; LeBuhn, G. (2006). Are urban parks refuges for bumble bees *Bombus* spp. (Hymenoptera: Apidae)? *Biological Conservation*, 129(3): 372–382.
- Michener, C. D. (2007). *The Bees of the World*. 2.ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press. 953p.
- Nogueira-Neto, P. (1997). *Vida e criação de abelhas indígenas sem ferrão*. São Paulo: Editora Nogueirapis. 445p.

- Oliveira, E. J.; Pádua, J. G.; Zucchi, M. I.; Vencovsky, R.; Lúcia, M.; Vieira, C. (2006). Origin, evolution and genome distribution of microsatellites, *Genetics and Molecular Biology*, 29(2): 294-307.
- Peakall, R. O. D.; Smouse, P. E. (2006). GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research. *Molecular Ecology Notes*, 6(1): 288-295
- Pedro, S. R. M. (2014). The stingless bee fauna in Brazil (Hymenoptera: Apidae). *Sociobiology*, 61(4): 348–354.
- Penha, R. E., Gaglianone, M. C., Almeida, F. S., Boff, S. V., & Sofia, S. H. (2015). Mitochondrial DNA of *Euglossa iopoecila* (Apidae, Euglossini) reveals two distinct lineages for this orchid bee species endemic to the Atlantic Forest. *Apidologie*, 46(3), 346-358.
- Quezada-Euán, J. J. G.; May-Itzá, W. D. J.; Rincon, M.; De la Rua, P.; Paxton, R. J. (2012). Genetic and phenotypic differentiation in endemic *Scaptotrigona hellwegeri* (Apidae: Meliponini): implications for the conservation of stingless bee populations in contrasting environments. *Insect Conservation and Diversity*, 5(6): 433-443.
- Raymond, M.; Rousset, F. (1995). GENEPOP (version 1.2): population genetics software for exact tests and ecumenicism. *Journal of heredity*, 86: 248-249.
- Rice, W. R. (1989). Analyzing tables of statistical tests. *Evolution*, 43: 223-225.
- Roubik, R. W. (2023). Stingless Bee (Apidae: Apinae: Meliponini) *Ecology Annual Review of Entomology*, 68(1): 231-256.
- Santos, C. F.; Imperatriz-Fonseca, V. L.; Arias, M.C. (2016). Relatedness and dispersal distance of eusocial bee males on mating swarms. *Entomological Science*, 19: 245-254.
- Sodré, L. M. K.; Almeida, F. S.; Chiari, L. (2002). Estudos sobre a variabilidade genética de peixes do rio Tibagi através de marcadores moleculares. In: Medri, M. E.; Bianchine, E.; Shibatta, O. A.; Pimenta, O. A. (eds.) *A Bacia do Rio Tibagi*, Londrina, p. 531-550.

- Taura, H. M.; Laroça, S. (1991). Abelhas altamente sociais (Apidae) de uma área restrita em Curitiba (Brasil): Distribuição dos ninhos e abundância relativa. *Acta Biológica Paranaense*, 20: 85-101.
- Taura, H. M.; S. Laroça. (2001). A associação de abelhas silvestres de um biótopo urbano de Curitiba (Brasil), com comparações espaço-temporais: abundância relativa, fenologia, diversidade e exploração de recursos (Hymenoptera, Apoidea). *Acta Biológica Paranaens*, 30: 35-137.
- Tavares Brancher, K. P.; Graf, L. V.; Heringer, G.; Zenni, R. D. (2023). Urbanization and abundance of floral resources affect bee communities in medium-sized neotropical cities. *Austral Ecology*. 1-17.
- Theodorou, P.; Radzevi Ā, I. R.; Lentendu, G.; Kahnt, B.; Husemann, M.; Bleidorn, C.; Settele, J.; Schweiger, O.; Grosse, I.; Wubet, T.; Murray, T. E.; Paxton, R. J. (2020). Urban areas as hotspots for bees and pollination but not a panacea for all insects. *Nature communications*, 11(1): 576.
- Van Veen, J. W.; Sommeijer, M. J. (2000). Colony reproduction in *Tetragonisca angustula* (Apidae, Meliponini). *Insectes Sociaux*, 47: 70–75.
- Vieira, K. M.; Netto, P.; Amaral, D. L. A. S.; Mendes, S. S.; Castro, L. C.; Prezoto, F. (2016). Nesting stingless bees in urban areas: a reevaluation after eight years. *Sociobiology*, 63(3): 976–981.
- Vollet-Neto, A.; Koffler, S.; Dos Santos, C. F.; Menezes, C.; Nunes, F. M. F.; Hartfelder, K.; Alves, D. D. A. (2018). Recent advances in reproductive biology of stingless bees. *Insectes sociaux*, 65: 201-212.
- Walsh, P. S.; Metzger, D. A.; Higuchi, R. (2013). Chelex 100 as a medium for simple extraction of DNA for PCR-based typing from forensic material. *Biotechniques*, 10(4): 506-513.
- Wilson, C.; Jamieson, M. (2019). The effects of urbanization on bee communities depends on floral resource availability and bee functional traits. *PloS one*, 14(12): e0225852.
- Wright, S. (1951). The genetical structure of populations. *Annals of Human Genetics*, 15(1): 323-354.

Zotarelli, H. G. S.; Evans, D. M.; Bego, L. R.; Sofia, S. H. (2014). A Comparison of Social Bee–Plant Networks between Two Urban Areas. *Neotropical Entomology*, 43(5): 399–408.



## APÊNDICES

**APÊNDICE A - Tabela S1.** Diversidade genética por loco da espécie *Nannotrigona testaceicornis* de áreas urbanas em Campos dos Goytacazes/RJ obtida a partir de marcadores microssatélites. N – Número de indivíduos analisados,  $N_A$  – número médio de alelos,  $N_E$  – número de alelos efetivos,  $H_o$  – heterozigosidade observada  $H_E$  – heterozigosidade esperada,  $uH_E$  – heterozigosidade imparcial e  $F$  – índice de fixação.

UA		Nets 37	Nets 09	Nets 41	Nets 59	Mbi 259	Prem 83	Prem 87
<b>LIC</b>	N	12	9	12	10	12	10	11
	$N_A$	2	5	3	4	3	4	6
	$N_E$	1.087	3.600	1.811	2.353	2.072	2.597	4.172
	$H_o$	0.083	0.889	0.583	0.700	0.833	0.600	0.909
	$H_E$	0.080	0.722	0.448	0.575	0.517	0.615	0.760
	$uH_E$	0.083	0.765	0.467	0.605	0.540	0.647	0.797
	$F$	-0.043	-0.231	-0.302	-0.217	-0.611	0.024	-0.196
<b>USI</b>	N	12	11	12	11	12	9	11
	$N_A$	2	4	2	4	3	3	4
	$N_E$	1.180	2.916	1.600	1.613	2.072	2.571	3.903
	$H_o$	0.500	0.818	0.500	0.364	0.833	0.889	0.909
	$H_E$	0.153	0.657	0.375	0.380	0.517	0.611	0.744
	$uH_E$	0.159	0.688	0.391	0.398	0.540	0.647	0.779
	$F$	-2.273	-0.245	-0.333	0.043	-0.611	-0.455	-0.222
<b>SES</b>	N	7	6	7	6	7	7	6
	$N_A$	2	4	3	3	2	2	6
	$N_E$	1.324	2.880	2.085	2.000	1.960	1.849	4.500
	$H_o$	0.286	1.000	0.714	0.667	0.857	0.714	1.000
	$H_E$	0.245	0.653	0.520	0.500	0.490	0.459	0.778
	$uH_E$	0.264	0.712	0.560	0.545	0.527	0.495	0.848
	$F$	-0.167	-0.532	-0.373	-0.333	-0.750	-0.556	-0.286
<b>BEN</b>	N	3	2	3	2	3	3	3
	$N_A$	1	4	2	3	2	2	5
	$N_E$	1.000	4.000	1.385	2.667	1.800	1.800	4.500
	$H_o$	0.000	1.000	0.333	1.000	0.667	0.667	1.000
	$H_E$	0.000	0.750	0.278	0.625	0.444	0.444	0.778
	$uH_E$	0.000	1.000	0.333	0.833	0.533	0.533	0.933

	<i>F</i>	#N/D	-0.333	-0.200	-0.600	-0.500	-0.500	-0.286
<b>ARM</b>	N	3	2	3	2	3	3	2
	N <sub>A</sub>	1	2	1	2	2	2	3
	N <sub>E</sub>	1.000	1.600	1.000	2.000	1.800	2.000	2.667
	H <sub>O</sub>	0.000	0.500	0.000	1.000	0.667	0.333	0.500
	H <sub>E</sub>	0.000	0.375	0.000	0.500	0.444	0.500	0.625
	uH <sub>E</sub>	0.000	0.500	0.000	0.667	0.533	0.600	0.833
	<i>F</i>	#N/D	-0.333	#N/D	-1.000	-0.500	0.333	0.200
<b>HOR</b>	N	5	5	5	5	5	5	4
	N <sub>A</sub>	2	5	1	3	2	4	3
	N <sub>E</sub>	1.471	3.846	1.000	1.515	1.220	3.333	2.667
	H <sub>O</sub>	0.400	1.000	0.000	0.400	0.200	0.600	1.000
	H <sub>E</sub>	0.320	0.740	0.000	0.340	0.180	0.700	0.625
	uH <sub>E</sub>	0.356	0.822	0.000	0.378	0.200	0.778	0.714
	<i>F</i>	-0.250	-0.351	#N/D	-0.176	-0.111	0.143	-0.600

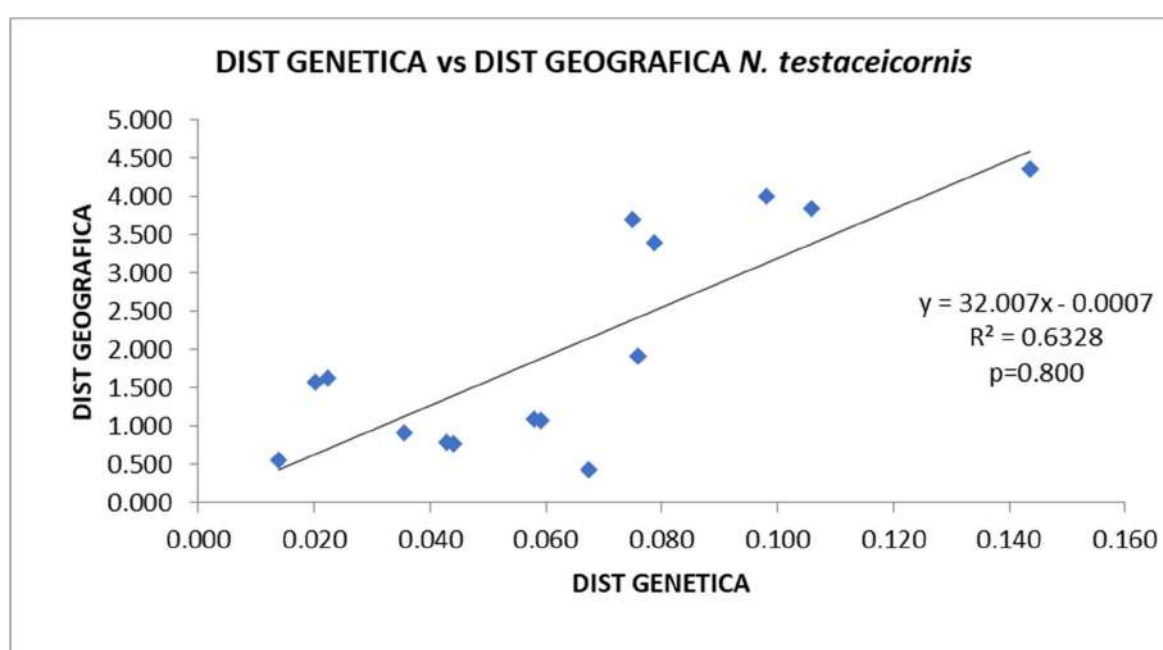
**APÊNDICE B - Tabela S2.** Ocorrência dos alelos nos diferentes locos das amostras de LIC, USI, SES, BEN, ARM e HOR, destacando suas incidências nas agregações de *N. testaceicornis*.

Código	Local	Nets37		Nets09		Nets41		Nets59		Mbi259		PREM 83
12	LIC	182	182	0	0	203	203	223	229	200	209	197
14	LIC	182	182	144	146	203	207	223	229	200	209	201
15C	LIC	182	182	0	0	203	203	221	223	209	209	205
16	LIC	182	182	144	146	203	207	223	227	209	209	201
22	LIC	182	182	146	150	203	205	0	0	209	209	201
22C	LIC	182	182	144	146	203	203	223	229	200	209	0
23	LIC	182	182	142	146	203	207	223	223	200	209	201
24C	LIC	182	182	142	146	203	207	221	223	200	209	201
26	LIC	174	182	136	146	203	205	227	229	200	209	201
28B	LIC	182	182	146	150	203	207	223	223	200	209	201
29	LIC	182	182	136	136	203	203	221	223	200	209	201
87	LIC	182	182	146	150	203	203	0	0	203	209	199
30	USI	182	182	136	146	203	205	221	223	200	209	201
32	USI	182	182	144	146	203	203	223	227	200	209	0
32B	USI	182	182	136	146	203	203	223	223	200	209	201
36	USI	182	182	136	146	203	203	221	223	200	209	199
38	USI	182	182	144	146	203	205	223	223	200	209	201
38B	USI	174	182	144	146	203	205	223	223	200	209	201
38C	USI	182	182	136	144	203	203	223	223	203	209	0
40	USI	174	182	136	142	203	205	221	225	200	209	201
41	USI	182	182	136	136	203	205	223	223	200	209	201
42	USI	182	182	136	136	203	203	223	223	200	209	0
90	USI	182	182	136	146	203	203	223	223	209	209	199
91	USI	182	182	0	0	203	205	0	0	209	209	199
70C	SES	182	182	136	146	203	205	223	223	200	209	201
70D	SES	174	182	136	146	203	205	223	229	200	209	201
71	SES	182	182	144	146	203	207	0	0	200	209	201
71B	SES	174	182	144	146	203	203	223	229	200	209	201
71C	SES	182	182	0	0	203	205	223	223	200	209	201
72	SES	182	182	146	154	203	203	221	223	209	209	201
73	SES	182	182	144	146	203	207	221	223	200	209	201
80	BEN	182	182	134	146	203	203	223	227	200	209	201
81	BEN	182	182	144	150	203	203	0	0	209	209	201
82	BEN	182	182	0	0	203	205	221	223	200	209	201
83	ARM	182	182	146	146	203	203	0	0	209	209	201
83B	ARM	182	182	144	146	203	203	221	223	200	209	205
83C	ARM	182	182	0	0	203	203	221	223	200	209	201
95	HOR	182	184	136	148	203	203	223	223	209	209	199
95B	HOR	182	184	136	148	203	203	221	223	209	209	197
95C	HOR	182	182	144	146	203	203	223	223	209	209	199
96	HOR	182	182	136	150	203	203	223	223	209	209	197
97	HOR	182	182	136	146	203	203	223	227	200	209	201

**APÊNDICE C - Tabela S3.** Análise da Variância Molecular (AMOVA) e variação genética ( $F_{ST}$ ) para as amostras de *Nannotrigona testaceicornis* nas seis Unidades amostrais estudadas, mostrando a porcentagem de variação entre e dentro de populações, obtida a partir de marcadores microsatélites.

Fonte de variação	GL	SQ	CV	% Variação	$F_{ST}$
Entre populações	5	10,976	0,020	1	
Dentro das populações	42	84,000	2,000	99	
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>94,976</b>	<b>2,020</b>		<b>0,010</b>

\*Grau de Liberdade (GL), Soma dos Quadrados (SQ), Componente de Variância (CV).  $P > 0,05$



**APÊNDICE D - Figura S1.** Relação entre distância genética e distância geográfica das populações de *Nannotrigona testaceicornis* (Meliponini) encontradas na área urbana de Campos dos Goytacazes/RJ.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese contribuiu para o maior conhecimento sobre a distribuição e comportamento de abelhas sem ferrão na área urbana da região Neotropical. Vimos que é possível que as abelhas compartilhem as cidades com os seres humanos, no entanto para que um maior número de espécies consiga sobreviver na área urbana é importante que ações mais sustentáveis sejam implementadas pelo poder público a fim de evitar os impactos negativos da urbanização. Além do poder público, a população em geral precisa tomar conhecimento da importância dessas abelhas para que esforços individuais somados às ações públicas facilitem a conservação das abelhas sem ferrão.

Observamos uma baixa equidade na produção científica sobre abelhas sem ferrão na região Neotropical. Diante da iminente expansão urbana prevista para as próximas décadas e as possíveis alterações nas comunidades de abelhas, ressaltamos a necessidade de um esforço conjunto dos diversos grupos de pesquisa da região, para que essas abelhas sejam estudadas nas áreas urbanas o mais rápido possível a fim de registrar a ocorrência das espécies, conhecer de que forma elas respondem à urbanização e aumentar as chances de conservar o maior número de espécies.

O capítulo dois evidenciou a importância da abundância de árvores para a conservação das abelhas sem ferrão na área urbana, vimos que as abelhas sem ferrão utilizam poucas espécies de árvores para nidificar e que a escolha da espécie de árvore parece ser uma escolha das espécies. O que sugere que não é só a presença de cavidade que é determinante para que as abelhas nidifiquem, talvez outros fatores influenciem a escolha. Baseadas nos nossos resultados indicamos algumas espécies de árvores que devem ser utilizadas na arborização urbana pela importância para comunidade de abelhas.

A análise genética precisa ser aprofundada, mas os resultados até aqui indicam que para *Nannotrigona testaceicornis* a urbanização não afetou a estrutura genética e que o fluxo genético ainda ocorre. No entanto é importante considerar que a espécie estudada é bem adaptada ao ambiente urbano e que a cidade estudada é uma cidade média com urbanização recente. Assim, é importante que novos estudos sejam feitos a fim de continuar monitorando os efeitos da urbanização sobre a estrutura genética das abelhas.