

**UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI**

**Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal**

**Cinthia Soares Novaes**

**VARIAÇÕES MORFOMÉTRICAS DE ABELHAS SOLITÁRIAS *Centris tarsata* E  
*Centris analis* (HYMENOPTERA, APIDAE, CENTRIDINI) EM REGIÕES DE  
CERRADO**

**Diamantina**

**2022**

**Cynthia Soares Novaes**

**VARIAÇÕES MORFOMÉTRICAS DE ABELHAS SOLITÁRIAS *Centris tarsata* E  
*Centris analis* (HYMENOPTERA, APIDAE, CENTRIDINI) EM REGIÕES DE  
CERRADO**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Biologia Animal.

Orientador: Profa. Dra. Anete Pedro Lourenço

**Diamantina**

**2022**

### Catálogo na fonte - Sisbi/UFVJM

N935 Novaes, Cinthia Soares  
2022 Variações morfométricas de abelhas solitárias *Centris tarsata* e *Centris analis* (Hymenoptera, Apidae, Centridini) em regiões de Cerrado [manuscrito] / Cinthia Soares Novaes. -- Diamantina, 2022.  
134 p.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Anete Pedro Lourenço.

Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) -- Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Diamantina, 2022.

1. Abelhas de cavidades. 2. Morfometria. 3. Alimentação larval. 4. Sazonalidade. 5. Abelhas solitárias. I. Lourenço, Anete Pedro. II. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFVJM com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Este produto é resultado do trabalho conjunto entre o bibliotecário Rodrigo Martins Cruz/CRB6-2886

e a equipe do setor Portal/Diretoria de Comunicação Social da UFVJM

CINTHIA SOARES NOVAES


**Variações morfométricas de abelhas solitárias *Centris tarsata* e *Centris analis* (Hymenoptera, Apidae, Centridini) em regiões de Cerrado**

Dissertação apresentada ao  
MESTRADO EM BIOLOGIA ANIMAL,  
nível de MESTRADO como parte dos  
requisitos para obtenção do título de  
MESTRA EM BIOLOGIA ANIMAL

Orientador (a): Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Anete Pedro  
Lourenço

Data da aprovação : 27/01/2022


Prof.Dr.<sup>ª</sup> ANETE PEDRO LOURENÇO - UFVJM

Documento assinado digitalmente  
 ANETE PEDRO LOURENÇO  
Data: 28/01/2022 08:22:34-0300  
Verifique em <https://verificador.it.br>

Dr. LÉO CORREIA DA ROCHA FILHO - UFU

Documento assinado digitalmente  
 LEO CORREIA DA ROCHA FILHO  
Data: 31/01/2022 08:24:20-0300  
Verifique em <https://verificador.it.br>

Prof.Dr. TIAGO MAURÍCIO FRANCOY - USP

Documento assinado digitalmente  
 TIAGO MAURICIO FRANCOY  
Data: 27/01/2022 13:41:58-0300  
Verifique em <https://verificador.it.br>

DIAMANTINA

Dedico aos meus pais e irmãos:  
Vocês são a minha base e as minhas asas.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais/FAPEMIG – Convênio 5310/15

Agradeço a Deus pela vida dos meus pais, Vanderley e Luzia, que mesmo sem entenderem os caminhos da vida acadêmica, me apoiaram e me deram condições para continuar estudando. Agradeço aos meus irmãos Karine e Kléberson pelo carinho e irmandade. Amo vocês.

Agradeço a minha orientadora Profa. Dra. Anete Pedro Lourenço, pela orientação, dedicação, conhecimento compartilhado e por tudo que me ensinou durante o mestrado.

Agradeço ao Rone por toda amizade, apoio e ajuda com gráficos, tabelas e formatação. Agradeço ainda aos amigos Verônica, Luiza, Paula, Alexsandro, Nathy, Kesley, Kelly e Izabela por todas as vezes que foram meu porto seguro. Agradeço também a Carol, a primeira a me incentivar a fazer o mestrado e aos seus familiares: Iza, Leninha e Sara, por toda ajuda e carinho.

Agradeço aos colegas do LEIA que dividiram comigo o dia a dia no laboratório: Larissa, Jardel, Mayra, Jaine, Fabi, Gisele, Gessyca e, principalmente a Gabi, que se tornou uma amiga e me ajudou em todos os momentos que precisei. Agradeço também a todos os outros colegas que passaram por esse laboratório e através de suas coletas, viabilizaram o meu trabalho.

Agradeço ao PPGBA e a todos os professores que fizeram parte do meu caminho. Agradeço aos técnicos dos laboratórios que me auxiliaram em alguns momentos da parte prática do meu trabalho: Daniel, Darliana, Samuel e Michele.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para este trabalho o meu sincero agradecimento.

## RESUMO

As abelhas solitárias *Centris tarsata* e *Centris analis* pertencem à tribo Centridini, são amplamente distribuídas pelo Brasil e são frequentes em levantamentos de abelhas que nidificam em cavidades pré-existentes, além de serem consideradas efetivas na polinização de sistemas naturais e agrícolas. As análises comparativas de populações de abelhas podem ser feitas com o estudo da caracterização da forma e o tamanho de seus corpos, e uma forma de avaliar essas variações é através da morfometria, tanto a morfometria tradicional, que utiliza medidas lineares de estruturas ou partes dos organismos, quanto a morfometria geométrica, que é baseada em marcos anatômicos. Apesar de existir uma base genética para a variação corporal dos indivíduos, essa variação pode ser influenciada por fatores como vegetação, bioma, sazonalidade e a alimentação das abelhas durante o estágio larval. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar, através da morfometria linear das cabeças e morfometria geométrica das asas, populações de abelhas solitárias *C. tarsata* e *C. analis*, em diferentes áreas de Cerrado, situadas na Cadeia do Espinhaço/MG. Além disso, objetivou-se estudar populações entre os anos de 2012 e 2019, assim como caracterizar os recursos polínicos consumidos pelos imaturos. No capítulo 1, foram utilizadas abelhas *C. tarsata* e *C. analis* coletadas de ninhos-armadilha de cinco áreas diferentes: duas áreas dentro do Campus JK da UFVJM e três áreas protegidas dentro de Parques Estaduais. Para as análises morfométricas, foram utilizados fêmeas e machos de *C. tarsata* e *C. analis*. Para análise do material polínico foram utilizados 50 ninhos de *C. tarsata* e 28 ninhos de *C. analis*. Observamos que as populações de *C. tarsata* apresentaram diferenças morfométricas entre as áreas e a diversidade polínica na alimentação larval dessas abelhas parece interferir no maior tamanho corporal. No entanto, as populações de *C. analis* apresentaram muito pouca ou nenhuma variação entre as diferentes áreas, o que nos leva a acreditar que essas abelhas possuem menor modificação morfológica entre locais distintos, muito provavelmente por terem uma alimentação polínica mais constante baseada em Malpighiaceae. No capítulo 2, analisamos populações de abelhas em diferentes anos, e para isso, foram utilizadas abelhas de ninhos-armadilha de *C. tarsata* coletados dentro do Campus JK entre os anos de 2013 e 2019, e de *C. analis* coletados no Parque Estadual do Rio Preto, entre 2012 e 2013, sendo 226 abelhas *C. tarsata* (103 fêmeas e 123 machos) e 169 abelhas *C. analis* (61 fêmeas e 108 machos). Para análise do material polínico foram utilizados 43 ninhos de *C. tarsata* e 11 ninhos de *C. analis*. As populações de *C. tarsata* apresentaram pouca diferença entre os anos, e as abelhas de 2012

de *C. analis* foram maiores. Observamos que fatores como a sazonalidade (precipitação e temperatura) não interfere na morfologia corporal das abelhas *C. tarsata* e *C. analis* entre os anos analisados. Porém, a diferença no tamanho corporal de *C. analis* está diretamente relacionada à diversidade polínica na alimentação dos imaturos, que se mostra um fator muito importante para morfologia corporal dessas abelhas.

**Palavras chave:** Abelhas de cavidades. Morfometria. Alimentação larval. Sazonalidade.



## ABSTRACT

The solitary bees *Centris tarsata* and *Centris analis* belong to the tribe Centridini, are widely distributed throughout Brazil and are frequent in surveys of bees that nest in pre-existing cavities, in addition to being considered effective in the pollination of natural and agricultural systems. Comparative analyzes of bee populations can be done by studying the characterization of the shape and size of their bodies, and one way to assess these variations is through morphometry, both traditional morphometry that uses linear measurements of structures or parts of organisms, and geometric morphometry, which that is based on anatomical landmarks. Although there is a genetic basis for the individual's body variation, this variation can be influenced by factors such as vegetation, biome, seasonality and the feeding of bees during the larval stage. In this context, the objective of this work was to analyze, through linear morphometry of heads and geometric morphometry of wings, populations of solitary bees *C. tarsata* and *C. analis*, in different areas of Cerrado, located in the Espinhaço Range/MG and populations between the years 2012 to 2019, besides, we aimed to characterize the pollen resources consumed by the immature. In chapter 1, *C. tarsata* and *C. analis* bees collected from trap-nests from five different areas were used: two areas within the UFVJM JK Campus and three protected areas within State Parks. For the morphometric analyses, females and males of *C. tarsata* and *C. analis* were used. For analysis of pollen material, 50 nests of *C. tarsata* and 28 nests of *C. analis* were used. We observed that *C. tarsata* populations showed morphometric differences between areas and pollen diversity in the larval feeding of these bees seems to interfere with the larger body size. However, populations of *C. analis* showed very little or no variation between different areas, which leads us to believe that these bees have less morphological modification between different locations, most likely because they have a more uniform pollen diet based on Malpighiaceae. In chapter 2, we analyzed bee populations in different years, and for this, we used trap-nest bees from *C. tarsata* collected inside Campus JK between 2013 to 2019, and from *C. analis* collected at Parque Estadual do Rio Preto, between 2012 and 2013, being 226 *C. tarsata* bees (103 females and 123 males) and 169 *C. analis* bees (61 females and 108 males). For analysis of pollen material, 43 nests of *C. tarsata* and 11 nests of *C. analis* were used. The populations of *C. tarsata* showed little difference between years, and the 2012 *C. analis* bees were larger. We observed that factors such as seasonality (precipitation and temperature) do not affect the body morphology of *C. tarsata* and *C. analis* bees between the years analyzed. However, the difference in body size of *C. analis* is directly related to pollen diversity in the feeding of the

bees' immature, which is a very important factor for the body morphology of these bees species.

**Keywords:** Cavity-nesting bee. Morphometry. larval food. Seasonality.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fêmea e macho de <i>Centris tarsata</i> e <i>Centris analis</i> em vista frontal e lateral.....	12
Figura 2 – Pontos de amostragem de ninhos-armadilha ocupados por abelhas <i>Centris tarsata</i> e <i>Centris analis</i> na Cadeia do Espinhaço.....	35
Figura 3 – Localização da medida da largura da cabeça da abelha para análises da morfometria linear e localização dos 18 pontos anatômicos nas intersecções das veias das asas para análises da morfometria geométrica.....	36
Figura 4 – Valor médio e erro padrão das medidas de largura da cabeça das abelhas <i>Centris tarsata</i> coletadas entre as áreas.....	40
Figura 5 – Análises das variáveis canônicas entre as populações de <i>Centris tarsata</i> entre as áreas.....	42
Figura 6 – Valor do Log do centroide das asas das abelhas <i>Centris tarsata</i> entre as áreas.....	44
Figura 7 – Índice de diversidade Shannon $H'$ da alimentação fornecida para as larvas de abelhas <i>Centris tarsata</i> e dendograma de similaridade da alimentação polínica dessas abelhas entre as áreas.....	46
Figura 8 – Valor médio e erro padrão das medidas de largura da cabeça das abelhas <i>Centris analis</i> coletadas entre as áreas.....	48
Figura 9 – Análises das variáveis canônicas entre as populações de <i>Centris analis</i> entre as áreas.....	51
Figura 10 – Valor do Log do centroide das asas das abelhas <i>Centris analis</i> entre as áreas.....	53
Figura 11 – Índice de diversidade Shannon $H'$ da alimentação fornecida para as larvas de abelhas <i>Centris analis</i> e dendograma de similaridade da alimentação polínica dessas abelhas entre as áreas.....	56
Figura 12 – Valor médio e erro padrão das medidas de largura da cabeça das abelhas <i>Centris tarsata</i> coletadas ao longo dos anos de 2013 a 2019 no Departamento de Ciências Biológicas (DCB) da UFVJM.....	92
Figura 13 – Análises das variáveis canônicas (CVA) entre as populações de <i>Centris tarsata</i> ao longo dos anos de 2013 a 2019 coletadas no Departamento de Ciências Biológicas (DCB) da UFVJM.....	94
Figura 14 – Valor médio e erro padrão do Log do centroide das abelhas <i>Centris tarsata</i> coletadas ao longo dos anos de 2013 a 2019 coletadas no Departamento de Ciências Biológicas (DCB) da UFVJM.....	96

Figura 15 – Índice de diversidade Shannon $H'$ da alimentação fornecida para as larvas de abelhas <i>Centris tarsata</i> e dendograma de similaridade da alimentação dos imaturos de abelhas entre os anos de 2013 a 2019.....	98
Figura 16 – Valor médio e erro padrão das medidas de largura da cabeça das abelhas <i>Centris analis</i> coletadas nos anos de 2012 e 2013 no Parque Estadual do Rio Preto (PRP).....	101
Figura 17 – Análises das variáveis canônicas entre as populações de <i>Centris analis</i> coletadas entre os anos de 2012 e 2013 no Parque Estadual do Rio Preto (PRP).....	103
Figura 18 – Valor do Log do centroide das abelhas <i>Centris analis</i> coletadas entre os anos de 2012 e 2013 no Parque Estadual do Rio Preto (PRP).....	104
Figura 19 – Índice de diversidade Shannon $H'$ da alimentação fornecida para as larvas de abelhas <i>Centris analis</i> coletadas no Parque Estadual do Rio Preto (PRP), entre os anos de 2012 a 2013.....	105

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pontos de amostragem, coordenadas, altitude (m) e distâncias (km) entre os cinco pontos de coleta das abelhas <i>Centris tarsata</i> e <i>Centris analis</i> .....	35
Tabela 2 – Número de cabeças e asas de abelhas fêmeas e machos de <i>Centris tarsata</i> e <i>Centris analis</i> usadas nas análises morfométricas lineares e geométricas.....	37
Tabela 3 – Quantidade de ninhos-armadilha ocupados pelas abelhas <i>Centris tarsata</i> utilizados para as análises polínicas.....	38
Tabela 4 – Quantidade de ninhos-armadilha ocupados pelas abelhas <i>Centris analis</i> utilizados para as análises polínicas.....	38
Tabela 5 – Resultados da Distância de Mahalanobis entre as populações de <i>Centris tarsata</i> entre as áreas.....	43
Tabela 6 – Ocorrência de tipos polínicos (%) e riqueza da alimentação polínica fornecida a larvas de abelhas <i>Centris tarsata</i> em cada uma das áreas amostradas.....	45
Tabela 7 – Resultados da Distância de Mahalanobis entre as populações de <i>Centris analis</i> entre as áreas.....	52
Tabela 8 – Ocorrência de tipos polínicos (%) e riqueza da alimentação polínica fornecida a larvas de abelhas <i>Centris analis</i> em cada uma das áreas amostradas.....	55
Tabela 9 – Número de cabeças e asas de abelhas fêmeas e machos de <i>Centris tarsata</i> e <i>Centris analis</i> usadas nas análises morfométricas lineares e geométricas, respectivamente, entre os anos.....	88
Tabela 10 – Quantidade de ninhos-armadilhas ocupados pelas abelhas <i>Centris tarsata</i> utilizados nas análises polínicas entre os anos.....	89
Tabela 11 – Distância de Mahalanobis entre as populações de <i>Centris tarsata</i> coletadas ao longo dos anos de 2012 a 2019.....	95
Tabela 12 – Ocorrência de tipos polínicos (%) e riqueza da alimentação polínica fornecida às larvas de abelhas <i>Centris tarsata</i> entre os anos de 2013 a 2019.....	97
Tabela 13 – Resultados da correlação do tamanho médio das cabeças das abelhas <i>Centris tarsata</i> coletadas entre os anos de 2013 a 2019 com as taxas de precipitação total anual.....	99
Tabela 14 – Resultados da correlação do tamanho médio das cabeças das abelhas <i>Centris tarsata</i> coletadas entre os anos de 2013 a 2019 com as taxas de temperatura média anual....	99
Tabela 15 – Resultados da Distância de Mahalanobis entre as populações de <i>Centris analis</i> entre os anos de 2012 e 2013.....	103

Tabela 16 – Ocorrência de tipos polínicos (%), riqueza da alimentação polínica fornecida às larvas de abelhas *Centris analis* nos anos de 2012 e 2013..... 105

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>10</b>
1.1. A TRIBO CENTRIDINI.....	10
1.2. O GÊNERO <i>CENTRIS</i> .....	11
1.3. MORFOMETRIA CORPORAL COMO FERRAMENTA PARA ESTUDOS POPULACIONAIS .....	13
1.4. MODULAÇÃO DA MORFOMETRIA CORPORAL .....	14
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 1: VARIAÇÕES DA VEGETAÇÃO E DA ALIMENTAÇÃO POLÍNICA DOS IMATUROS INFLUENCIAM NA MORFOLOGIA DE ABELHAS SOLITÁRIAS ADULTAS <i>CENTRIS TARSATA</i> E <i>CENTRIS ANALIS</i> EM POPULAÇÕES DE DIFERENTES ÁREAS DE CERRADO .....</b>	<b>27</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>27</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>29</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
2.1. ABELHAS E MATERIAL POLÍNICO .....	33
2.2. CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE COLETA DAS ABELHAS .....	33
2.3. ANÁLISES MORFOMÉTRICAS.....	36
2.4. ANÁLISE DO MATERIAL POLÍNICO .....	37
2.5. ANÁLISE DOS DADOS.....	38
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>39</b>
3.1. VARIAÇÕES NAS POPULAÇÕES DE ABELHAS <i>CENTRIS TARSATA</i> EM DIFERENTES ÁREAS .....	39
3.1.1. <i>Morfometria linear</i> .....	39
3.1.2. <i>Morfometria geométrica</i> .....	40
3.1.3. <i>Análise polínica</i> .....	44
3.2. VARIAÇÕES NAS POPULAÇÕES DE ABELHAS <i>CENTRIS ANALIS</i> EM DIFERENTES ÁREAS .....	47
3.2.1. <i>Morfometria linear</i> .....	47
3.2.2. <i>Morfometria geométrica</i> .....	48
3.2.3. <i>Análise polínica</i> .....	53
<b>4. DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
4.1. VARIAÇÕES MORFOLÓGICAS DAS POPULAÇÕES DE ABELHAS DE DIFERENTES ÁREAS .....	57
4.2. ESPECTRO POLÍNICO DAS POPULAÇÕES DE <i>CENTRIS TARSATA</i> E <i>CENTRIS ANALIS</i> .....	59
4.3. RELAÇÃO DA ALIMENTAÇÃO POLÍNICA DE IMATUROS NA MORFOLOGIA DE ABELHAS ADULTAS.....	61
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>64</b>
<b>APÊNDICE A – TIPOS POLÍNICOS CONSUMIDOS POR ABELHAS <i>CENTRIS TARSATA</i> E <i>CENTRIS ANALIS</i> .....</b>	<b>72</b>
<b>APÊNDICE B – FOTOS DAS ASAS DAS ABELHAS <i>CENTRIS TARSATA</i> E <i>CENTRIS ANALIS</i>.....</b>	<b>77</b>

<b>APÊNDICE C – RESULTADOS DAS ANÁLISES DAS POPULAÇÕES DE <i>CENTRIS ANALIS</i> ENTRE AS ÁREAS, INCLUINDO ABELHAS DE RIBEIRÃO PRETO/SP ..</b>	<b>78</b>
<b>CAPÍTULO 2: SAZONALIDADE, ALIMENTAÇÃO POLÍNICA E VARIAÇÕES MORFOMÉTRICAS NAS ABELHAS SOLITÁRIAS <i>CENTRIS TARSATA</i> E <i>CENTRIS ANALIS</i>.....</b>	<b>79</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>79</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>81</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>82</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>86</b>
2.1. ÁREA DE ESTUDO E AMOSTRAGEM .....	86
2.2. ANÁLISES MORFOMÉTRICAS.....	87
2.3. ANÁLISE DO MATERIAL POLÍNICO .....	88
2.4. ANÁLISE DOS DADOS.....	89
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>91</b>
3.1. VARIAÇÕES NAS POPULAÇÕES DE ABELHAS <i>CENTRIS TARSATA</i> EM DIFERENTES ANOS..	91
3.1.1. <i>Morfometria linear</i> .....	91
3.1.2. <i>Morfometria geométrica</i> .....	92
3.1.3. <i>Análise polínica</i> .....	96
3.1.4. <i>Análise da pluviosidade e temperatura nos anos de estudo</i> .....	99
3.2. VARIAÇÕES NAS POPULAÇÕES DE ABELHAS <i>CENTRIS ANALIS</i> EM DIFERENTES ANOS ..	100
3.2.1. <i>Morfometria linear</i> .....	100
3.2.2. <i>Morfometria geométrica</i> .....	101
3.2.3. <i>Análise polínica</i> .....	105
<b>4. DISCUSSÃO .....</b>	<b>106</b>
4.1. FATORES ABIÓTICOS NA INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO MORFOLÓGICA NAS POPULAÇÕES DE <i>CENTRIS</i> ENTRE OS ANOS .....	106
4.2. RELAÇÃO DA ALIMENTAÇÃO DOS IMATUROS E A MORFOLOGIA DAS ABELHAS AO LONGO DOS ANOS .....	107
4.3. RAZÃO SEXUAL ENVIESADA NAS POPULAÇÕES DE ABELHAS SOLITÁRIAS .....	109
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>110</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>111</b>
<b>APÊNDICE D – MÉDIAS MENSIS DE TEMPERATURA, PRECIPITAÇÃO TOTAL MENSAL E NÚMERO DE NINHOS DE <i>CENTRIS TARSATA</i> COLETADOS AO LONGO DOS ANOS DE 2013 A 2019 .....</b>	<b>121</b>
<b>APÊNDICE E – RAZÃO SEXUAL DAS POPULAÇÕES DE ABELHAS <i>CENTRIS</i>..</b>	<b>122</b>
<b>APÊNDICE F – MESES DE COLETA, PRECIPITAÇÃO MENSAL ACUMULADA, TEMPERATURA E TAMANHO MÉDIO DAS CABEÇAS DE <i>CENTRIS TARSATA</i></b>	<b>123</b>
<b>ANEXO A – MÉDIAS DIÁRIAS DE PRECIPITAÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE DIAMANTINA/MG (INMET) .....</b>	<b>124</b>



## 1. INTRODUÇÃO GERAL

As abelhas compreendem o grupo mais importante de polinizadores em todo o mundo, destacando-se por seu grande potencial ecológico e econômico em comunidades florestais e pela polinização de plantas silvestres e cultivadas (LE FÉON et al., 2013; MENEZES et al., 2012; TYLIANAKIS; TSCHARNTKE; LEWIS, 2007). As abelhas pertencem à ordem Hymenoptera, superfamília Apoidea e são consideradas o grupo mais diverso desta ordem. Atualmente, estima-se a existência de 30 mil espécies de abelhas no planeta, que estão distribuídas em nove famílias: Andrenidae, Apidae, Colletidae, Dasypodidae, Halictidae, Megachilidae, Meganomiidae, Melittidae e Stenotritidae (MICHENER, 2007). No Brasil já foram descritas mais de 1.600 espécies (SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002) que estão distribuídas em cinco famílias: Apidae, Halictidae, Colletidae, Andrenidae e Megachilidae (MOURE; URBAN; MELO, 2008), compreendendo grupos com diferentes níveis de comportamento social e solitário.

De todas as abelhas do mundo, aproximadamente 85% possuem hábito solitário (BATRA, 1984). O comportamento solitário de abelhas é caracterizado pela independência das fêmeas na construção, defesa e aprovisionamento de seus ninhos, não existindo cooperação ou divisão de trabalho entre fêmeas de uma mesma geração ou entre mães e filhas, depois de cumpridas todas estas tarefas, a abelha ovopositora morre (ALVES-DOS-SANTOS; MELO; JR., 2002; BATRA, 1984; MICHENER, 1974). Dentro da subfamília Apinae, as abelhas solitárias estão presentes em treze tribos, e uma delas é a tribo Centridini (SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002).

### 1.1. A tribo Centridini

As Centridini são abelhas que estão distribuídas principalmente na América tropical, com alguns grupos presentes também em áreas mais áridas das regiões subtropicais e temperadas (MICHENER, 2007). Essa tribo agrupa dois gêneros, *Centris* Fabricius e *Epicharis* Klug, que possuem comportamento solitário (BATRA, 1984). A maioria dos Centridini coletam óleos florais de Malpighiaceae, Krameriaceae ou Scrophulariaceae (MICHENER, 2007). As abelhas dessa tribo formam a linhagem mais antiga de abelhas coletoras de óleo floral principalmente associada à Malpighiaceae Neotropical, com uma história de 90 milhões de anos de codivergência (MARTINS; MELO; RENNER, 2014).

A grande maioria das fêmeas do gênero *Centris* são morfológica e comportamentalmente especializadas na coleta de óleos florais. Elas são os únicos polinizadores de centenas de espécies produtoras de óleo floral, principalmente Malpighiaceae, Plantaginaceae e Krameriaceae (VOGEL, 1990). O óleo é coletado por meio de escovas especializadas na parte anterior e média do basitarso e é usado para nutrir as larvas ou para tornar as paredes das células de cria impermeáveis (BUCHMANN, 1987; NEFF; SIMPSON, 1981; VOGEL, 1974). Elas usam os óleos, associados ou não ao néctar, na massa de pólen para provisão larval, para proteção e para construção dos ninhos misturados a outros materiais como, por exemplo, areia e serragem (NEFF; SIMPSON, 1981; VINSON; FRANKIE; WILLIAMS, 1996).

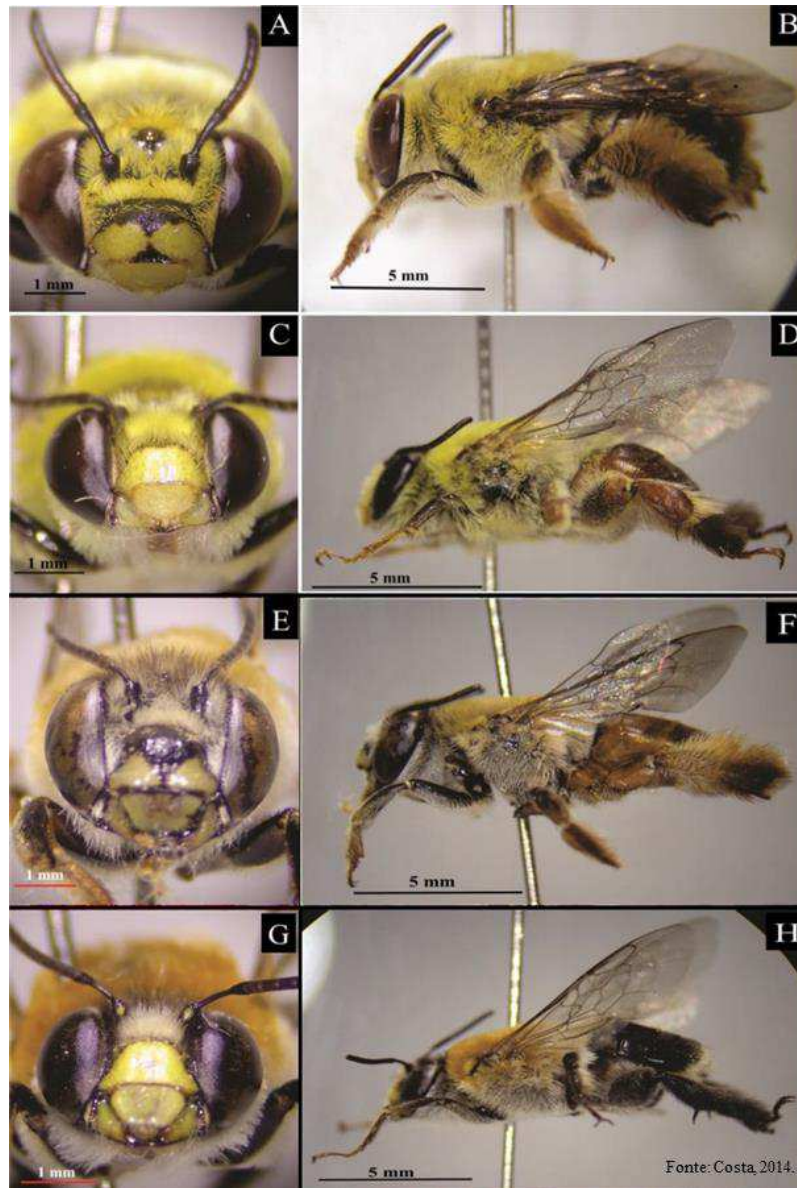
Todas as espécies de *Epicharis* e a maioria das espécies de *Centris* constroem seus ninhos no solo, enquanto que as espécies de *Centris* dos subgêneros *Hemisiella*, *Heterocentris* e *Xanthemisia* nidificam em cavidades pré-existentes como orifícios em madeiras e outros locais escavados por pequenos vertebrados, e do subgênero *Ptilotopus* nidificam em termiteiros (ALVES-DOS-SANTOS; MACHADO; GAGLIANONE, 2007; GAGLIANONE, 2001; REZENDE, 2019; SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002).

## **1.2. O gênero *Centris***

As abelhas do gênero *Centris* são particularmente importantes devido à sua abundância numérica, alta taxa de reprodução e a diversidade nas Américas (ALVES-DOS-SANTOS; MACHADO; GAGLIANONE, 2007). São encontradas nos mais diversos ambientes, como matas fechadas, campos abertos, áreas rurais e centros urbanos (ARAÚJO; LOURENÇO; RAW, 2016; CAMARGO; MAZUCATO, 1984; DA SILVA et al., 2017; GAGLIANONE et al., 2010; GAZOLA; GARÓFALO, 2009; LOURENÇO et al., 2020; LUNA-LUCENA et al., 2017; MORATO; GARCIA; CAMPOS, 1999; SILVA et al., 2007).

Dentre as espécies, destacam-se *Centris (Hemisiella) tarsata* Smith, 1874 e *Centris (Heterocentris) analis* Fabricius, 1804 (Figura 1), por serem frequentes em levantamentos de abelhas que ocupam cavidades pré-existentes e serem usadas em programas de polinização de espécies vegetais (AGUIAR; GARÓFALO, 2004), com grande potencial agrícola para o cultivo de acerola (*Malpighia emarginata*), do murici (*Byrsonima* spp.) e do tamarindo (*Tamarindus indica*), além de serem essenciais para a

polinização de inúmeras espécies das florestas tropicais do Cerrado, Caatinga, Amazônia e Mata Atlântica (CASTRO, 2002; FREITAS; PAXTON, 1998; OLIVEIRA; SCHLINDWEIN, 2009; SANTOS et al., 2007).



**Figura 1.** Fêmea (A e B) e macho (C e D) de *Centris tarsata* em vista frontal e lateral. Fêmea (E e F) e macho (G e H) de *Centris analis* em vista frontal e vista lateral.

A espécie *C. tarsata* é registrada na Argentina, Brasil, Guatemala, Guiana, Panamá, Paraguai e Uruguai (MOURE; URBAN; MELO, 2008). No Brasil é encontrada em vários estados: Pará, Maranhão, Piauí, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Goiás (AGUIAR; GARÓFALO, 2004 e referências dentro dele). Quanto à nidificação, fêmeas de *C. tarsata* constroem seus ninhos forrados com terra ou areia e é possível perceber grande quantidade de óleos na estrutura, que é utilizado como um tipo

de camada protetora no ninho (ALVES-DOS-SANTOS; MACHADO; GAGLIANONE, 2007).

As abelhas da espécie *C. analis* possuem ampla distribuição, desde o sul dos Estados Unidos até o Brasil, nos estados do Ceará, Goiás, Mato Grosso, Pará, Amazonas, Bahia, Minas Gerais, Paraíba e São Paulo (DÓREA et al., 2010b; REZENDE, 2019; SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002). Fêmeas dessa espécie nidificam em orifícios pré-existentes de ninhos abandonados de vespas, assim como em orifícios em madeira, troncos e galhos, e também utilizam terra e/ou areia para construção dos seus ninhos (SILVEIRA; MELO; ALMEIDA, 2002; VIEIRA DE JESUS; GAROFALO, 2000).

As abelhas *C. tarsata* e *C. analis* são consideradas espécies com alta plasticidade, uma vez que são encontradas nos mais distintos biomas, e quanto à sua alimentação, são consideradas poliléticas (DÓREA et al., 2009, 2010b; GONÇALVES; DA SILVA; BUSCHINI, 2012; MENDES; RÊGO, 2007; MÜLLER; KUHLMANN, 2008). A capacidade de dispersão dessas espécies de abelhas devido ao tamanho corporal, o tipo de dieta generalista, a maior ou menor exigência de locais específicos de nidificação como elemento sucesso na colonização de uma área e a ampla distribuição dessas espécies, demonstram a ausência de estruturação genética geográfica dessas populações (LUNA-LUCENA et al., 2017; REZENDE, 2019).

### **1.3. Morfometria corporal como ferramenta para estudos populacionais**

Para as análises das populações de abelhas, a morfometria (ADAMS; ROHLF; SLICE, 2004; JAMES ROHLF; MARCUS, 1993) mostra-se uma importante ferramenta para elucidar questões relacionadas à variação de caracteres dentro das populações e entre elas (REIS, 1988). A morfometria é definida como “o estudo estatístico da variação da forma em relação a fatores causais” (BOOKSTEIN, 1997), ou seja, não somente quantifica as formas biológicas, mas também faz inferências sobre as causas que levam às diferenças da forma (MONTEIRO; REIS, 1999). A morfometria clássica, também chamada de morfometria tradicional, é um conjunto de métodos do campo da estatística multivariada que utiliza medidas lineares como comprimentos, larguras, ângulos ou proporções calculadas a partir de estruturas ou partes de organismos (JAMES ROHLF; MARCUS, 1993). Já os dados utilizados na morfometria geométrica não se baseiam somente em medidas ou ângulos, mas sim em coordenadas cartesianas chamadas “marcos anatômicos” ou *landmarks* (FORNEL; CORDEIRO-

ESTRELA, 2012; JAMES ROHLF; MARCUS, 1993; MONTEIRO; REIS, 1999). Nos últimos anos, a morfometria geométrica das asas tornou-se uma importante ferramenta para a identificação e avaliação da diversidade de insetos, descrevendo e localizando com mais clareza as regiões das mudanças e reconstruindo essas diferenças graficamente (por exemplo FRANCISCO et al., 2008; FRANCOY et al., 2016, 2011; FRANCOY; IMPERATRIZ-FONSECA, 2010).

Há muitos estudos com abelhas eussociais utilizando morfometria como ferramenta, por exemplo, para verificação de variações populacionais em abelhas *Apis mellifera* (DINIZ-FILHO; MALASPINA, 1995) e em meliponíneos (por exemplo, BONATTI et al., 2014; FRANCISCO et al., 2008; FRANCOY et al., 2011; GALASCHI-TEIXEIRA et al., 2018; MENDES et al., 2007). Além de análises populacionais, a ferramenta também pode ser utilizada para discriminação de espécies, como na identificação de abelhas africanizadas e suas subespécies ancestrais (FRANCOY et al., 2008), e na identificação de sexo de abelhas sem ferrão (FRANCOY et al., 2009; MENDES et al., 2007).

No entanto, existem poucos estudos morfométricos com populações de abelhas de comportamento solitário ou com algum grau de socialidade. A maior parte dos estudos foram feitos com abelhas da tribo Euglossini, conhecidas como abelhas de orquídeas, dentre eles análise de populações de *Euglossa* Latreille e *Eulaema* Lepelletier em diferentes regiões do Brasil e com diferentes fitofisionomias (CARNEIRO et al., 2019; COSTA et al., 2020; GRASSI-SELLA; GARÓFALO; FRANCOY, 2018; RIBEIRO et al., 2019). Com as abelhas solitárias da tribo Centridini, há um trabalho que foi realizado utilizando morfometria geométrica para análise de populações de *Centris aenea* Lepelletier, 1841 em diferentes áreas da Bahia, Pernambuco e Paraíba com fitofisionomias distintas (FERREIRA et al., 2011) e outro estudo também com essa metodologia, realizado em diferentes tipos de vegetação no estado da Bahia (SOUZA et al., 2018).

#### **1.4. Modulação da morfometria corporal**

A análise da forma é crucial no campo da biologia (BERNS, 2014). Ao longo da história, o estudo da forma tem sido utilizado para classificação taxonômica, análise de diferentes formas de desenvolvimento, definição de relações funcionais e evolutivas, exploração dos efeitos ambientais nos organismos, além de muitos outros usos (ADAMS, 1999; ADAMS; ROHLF; SLICE, 2004; RICKLEFS; MILES, 1994).

Dentre os fatores que influenciam fortemente a morfologia de abelhas, podemos citar a variabilidade na disponibilidade de recursos de nidificação e alimentares (TORNÉ-NOGUERA et al., 2014) e a sazonalidade e os fatores climáticos (BRITO et al., 2018; DA SILVA et al., 2017). O tamanho do corpo possui baixa herdabilidade genética (TEPEDINO; THOMPSON; TORCHIO, 1984), geralmente ele é influenciado por fatores ambientais e maternos, onde a fêmea ovopositora controla a quantidade de alimento na célula, fatores esses que podem causar variabilidade suficiente para afetar a capacidade reprodutiva (JOHNSON, 1990; MOLUMBY, 1997; RIBEIRO, 1994).

As variações na quantidade e na qualidade do alimento utilizado por fêmeas de abelhas no provisionamento larval têm respostas morfológicas no desenvolvimento da prole (LAWSON; CIACCIO; REHAN, 2016; LAWSON; KENNEDY; REHAN, 2020; PINTO et al., 2015; ROULSTON; CANE, 2002) e essas respostas podem ser avaliadas através de estudos morfométricos de abelhas adultas (CAMPOS et al., 2018; PINTO et al., 2015). A análise polínica realizada a partir do alimento larval permite obter informações a respeito das plantas visitadas pelas abelhas e, conseqüentemente, as fontes utilizadas por elas como principal recurso alimentar (DÓREA et al., 2010b; MÜLLER et al., 2006).

A quantidade de alimento ofertada à prole pode variar de acordo com a estação do ano (KIM; THORP, 2001) e é controlada pela fêmea adulta durante o provisionamento larval (DANFORTH, 1990; LAWSON; CIACCIO; REHAN, 2016). Essa variação quantitativa de nutrientes disponíveis influencia no tamanho de fêmeas e machos, e, desta maneira, no seu sucesso reprodutivo (ALCOCK, 1997; TEPEDINO; TORCHIO, 1982) e no tamanho da prole (BOSCH; VICENS, 2002, 2006; KIM; THORP, 2001).

O tamanho corporal influencia várias características das abelhas relacionadas à aptidão individual. Para as fêmeas, corpos maiores podem dar maior sucesso reprodutivo devido à melhor habilidade competitiva e melhor capacidade de fazer o provisionamento de células e maior produção de ovos (TENGGÖ; BAUR, 1993). Para os machos, o maior tamanho corporal pode garantir o sucesso reprodutivo competitivo e melhor capacidade de dispersão (KUKUK, 1996).

Já os fatores ambientais podem causar modificações fenotípicas alterando características morfológicas, fisiológicas e comportamentais, sendo que a maioria das respostas individuais ao estresse ambiental se deve à plasticidade fenotípica (SILVA et

al., 2009; VIA; LANDE, 1985). Sabe-se que níveis maiores de precipitação e o consequente aumento na disponibilidade de alimentos podem ter um importante efeito no tamanho de abelhas (PERUQUETTI, 2003), além do que o tamanho corporal desses indivíduos responde positivamente ao aumento de temperatura e de chuvas (SILVA et al., 2009).

Fatores climáticos também podem limitar a estação de floração (MAYER; KUHLMANN, 2004), e para abelhas com sistemas de polinização especializados espera-se uma boa sincronização entre os polinizadores e suas plantas hospedeiras (DA SILVA et al., 2017). A especialização do hospedeiro por pólen é comum entre as abelhas solitárias e está frequentemente ligada à pronunciada sazonalidade das abelhas devido à uma fenologia de floração sazonal da planta (WCISLO; CANE, 1996).

Diante do exposto, levantamos as seguintes hipóteses: 1) Existe diferença morfométrica entre as populações de abelhas solitárias *Centris tarsata* e *Centris analis*, coletadas em diferentes áreas de Cerrado? 2) A diversidade polínica influencia na morfometria das populações dessas abelhas? 3) Essas duas espécies de abelhas apresentam plasticidades morfométricas semelhantes em diferentes áreas? e 4) Ao longo dos anos, fatores abióticos como precipitação e temperatura, e fatores bióticos como recursos alimentares poderiam interferir na morfometria dessas abelhas?

Para responder a essas perguntas e utilizando a morfometria linear e geométrica como ferramenta de estudo, objetivamos, no primeiro capítulo, analisar as variações nas populações de abelhas *C. tarsata* e *C. analis* em relação às diferentes áreas de Cerrado e a influência da alimentação dos imaturos nestas populações. No segundo capítulo, objetivamos analisar a influência da sazonalidade e da alimentação polínica dos imaturos ao longo de sete e dois anos nas populações de *C. tarsata* e de *C. analis*, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, Dean C. Methods for shape analysis of landmark data from articulated structures. **Evolutionary Ecology Research**, [S. l.], v. 1, p. 959–970, 1999.
- ADAMS, Dean C.; ROHLF, F. James; SLICE, Dennis E. Geometric morphometrics: Ten years of progress following the ‘revolution’. **Italian Journal of Zoology**, [S. l.], v. 71, n. 1, p. 5–16, 2004. DOI: 10.1080/11250000409356545. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/11250000409356545>.
- AGUIAR, Cândida M. L.; GARÓFALO, Carlos A. Nesting biology of *Centris (Hemisiella) tarsata* Smith (Hymenoptera, Apidae, Centridini). **Revista Brasileira de Zoologia**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 477–486, 2004.
- ALCOCK, John. Competition from large males and the alternative mating tactics of small males of dawson’s burrowing bee (*Amegilla dawsoni*) (apidae, apinae, anthophorini). **Journal of Insect Behavior**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 99–113, 1997. DOI: 10.1007/BF02765477. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/BF02765477>.
- ALVES-DOS-SANTOS, Isabel; MACHADO, Isabel Cristina; GAGLIANONE, Maria Cristina. História natural das abelhas coletoras de óleo. **Oecologia Brasiliensis**, [S. l.], v. 11, n. 04, p. 544–557, 2007. DOI: 10.4257/oeco.2007.1104.06. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/5693>.
- ALVES-DOS-SANTOS, Isabel; MELO, Gabriel A. R.; JR., Jerome G. Rozen. Biology and Immature Stages of the Bee Tribe Tetrapediini (Hymenoptera: Apidae). **American Museum Novitates**, [S. l.], v. 3377, p. 1–45, 2002. DOI: 10.1206/0003-0082(2002)377<0001:BAISOT>2.0.CO;2. Disponível em: <http://www.bioone.org/doi/abs/10.1206/0003-0082%282002%29377%3C0001%3ABAISOT%3E2.0.CO%3B2>.
- ARAÚJO, P. C. S.; LOURENÇO, A. P.; RAW, A. Trap-Nesting Bees in Montane Grassland (Campo Rupestre) and Cerrado in Brazil: Collecting Generalist or Specialist Nesters. **Neotropical Entomology**, [S. l.], v. 45, n. 5, p. 482–489, 2016. DOI: 10.1007/s13744-016-0395-9. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13744-016-0395-9>.
- BATRA, Suzanne W. T. Solitary Bees. **Scientific American, a division of Nature America, Inc.**, [S. l.], v. 250, n. 2, p. 120–127, 1984.
- BERNS, Alexandra R. **A geometric morphometric analysis of wing shape variation in monarch butterflies *Danaus plexippus***. 2014. The University of Michigan, [S. l.], 2014.
- BONATTI, Vanessa; SIMÕES, Zilá Luz Paulino; FRANCO, Fernando Faria; FRANCOY, Tiago Mauricio. Evidence of at least two evolutionary lineages in *Melipona subnitida* (Apidae, Meliponini) suggested by mtDNA variability and geometric morphometrics of forewings. **Naturwissenschaften**, [S. l.], v. 101, n. 1, p. 17–24, 2014. DOI: 10.1007/s00114-013-1123-5. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00114-013-1123-5>.
- BOOKSTEIN, F. L. Landmark methods for forms without landmarks: localizing group differences in outline shape. *In*: PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP ON



MATHEMATICAL METHODS IN BIOMEDICAL IMAGE ANALYSIS 1997, **Anais** [...]. : IEEE, 1997. p. 225–243. DOI: 10.1109/MMBIA.1996.534080. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/534080/>.

BOSCH, Jordi; VICENS, Narcís. Body size as an estimator of production costs in a solitary bee. **Ecological Entomology**, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 129–137, 2002. DOI: 10.1046/j.1365-2311.2002.00406.x. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2311.2002.00406.x>.

BOSCH, Jordi; VICENS, Narcís. Relationship between body size, provisioning rate, longevity and reproductive success in females of the solitary bee *Osmia cornuta*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, [S. l.], v. 60, n. 1, p. 26–33, 2006. DOI: 10.1007/s00265-005-0134-4. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00265-005-0134-4>.

BRITO, Thaline F.; CONTRERA, Felipe A. L.; PHIFER, Colin C.; KNOWLTON, Jessie L.; BRASIL, Leandro S.; MAUÉS, Márcia M.; SILVA, Daniel P. Effects of habitat type change on taxonomic and functional composition of orchid bees (Apidae: Euglossini) in the Brazilian Amazon. **Journal of Insect Conservation**, [S. l.], v. 22, n. 3–4, p. 451–463, 2018. DOI: 10.1007/s10841-018-0073-9. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s10841-018-0073-9>.

BUCHMANN, Stephen L. The ecology of oil flowers and their bees. **Ann. Rev. Ecol. Syst.**, [S. l.], v. 18, p. 343–369, 1987.

CAMARGO, J. M. F.; MAZUCATO, M. Inventário da apifauna e flora apícola de Ribeirão Preto. **Dusenía**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 55–87, 1984.

CAMPOS, Eliza Siqueira; ARAUJO, Thayane Nogueira; RABELO, Laíce Souza; BASTOS, Esther Margarida Alves; AUGUSTO, Solange Cristina. Does Seasonality Affect the Nest Productivity, Body Size, and Food Niche of *Tetrapedia curvitaris* Friese (Apidae, Tetrapediini). **Sociobiology**, [S. l.], v. 65, n. 4, p. 576, 2018. DOI: 10.13102/sociobiology.v65i4.3395. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/3395>.

CARNEIRO, Lazaro; AGUIAR, Cândida Maria Lima; AGUIAR, Willian Moura; ANICETO, Elon Souza; NUNES, Lorena Andrade; FERREIRA, Vinina Silva. Morphometric Variability among Populations of *Euglossa cordata* (Hymenoptera: Apidae: Euglossini) from Different Phytophysionomies. **Sociobiology**, [S. l.], v. 66, n. 4, p. 575, 2019. DOI: 10.13102/sociobiology.v66i4.4675. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/4675>.

CASTRO, Marina Siqueira De. Bee fauna of some tropical and exotic fruits: Potencial pollinators and their conservation. **Pollinating Bees - The Conservation Link Between Agriculture and Nature**, [S. l.], n. April, p. 275–288, 2002.

COSTA, Claudinéia Pereira; MACHADO, Clycie Aparecida Silva; SANTIAGO, Wellyngton Matheus Souza; DALLACQUA, Rodrigo Pires; GARÓFALO, Carlos Alberto; FRANCOY, Tiago Mauricio. Biome variation, not distance between populations, explains morphological variability in the orchid bee *Eulaema nigrita* (Hymenoptera, Apidae, Euglossini). **Apidologie**, [S. l.], v. 51, n. 6, p. 984–996, 2020. DOI: 10.1007/s13592-020-00776-z. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13592-020-00776-z>.

DA SILVA, Cláudia Inês; HIROTSU, Carolina Mayumi; DE SUZA PACHECO FILHO, Alípio José; QUEIROZ, Elisa Pereira; GARÓFALO, Carlos Alberto. Is the maximum reproductive rate of *Centris analis* (Hymenoptera, Apidae, Centridini) associated with floral resource availability? **Arthropod-Plant Interactions**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 389–402, 2017. DOI: 10.1007/s11829-017-9513-9. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11829-017-9513-9>.

DANFORTH, Bryan N. Provisioning behavior and the estimation of investment ratios in a solitary bee, *Calliopsis (Hypomacrotera) persimilis* (Cockerell) (Hymenoptera: Andrenidae). **Behavioral Ecology and Sociobiology**, [S. l.], v. 27, n. 3, p. 159–168, 1990. DOI: 10.1007/BF00180299. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/BF00180299>.

DINIZ-FILHO, José Alexandre Felizola; MALASPINA, Osmar. Evolution and population structure of Africanized Honey bees in Brazil: Evidence from spatial analysis of morphometric data. **The Society for Study os Evolution**, [S. l.], v. 49, n. 6, p. 1172–1179, 1995.

DÓREA, Marcos da Costa; AGUIAR, Cândida Maria Lima; FIGUEROA, Luís Enrique Rodrigues; LIMA, Luciene Cristina Lima; SANTOS, Francisco de Assis Ribeiro. Residual pollen in nests of *Centris analis* (hymenoptera, apidae, centridini) in an area of caatinga vegetation from Brazil. **Oecologia Australis**, [S. l.], v. 14, n. 01, p. 232–237, 2010. DOI: 10.4257/oeco.2010.1401.13. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/8097>.

DÓREA, Marcos da Costa; SANTOS, Francisco de A. R. Dos; LIMA, Luciene C. de L. E.; FIGUEROA, Luís E. R. Análise polínica do resíduo pós-emergência de ninhos de *Centris tarsata* Smith (Hymenoptera: Apidae, Centridini). **Neotropical Entomology**, [S. l.], v. 38, n. 2, p. 197–202, 2009. DOI: 10.1590/S1519-566X2009000200005. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-566X2009000200005&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-566X2009000200005&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt).

FERREIRA, VS; AGUIAR, CML; COSTA, MA; SILVA, JG. Morphometric Analysis of Populations of *Centris aenea* Lepeletier (Hymenoptera: Apidae) from Northeastern Brazil. **Neotropical Entomology**, [S. l.], v. 40, n. 1, p. 97–102, 2011. DOI: 10.1590/S1519-566X2011000100014. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-566X2011000100014&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-566X2011000100014&lng=en&nrm=iso&tlng=en).

FORNEL, R.; CORDEIRO-ESTRELA, P. Morfometria geométrica e a quantificação da forma dos organismos. **PPG-Ecologia, Erechim**, [S. l.], v. 1, n. Janeiro 2012, p. 101–120, 2012. DOI: 10.13140/2.1.1793.1844.

FRANCISCO, F. O.; NUNES-SILVA, P.; FRANCOY, T. M.; WITTMANN, D.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; ARIAS, M. C.; MORGAN, E. D. Morphometrical, biochemical and molecular tools for assessing biodiversity. An example in *Plebeia remota* (Holmberg, 1903) (Apidae, Meliponini). **Insectes Sociaux**, [S. l.], v. 55, n. 3, p. 231–237, 2008. DOI: 10.1007/s00040-008-0992-7. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00040-008-0992-7>.

FRANCOY, T. M.; BONATTI, V.; VIRAKTAMATH, S.; RAJANKAR, B. R. Wing morphometrics indicates the existence of two distinct phenotypic clusters within

population of *Tetragonula iridipennis* (Apidae: Meliponini) from India. **Insectes Sociaux**, [S. l.], v. 63, n. 1, p. 109–115, 2016. DOI: 10.1007/s00040-015-0442-2. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00040-015-0442-2>.

FRANCOY, T. M.; SILVA, R. A. O.; NUNES-SILVA, P.; MENEZES, C.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Gender identification of five genera of stingless bees (Apidae, Meliponini) based on wing morphology. **Genetics and Molecular Research**, [S. l.], v. 8, n. 1, p. 207–214, 2009. DOI: 10.4238/vol8-1gmr557. Disponível em: <http://www.funpecrp.com.br/gmr/year2009/vol8-1/pdf/gmr557.pdf>.

FRANCOY, Tiago Mauricio; GRASSI, Marina Lopes; IMPERATRIZ-FONSECA, Vera Lucia; DE JESÚS MAY-ITZÁ, William; QUEZADA-EUÁN, José Javier G. Geometric morphometrics of the wing as a tool for assigning genetic lineages and geographic origin to *Melipona beecheii* (Hymenoptera: Meliponini). **Apidologie**, [S. l.], v. 42, n. 4, p. 499–507, 2011. DOI: 10.1007/s13592-011-0013-0. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13592-011-0013-0>.

FRANCOY, Tiago Mauricio; IMPERATRIZ-FONSECA, Vera Lucia. A MORFOMETRIA GEOMÉTRICA DE ASAS E A IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE ESPÉCIES DE ABELHAS. **Oecologia Australis**, [S. l.], v. 14, n. 01, p. 317–321, 2010. DOI: 10.4257/oeco.2010.1401.20. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/8104>.

FRANCOY, Tiago Mauricio; WITTMANN, Dieter; DRAUSCHKE, Martin; MÜLLER, Stefan; STEINHAGE, Volker; BEZERRA-LAURE, Marcela A. F.; DE JONG, David; GONÇALVES, Lionel Segui. Identification of Africanized honey bees through wing morphometrics: two fast and efficient procedures. **Apidologie**, [S. l.], v. 39, n. 5, p. 488–494, 2008. DOI: 10.1051/apido:2008028. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1051/apido:2008028>.

FREITAS, Breno M.; PAXTON, Robert J. A comparison of two pollinators: the introduced honey bee *Apis mellifera* and an indigenous bee *Centris tarsata* on cashew *Anacardium occidentale* in its native range of NE Brazil. **Journal of Applied Ecology**, [S. l.], v. 35, n. 1, p. 109–121, 1998. DOI: 10.1046/j.1365-2664.1998.00278.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2664.1998.00278.x>.

GAGLIANONE, Maria Cristina. Nidificação e forrageamento de *Centris (Ptilotopus) scopipes* Friese (Hymenoptera, Apidae). **Revista Brasileira de Zoologia**, [S. l.], v. 18, n. suppl 1, p. 107–117, 2001. DOI: 10.1590/S0101-81752001000500008. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-81752001000500008&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-81752001000500008&lng=pt&tlng=pt).

GAGLIANONE, Maria Cristina; ROCHA, Hugo Henrique Salgado; BENEVIDES, Cristine Rodrigues; JUNQUEIRA, Camila Nonato; AUGUSTO, Solange Cristina. Importância de Centridini (apidae) na polinização de plantas de interesse agrícola: o maracujá-doce (*Passiflora alata* Curtis) como estudo de caso na região sudeste do Brasil. **Oecologia Australis**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 152–164, 2010. DOI: 10.4257/oeco.2010.1401.08.

GALASCHI-TEIXEIRA, Juliana S.; FALCON, Tiago; FERREIRA-CALIMAN, Maria Juliana; WITTER, Sidia; FRANCOY, Tiago Maurício. Morphological, chemical, and

molecular analyses differentiate populations of the subterranean nesting stingless bee *Mourella caerulea* (Apidae: Meliponini). **Apidologie**, [S. l.], v. 49, n. 3, p. 367–377, 2018. DOI: 10.1007/s13592-018-0563-5. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13592-018-0563-5>.

GAZOLA, A. L.; GARÓFALO, C. A. Trap-nesting bees (Hymenoptera: Apoidea) in forest fragments of the state of São Paulo, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 607–622, 2009. DOI: 10.4238/vol8-2kerr016.

GONÇALVES, Lia; DA SILVA, Cláudia Inês; BUSCHINI, Maria Luisa Tunes. Collection of pollen grains by *Centris (Hemisiella) tarsata* Smith (Apidae: Centridini): Is *C. tarsata* an oligolectic or polylectic species? **Zoological Studies**, [S. l.], v. 51, n. 2, p. 195–203, 2012.

GRASSI-SELLA, Marina Lopes; GARÓFALO, Carlos Alberto; FRANCOY, Tiago Mauricio. Morphological similarity of widely separated populations of two Euglossini (Hymenoptera; Apidae) species based on geometric morphometrics of wings. **Apidologie**, [S. l.], v. 49, n. 2, p. 151–161, 2018. DOI: 10.1007/s13592-017-0536-0. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13592-017-0536-0>.

JAMES ROHLF, F.; MARCUS, Leslie F. A revolution morphometrics. **Trends in Ecology & Evolution**, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 129–132, 1993. DOI: 10.1016/0169-5347(93)90024-J. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/016953479390024J>.

JOHNSON, Michael D. Female Size and Fecundity in the Small Carpenter Bee, *Ceratina calcarata* (Robertson) (Hymenoptera: Anthophoridae). **Journal of the Kansas Entomological Society**, [S. l.], v. 63, n. 3, p. 414–419, 1990.

KIM, Jong-yoon; THORP, Robbin W. Maternal investment and size-number trade-off in a bee, *Megachile apicalis*, in seasonal environments. **Oecologia**, [S. l.], v. 126, n. 3, p. 451–456, 2001. DOI: 10.1007/s004420000540. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s004420000540>.

KUKUK, Penelope F. Male Dimorphism in *Lasioglossum (Chilalictus) hemichalceum*: The Role of Larval Nutrition. **Journal of the Kansas Entomological Society**, [S. l.], v. 69, n. 4, p. 147–157, 1996.

LAWSON, Sarah P.; CIACCIO, Krista N.; REHAN, Sandra M. Maternal manipulation of pollen provisions affects worker production in a small carpenter bee. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, [S. l.], v. 70, n. 11, p. 1891–1900, 2016. DOI: 10.1007/s00265-016-2194-z. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00265-016-2194-z>.

LAWSON, Sarah P.; KENNEDY, Kiley B.; REHAN, Sandra M. Pollen composition significantly impacts the development and survival of the native small carpenter bee, *Ceratina calcarata*. **Ecological Entomology**, [S. l.], v. 46, n. 2, p. 232–239, 2020. DOI: 10.1111/een.12955. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/een.12955>.

LE FÉON, Violette; BUREL, Françoise; CHIFFLET, Rémy; HENRY, Mickaël; RICROCH, Agnès; VAISSIÈRE, Bernard E.; BAUDRY, Jacques. Solitary bee abundance and species richness in dynamic agricultural landscapes. **Agriculture**,

**Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 166, p. 94–101, 2013. DOI: 10.1016/j.agee.2011.06.020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880911002118>.

LOURENÇO, Anete P.; SANTOS, Ana Paula M.; CHECON, Hélio H.; COSTA, Mayra R.; ASSIS JÚNIOR, Sebastião L. Cavity-nesting bee communities in areas with different levels of vegetation disturbance. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, [S. l.], v. 55, n. 2, p. 116–128, 2020. DOI: 10.1080/01650521.2019.1710334. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01650521.2019.1710334>.

LUNA-LUCENA, Danielle; MOURE-OLIVEIRA, Diego; FERREIRA, Kátia M.; LUCENA, Daercio A. A.; GARÓFALO, Carlos A.; MORAES, Evandro M.; DEL LAMA, Marco A. High mitochondrial DNA diversity and lack of population structure in a solitary cavity-nesting bee in an urban landscape. **Biological Journal of the Linnean Society**, [S. l.], v. 121, n. 3, p. 564–575, 2017. DOI: 10.1093/biolinnean/blx019. Disponível em: <https://academic.oup.com/biolinnean/article-lookup/doi/10.1093/biolinnean/blx019>.

MARTINS, Aline C.; MELO, Gabriel A. R.; RENNER, Susanne S. The corbiculate bees arose from New World oil-collecting bees: Implications for the origin of pollen baskets. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, [S. l.], v. 80, p. 88–94, 2014. DOI: 10.1016/j.ympev.2014.07.003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ympev.2014.07.003>.

MAYER, CAROLIN; KUHLMANN, MICHAEL. Synchrony of pollinators and plants in the winter rainfall area of South Africa - observations from a drought year. **Transactions of the Royal Society of South Africa**, [S. l.], v. 59, n. 2, p. 55–57, 2004. DOI: 10.1080/00359190409519162. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00359190409519162>.

MENDES, Fernanda N.; RÊGO, Márcia M. C. Nidificação de *Centris (Hemisiella) tarsata* Smith (Hymenoptera, Apidae, Centridini) em ninhos-armadilha no Nordeste do Maranhão, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, [S. l.], v. 51, n. 3, p. 382–388, 2007.

MENDES, Marcelo Fidelis Marques; FRANCOY, Tiago Mauricio; NUNES-SILVA, Patrícia; MENEZES, Cristiano; IMPERATRIZ-FONSECA, Vera Lúcia. Intra-population variability of *Nannotrigona testaceicornis* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera, Meliponini) using relative warp analysis. **Biosci. j.**, [S. l.], v. 23, n. supl.1, p. 147–152, 2007.

MENEZES, Giselle B.; GONÇALVES-ESTEVEZ, Vania; BASTOS, Esther M. A. F.; AUGUSTO, Solange C.; GAGLIANONE, Maria Cristinna. Nesting and use of pollen resources by *Tetrapedia diversipes* Klug (Apidae) in Atlantic Forest areas (Rio de Janeiro, Brazil) in different stages of regeneration. **Revista Brasileira de Entomologia**, [S. l.], v. 56, n. 1, p. 86–94, 2012.

MICHENER, Charles D. **Bees of the World**. 2. ed. Baltimore: The Johns Hopkins University Press Baltimore, 2007. v. 2

MICHENER, Charles Duncan. **The social behavior of the bees: a comparative study**. [s.l.] : Harvard University Press, 1974.

MOLUMBY, Alan. Why make daughters larger? Maternal sex-allocation and sex-dependent selection for body size in a mass-provisioning wasp, *Trypoxylon politum*. **Behavioral Ecology**, [S. l.], v. 8, n. 3, p. 279–287, 1997. DOI: 10.1093/beheco/8.3.279. Disponível em: <https://academic.oup.com/beheco/article-lookup/doi/10.1093/beheco/8.3.279>.

MONTEIRO, Leandro Rabello; REIS, Sérgio Furtado Dos. Princípios da Morfometria Geométrica. **Holos, Ribeirão Preto**, [S. l.], p. 189–189, 1999.

MORATO, Elder F.; GARCIA, Marcos V. B.; CAMPOS, Lúcio Antonio De O. Biologia de *Centris Fabricius* (Hymenoptera, Anthophoridae, Centridini) em matas contínuas e fragmentos na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Zoologia**, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 1213–1222, 1999.

MOURE, J. S.; URBAN, D.; MELO, G. A. R. Catalogue of bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical region. **Sociedade Brasileira de Entomologia**, [S. l.], v. 14, p. 1054, 2008.

MÜLLER, Andreas; DIENER, Stefan; SCHNYDER, Simone; STUTZ, Katharina; SEDIVY, Claudio; DORN, Silvia. Quantitative pollen requirements of solitary bees: Implications for bee conservation and the evolution of bee–flower relationships. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 130, n. 4, p. 604–615, 2006. DOI: 10.1016/j.biocon.2006.01.023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006320706000498>.

MÜLLER, ANDREAS; KUHLMANN, MICHAEL. Pollen hosts of western palaeartic bees of the genus *Colletes* (Hymenoptera: Colletidae): the Asteraceae paradox. **Biological Journal of the Linnean Society**, [S. l.], v. 95, n. 4, p. 719–733, 2008. DOI: 10.1111/j.1095-8312.2008.01113.x. Disponível em: <https://academic.oup.com/biolinnean/article-lookup/doi/10.1111/j.1095-8312.2008.01113.x>.

NEFF, John L.; SIMPSON, Berly B. Oil-Collecting Structures in the Anthophoridae (Hymenoptera): Morphology, function, and use in systematics. **JOURNAL OF THE KANSAS ENTOMOLOGICAL SOCIETY**, [S. l.], v. 54, n. 1, p. 95–123, 1981.

OLIVEIRA, Reislá; SCHLINDWEIN, Clemens. Searching for a Manageable Pollinator for Acerola Orchards: The Solitary Oil-Collecting Bee *Centris analis* (Hymenoptera: Apidae: Centridini). **Journal of Economic Entomology**, [S. l.], v. 102, n. 1, p. 265–273, 2009. DOI: 10.1603/029.102.0136. Disponível em: <https://academic.oup.com/jee/article-lookup/doi/10.1603/029.102.0136>.

PERUQUETTI, Rui Carlos. Variação do tamanho corporal de machos de *Eulaema nigrita* Lepelletier (Hymenoptera, Apidae, Euglossini). Resposta materna à flutuação de recursos? **Revista Brasileira de Zoologia**, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 207–212, 2003. DOI: 10.1590/S0101-81752003000200006. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-81752003000200006&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-81752003000200006&lng=pt&tlng=pt).

PINTO, Carlos Eduardo; DA SILVA, Adriana; DURAN CORDEIRO, Guaraci; ALVES-DOS-SANTOS, Isabel. The body size of the oil-collecting bee *Tetrapedia diversipes* (Apidae). **Journal of Hymenoptera Research**, [S. l.], v. 47, p. 103–113, 2015. DOI: 10.3897/JHR.47.4837. Disponível em:

<http://jhr.pensoft.net/articles.php?id=4837>.

REIS, Sérgio F. Dos. Morfometria e estatística multivariada em biologia evolutiva. **Revista Brasileira de Zoologia**, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 571–580, 1988. DOI: 10.1590/S0101-81751988000400005. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-81751988000400005&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-81751988000400005&lng=pt&tlng=pt).

REZENDE, Leandro Pereira. **As populações urbanas de *Centris (Heterocentris) analis Fabricius, 1804 (Hymenoptera, Apidae, Centridini)* são geneticamente estruturadas?** 2019. Universidade Federal de São Carlos, [S. l.], 2019.

RIBEIRO, M. F. Growth in bumble bee larvae: Relation between development time, mass, and amount of pollen ingested. **Canadian Journal of Zoology**, [S. l.], v. 72, n. 11, p. 1978–1985, 1994. DOI: 10.1139/z94-270.

RIBEIRO, Mariléa; AGUIAR, Willian Moura; NUNES, Lorena Andrade; CARNEIRO, Lazaro Da Silva. Morphometric Changes in Three Species of Euglossini (Hymenoptera: Apidae) in Response to Landscape Structure. **Sociobiology**, [S. l.], v. 66, n. 2, p. 339, 2019. DOI: 10.13102/sociobiology.v66i2.3779. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/3779>.

RICKLEFS, Robert; MILES, Donald B. Ecological and evolutionary inferences from morphology: An ecological perspective. **Ecological morphology: integrative organismal biology**, [S. l.], v. 1, p. 13–41, 1994.

ROULSTON, T'ai H.; CANE, James H. The effect of pollen protein concentration on body size in the sweat bee *Lasioglossum zephyrum* (Hymenoptera: Apiformes). **Evolutionary Ecology**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 49–65, 2002. DOI: 10.1023/A:1016048526475. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1023/A:1016048526475>.

SANTOS, S. K. D.; GOMES, L. P.; SOUZA, L. E. C.; WALDSCHMIDT, A. M. Visitantes florais do caju anão precoce (*Anacardium occidentale* L.) em uma área de caatinga no município de Jequié-BA. **Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu**, [S. l.], 2007.

SILVA, Cláudia I.; AUGUSTO, Solange C.; SOFIA, Silvia H.; MOSCHETA, Ismar S. Diversidade de Abelhas em *Tecoma stans* (L.) Kunth (Bignoniaceae): Importância na Polinização e Produção de Frutos. **Neotropical Entomology**, [S. l.], v. 36, n. 3, p. 331–341, 2007.

SILVA, M. C.; LOMONACO, C.; AUGUSTO, S. C.; KERR, W. E. Climatic and anthropic influence on size and fluctuating asymmetry of Euglossine bees (Hymenoptera, Apidae) in a semideciduous seasonal forest reserve. **Genetics and Molecular Research**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 730–737, 2009. DOI: 10.4238/vol8-2kerr037. Disponível em: <http://www.funpecrp.com.br/gmr/year2009/vol8-2/pdf/kerr037.pdf>.

SILVEIRA, Fernando A.; MELO, Gabriel A. R.; ALMEIDA, Eduardo A. B. **Abelhas Brasileiras: Sistemática e identificação**. [s.l: s.n.].

SOUZA, Adriane Vieira; NUNES, Lorena Andrade; MACHADO, Cerilene Santiago; SODRÉ, Geni Da Silva; CARVALHO, Carlos Alfredo Lopes De. Sexual dimorphism

and morphometric characterization of *Centris tarsata* Smith, 1874, Hymenoptera: Apidae in different environments. **Acta Agronómica**, [S. l.], v. 67, n. 3, p. 438–445, 2018. DOI: 10.15446/acag.v67n3.60099. Disponível em: [https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/60099](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/60099).

TENGÖ, Jan; BAUR, Bruno. Number and Size of Oocytes in Relation to Body Size and Time of Day in the Kleptoparasitic Bee *Nomada lathburiana* (Hymenoptera: Anthophoridae). **Entomologia Generalis**, [S. l.], v. 18, n. 1–2, p. 19–24, 1993. DOI: 10.1127/entom.gen/18/1993/19. Disponível em: [http://www.schweizerbart.de/papers/entomologia/detail/18/79899/Number\\_and\\_Size\\_of\\_Oocytes\\_in\\_Relation\\_to\\_Body\\_Siz?af=crossref](http://www.schweizerbart.de/papers/entomologia/detail/18/79899/Number_and_Size_of_Oocytes_in_Relation_to_Body_Siz?af=crossref).

TEPEDINO, V. J.; THOMPSON, R.; TORCHIO, P. F. Heritability for size in the Megachild bee *Osmia lignaria* propinqua Cresson. **Apidologie**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 83–88, 1984.

TEPEDINO, V. J.; TORCHIO, P. F. Phenotypic variability in nesting success among *Osmia lignaria* propinqua females in a glasshouse environment: (Hymenoptera: Megachilidae). **Ecological Entomology**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 453–462, 1982. DOI: 10.1111/j.1365-2311.1982.tb00688.x. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2311.1982.tb00688.x>.

TORNÉ-NOGUERA, Anna; RODRIGO, Anselm; ARNAN, Xavier; OSORIO, Sergio; BARRIL-GRAELLS, Helena; ROCHA-FILHO, Léo Correia Da; BOSCH, Jordi. Determinants of Spatial Distribution in a Bee Community: Nesting Resources, Flower Resources, and Body Size. **Plos One**, [S. l.], v. 9, n. 5, p. 1–10, 2014. DOI: 10.1371/journal.pone.0097255.

TYLIANAKIS, Jason M.; TSCHARNTKE, Teja; LEWIS, Owen T. Habitat modification alters the structure of tropical host–parasitoid food webs. **Nature**, [S. l.], v. 445, n. 7124, p. 202–205, 2007. DOI: 10.1038/nature05429. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/nature05429>.

VIA, Sara; LANDE, Russell. GENOTYPE-ENVIRONMENT INTERACTION AND THE EVOLUTION OF PHENOTYPIC PLASTICITY. **Evolution**, [S. l.], v. 39, n. 3, p. 505–522, 1985. DOI: 10.1111/j.1558-5646.1985.tb00391.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1558-5646.1985.tb00391.x>.

VIEIRA DE JESUS, Bartira M.; GAROFALO, Carlos A. Nesting behaviour of *Centris (Heterocentris) analis* (Fabricius) in southeastern Brazil (Hymenoptera, Apidae, Centridini). **Apidologie**, [S. l.], v. 31, n. 4, p. 503–515, 2000. DOI: 10.1051/apido:2000142. Disponível em: <http://www.edpsciences.org/10.1051/apido:2000142>.

VINSON, S. Bradleigh; FRANKIE, Gordon W.; WILLIAMS, Howard J. Chemical Ecology of Bees of the Genus *Centris* (Hymenoptera: Apidae). **The Florida Entomologist**, [S. l.], v. 79, n. 2, p. 109, 1996. DOI: 10.2307/3495809.

VOGEL, S. Oil-collecting flowers and bees. **Tropische und Subtropische Pflanzenwelt**, [S. l.], v. 7, p. 285–547, 1974.

VOGEL, S. *History of the Malpighiaceae in the light of pollination ecology Memoirs of the New York Botanical Garden*, 1990. Disponível em:



<http://www.lsa.umich.edu/herb/malpigh/MALPpdf/Vogel1990.pdf>.

WCISLO, William T.; CANE, James H. Floral Resource Utilization by Solitary Bees (Hymenoptera: Apoidea) and Exploitation of Their Stored Foods by Natural Enemies. **Annual Review of Entomology**, [*S. l.*], v. 41, n. 1, p. 257–286, 1996. DOI: 10.1146/annurev.ento.41.1.257. Disponível em: <http://ento.annualreviews.org/cgi/doi/10.1146/annurev.ento.41.1.257>.

## **CAPÍTULO 1: VARIAÇÕES DA VEGETAÇÃO E DA ALIMENTAÇÃO POLÍNICA DOS IMATUROS INFLUENCIAM NA MORFOLOGIA DE ABELHAS SOLITÁRIAS ADULTAS *Centris tarsata* E *Centris analis* EM POPULAÇÕES DE DIFERENTES ÁREAS DE CERRADO**

### **RESUMO**

Tamanho corporal é o principal determinante do fitness em insetos. Apesar de existir uma base genética para a variação morfológica das abelhas, fatores como a alimentação podem influenciar na variação dessas populações. As análises comparativas de populações de abelhas podem ser feitas com o estudo da caracterização da forma e o tamanho de seus corpos, bem como através de análises da alimentação larval. Para isso, objetivamos neste capítulo avaliar se as populações de abelhas solitárias *Centris tarsata* e *Centris analis* são distintas morfometricamente entre diferentes áreas de Cerrado e se a alimentação polínica consumida pelos imaturos influencia na morfometria corporal dessas populações. As abelhas e o material polínico foram provenientes de ninhos-armadilha ocupados por *C. tarsata* e *C. analis* em cinco pontos de coleta localizados em três áreas distintas denominadas ARR, DCB (áreas dentro do Campus JK da UFVJM) e AR1, AR2 e PRP (áreas protegidas, dentro de Parques Estaduais). Foram utilizadas 326 abelhas *C. tarsata* (155 fêmeas e 171 machos) e 254 abelhas *C. analis* (100 fêmeas e 154 machos) e, para análise do material polínico, foram utilizados 50 ninhos de *C. tarsata* e 28 ninhos de *C. analis*. Observamos que na morfometria linear das cabeças, as abelhas *C. tarsata* da área ARR são maiores que as abelhas das áreas DCB e AR2 e as fêmeas de *C. analis* da ARR são maiores que as das áreas AR1 e DCB. A área ARR oferece diversos recursos florais e de nidificação para as abelhas, incluindo plantas com floração em massa e com grande oferta de óleos florais, pólen e néctar para uso na construção de ninhos e alimentação das larvas, o que nos leva a acreditar que o tamanho maior desses indivíduos neste local, se deve a essa maior disponibilidade de recursos. Na morfometria geométrica observamos similaridades entre as populações tanto de *C. tarsata* quanto de *C. analis*, que se separaram principalmente em dois grupos, ARR e DCB sendo um grupo e AR1, AR2 e/ou PRP outro grupo. A área ARR dista muito pouco de DCB, cerca de 1 km, e ambas ficam inseridas em vegetação de campo rupestre, além de provavelmente ocorrer algum fluxo gênico entre estas populações, o

que resultaria na proximidade entre elas. Da mesma maneira, as áreas protegidas, provavelmente, ofereceram recursos similares para as populações destas abelhas, fazendo com que elas se assemelhem morfológicamente. Populações de *C. tarsata* da AR1 e AR2 também foram similares e o tipo de vegetação encontrados nelas, pode influenciar para que estes grupos se assemelhem morfológicamente entre essas duas áreas. Diferentemente, as populações de *C. analis* apresentaram muito pouca ou nenhuma variação entre as diferentes áreas, o que nos leva a acreditar que essas abelhas possuem menor modificação morfológica entre locais distintos. Observamos ainda que pólen de Melastomataceae é um importante recurso alimentar para *C. tarsata* em áreas de Cerrado/Campo Rupestre, diferentemente de outros biomas, e que Malpighiaceae é um importante recurso polínico para *C. analis*, sendo esse o pólen de espécies dessa família é consumido por essa espécie em todas as áreas. A menor variedade da alimentação entre as diferentes áreas faz com que *C. analis* seja menos plástica se comparada a *C. tarsata*.

**Palavras chave:** Abelhas solitárias. Morfometria linear. Morfometria geométrica. Diversidade polínica.

## ABSTRACT

Body size is the main determinant of fitness in insects. Although there is a genetic basis for the morphological variation in bees, factors such as food can influence the variation in these populations. Comparative analyzes of bee populations can be done with the study of the characterization of the shape and size of their bodies and through analysis of larval feeding. Therefore, in this chapter, we aim to evaluate whether the populations of solitary bees *Centris tarsata* and *Centris analis* are morphometrically different between different areas of the Cerrado and whether the pollen feed consumed by immature bees influences the body morphometry of these populations. Bees and pollen material came from trap-nests occupied by *C. tarsata* and *C. analis* in five collection points located in three distinct areas called ARR, DCB (areas within the UFVJM Campus JK) and AR1, AR2 and PRP (Protected areas, within State Parks). A total of 326 *C. tarsata* bees (155 females and 171 males) and 254 *C. analis* bees (100 females and 154 males) were used. For pollen material analysis, 50 *C. tarsata* nests and 28 *C. analis* nests were used. We observed that in linear head morphometry, the *C. tarsata* bees from the ARR area are larger than the bees from the DCB and AR2 areas and the *C. analis* females from AR2 are larger than those from the AR1 and DCB areas. The ARR area offers diverse floral and nesting resources for bees, including mass-flowering plants with a large supply of floral oils, pollen and nectar for use in nest construction and larval feeding, which leads us to believe that the larger size of these individuals in this location is due to this greater availability of resources. In geometric morphometry we observed similarities between populations of both *C. tarsata* and *C. analis*, which were mainly separated into two groups, ARR and DCB being one group and AR1, AR2 and/or PRP the other group. The ARR area is very close to DCB, about 1 km, and both are inserted in rupestrian field vegetation, in addition to probably occurring some gene flow between these populations, which would result in the proximity between them. Likewise, protected areas probably offered similar resources to populations of these bees, making them resemble each other morphologically. *Centris tarsata* populations from AR1 and AR2 were also similar and the vegetation type may influence for these groups to resemble each other morphologically between these areas. In contrast, the populations of *C. analis* showed very little or no variation between different areas, which leads us to believe that these bees have less morphological changes between different locations. We also observed that Melastomataceae pollen is an important food

resource for *C. tarsata* in Cerrado/Campo Rupestre areas, unlike other biomes, and that Malpighiaceae is an important pollen resource for *C. analis*, and pollen from this family is consumed by this species in all the areas. The lower variety of food between different areas makes *C. analis* less plastic when compared to *C. tarsata*.

**Keywords:** Bees solitary. Linear morphometry. Geometric morphometry. Pollen diversity.

## 1. INTRODUÇÃO

As abelhas solitárias *Centris tarsata* e *Centris analis* pertencem à tribo Centridini, distribuídas principalmente na América tropical, com alguns grupos presentes também em áreas mais secas das regiões subtropicais e temperadas (MICHENER, 2007). São conhecidas pela eficiência na coleta de óleos florais, principalmente Malpighiaceae, Plantaginaceae e Krameriaceae (VOGEL, 1990), e como importantes polinizadores de plantas de interesse econômico, como acerola (*Malpighia emarginata*) e murici (*Byrsonima* spp.) (OLIVEIRA; SCHLINDWEIN, 2009). São abelhas que nidificam em cavidades pré-existentes, o que facilita a amostragem destas populações eficientes através de ninhos-armadilha (KROMBEIN, 1967) nos mais diferentes biomas como Caatinga (DÓREA et al., 2009, 2010b, 2010a), Mata Atlântica (DA ROCHA-FILHO et al., 2017; MOURE-OLIVEIRA et al., 2017), Cerrado (MENDES; RÊGO, 2007), incluindo áreas campestres de alta altitude (ARAÚJO; LOURENÇO; RAW, 2016; LOURENÇO et al., 2020). As populações de abelhas *C. tarsata* e *C. analis* são consideradas com alta plasticidade uma vez que são encontradas nos mais distintos biomas e quanto à sua alimentação são consideradas poliléticas (DÓREA et al., 2009, 2010b, 2010a; GONÇALVES; DA SILVA; BUSCHINI, 2012; MENDES; RÊGO, 2007). Abelhas são classificadas como poliléticas quando o recurso floral é coletado de flores de mais de quatro gêneros de plantas distribuídas em mais de três famílias de plantas (MÜLLER; KUHLMANN, 2008).

Estudos com as populações de *C. tarsata* de São Paulo, Minas Gerais, Bahia e Paraíba mostraram que elas possuem alta diversidade genética intrapopulacional e ausência de diferenciação entre as populações, sugerindo que essa espécie possui grandes populações conectadas (LUNA-LUCENA et al., 2017). Estudos de populações de *C. analis* nos biomas Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica também mostraram estruturação populacional e sem formação de grupos genéticos geograficamente distribuídos (REZENDE, 2019).

Existe uma base genética para a variação morfológica dos indivíduos, mas fatores como a vegetação e o bioma onde as abelhas estão inseridas (COSTA et al., 2020; RIBEIRO et al., 2019), assim como variações ambientais como sazonalidade (SKANDALIS et al., 2009) e alimentação (BOSCH; VICENS, 2002) podem influenciar na variação dessas populações. As abelhas na idade adulta não sofrem alterações morfológicas, portanto a variação no tamanho e forma corporal pode ser uma resposta à

seleção natural, flutuações climáticas e alimentação durante o estágio larval (BOSCH; VICENS, 2002; CHOWN; GASTON, 2010; RADMACHER; STROHM, 2010).

As análises comparativas de populações de abelhas podem ser feitas com o estudo da caracterização da forma e o tamanho de seus corpos (FERREIRA et al., 2011; NEVES et al., 2012). Uma forma de avaliar essas variações é através da morfometria (ROHLF, 1990), que é definida como “o estudo estatístico da variação da forma em relação a fatores causais” (BOOKSTEIN, 1997), ou seja, quantifica as formas biológicas e também faz inferências sobre as causas que levam às diferenças da forma (MONTEIRO; REIS, 1999). A morfometria tradicional utiliza medidas lineares como comprimentos, larguras, ângulos ou proporções calculadas a partir de estruturas ou partes de organismos (JAMES ROHLF; MARCUS, 1993). Já a morfometria geométrica é baseada em coordenadas cartesianas chamadas “marcos anatômicos” ou *landmarks* (FORNEL; CORDEIRO-ESTRELA, 2012; JAMES ROHLF; MARCUS, 1993; MONTEIRO; REIS, 1999).

A morfometria geométrica possibilita o estudo de populações de abelhas em fitofisionomias distintas e mostram que mesmo espécies tolerantes a variações ambientais podem sofrer adaptações às condições específicas de cada fitofisionomia (CARNEIRO et al., 2019; DA COSTA et al., 2019; GRASSI-SELLA; GARÓFALO; FRANCOY, 2018; RIBEIRO et al., 2019), mostrando ser uma ferramenta extremamente útil na caracterização de populações. No entanto, essa ferramenta ainda é muito pouco utilizada em estudos com abelhas solitárias nidificantes em cavidades pré-existentes (FERREIRA et al., 2011; NEVES et al., 2012; SOUZA et al., 2018).

Neste contexto, objetivamos avaliar se as populações de *Centris tarsata* e *Centris analis* são diferentes morfometricamente entre diferentes áreas de Cerrado, utilizando a morfometria linear e geométrica como ferramenta de estudo, e se a alimentação polínica consumida pelos imaturos influencia na morfometria corporal dessas populações.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Abelhas e material polínico

As abelhas *Centris tarsata* e *Centris analis* e o material polínico utilizados neste estudo foram provenientes de ninhos-armadilha coletados entre os anos de 2012 a 2019, em três áreas de cerrado, situadas na Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais (descrição das áreas no item 2.2). De 2012 a 2017, as abelhas e o material polínico foram coletados durante o andamento de outros projetos, e a metodologia de coleta está detalhada neles (AGOSTINI et al., 2021; ARAÚJO; LOURENÇO; RAW, 2016; COSTA, 2014; DIAS, 2018; LOURENÇO et al., 2020). Resumidamente, para a amostragem dos indivíduos, foram instaladas estações de coleta que possuíam ninhos armadilha, confeccionados com papel cartão, gomos de bambu ou tubos de plástico transparente (mangueira de PVC) com tamanhos variados: 0,5 a 1,5 cm de diâmetro e 10 a 15 cm de comprimento. Após coletados, os ninhos foram levados para o laboratório onde os imaturos eram separados e alocados em placas juntamente com o alimento presente na célula. Após o desenvolvimento dos imaturos e emergência dos adultos, as abelhas foram colocadas no congelador até a morte, posteriormente, parte dos indivíduos foram alfinetados. Para as análises populacionais, foram utilizadas principalmente as abelhas emergentes de ninhos-armadilha ocupados pelas abelhas da espécie *C. tarsata* e *C. analis*, mas algumas abelhas fêmeas fundadoras coletadas na entrada dos ninhos também foram utilizadas. As abelhas encontram-se armazenadas em freezer -20 °C ou alfinetadas e depositadas na Coleção de Abelhas do Laboratório de Estudos Integrados de Abelhas (LEIA) do Departamento de Ciências Biológicas da UFVJM. O material polínico (fezes ou restos de alimento não ingerido) foi coletado após a abertura dos ninhos com o auxílio de uma espátula, guardados em tubos do tipo Eppendorf de 2,0 mL e identificados pelo código do ninho correspondente, e armazenados em freezer -20 °C até sua análise.

### 2.2. Caracterização das áreas de coleta das abelhas

As abelhas foram provenientes de ninhos-armadilha ocupados por *C. tarsata* e *C. analis* em cinco pontos de coleta localizados em três áreas distintas: 1) Parque Estadual do Biribiri (PEBI), onde foram amostrados dois pontos denominados AR1 e AR2; 2) Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) onde



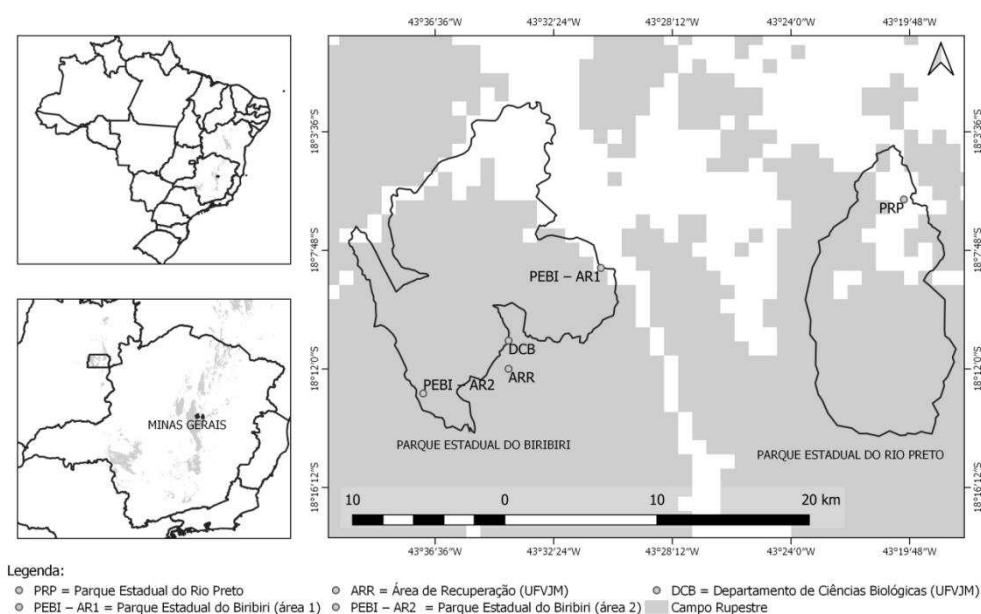
também foram amostrados dois pontos denominados ARR e DCB e 3) Parque Estadual do Rio Preto (PERP) (Figura 2, Tabela 1).

De acordo com dados do Instituto Estadual de Florestas (IEF), o PEBI, localizado na cidade de Diamantina/MG, foi criado em 1998 e possui cerca de 17.000 ha, está inserido no complexo da Serra do Espinhaço e a área abriga várias nascentes e cursos d'água. A cobertura vegetal nativa é composta por Cerrado, Campo Rupestre e Mata de Galeria (IEF, 2004a). O clima é considerado quente e temperado, com verões úmidos suaves e invernos frios e secos, se encaixando na classificação *Cwb* de Köppen com temperatura média de 18,8 °C e 1.498 mm de pluviosidade média anual (NEVES; ABREU; FRAGA, 2005). As abelhas provenientes desta área corresponderam às amostragens mensais de Araújo et al. (2016), entre os anos de 2012 e 2014. Os dois pontos de coleta fixados no PEBI distam 13,9 km um do outro, o ponto AR1 possui vegetação típica de Campo Rupestre que é caracterizada por formações predominantemente herbácea e arbustiva, associadas aos afloramentos rochosos e solos arenosos. Este tipo de vegetação ocorre, geralmente, em altitudes superiores a 900 m (RAPINI et al., 2008), em áreas onde há ventos constantes e variações de temperatura, com dias quentes e noites frias. O ponto AR2 localiza-se em menor altitude (Tabela 1), próximo ao Rio Jequitinhonha e tem vegetação característica de transição entre Cerrado e Mata de Galeria (ARAÚJO; LOURENÇO; RAW, 2016).

O PERP localiza-se no município de São Gonçalo do Rio Preto/MG, possui cerca de 12.000 ha e está inserido no bioma Cerrado. O parque foi criado em 1993 devido à necessidade de proteger a nascente do Rio Preto, que foi declarado em 1991 como “Rio de Preservação Permanente” (IEF, 2004b). Geograficamente, o Parque está inserido no complexo da Serra do Espinhaço, região alta do Vale do Jequitinhonha, a sua vegetação e suas formações geológicas são características deste sistema, com presença de diversos afloramentos rochosos. A classificação de Köppen para o clima nesta região é *Cwb*, com verões suaves e úmidos e invernos frios e secos. A precipitação média anual varia de 1.250 a 1.550 mm, a temperatura média fica entre 18 °C a 19 °C e a umidade relativa média anual é de 75,6% (NEVES; ABREU; FRAGA, 2005). O parque tem grande importância na proteção de nascentes da bacia do rio Jequitinhonha e de diversas espécies de fauna ameaçadas de extinção (IEF, 2004b). As abelhas provenientes desta área corresponderam às amostragens mensais de Lourenço et al. (2020), nos anos de 2012 a 2013.

A área situada na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, localizada no Campus JK em Diamantina/MG, compreende dois pontos amostrados: ARR e DCB. A ARR situa-se em uma área restaurada com cerca de 1 ha. Neste local havia um aterro sanitário que funcionou até 2002, que posteriormente foi isolado e espécies vegetais exóticas e nativas foram introduzidas para promover a recuperação da área (MACHADO et al., 2013). O outro ponto, DCB, possui vegetação característica de Campo Rupestre. As abelhas dessa área correspondem às amostragens quinzenais e/ou mensais que foram feitas desde 2012 (ponto ARR) e 2013 (ponto DCB), até o ano de 2019.

As distâncias entre os cinco pontos de coleta variaram de 1 km até 32,5 km (Tabela 1).



**Figura 2.** Pontos de amostragem de ninhos-armadilha ocupados por abelhas *Centris tarsata* e *Centris analis* na Cadeia do Espinhaço, nas áreas: Parque Estadual do Biribiri (PEBI) – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2); UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB) e Parque Estadual do Rio Preto (PRP), entre 2012 e 2019.

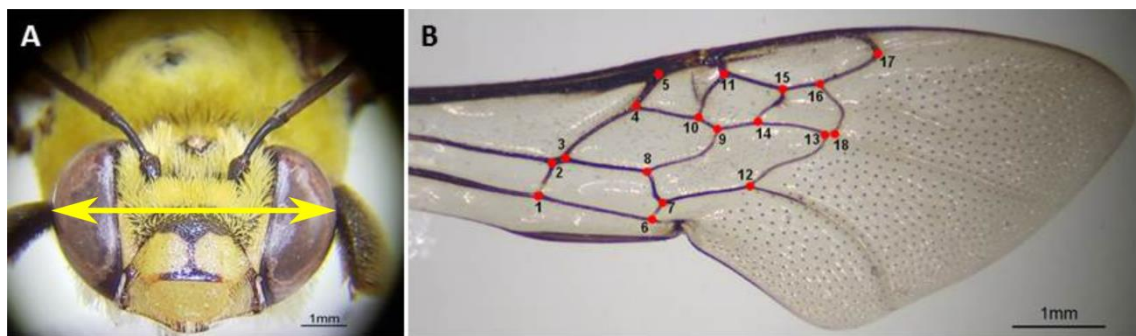
**Tabela 1.** Pontos de amostragem, coordenadas, altitude (m) e distâncias (km) entre os cinco pontos de coleta das abelhas *Centris tarsata* e *Centris analis*: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2); UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB) e Parque Estadual do Rio Preto (PRP).

Pontos	Coordenadas	Altitude (m)	Distâncias (km)			
			AR1	AR2	ARR	DCB
AR1	18°12'52,2"S, 43°37'1,3"O	1.180				
AR2	18°08'25,3"S, 43°30'43,8"O	680	13,9			
ARR	18°12'16"S, 43°34'12"O	1.397	5,0	9,5		
DCB	18°11'44"S, 43°34'20"O	1.370	5,0	9,0	1,0	
PRP	18°05'26"S, 43°20'31"O	833	32,5	19,0	27,5	27,0

### 2.3. Análises morfométricas

Machos e fêmeas de *C. tarsata* e de *C. analis* foram analisados utilizando-se morfometria linear das cabeças e morfometria geométrica das asas (Figura 3).

A morfometria linear foi avaliada através da medição da largura das cabeças dos indivíduos. As medidas foram obtidas utilizando um paquímetro digital, medindo de um olho ao outro das abelhas em seu ponto mais extremo (Figura 3A). Para as análises morfométricas lineares foram utilizados 326 indivíduos de *C. tarsata* e 254 de *C. analis* (Tabela 2).



**Figura 3.** (A) Localização da medida de largura da cabeça da abelha, de um olho ao outro, para as análises de morfometria linear e (B) localização dos 18 pontos anatômicos nas intersecções das veias das asas para as análises de morfometria geométrica. Fotos de uma fêmea de *Centris tarsata*.

Para as análises morfométricas geométricas das asas, foram retiradas cuidadosamente todas as asas anteriores direitas dos indivíduos recém-emergidos, e elas foram fixadas uma a uma, em lâminas de microscópio utilizando esmalte de unha apenas na porção de fixação da asa ao tórax. Algumas abelhas possuíam a asa anterior direita danificada, e deste modo, não foram utilizadas para esta medida, mas as cabeças correspondentes foram utilizadas para a morfometria linear, e o contrário também aconteceu, abelhas sem cabeça, mas com asas intactas (Tabela 2). Após a fixação das asas, estas foram fotografadas com um celular, com auxílio de um suporte acoplado em estereomicroscópio (Leica EZ4) com auxílio de um adaptador para celular (CitoHelper®) e de uma régua contendo marcações em milímetros. A partir da fotografia, foram marcados por meio do programa tpsDig versão 2.31, manualmente, 18 pontos anatômicos nas intersecções das veias das asas (Figura 3B) seguindo o proposto por Ferreira et al. (2011) para *C. aenea*. Para as análises morfométricas geométricas das asas foram utilizados machos e fêmeas, em um total de 310 abelhas da espécie *C. tarsata* de quatro pontos de coleta e 243 abelhas da espécie *C. analis* dos cinco pontos de coleta (Tabela 2).

**Tabela 2.** Número de cabeças e asas de abelhas fêmeas e machos de *Centris tarsata* e *Centris analis* usadas nas análises morfométricas lineares e geométricas, respectivamente. As abelhas foram coletadas em cinco pontos de coleta: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB) e Parque Estadual do Rio Preto (PRP). Não houve coleta de *C. tarsata* no PRP.

Pontos de coleta	Cabeças				Asas			
	<i>C. tarsata</i>		<i>C. analis</i>		<i>C. tarsata</i>		<i>C. analis</i>	
	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos
AR1	15	17	13	23	16	16	13	23
AR2	11	24	03	03	10	25	03	02
ARR	25	10	11	15	22	09	11	14
DCB	104	120	12	05	101	111	09	06
PRP	-	-	61	108	-	-	60	102
Total	326		254		310		243	

#### 2.4. Análise do material polínico

As amostras do material polínico foram submetidas ao processo de acetólise (ERDTMAN, 1960) e, posteriormente, foram confeccionadas três lâminas de cada amostra, com gelatina glicerizada (KRAUS; ARDUIN, 1997). Os tipos polínicos presentes nas lâminas foram fotomicrografados e identificados até o nível de família, sendo que em alguns casos foi possível a resolução até o nível de gênero e espécie. Para as identificações, utilizamos a literatura especializada (DIAS, 2018; SILVA et al., 2014), bem como a comparação com os tipos polínicos depositados na Palinoteca de Referência do LEIA, que compreende grãos de pólen da flora ao redor da estação de coleta de abelhas. A análise quantitativa foi feita a partir da contagem dos grãos de pólen (cerca de 250 grãos por lâmina, totalizando 750 grãos por amostra) e cálculo da porcentagem de acordo com a incidência encontrada. Para a análise do alimento polínico dos imaturos foram utilizados 50 ninhos de *C. tarsata* (Tabela 3) e 28 ninhos de *C. analis* (Tabela 4). Para comparações entre as áreas, os ninhos foram escolhidos de acordo com os meses de maior abundância de coleta de ninhos entre as áreas, sendo que foram excluídos das análises o material polínico dos meses de abril, maio, junho, julho e agosto.

**Tabela 3.** Quantidade de ninhos-armadilhas ocupados pelas abelhas *Centris tarsata* utilizados para as análises polínicas. Os ninhos foram coletados entre 2012 e 2019 nas áreas: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB).

Anos	2012		2013				2014				2017	2019			Total	
Meses	3	1	2	9	10	11	12	1	2	3	11	12	9	10		11
AR1	-	02	02	-	-	-	01	01	01	04	-	-	-	-	-	11
AR2	-	01	-	-	01	01	02	01	06	-	-	-	-	-	-	12
ARR	04	-	-	01	-	-	-	-	03	-	-	01	-	02	01	12
DCB	-	-	-	02	-	-	-	-	-	04	02	02	01	02	02	15

**Tabela 4.** Quantidade de ninhos-armadilhas ocupados pelas abelhas *Centris analis* utilizados para as análises polínicas. Os ninhos foram coletados entre 2012 e 2019 nas áreas: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR), Departamento de Ciências Biológicas (DCB) e Parque Estadual do Rio Preto (PRP).

Anos	2012	2013		2014		2015		2016		2017	2019		Total
Meses	12	1	2	1	2	2	3	2	3	1	1	12	
AR1	02	-	02	01	-	-	-	-	-	-	-	-	05
AR2	01	-	01	-	01	-	-	-	-	-	-	-	03
ARR	-	-	-	-	-	-	-	-	-	01	02	01	04
DCB	-	-	-	-	-	01	01	02	01	-	-	-	05
PRP	05	05	01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11

## 2.5. Análise dos dados

As diferenças do tamanho da cabeça (morfometria linear) das abelhas *C. tarsata* e *C. analis* entre as áreas e as diferenças entre os sexos foram analisadas pelo teste não paramétrico Kruskal-Wallis seguido do teste par-a-par de Mann-Whitney, uma vez que as medidas das cabeças não tiveram distribuição normal, verificado pelo teste Shapiro-Wilk, utilizando-se o programa PAST 4.03 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001). Para as análises da forma da asa e tamanho de centroide (morfometria geométrica), foi utilizado o programa MorphoJ 1.07a (KLINGENBERG, 2011), onde foram realizadas as Análises dos Componentes Principais (PCA). As diferenças de forma foram analisadas usando métodos estatísticos multivariados da Análise Variável Canônica (CVA), que avalia o grau de similaridade entre os grupos analisados (ADAMS; ROHLF; SLICE, 2004).

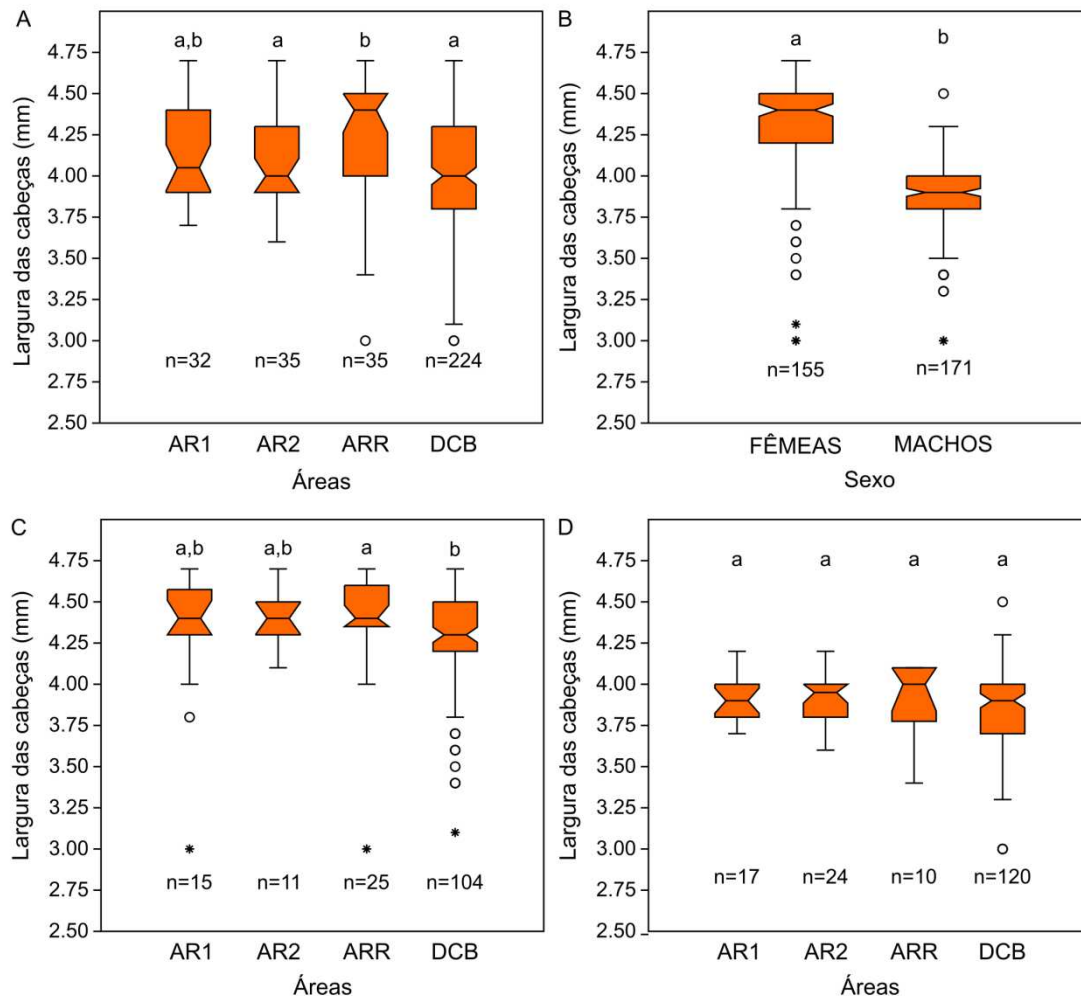
As análises de diversidade, índice de Shannon-Wiener (SHANNON, 1948) e as análises de similaridade entre as áreas, coeficiente de Morisita (MORISITA, 1959), foram calculadas utilizando-se PAST 4.03 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001). Também foi realizado um teste t para verificar se existiam diferenças significativas entre os valores dos índices de diversidade de Shannon entre as áreas, também no programa PAST 4.03 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Variações nas populações de abelhas *Centris tarsata* em diferentes áreas

##### 3.1.1. Morfometria linear

Com relação à morfometria linear das cabeças, ao compararmos todas as abelhas (fêmeas e machos no mesmo conjunto de dados), observamos que o tamanho da cabeça da população da ARR é maior (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,05$ ) do que das populações das áreas AR2 e DCB, mas não são maiores estatisticamente quando comparadas com as abelhas de AR1 (Mann-Whitney pairwise,  $p = 0,061$ ; Figura 4A). Investigamos se havia diferença de tamanho das cabeças entre os sexos, e as fêmeas apresentaram largura de cabeça maior que os machos (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,05$ ; Figura 4B). Como há diferenças entre fêmeas e machos, analisamos os sexos separadamente para observarmos possíveis diferenças nas populações entre as áreas. Quando comparamos somente as fêmeas, observamos que as fêmeas da ARR são maiores que as do DCB (Mann-Whitney pairwise,  $p = 0,049$ ; Figura 4C), e quanto aos machos não há variações no tamanho da cabeça entre as populações de nenhuma das áreas (Mann-Whitney pairwise,  $p > 0,05$ ; Figura 4D).



**Figura 4.** Valor médio e erro padrão das medidas de largura da cabeça das abelhas *Centris tarsata* coletadas nas áreas: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB). Box-plot entalhado mostra a mediana (linhas horizontais), caixas apresentam percentis de 25 e 75, os valores máximos e mínimos são apresentados como linhas horizontais curtas (“whiskers”). Sendo  $\circ$  Outlier e \* Valor discrepante. (A) Todos os indivíduos (fêmeas e machos) em um mesmo conjunto de dados, (B) Comparação entre Fêmeas e Machos, (C) Somente Fêmeas e (D) Somente Machos. Letras diferentes acima do box-plot significam diferença significativa ao nível de 5% de significância e abaixo do box-plot o n amostral.

### 3.1.2. Morfometria geométrica

Com relação à morfometria geométrica das asas, nas análises dos componentes principais (PCA) para avaliar a diferença entre as populações de *C. tarsata* entre as áreas, obtivemos diferenças significativas quanto à forma média das asas ao analisarmos todos os indivíduos em um mesmo conjunto de dados. Os 18 primeiros fatores dessas medidas explicaram 91,64% da variabilidade total dos dados, com os dois primeiros PCs explicando 38,25% da variabilidade total (PC1 explicou 26,02% e PC2 explicou 12,22%). Para os resultados da variação canônica (CVA) foram encontradas diferenças entre todas as áreas. O gráfico de dispersão (Figura 5A) mostra uma sutil separação entre áreas, embora sobreposições possam ser observadas, com

diferenças significativas nas distâncias de Mahalanobis entre elas, sendo que as populações mais próximas foram das áreas AR1 e AR2 (distância de Mahalanobis = 1,57;  $p = 0,031$ ), seguida de populações de ARR e DCB (distância de Mahalanobis = 1,72;  $p < 0,001$ ; Tabela 5).

Dois fatores que poderiam influenciar os resultados das populações entre as áreas foram analisados: diferenças morfométricas entre machos e fêmeas (dimorfismo sexual) e tamanho amostral desigual entre as populações.

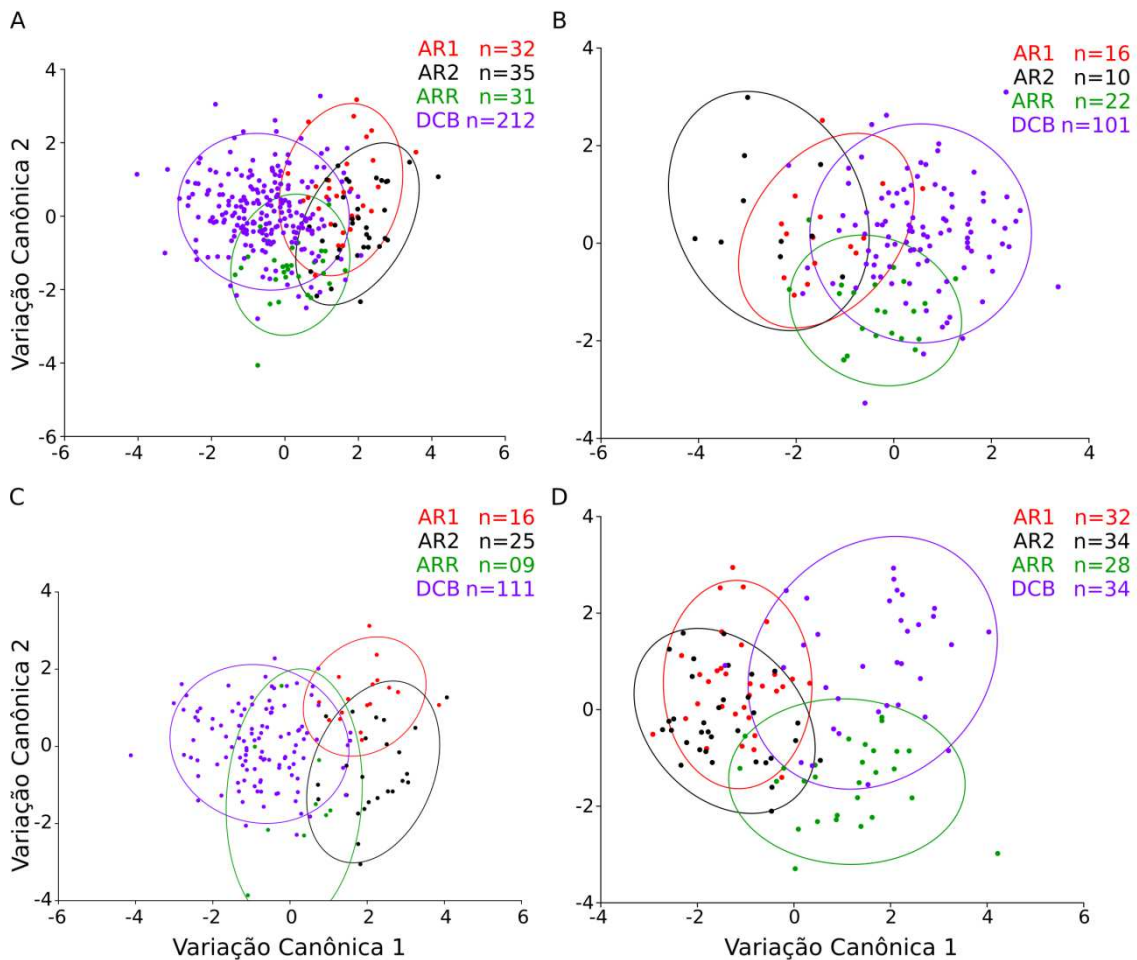
Analisando-se os sexos, as fêmeas ( $n = 149$ ) apresentaram-se morfometricamente diferentes dos machos ( $n = 161$ ). Desta maneira, foram feitas as análises somente para fêmeas (Figura 5B) e machos (Figura 5C) entre áreas. Nas análises dos componentes principais (PCA), diferenças estatísticas foram encontradas na forma média das asas das fêmeas de *C. tarsata* entre as áreas e os 18 primeiros fatores dessas medidas explicaram 92,53% da variabilidade total dos dados, com os dois primeiros PCs explicando 36,47% da variabilidade total (PC1 explicou 23,92% e PC2 explicou 12,55%). Para os resultados da variação canônica (CVA), quando observamos o gráfico de dispersão, notamos uma separação das populações, onde as abelhas de ARR e DCB estão mais à direita do quadrante, e a população da AR2 mais a esquerda (Figura 5B). As populações de fêmeas de todas as áreas apresentaram diferenças entre si, exceto entre AR1 e AR2 ( $p = 0,080$ ; Tabela 5) e as populações mais próximas foram DCB e ARR (distância de Mahalanobis = 1,91;  $p = 0,001$ ; Tabela 5).

Para os machos, as análises dos componentes principais (PCA) mostraram diferenças estatísticas na forma média das asas entre as populações das áreas, sendo que os 18 primeiros fatores dessas medidas explicaram 91,18% da variabilidade total dos dados, com os dois primeiros PCs explicando 28,49% da variabilidade total (PC1 explicou 17,16% e PC2 explicou 11,33%). Para os resultados da variação canônica (CVA), os machos de *C. tarsata* apresentaram diferenças entre todas as populações e as mais próximas foram as populações da AR1 e AR2, mais à direita no quadrante (distância de Mahalanobis = 2,30;  $p = 0,001$ ; Figura 5C), seguida de ARR e DCB, mais à esquerda no quadrante (distância de Mahalanobis = 2,59;  $p = 0,007$ ; Tabela 5).

Realizamos uma nova análise com números próximos de indivíduos entre as áreas, diminuindo-se aleatoriamente o número de abelhas da área DCB para avaliar se o tamanho amostral desigual entre as populações estaria interferindo nos resultados. De acordo com as análises dos componentes principais (PCA) as diferenças significativas permaneceram nessa análise quanto a forma da asa, mas não quanto ao tamanho do



centroide. Os 18 primeiros fatores dessas medidas explicaram 94,07% da variabilidade total dos dados, com os dois primeiros PCs explicando 38,31% da variabilidade total (PC1 explicou 26,56% e PC2 explicou 11,74%). Para os resultados da variação canônica (CVA), as populações mais próximas foram AR1 e AR2 (distância de Mahalanobis = 1,82;  $p = 0,001$ ), seguida de DCB e ARR (distância de Mahalanobis = 2,57;  $p < 0,001$ ; Figura 5D; Tabela 5).

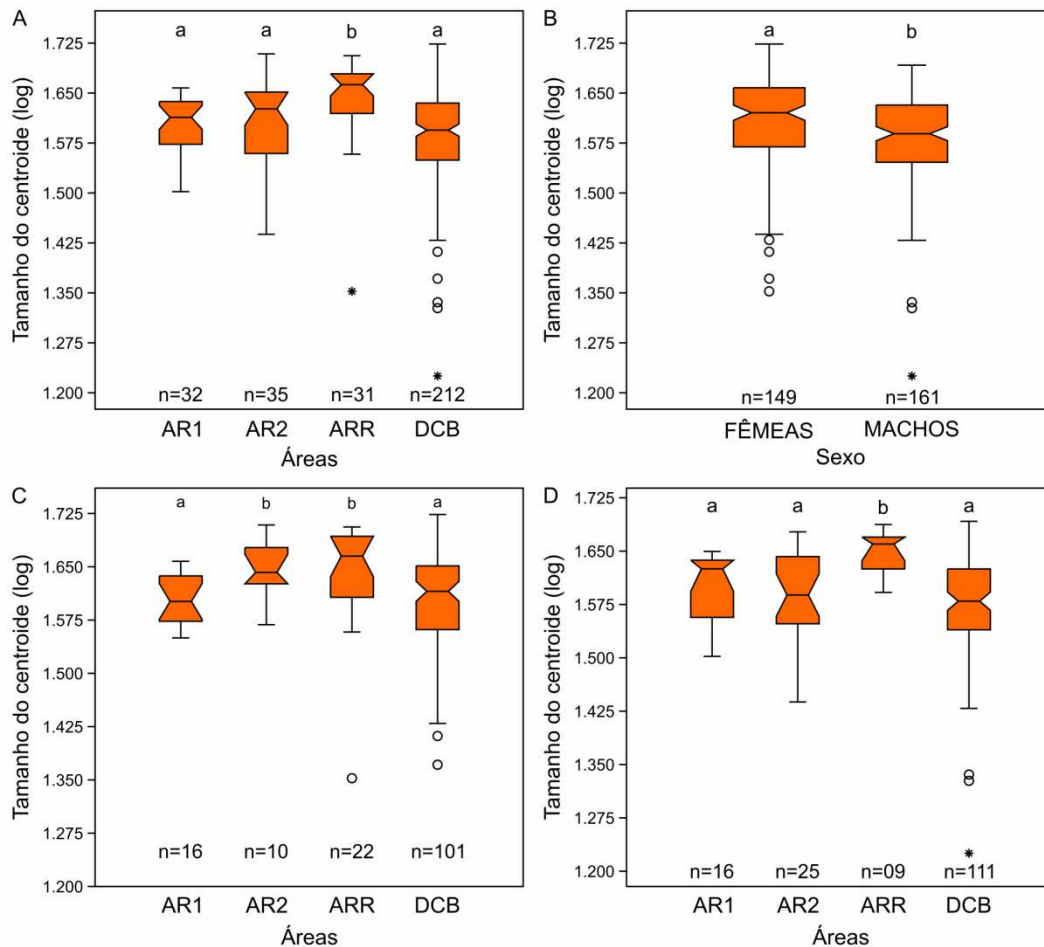


**Figura 5.** Análises de variáveis canônicas entre as populações de *Centris tarsata* nas áreas: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB). As áreas foram identificadas por cores diferentes, assim como o n amostral. **(A)** Todos os indivíduos no mesmo conjunto de dados; **(B)** Somente Fêmeas; **(C)** Somente Machos e **(D)** Número próximo de indivíduos entre as áreas.

**Tabela 5.** Resultados da Distância de Mahalanobis entre as populações de *Centris tarsata* e entre parênteses os valores de P dos testes de permutação, em relação às áreas: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB). As análises foram feitas com fêmeas e machos em mesmo conjunto (todos), somente fêmeas, somente machos e com números próximos de indivíduos entre as áreas.

Pontos de coleta	AR1	AR2	ARR
<b>Todos</b>			
AR2	1,57 (0,0353)	-	-
ARR	2,49 (<0,0001)	2,35 (<0,0001)	-
DCB	2,28 (<0,0001)	2,68 (<0,0001)	1,72 (0,0001)
<b>Fêmeas</b>			
AR2	2,56 (0,0801)	-	-
ARR	2,36 (0,0008)	3,01 (<0,0001)	-
DCB	2,32 (<0,0001)	3,14 (<0,0001)	1,91 (0,0001)
<b>Machos</b>			
AR2	2,30 (0,0001)	-	-
ARR	3,44 (0,0001)	3,27 (<0,0001)	-
DCB	3,07 (<0,0001)	3,07 (<0,0001)	2,59 (0,0077)
<b>Números próximos de indivíduos</b>			
AR2	1,82 (0,0013)	-	-
ARR	3,08 (<0,0001)	3,02 (<0,0001)	-
DCB	3,04 (<0,0001)	3,33 (<0,0001)	2,57 (<0,0001)

A análise baseada no tamanho de centroide indicou que houve diferenças estatisticamente significantes entre as abelhas das diferentes áreas (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,001$ ) e observamos que os indivíduos da ARR são maiores também em relação ao tamanho do centroide, quando comparados às outras áreas (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,05$ ; Figura 6A), corroborando com os resultados da morfometria linear. Quando analisamos somente fêmeas, observamos que as populações da AR2 e ARR são maiores que as populações da AR1 e DCB (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,05$ ; Figura 6C) e quando analisamos somente machos, observamos que a população da ARR é maior que as demais (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,05$ ; Figura 6D).



**Figura 6.** Valor do Log do centróide das asas das abelhas *Centris tarsata* coletadas nas áreas: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB). Box-plot entalhado mostra a mediana (linhas horizontais), caixas apresentam percentis de 25 e 75, os valores máximos e mínimos são apresentados como linhas horizontais curtas (“whiskers”). Sendo o Outlier e \* Valor discrepante. (A) Todos os indivíduos num mesmo conjunto de dados; (B) Fêmeas e Machos juntos (C) Somente Fêmeas e (D) Somente Machos. Letras diferentes acima do box-plot significam diferença significativa ao nível de 5% de significância e abaixo do box-plot o n amostral.

### 3.1.3. Análise polínica

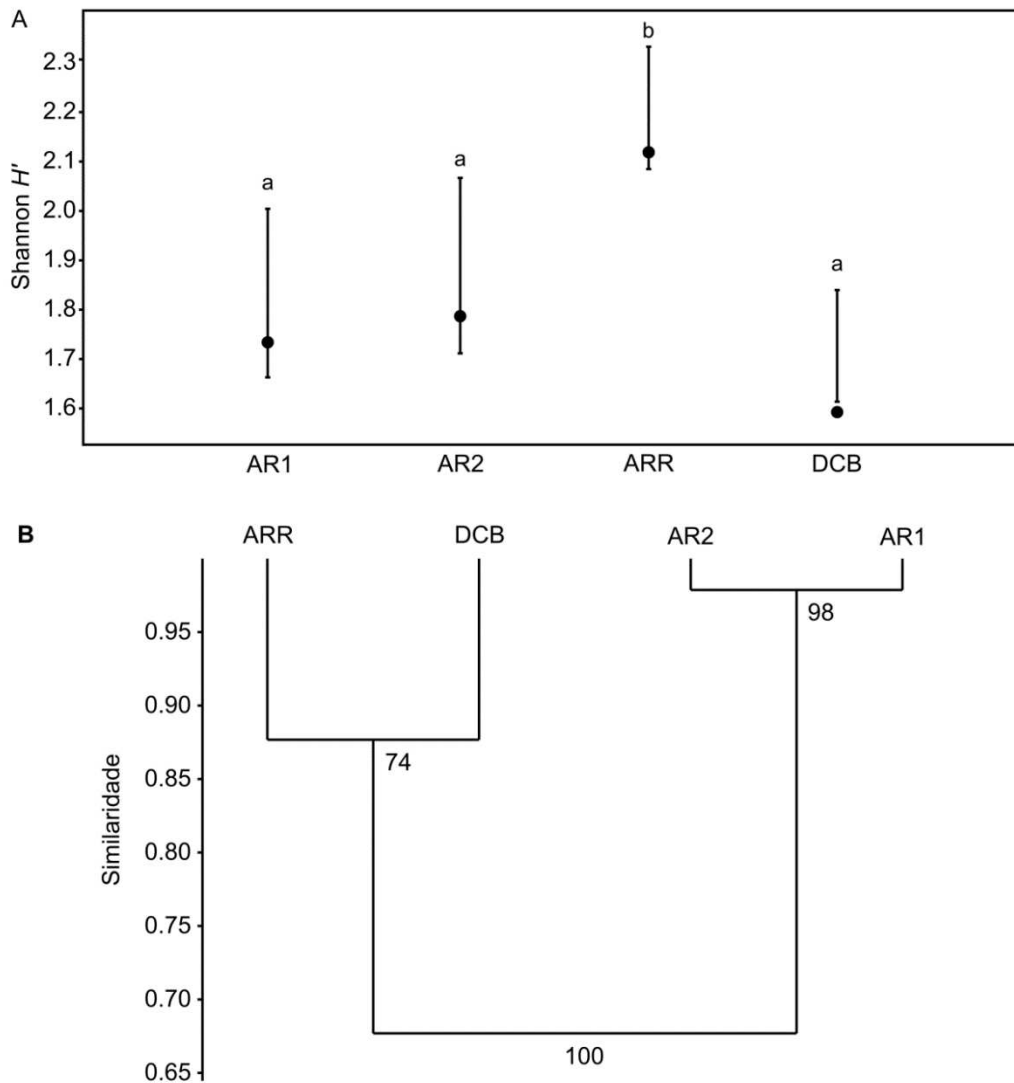
De maneira geral, as abelhas *C. tarsata* nas quatro áreas analisadas coletaram 24 tipos polínicos pertencentes a 13 famílias botânicas (Tabela 6; Apêndice A; Figura S1). As fêmeas da AR1 coletaram grãos de pólen de 16 tipos polínicos pertencentes a 08 famílias botânicas, nesta área houve maior frequência de pólen da família Melastomataceae (43%), seguido por Fabaceae (Tipo *Cassia* sp. 19%) e Malpighiaceae (Tipo *Banisteriopsis* sp. 15%; Tabela 6). As abelhas da AR2 coletaram 18 tipos polínicos pertencentes a 10 famílias botânicas, sendo que também observamos uma maior frequência de Melastomataceae (43%), seguido por Fabaceae (Tipo *Cassia* sp. 20%; Tabela 6). Já as abelhas da ARR coletaram 20 tipos polínicos pertencentes a

11 famílias botânicas e não observamos uma preferência clara das abelhas por um tipo polínico nesta área, elas possuem um espectro polínico bem variado, sendo as maiores frequências por dois tipos polínicos de Fabaceae (Tipo *Cassia* sp. e Fabaceae tipo 2, ambas com 20%) e Malpighiaceae (Tipo *Byrsonima* sp 12,5%; Tabela 6). Por último, as abelhas do DCB coletaram 13 tipos polínicos pertencentes a 08 famílias botânicas e onde observamos maior frequência por pólen da família Fabaceae (Tipo *Cassia* sp. com 29% e Fabaceae tipo 2 com 27% do espectro polínico), seguidos por Melastomataceae (24%) e Malpighiaceae (Tipo *Byrsonima* sp 10%; Tabela 6).

**Tabela 6.** Ocorrência de tipos polínicos (%) e riqueza da alimentação polínica fornecida a larvas de abelhas *Centris tarsata* em cada uma das áreas amostradas: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB). Entre parênteses o n amostral de ninhos analisados em cada área.

Tipos polínicos	AR1 (n=11)	AR2 (n=12)	ARR (n=12)	DCB (n=15)	Figura no Apêndice A
Asteraceae (Tipo <i>Taraxacum</i> sp.)	0,00	0,00	0,09	0,00	Figura S1A
Asteraceae (Tipo 1)	0,24	0,02	7,18	5,40	Figura S1B
Clusiaceae	0,00	0,00	6,89	0,00	Figura S1C
Portulacaceae (Tipo <i>Portulaca</i> sp.)	0,00	0,00	1,68	0,00	Figura S1D
Fabaceae (Tipo 1)	1,05	2,05	1,07	0,40	Figura S1E
Fabaceae (Tipo 2)	3,89	7,73	20,43	27,45	Figura S1F
Fabaceae (Tipo 3)	1,61	0,31	0,47	0,00	Figura S1G
Fabaceae (Tipo 4)	0,57	0,00	0,15	0,00	Figura S1H
Fabaceae (Tipo <i>Mimosa</i> sp.)	0,00	0,21	0,00	0,00	Figura S1I
Fabaceae (Tipo <i>Cassia</i> sp.)	19,31	19,67	20,43	28,67	Figura S1J
Fabaceae (Tipo <i>Stryphnodendron</i> sp.)	0,00	3,07	0,00	0,02	Figura S1K
Lamiaceae (Tipo <i>Hyptis</i> sp.)	1,22	0,50	0,00	0,15	Figura S1L
Tipo Loranthaceae	0,00	0,01	0,00	0,00	Figura S1M
Lythraceae ( <i>Cuphea</i> sp. 1)	1,79	3,44	0,25	0,68	Figura S1N
Lythraceae ( <i>Cuphea</i> sp. 2)	1,43	2,22	0,05	0,26	Figura S1O
Malpighiaceae (Tipo <i>Banisteriopsis</i> sp.)	15,13	7,93	8,63	0,91	Figura S1P
Malpighiaceae (Tipo <i>Byrsonima</i> sp.)	4,39	2,42	12,55	10,47	Figura S1Q
Malpighiaceae (Tipo <i>Heteropterys</i> sp.)	3,25	1,91	0,01	0,00	Figura S1R
Malpighiaceae (Tipo <i>Tetrapterys</i> sp.)	1,27	0,00	0,79	0,00	Figura S1S
Melastomataceae	43,21	42,78	11,03	23,88	Figura S1T
Myrtaceae	1,60	5,42	0,38	0,00	Figura S1U
Onagraceae (Tipo <i>Ludwigia</i> sp.)	0,03	0,00	0,02	1,33	Figura S1V
Tipo Poaceae	0,00	0,10	6,51	0,00	Figura S1W
Solanaceae	0,00	0,20	1,39	0,39	Figura S1X
<b>Riqueza</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>13</b>	

Analisando a riqueza e diversidade da alimentação, a maior riqueza e a maior diversidade polínica foram encontradas na ARR ( $H' = 2,21$ ; teste t  $p < 0,05$ ; Figura 7A) e com base no índice de similaridade de Morisita, observamos semelhanças da alimentação das populações de abelhas das áreas ARR e DCB, que formaram um grupo, e de AR1 e AR2 que formaram outro grupo (Figura 7B).

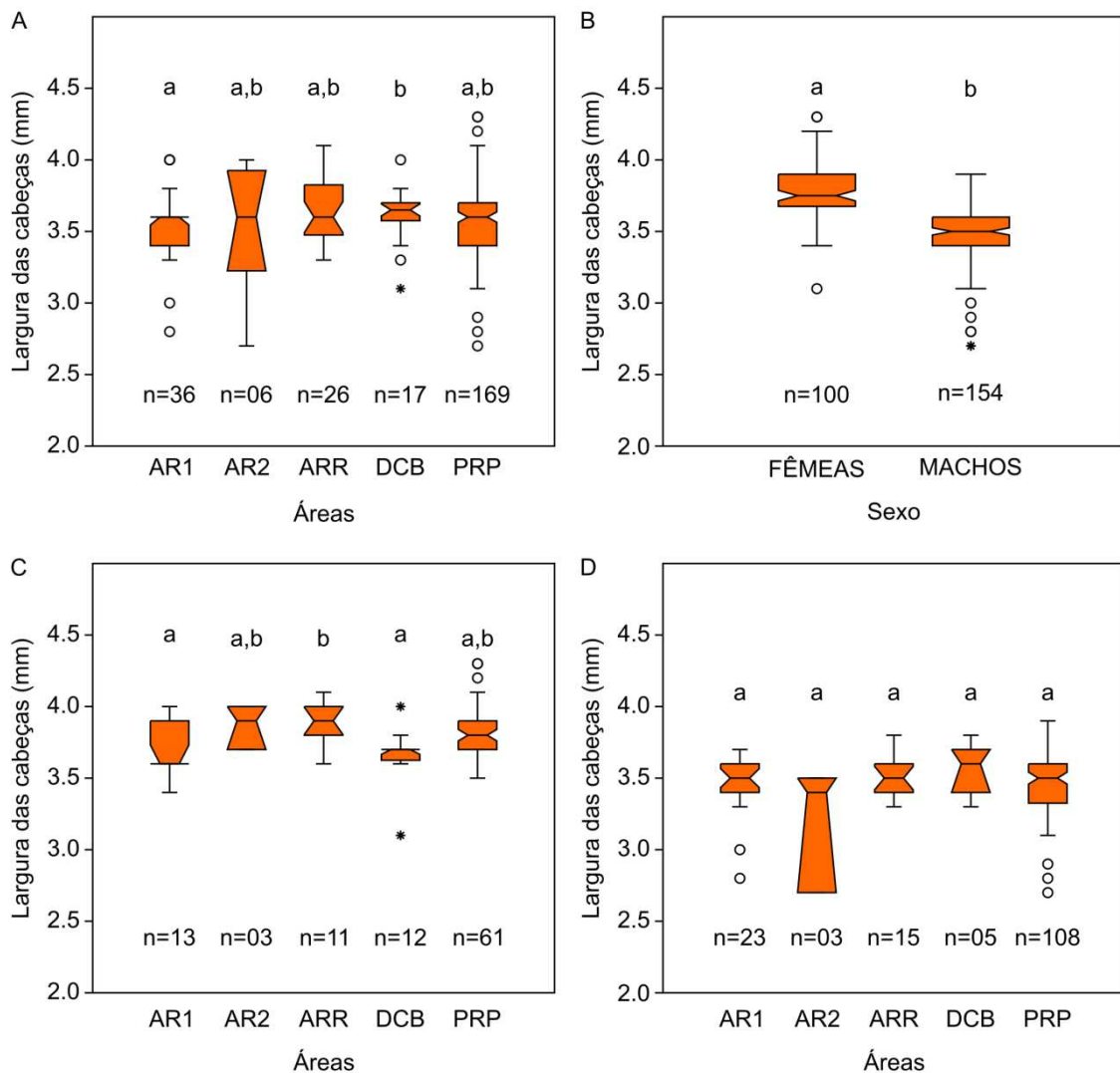


**Figura 7.** (A) Índice de diversidade Shannon  $H'$  da alimentação fornecida para as larvas de abelhas *Centris tarsata* entre as áreas. Letras diferentes acima do desvio padrão significam diferença significativa ao nível de 5% de significância, e (B) Dendograma de similaridade (Morisita) da alimentação polínica das abelhas das áreas Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB). Os valores numéricos entre os ramos indicam a porcentagem do quanto um grupo seja irmão do outro.

## 3.2. Variações nas populações de abelhas *Centris analis* em diferentes áreas

### 3.2.1. Morfometria linear

Com relação à morfometria linear das cabeças, ao compararmos todas as abelhas *C. analis* (fêmeas e machos no mesmo conjunto de dados), observamos que as abelhas do DCB são maiores que as da AR1 (Mann-Whitney pairwise,  $p = 0,03$ ), mas as outras populações não diferiram entre si (Figura 8A). Investigamos se havia diferença de tamanho entre os sexos, e as fêmeas apresentaram largura de cabeça maior que os machos (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,05$ ; Figura 8B). Como há diferenças entre fêmeas e machos, analisamos os sexos separadamente para observarmos possíveis diferenças nas populações entre as áreas. Para as fêmeas, observamos que as populações de ARR são maiores que as da AR1 e DCB (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,05$ ; Figura 8C) e quanto aos machos de *C. analis* não observamos diferenças entre nenhuma das áreas (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,05$ ; Figura 8D).



**Figura 8.** Valor médio e erro padrão das medidas de largura da cabeça das abelhas *Centris analis* coletadas nas áreas: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK - Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB) e Parque Estadual do Rio Preto (PRP). Box-plot entalhado mostra a mediana (linhas horizontais), caixas apresentam percentis de 25 e 75, os valores máximos e mínimos são apresentados como linhas horizontais curtas (“whiskers”). Sendo  $\circ$  Outlier e  $*$  Valor discrepante. (A) Todos os indivíduos (fêmeas e machos) em um mesmo conjunto de dados, (B) Comparação entre Fêmeas e Machos, (C) Somente Fêmeas e (D) Somente Machos. Letras diferentes acima do box-plot significam diferença significativa ao nível de 5% de significância e abaixo do box-plot o n amostral.

### 3.2.2. Morfometria geométrica

Com relação à morfometria geométrica das asas, nas análises dos componentes principais (PCA) ao avaliar a diferença entre as populações de *C. analis* entre as áreas, não obtivemos diferenças significativas quanto ao tamanho do centroide, mas a forma das asas foi diferente ao analisarmos fêmeas e machos em um mesmo conjunto de dados. Os 18 primeiros fatores dessas medidas explicaram 92,65% da variabilidade total dos dados, com os dois primeiros PCs explicando 48,84% da variabilidade total (PC1 explicou 40,46% e PC2 explicou 8,37%). Para os resultados da

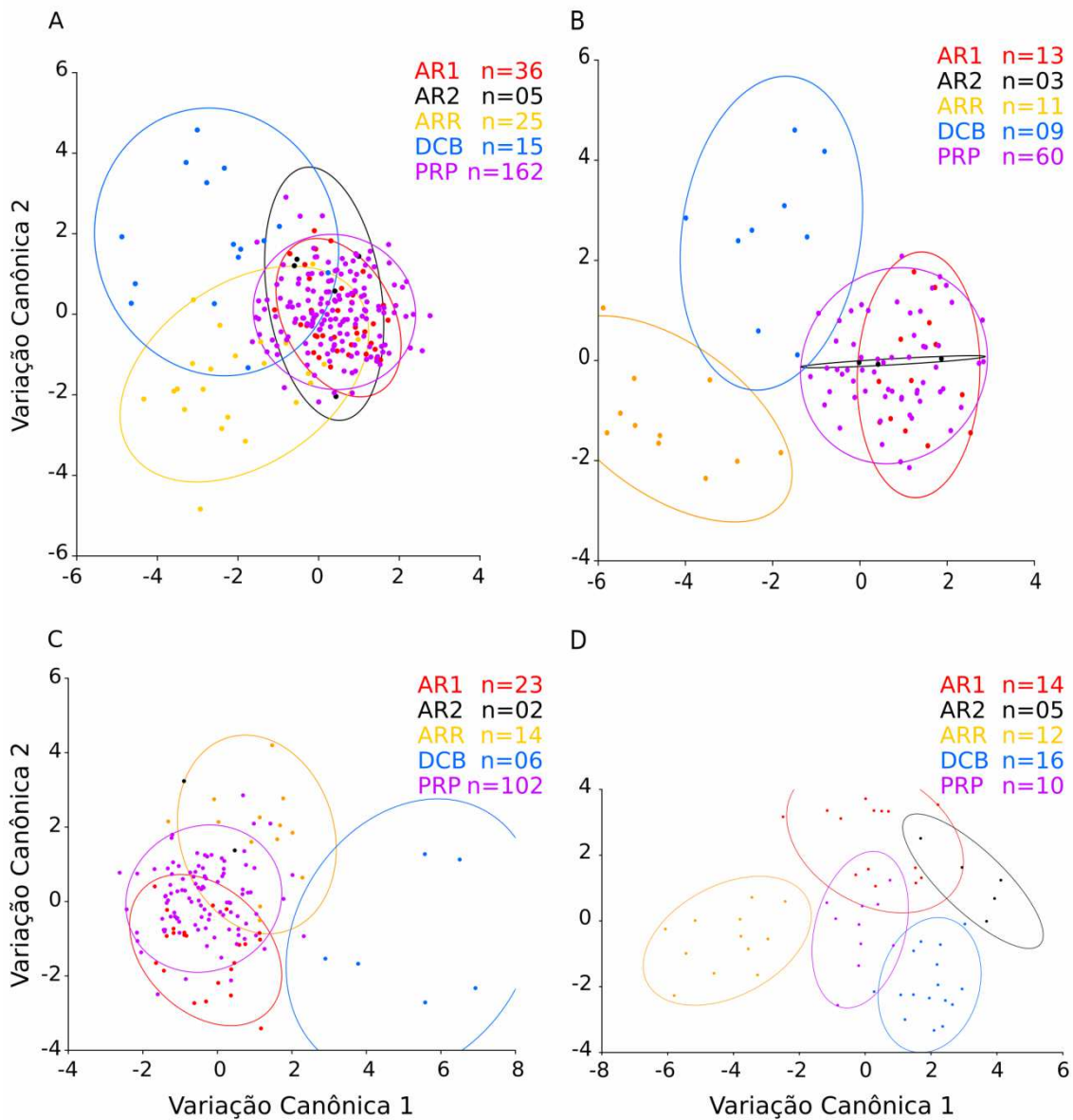
variação canônica (CVA) foram encontradas diferenças entre todas as áreas, o gráfico de dispersão mostra uma separação entre áreas ARR e DCB mais à esquerda do quadrante, e sobreposições entre as demais áreas podem ser observadas mais à direita do quadrante (Figura 9A). Diferenças significativas nas distâncias de Mahalanobis entre as áreas foram observadas, sendo que as populações mais próximas foram das áreas AR1 e PRP (distância de Mahalanobis = 1,59;  $p < 0,001$ ), seguida de populações de ARR e PRP (distância de Mahalanobis = 2,72;  $p < 0,001$ ; Tabela 7).

Analisando-se os sexos, as fêmeas ( $n = 96$ ) são morfometricamente diferentes dos machos ( $n = 147$ ). Desta maneira, foram feitas as análises somente para fêmeas (Figura 9B) e machos (Figura 9C) entre áreas. Nas análises dos componentes principais (PCA) das fêmeas de *C. analis*, não obtivemos diferenças estatísticas quanto ao tamanho do centroide, mas na forma média da asa entre as áreas encontramos diferenças e os 18 primeiros fatores dessas medidas explicaram 90,65% da variabilidade total dos dados, com os dois primeiros PCs explicando 28,37% da variabilidade total (PC1 explicou 15,74% e PC2 explicou 12,63%). Para os resultados da variação canônica (CVA), as populações de fêmeas de todas as áreas apresentaram diferenças entre si (Tabela 7), e podemos observar através do gráfico de dispersão uma separação entre as abelhas da ARR e DCB das demais com base nos primeiros eixos do CVA que colocou esses dois grupos mais ao quadrante esquerdo (Figura 9C). As populações mais próximas foram AR1 e PRP (distância de Mahalanobis = 2,50;  $p < 0,001$ ; Tabela 7).

Para os machos de *C. analis*, não obtivemos diferenças estatísticas quanto ao tamanho do centroide, mas na forma média da asa entre as áreas, diferenças foram observadas, nas quais os 18 primeiros fatores dessas medidas explicaram 90,78% da variabilidade total dos dados, com os dois primeiros PCs explicando 28,99% da variabilidade total (PC1 explicou 16,99% e PC2 explicou 12%). Para os resultados da variação canônica (CVA), o gráfico de dispersão mostra uma separação entre áreas e sobreposições entre elas podem ser observadas e, com base nos primeiros eixos do CVA, encontramos um grupo colocado mais ao quadrante direito (DCB) e outro grupo mais centralizado, porém tendendo ao lado direito (ARR) (Figura 9C). Os machos apresentaram diferenças entre todas as populações, exceto entre AR2 e AR1 e entre ARR e PRP (Tabela 7). As populações mais próximas foram AR1 e PRP (distância de Mahalanobis = 2,48;  $p = 0,001$ ), seguida de ARR e DCB (distância de Mahalanobis = 2,03;  $p < 0,001$ ; Tabela 7).



Realizamos uma nova análise com números próximos de indivíduos entre as áreas, escolhendo aleatoriamente o número de abelhas, para avaliar se o tamanho amostral desigual entre as populações poderia interferir nos resultados (Figura 9D). De acordo com as análises dos componentes principais (PCA) não obtivemos diferenças significativas quanto ao tamanho do centroide, mas a forma das asas foi diferente ao analisarmos todos os indivíduos em um mesmo conjunto de dados, indicando que as diferenças permaneceram nessa nova análise. Os 18 primeiros fatores dessas medidas explicaram 95,79% da variabilidade total dos dados, com os dois primeiros PCs explicando 51,72% da variabilidade total (PC1 explicou 41,83% e PC2 explicou 9,88%). O gráfico de dispersão mostra uma separação da população da área ARR com as demais áreas, e sobreposições entre as populações da AR1 com AR2 e PRP, e também da área PRP com DCB são observadas (Figura 9D). Para os resultados da variação canônica (CVA), as populações mais próximas foram DCB e PRP (distância de Mahalanobis = 4,67;  $p < 0,0001$ ), seguida de AR2 e PRP (distância de Mahalanobis = 4,74;  $p = 0,0008$ ; Figura 9D; Tabela 7).

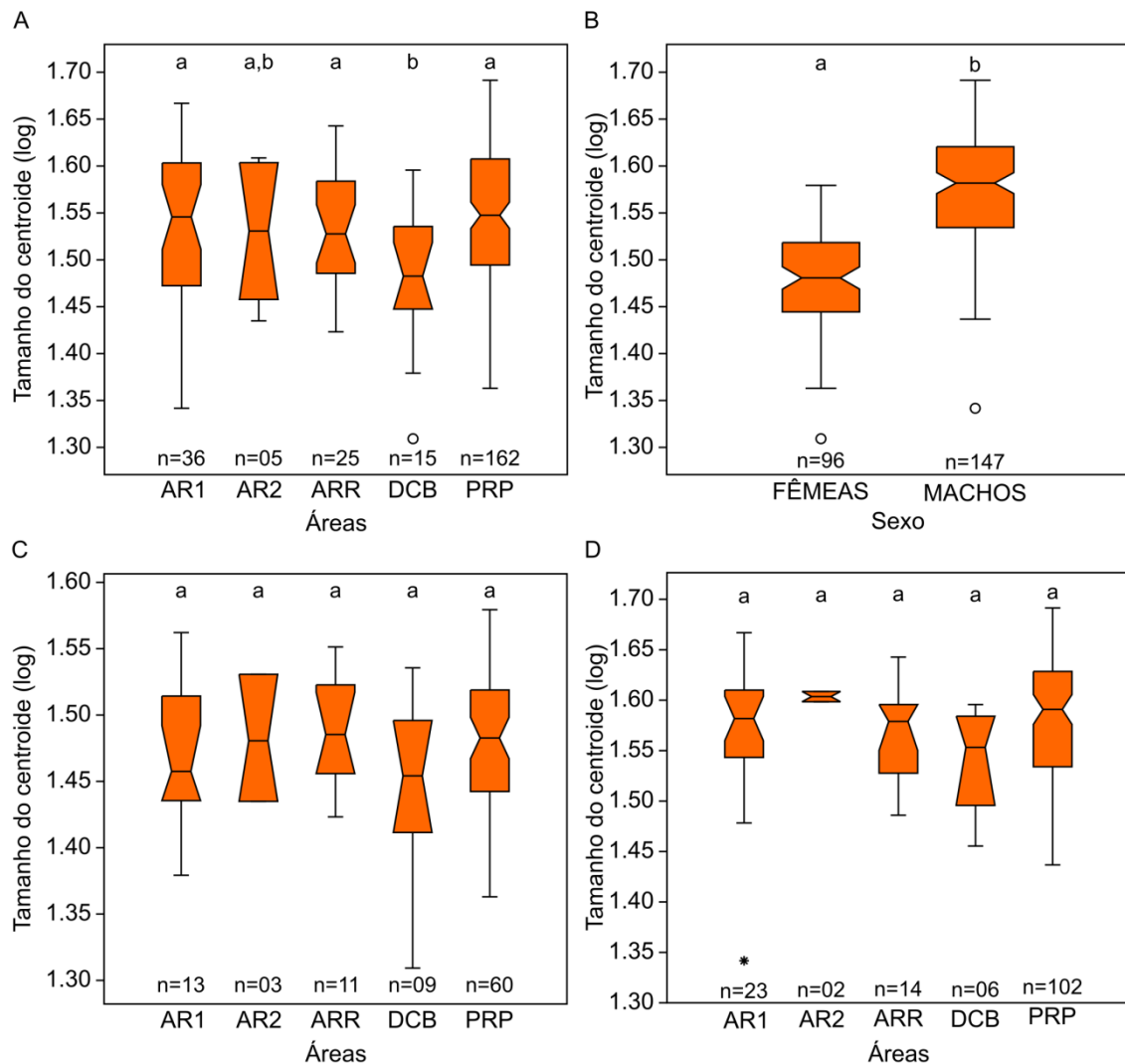


**Figura 9.** Análises de variáveis canônicas entre as populações de *Centris analis* nas áreas: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB) e Parque Estadual do Rio Preto (PRP). As áreas foram identificadas por cores diferentes, assim como o n amostral. (A) Todos os indivíduos (fêmeas e machos) em um mesmo conjunto de dados, (B) Somente Fêmeas; (C) Somente Machos e (D) Números próximos de indivíduos.

**Tabela 7.** Resultados da Distância de Mahalanobis entre as populações de *Centris analis* e entre parênteses os valores de P dos testes de permutação, em relação às áreas: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB) e Parque Estadual do Rio Preto (PRP).

Pontos de coleta	AR1	AR2	ARR	DCB
<b>Todos</b>				
AR2	3,51 (0,0022)	-	-	-
ARR	3,05 (<0,0001)	3,87 (0,0427)	-	-
DCB	3,72 (<0,0001)	4,19 (0,0113)	3,37 (<0,0001)	-
PRP	1,59 (<0,0001)	2,77 (0,1734)	2,72 (<0,0001)	3,43 (<0,0001)
<b>Fêmeas</b>				
AR2	5,04 (0,0016)	-	-	-
ARR	6,08 (<0,0001)	6,71 (0,0014)	-	-
DCB	4,72 (<0,0001)	5,68 (0,0009)	4,39 (<0,0001)	-
PRP	2,50 (<0,0001)	4,23 (0,0055)	5,31 (<0,0001)	3,92 (<0,0001)
<b>Machos</b>				
AR2	4,68 (0,0925)	-	-	-
ARR	3,43 (<0,0001)	3,77 (0,9809)	-	-
DCB	5,83 (<0,0001)	7,02 (0,0010)	5,42 (<0,0001)	-
PRP	2,03 (<0,0001)	3,84 (0,5394)	2,80 (<0,0001)	5,68 (<0,0001)
<b>Números próximos de indivíduos</b>				
AR2	5,34 (0,0002)	-	-	-
ARR	5,65 (<0,0001)	8,17 (0,0002)	-	-
DCB	4,75 (<0,0001)	5,27 (<0,0001)	6,40 (<0,0001)	-
PRP	4,78 (<0,0001)	4,74 (0,0008)	5,11 (0,0001)	4,67 (<0,0001)

A análise baseada no tamanho do centroide indicou que houve diferenças estatisticamente significantes entre as abelhas das diferentes áreas (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,001$ ) e observamos que os indivíduos do DCB são menores em relação ao tamanho do centroide quando comparado às outras populações (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,05$ ; Figura 10A), exceto com os indivíduos da AR2 (Mann-Whitney pairwise,  $p = 0,337$ ). Analisando-se fêmeas e machos, observamos que as fêmeas desta espécie apresentam asas menores que os machos, diferentemente de *C. tarsata* (Apêndice B; Figura S1). Quando analisamos separadamente os sexos das abelhas das diferentes áreas, tanto para as fêmeas quanto para os machos, não foram observadas diferenças de tamanho do centroide da asa dos indivíduos entre as áreas (Mann-Whitney pairwise,  $p > 0,05$ ; Figura 10C e 10D).



**Figura 10.** Valor do Log do centróide das abelhas *Centris analis* coletadas nas áreas: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB) e Parque Estadual do Rio Preto (PRP). Box-plot entalhado mostra a mediana (linhas horizontais), caixas apresentam percentis de 25 e 75, os valores máximos e mínimos são apresentados como linhas horizontais curtas (“whiskers”). Sendo  $\circ$  Outlier e \* Valor discrepante. (A) Todos os indivíduos (fêmeas e machos) em um mesmo conjunto de dados, (B) Comparação entre Fêmeas e Machos, (C) Somente Fêmeas e (D) Somente Machos. Letras diferentes acima do box-plot significam diferença significativa ao nível de 5% de significância e abaixo do box-plot o n amostral.

### 3.2.3. Análise polínica

De maneira geral, as abelhas *C. analis* nas cinco áreas analisadas coletaram 23 tipos polínicos pertencentes a 15 famílias botânicas (Tabela 8; Apêndice A, Figura S2). As abelhas da AR1 coletaram grãos de pólen de 13 tipos polínicos pertencentes a 14 famílias botânicas, as abelhas da AR2 coletaram 14 tipos polínicos pertencentes a 14 famílias botânicas, já as abelhas da ARR coletaram 11 tipos polínicos pertencentes a 07 famílias botânicas. No DCB, as abelhas *C. analis* coletaram 07 tipos polínicos

pertencentes a 04 famílias botânicas e por último, as abelhas do PRP coletaram 07 tipos polínicos pertencentes a 04 famílias botânicas (Tabela 8).

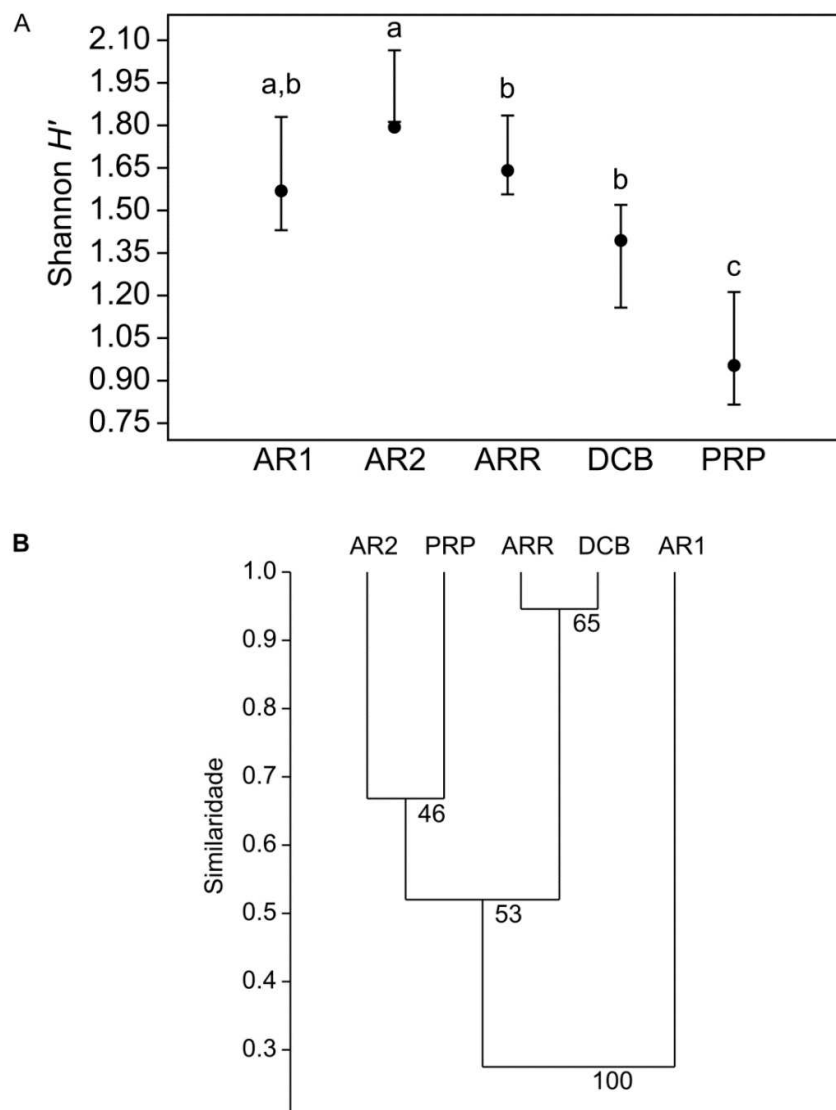
Observamos que, em todas as áreas, houve preferência de *C. analis* por pólen da família Malpighiaceae, sendo que na AR1 as preferências das abelhas foram por pólen do gênero do tipo *Heteropterys* sp. (53%) seguido por pólen do tipo *Byrsonima* sp. (13%) (Tabela 8). Já na AR2 observamos uma maior frequência de pólen do tipo *Mascagnia* sp. (32%) e do tipo *Byrsonima* sp. (31%), ambos da família Malpighiaceae. Nessa área também notamos a maior riqueza de coleta de espécies botânicas (Tabela 8). Na ARR houve uma preferência por pólen do tipo *Banisteriopsis* sp. (41%) e do tipo *Byrsonima* sp. (34%) (Tabela 8). No DCB também foi observada a uma maior frequência polínica por pólen do tipo *Banisteriopsis* sp. (49%) e do tipo *Byrsonima* sp. (30%) no espectro polínico (Tabela 8). No PRP as abelhas coletaram mais grãos de pólen do tipo *Banisteriopsis* sp. (73%) e do tipo *Byrsonima* sp. (12%) (Tabela 8), sendo que somente nessa área observamos a coleta de pólen da família do tipo Acanthaceae (5%) e Fabaceae tipo *Bauhinia* sp. (4%) (Tabela 8).

**Tabela 8.** Ocorrência de tipos polínicos (%) e riqueza da alimentação polínica fornecida a larvas de abelhas *Centris analis* em cada uma das áreas amostradas: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB) e Parque Estadual do Rio Preto (PRP). Entre parênteses o n amostral de ninhos analisados.

<b>Tipos polínicos</b>	<b>AR1 (n=05)</b>	<b>AR2 (n=03)</b>	<b>ARR (n=04)</b>	<b>DCB (n=05)</b>	<b>PRP (n=11)</b>	<b>Figura no Apêndice A</b>
Tipo Acanthaceae	0,00	0,00	0,00	0,00	4,94	Figura S2A
Asteraceae (Tipo 1)	6,78	2,60	0,26	0,00	0,00	Figura S2B
Portulacaceae (Tipo <i>Portulaca</i> sp.)	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	Figura S2C
Fabaceae (Tipo 2)	2,14	0,00	0,00	0,00	0,36	Figura S2D
Fabaceae (Tipo 4)	0,00	1,33	0,00	0,00	0,00	Figura S2E
Fabaceae (Tipo <i>Bauhinia</i> sp.)	0,00	0,00	0,00	0,00	4,12	Figura S2F
Fabaceae (Tipo <i>Cassia</i> sp.)	0,00	0,06	1,69	0,00	0,00	Figura S2G
Lamiaceae (Tipo <i>Hyptis</i> sp.)	0,02	4,20	0,00	0,00	0,00	Figura S2H
Tipo Loranthaceae	1,31	0,00	0,00	0,00	0,00	Figura S2I
Lythraceae ( <i>Cuphea</i> sp. 1)	0,00	0,13	0,03	3,96	0,02	Figura S2J
Lythraceae ( <i>Cuphea</i> sp. 2)	0,31	17,05	0,00	0,00	0,00	Figura S2K
Malpighiaceae (Tipo <i>Banisteriopsis</i> sp.)	7,73	0,37	41,43	48,81	5,80	Figura S2L
Malpighiaceae (Tipo <i>Byrsonima</i> sp.)	13,69	31,06	33,82	29,84	72,72	Figura S2M
Malpighiaceae (Tipo <i>Heteropterys</i> sp.)	53,19	0,00	5,20	0,00	0,00	Figura S2N
Malpighiaceae (Tipo <i>Mascagnia</i> sp.)	7,45	32,18	0,00	9,73	12,03	Figura S2O
Malpighiaceae (Tipo <i>Tetrapteryx</i> sp.)	0,44	0,00	0,36	2,58	0,00	Figura S2P
Melastomataceae	0,06	0,41	3,43	3,71	0,00	Figura S2Q
Onagraceae (Tipo <i>Ludwigia</i> sp.)	0,00	0,34	1,69	0,00	0,00	Figura S2R
Tipo Poaceae	6,46	0,00	0,00	0,00	0,00	Figura S2S
Polygalaceae	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	Figura S2T
Rubiaceae (Tipo <i>Pallicourea</i> sp.)	0,42	0,00	0,23	0,00	0,00	Figura S2U
Solanaceae	0,00	10,03	12,97	1,37	0,00	Figura S2V
<b>Riqueza</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>07</b>	<b>07</b>	

\* Os tipos de pólen identificados seguiram a mesma nomenclatura para os tipos polínicos encontrados nos ninhos de *C. tarsata*.

A maior riqueza da alimentação polínica e diversidade foram observadas na AR2 (Shannon  $H' = 1,80$ ; teste t  $p < 0,001$ ; Figura 11A). Com base no índice de similaridade de Morisita, observamos possíveis semelhanças na alimentação das populações de abelhas entre as áreas ARR e DCB e entre AR2 e PRP, mas com baixo suporte dos ramos (Figura 11B).



**Figura 11.** (A) Índice de diversidade Shannon  $H'$  da alimentação fornecida para as larvas de abelhas *Centris analis* entre as áreas. Letras diferentes acima do desvio padrão significam diferença significativa ao nível de 5% de significância, e (B) Dendrograma de similaridade (Morisita) entre as áreas Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB) e Parque Estadual do Rio Preto (PRP). Os valores numéricos entre os ramos indicam a porcentagem do quanto um grupo seja irmão do outro.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Variações morfológicas das populações de abelhas de diferentes áreas

Em nossos resultados para *C. tarsata*, na morfometria linear das cabeças, notamos que as abelhas da área ARR são maiores que as abelhas das áreas DCB e AR2. Ao analisarmos o tamanho do centroide da asa, também notamos que as abelhas da ARR são maiores que as abelhas de todas as outras áreas. Os machos também são maiores nessa área, em relação ao tamanho da asa. Notamos ainda que as fêmeas de *C. analis* desta área são maiores que as das áreas AR1 e DCB, mas os machos não apresentaram nenhuma variação entre as áreas. A área ARR passou por um processo de restauração, pois antes havia um aterro sanitário neste local, com a recolonização natural por plantas nativas vizinhas, além do plantio de plantas exóticas durante a restauração dessa área (MACHADO et al., 2013), o que aumentou a diversidade de plantas desse local. Essa área também possui uma maior diversidade de abelhas solitárias nidificantes de cavidades pré-existentes (LOURENÇO et al., 2020) e abelhas de orquídeas (VIOTTI; MOURA; LOURENÇO, 2013) quando comparada, por exemplo, a duas áreas com diferentes níveis de preservação. Nessa área houve uma maior quantidade de fêmeas de *C. tarsata* emergentes de ninhos-armadilhas e a escolha de orifícios maiores para nidificação, o que levou os autores a sugerirem que as abelhas seriam maiores na ARR (LOURENÇO et al., 2020), o que confirmamos neste trabalho. Diante disso, esta área oferece diversos recursos florais e de nidificação para as abelhas, incluindo plantas com floração em massa e com grande oferta de óleos florais, pólen e néctar para uso na construção de ninhos e alimentação das larvas, o que nos leva a acreditar que o tamanho maior desses indivíduos neste local, se deve a essa maior disponibilidade de recursos.

Nas análises de CVA da morfometria geométrica de asas observamos que as populações de todas as áreas se diferenciaram. O comportamento filopátrico, encontrado em espécies de abelhas solitárias (ANTONINI; JACOBI; MARTINS, 2000; SANTOS et al., 2020), se caracteriza pela preferência das fêmeas de nidificar no mesmo local de nascimento, assim acreditamos que a separação das populações destas áreas possa ser devido a esse comportamento. Estudos com abelhas solitárias do gênero *Tetrapedia* Klug, 1810 mostraram diferenças morfométricas entre as populações que distavam uma da outra de apenas 500 m até 52 km devido ao baixo fluxo gênico entre as populações (NEVES et al., 2012; PINTO et al., 2015) e, provavelmente, também pelo



comportamento filopátrico dessa espécie, já evidenciado anteriormente (SANTOS et al., 2020).

Apesar da separação em diferentes populações, observamos similaridades entre elas, sendo que as populações tanto de *C. tarsata* quanto de *C. analis* se separaram principalmente em dois grupos: nas populações das áreas inseridas no Campus JK (ARR e DCB, distantes apenas 1 km) e das áreas protegidas dos Parques (AR1, AR2 e/ou PRP). Apesar de ARR ser uma área com vegetação perturbada, ela dista muito pouco de DCB, e ambas ficam inseridas em vegetação de campo rupestre, além de provavelmente ocorrer algum fluxo gênico entre estas populações, o que resultaria na proximidade destas populações. Da mesma maneira, as áreas protegidas, provavelmente, ofereceram recursos similares para as populações destas abelhas, fazendo com que elas se assemelhassem morfologicamente.

Populações de *C. tarsata* das áreas do Parque Estadual do Biribiri/PEBI (AR1 e AR2, distantes 14 Km) foram similares. Sendo assim, acreditamos que o tipo de vegetação poderia influenciar na similaridade destes grupos entre as áreas. Em um estudo realizado na restinga brasileira, *C. tarsata* mudou seu padrão de nidificação quando associado ao tipo de vegetação, no qual, além da nidificação, a quantidade de células de cria, o número total de adultos e o comprimento do ninho foram maiores em áreas abertas em comparação a áreas arbustivas e secundárias (DA COSTA et al., 2019). Sabe-se que as abelhas solitárias que nidificam em cavidades naturais, dependem fortemente da estrutura da vegetação devido ao fato de possuírem requisitos específicos de habitat como cavidades pré-existent para nidificação e também recursos florais (EBELING et al., 2012; FLORES; ZANETTE; ARAUJO, 2018). Variações corporais morfométricas de acordo com a fitofisionomia foram observadas em populações de abelhas *Eulaema nigrita* (COSTA et al., 2020) e *Euglossa cordata* (CARNEIRO et al., 2019), demonstrando como a vegetação influencia na morfologia desses insetos. Resultados semelhantes foram encontrados em *C. tarsata* (SOUZA et al., 2018) e *Melipona quadrifasciata anthidioides* (NUNES et al., 2013), nos quais o tamanho corporal foi afetado pelos diferentes habitats.

As distâncias geográficas poderiam ser um fator que explicaria as diferenças encontradas entre as populações devido ao pouco ou nenhum contato reprodutivo entre elas, pois, diferenças morfométricas são esperadas em populações de abelhas que não mantêm um fluxo gênico e são separadas em diferentes subespécies (AMSSALU et al., 2004; BORSUK; OLSZEWSKI, 2010). As populações de *C. analis*, no entanto,

apresentaram muito pouca ou nenhuma variação entre as diferentes áreas. Curiosamente, quando analisamos morfometricamente fêmeas de abelhas *C. analis* de uma população de Ribeirão Preto/SP, distante cerca de 560 km da área de nosso estudo, observamos que as populações não se diferenciaram (Apêndice C, Figura S1). Esperaríamos que, pela distância, houvesse uma grande separação desta população, o que não aconteceu. Esse resultado reforça que abelhas *C. analis* possuem menor modificação morfológica entre locais distintos.

De maneira geral, comparando as variações populacionais entre as duas espécies de *Centris*, observamos que *C. tarsata* apresentou maior variação morfológica entre as áreas do que *C. analis*, sugerindo que *C. tarsata* possui maior plasticidade diante das diferenças ambientais de cada área.

#### **4.2. Espectro polínico das populações de *Centris tarsata* e *Centris analis***

De maneira geral, nos ninhos das abelhas *C. tarsata*, foram encontrados 24 tipos polínicos pertencentes a 13 famílias botânicas, sendo Fabaceae, Melastomataceae e Malpighiaceae as famílias mais representativas. Estudos de *C. tarsata* em outros biomas mostram que essas populações de abelhas possuem um comportamento polilético (CRUZ; DÓREA; LIMA, 2015; DÓREA et al., 2010a), que é caracterizado pela busca de pólen em uma ampla variedade de espécies de plantas (RITCHIE; RUPPEL; JHA, 2016). Seu espectro polínico é variado, sendo Malpighiaceae, Fabaceae, Ochnaceae e Solanaceae as famílias botânicas mais representativas em ambientes de Caatinga, Mata de Araucária e Cerrado (Estado do Maranhão) para essa espécie (AGUIAR et al., 2003; CRUZ; DÓREA; LIMA, 2015; DÓREA et al., 2009; GONÇALVES; DA SILVA; BUSCHINI, 2012; MENDES; RÊGO, 2007). Também observamos que essas abelhas apresentam comportamento polilético, e que pólen de Melastomataceae é um importante recurso alimentar dessas abelhas em áreas de Cerrado/Campo Rupestre. Na maioria das Melastomataceae, as flores oferecem apenas pólen; no entanto alguns gêneros oferecem néctar como uma recompensa para os polinizadores (RENNER, 1989), ou ainda, possivelmente, óleo para construção de seus ninhos (GONÇALVES; DA SILVA; BUSCHINI, 2012). Pólen de Solanaceae, que é uma importante fonte para *C. tarsata* em outros biomas (DÓREA et al., 2009, 2010a; GONÇALVES; DA SILVA; BUSCHINI, 2012), não parece ser importante para essas abelhas em Cerrado/Campo Rupestre.

Apesar dessas abelhas apresentarem comportamento generalista, houve uma maior frequência de certos tipos polínicos em diferentes áreas. As abelhas da AR1 e AR2 coletaram mais pólen da família Melastomataceae (>40%). Já as abelhas da ARR e DCB apresentaram um espectro polínico bem variado, sendo as maiores frequências por tipos polínicos de Fabaceae, Melastomataceae e Malpighiaceae. Fêmeas de *C. tarsata* podem apresentar tendência de comportamento oligolético no provisionamento larval dependendo da região em que se encontra (GONÇALVES; DA SILVA; BUSCHINI, 2012), e a preferência por Melastomataceae em AR1 e AR2 indicam a plasticidade dessas abelhas quanto ao comportamento alimentar.

Para *C. analis*, encontramos maior frequência de pólen de Malpighiaceae (entre 63 a 91%), sendo *Byrsonima* sp. consumido por essa espécie em todas as áreas. Apesar de espécies de Malpighiaceae serem fontes de óleo como recurso para abelhas Centridini, *C. analis* usam o óleo somente para a construção das células e não para a alimentação das larvas (VIEIRA DE JESUS; GAROFALO, 2000), indicando que Malpighiaceae é um importante recurso polínico para *C. analis*. Em outros estudos, pólen das famílias botânicas Malpighiaceae, seguido de Fabaceae e Solanaceae, são os tipos com maior frequência de ocorrência em seu espectro polínico (DA SILVA et al., 2017; DÓREA et al., 2010b; RABELO et al., 2012; SANTOS et al., 2013). Provavelmente, o fato de utilizar quase que somente o recurso polínico de uma única família botânica faz com que *C. analis* seja uma espécie menos plástica se comparada a *C. tarsata*.

Apesar do comportamento polilético comum das espécies de *Centris* (VOGEL, 1974), as fêmeas de *C. analis* demonstram notável fidelidade à família Malpighiaceae, ao nidificar em pomares de aceroleira (*Malpighia emarginata*) e quase exclusivamente utilizarem pólen desta fruticultura para prover suas células de cria (OLIVEIRA; SCHLINDWEIN, 2009). Em levantamentos de abelhas e suas plantas alimentícias em ambientes nativos, fêmeas de *C. analis* foram registradas em flores de pólen de várias outras espécies (AGUIAR et al., 2003), então, mesmo consumindo outros tipos polínicos, observa-se uma maior frequência de pólen da família Malpighiaceae para essa espécie de abelha. Assim, essa abelha apresenta um comportamento que pode representar uma preferência por pólen de Malpighiaceae na alimentação dos imaturos independentemente do ambiente em que se encontra.

A relação entre as espécies das famílias Fabaceae (gêneros *Chamaecrista*, *Cassia* e *Senna*) e Melastomataceae e as abelhas do gênero *Centris* está associada à

morfologia das anteras das flores dessas famílias botânicas e o comportamento destas abelhas, que vibram seu corpo permitindo a liberação do pólen (BUCHMANN, 1974, 1983; MICHENER, 1962; PORTMAN; ORR; GRISWOLD, 2019; RENNER, 1989). Nutricionalmente, as plantas com anteras porcidas tendem a ter pólen muito rico em proteínas (ROULSTON; CANE, 2000), um recurso essencial para dieta larval.

#### **4.3. Relação da alimentação polínica de imaturos na morfologia de abelhas adultas**

As abelhas *C. tarsata* da ARR apresentaram maior tamanho que as abelhas de outras áreas. Observamos que a alimentação dos imaturos nessa área foi mais diversa que em outras áreas. A diversidade polínica na alimentação de abelhas *Apis mellifera* Linnaeus, 1758 tem uma influência positiva na fisiologia reprodutiva, na imunocompetência, na sobrevivência e no combate a parasitas (ALAUX et al., 2010; DI PASQUALE et al., 2013; FRIAS; BARBOSA; LOURENÇO, 2016). Diversos recursos florais podem adicionar não só mais nutrientes às dietas das abelhas, mas também diferentes nutrientes (FILIPIAK, 2019; LAWSON; KENNEDY; REHAN, 2020). Em um estudo realizado com abelhas solitárias do gênero *Osmia* Panzer, 1806, os autores concluíram que além da abundância de recursos, uma mistura diversa de tipos polínicos aumenta a disponibilidade de diferentes nutrientes, o que é importante para o desenvolvimento larval e sucesso reprodutivo dessa espécie (KLAUS et al., 2021). Uma dieta polínica pouco diversa pode estar nutricionalmente desbalanceada, com escassez de nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento larval (FILIPIAK; FILIPIAK, 2020). Assim, deficiências em certos nutrientes podem impor restrições ao desenvolvimento dos imaturos, resultando em tamanho corporal menor (FILIPIAK et al., 2017). A maior diversidade de tipos polínicos ofertados aos imaturos da área ARR e, provavelmente, maior diversidade na oferta dos nutrientes essenciais para seu desenvolvimento, podem ter contribuído para o maior tamanho corporal das abelhas nessa área.

Em *C. analis*, espécie em que a diversidade polínica variou menos, havendo a predominância de pólen da família Malpighiaceae, observamos pouca variação nas abelhas dessa população, uma vez que a alimentação foi constante. Há estudos que mostram que *C. analis*, apesar de ser considerada uma espécie polilética, possui uma nítida seletividade pelo pólen da família Malpighiaceae (DA SILVA et al., 2017; DÓREA et al., 2010b; OLIVEIRA; SCHLINDWEIN, 2009; RABELO et al., 2012), o

que foi observado também neste trabalho. Além disso, espécies com hábitos alimentares especializados apresentam menor variação genética que espécies generalistas (PACKER et al., 2005). Quando comparamos populações de abelhas *C. analis* coletadas em Ribeirão Preto/SP, vimos que estas não diferiram morfometricamente das populações aqui estudadas (Apêndice C; Figura S1), além do que, o principal tipo polínico destas abelhas em Ribeirão Preto foi *Mapighia emarginata* (Malpighiaceae) (DA SILVA et al., 2017), reforçando a hipótese de que essa abelha seja menos plástica pela constância na alimentação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo, por se tratar de análises morfológicas influenciadas por diferentes fatores, agrega informações relevantes sobre o atual estado de conhecimento das espécies de abelhas solitárias *Centris tarsata* e *Centris analis*.

Fatores como a diversidade de recursos florais e de nidificação, a vegetação, a alimentação e a diversidade polínica e, ainda, as distâncias geográficas entre as distintas áreas, interferem de diferentes formas na variação entre as populações. Estudos com dados moleculares dessas populações seriam importantes para confirmar as variações morfológicas encontradas e se há ou não fluxo gênico entre elas.

A plasticidade de ambas as espécies pode ser confirmada em nossos resultados, no entanto, devido a alguns fatores levantados como a variedade da alimentação entre as diferentes áreas, inferimos que *C. analis* parece ser uma espécie menos plástica se comparada a *C. tarsata*.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, Dean C.; ROHLF, F. James; SLICE, Dennis E. Geometric morphometrics: Ten years of progress following the ‘revolution’. **Italian Journal of Zoology**, [S. l.], v. 71, n. 1, p. 5–16, 2004. DOI: 10.1080/11250000409356545. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/11250000409356545>.
- AGOSTINI, Júlia Colombelli; COSTA, Claudineia Pereira; FERREIRA, Jaíne Taís; DIAS, Adriana Cristina; GUERRA, Nathália Prestes; SIMÕES, Zilá Luz Paulino; LOURENÇO, Anete Pedro. Vitellogenin of the solitary bees *Centris tarsata* and *Centris analis* (Hymenoptera: Apidae): cDNA structural analysis and gene expression. **Apidologie**, [S. l.], v. 52, n. 1, p. 292–307, 2021. DOI: 10.1007/s13592-020-00818-6. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13592-020-00818-6>.
- AGUIAR, Cândida M. L.; ZANELLA, Fernando C. V.; MARTINS, Celso F.; CARVALHO, Carlos A. L. De. Plantas visitadas por *Centris* spp. (Hymenoptera: Apidae) na Caatinga para obtenção de recursos florais. **Neotropical Entomology**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 247–259, 2003. DOI: 10.1590/S1519-566X2003000200009. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-566X2003000200009&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-566X2003000200009&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt).
- ALAUX, Cédric et al. Interactions between Nosema microspores and a neonicotinoid weaken honeybees (*Apis mellifera*). **Environmental Microbiology**, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 774–782, 2010. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2009.02123.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1462-2920.2009.02123.x>.
- AMSSALU, B.; NURU, A.; RADLOFF, Sarah E.; RANDALL HEPBURN, H. Multivariate morphometric analysis of honeybees (*Apis mellifera*) in the Ethiopian region. **Apidologie**, [S. l.], v. 35, n. 1, p. 71–81, 2004. DOI: 10.1051/apido:2003066. Disponível em: <http://www.edpsciences.org/10.1051/apido:2003066>.
- ARAÚJO, P. C. S.; LOURENÇO, A. P.; RAW, A. Trap-Nesting Bees in Montane Grassland (Campo Rupestre) and Cerrado in Brazil: Collecting Generalist or Specialist Nesters. **Neotropical Entomology**, [S. l.], v. 45, n. 5, p. 482–489, 2016. DOI: 10.1007/s13744-016-0395-9. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13744-016-0395-9>.
- BOOKSTEIN, F. L. Landmark methods for forms without landmarks: localizing group differences in outline shape. In: PROCEEDINGS OF THE WORKSHOP ON MATHEMATICAL METHODS IN BIOMEDICAL IMAGE ANALYSIS 1997, **Anais** [...]. : IEEE, 1997. p. 225–243. DOI: 10.1109/MMBIA.1996.534080. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/534080/>.
- BORSUK, Grzegorz; OLSZEWSKI, Krzysztof. Morphometric traits of buckfast and caucasian bees. **Journal of Apicultural Science**, [S. l.], v. 54, n. 1, p. 43–48, 2010.
- BOSCH, Jordi; VICENS, Narcís. Body size as an estimator of production costs in a solitary bee. **Ecological Entomology**, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 129–137, 2002. DOI: 10.1046/j.1365-2311.2002.00406.x. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2311.2002.00406.x>.
- BUCHMANN, Stephen L. Buzz pollination of *Cassia quiedondilla* (Leguminosae) by

bees of the genera *Centris* and *Melipona*. **Bulletin of the Southern California Academy of Sciences**, [S. l.], v. 73, p. 171–173, 1974.

BUCHMANN, Stephen L. Buzz pollination in angiosperms. **Van Nostrand Reinhold Company**, [S. l.], p. 73–113, 1983.

CARNEIRO, Lazaro; AGUIAR, Cândida Maria Lima; AGUIAR, Willian Moura; ANICETO, Elon Souza; NUNES, Lorena Andrade; FERREIRA, Vinina Silva. Morphometric Variability among Populations of *Euglossa cordata* (Hymenoptera: Apidae: Euglossini) from Different Phytophysiognomies. **Sociobiology**, [S. l.], v. 66, n. 4, p. 575, 2019. DOI: 10.13102/sociobiology.v66i4.4675. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/4675>.

CHOWN, Steven L.; GASTON, Kevin J. Body size variation in insects: a macroecological perspective. **Biological Reviews**, [S. l.], v. 85, n. 1, p. 139–169, 2010. DOI: 10.1111/j.1469-185X.2009.00097.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-185X.2009.00097.x>.

COSTA, Claudinéia Pereira; MACHADO, Clycie Aparecida Silva; SANTIAGO, Wellyngton Matheus Souza; DALLACQUA, Rodrigo Pires; GARÓFALO, Carlos Alberto; FRANCOY, Tiago Mauricio. Biome variation, not distance between populations, explains morphological variability in the orchid bee *Eulaema nigrita* (Hymenoptera, Apidae, Euglossini). **Apidologie**, [S. l.], v. 51, n. 6, p. 984–996, 2020. DOI: 10.1007/s13592-020-00776-z. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13592-020-00776-z>.

COSTA, Mayra Ruas Da. Morfometria de indivíduos e análise polínica de ninhos de *Centris tarsata* e *Centris analis* em áreas de Cerrado. 2014. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, [S. l.], 2014.

CRUZ, Ana Paula Araújo Da; DÓREA, Marcos da Costa; LIMA, Luciene Cristina Lima e. Pollen types used by *Centris (Hemisiella) tarsata* Smith (1874) (Hymenoptera, Apidae) in the provisioning of brood cells in an area of Caatinga. **Acta Botanica Brasílica**, [S. l.], v. 29, n. 2, p. 282–284, 2015. DOI: 10.1590/0102-33062015abb0005. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-33062015000200282&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062015000200282&lng=en&tlng=en).

DA COSTA, Danúbia Maria; BATISTA, Michela Costa; DE BRITO, Amaury Soares; DE BARROS, Inácio; TEODORO, Adenir Vieira. Rainfall, temperature, and vegetation type influence nesting by the oil-collecting bee *Centris (Hemisiella) tarsata* in Brazilian restinga. **Apidologie**, [S. l.], v. 50, n. 6, p. 811–820, 2019. DOI: 10.1007/s13592-019-00688-7. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13592-019-00688-7>.

DA ROCHA-FILHO, Léo Correia; RABELO, Laíce Souza; AUGUSTO, Solange Cristina; GARÓFALO, Carlos Alberto. Cavity-nesting bees and wasps (Hymenoptera: Aculeata) in a semi-deciduous Atlantic forest fragment immersed in a matrix of agricultural land. **Journal of Insect Conservation**, [S. l.], v. 21, n. 4, p. 727–736, 2017. DOI: 10.1007/s10841-017-0016-x. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10841-017-0016-x>.

DA SILVA, Cláudia Inês; HIROTSU, Carolina Mayumi; DE SUZA PACHECO FILHO, Alípio José; QUEIROZ, Elisa Pereira; GARÓFALO, Carlos Alberto. Is the maximum reproductive rate of *Centris analis* (Hymenoptera, Apidae, Centridini)



associated with floral resource availability? **Arthropod-Plant Interactions**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 389–402, 2017. DOI: 10.1007/s11829-017-9513-9. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11829-017-9513-9>.

DI PASQUALE, Garance; SALIGNON, Marion; LE CONTE, Yves; BELZUNCES, Luc P.; DECOURTYE, Axel; KRETZSCHMAR, André; SUCHAIL, Séverine; BRUNET, Jean-Luc; ALAUX, Cédric. Influence of Pollen Nutrition on Honey Bee Health: Do Pollen Quality and Diversity Matter? **PLoS ONE**, [S. l.], v. 8, n. 8, p. e72016, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0072016. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0072016>.

DIAS, Adriana Cristina. **Imunidade em abelhas solitárias: capacidade de resposta imune frente à infecção por bactérias e investigação de infecção por patógenos**. 2018. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, [S. l.], 2018.

DÓREA, Marcos da Costa; AGUIAR, Cândida M. L.; FIGUEROA, Luís E. R.; LIMA E. LIMA, Luciene C.; DE ASSIS R. DOS SANTOS, Francisco. Pollen residues in nests of *Centris tarsata* Smith (Hymenoptera, Apidae, Centridini) in a tropical semiarid area in NE Brazil. **Apidologie**, [S. l.], v. 41, n. 5, p. 557–567, 2010. a. DOI: 10.1051/apido/2010005. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1051/apido/2010005>.

DÓREA, Marcos da Costa; AGUIAR, Cândida Maria Lima; FIGUEROA, Luís Enrique Rodrigues; LIMA, Luciene Cristina Lima; SANTOS, Francisco de Assis Ribeiro. Residual pollen in nests of *Centris analis* (hymenoptera, apidae, centridini) in an area of caatinga vegetation from Brazil. **Oecologia Australis**, [S. l.], v. 14, n. 01, p. 232–237, 2010. b. DOI: 10.4257/oeco.2010.1401.13. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/8097>.

DÓREA, Marcos da Costa; SANTOS, Francisco de A. R. Dos; LIMA, Luciene C. de L. E.; FIGUEROA, Luís E. R. Análise polínica do resíduo pós-emergência de ninhos de *Centris tarsata* Smith (Hymenoptera: Apidae, Centridini). **Neotropical Entomology**, [S. l.], v. 38, n. 2, p. 197–202, 2009. DOI: 10.1590/S1519-566X2009000200005. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-566X2009000200005&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-566X2009000200005&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt).

EBELING, Anne; KLEIN, Alexandra-Maria; WEISSER, Wolfgang W.; TSCHARNTKE, Teja. Multitrophic effects of experimental changes in plant diversity on cavity-nesting bees, wasps, and their parasitoids. **Oecologia**, [S. l.], v. 169, n. 2, p. 453–465, 2012. DOI: 10.1007/s00442-011-2205-8. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00442-011-2205-8>.

ERDTMAN, Gunnar. The acetolysis method—a revised description. **Sven Bot Tidskr**, [S. l.], v. 54, p. 516–564, 1960.

FERREIRA, VS; AGUIAR, CML; COSTA, MA; SILVA, JG. Morphometric Analysis of Populations of *Centris aenea* Lepeletier (Hymenoptera: Apidae) from Northeastern Brazil. **Neotropical Entomology**, [S. l.], v. 40, n. 1, p. 97–102, 2011. DOI: 10.1590/S1519-566X2011000100014. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-566X2011000100014&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-566X2011000100014&lng=en&nrm=iso&tlng=en).

FILIPIAK, Michał. Key pollen host plants provide balanced diets for wild bee larvae: A

lesson for planting flower strips and hedgerows. **Journal of Applied Ecology**, [S. l.], v. 56, n. 6, p. 1410–1418, 2019. DOI: 10.1111/1365-2664.13383. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2664.13383>.

FILIPIAK, Michał; KUSZEWSKA, Karolina; ASSELMAN, Michel; DENISOW, Bożena; STAWIARZ, Ernest; WOYCIECHOWSKI, Michał; WEINER, January. Ecological stoichiometry of the honeybee: Pollen diversity and adequate species composition are needed to mitigate limitations imposed on the growth and development of bees by pollen quality. **PLOS ONE**, [S. l.], v. 12, n. 8, p. e0183236, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0183236. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0183236>.

FILIPIAK, Zuzanna M.; FILIPIAK, Michał. The Scarcity of Specific Nutrients in Wild Bee Larval Food Negatively Influences Certain Life History Traits. **Biology**, [S. l.], v. 9, n. 12, p. 462, 2020. DOI: 10.3390/biology9120462. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-7737/9/12/462>.

FLORES, Lilian M. A.; ZANETTE, Lorenzo R. S.; ARAUJO, Francisca S. Effects of habitat simplification on assemblages of cavity nesting bees and wasps in a semiarid neotropical conservation area. **Biodiversity and Conservation**, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 311–328, 2018. DOI: 10.1007/s10531-017-1436-3. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10531-017-1436-3>.

FORNEL, R.; CORDEIRO-ESTRELA, P. Morfometria geométrica e a quantificação da forma dos organismos. **PPG-Ecologia, Erechim**, [S. l.], v. 1, n. Janeiro 2012, p. 101–120, 2012. DOI: 10.13140/2.1.1793.1844.

FRIAS, Bruna Estefânia Diniz; BARBOSA, Cosme Damião; LOURENÇO, Anete Pedro. Pollen nutrition in honey bees (*Apis mellifera*): impact on adult health. **Apidologie**, [S. l.], v. 47, n. 1, p. 15–25, 2016. DOI: 10.1007/s13592-015-0373-y. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13592-015-0373-y>.

GONÇALVES, Lia; DA SILVA, Cláudia Inês; BUSCHINI, Maria Luisa Tunes. Collection of pollen grains by *Centris (Hemisiella) tarsata* Smith (Apidae: Centridini): Is *C. tarsata* an oligolectic or polylectic species? **Zoological Studies**, [S. l.], v. 51, n. 2, p. 195–203, 2012.

GRASSI-SELLA, Marina Lopes; GARÓFALO, Carlos Alberto; FRANCOY, Tiago Mauricio. Morphological similarity of widely separated populations of two Euglossini (Hymenoptera; Apidae) species based on geometric morphometrics of wings. **Apidologie**, [S. l.], v. 49, n. 2, p. 151–161, 2018. DOI: 10.1007/s13592-017-0536-0. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13592-017-0536-0>.

HAMMER, Oyvind; HARPER, David A. T.; RYAN, Paul D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, [S. l.], v. 4, n. 1, 2001.

IEF. Plano de Manejo do Parque Estadual do Biribiri. **IEF (Instituto Estadual de Florestas)**, [S. l.], 2004. a. Disponível em: <http://ief.mg.gov.br/>.

IEF. Plano de Manejo do Parque Estadual do Rio Preto. **IEF (Instituto Estadual de Florestas)**, [S. l.], 2004. b.

JAMES ROHLF, F.; MARCUS, Leslie F. A revolution morphometrics. **Trends in Ecology & Evolution**, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 129–132, 1993. DOI: 10.1016/0169-5347(93)90024-J. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/016953479390024J>.

KLAUS, Felix; TSCHARNTKE, Teja; BISCHOFF, Gabriela; GRASS, Ingo. Floral resource diversification promotes solitary bee reproduction and may offset insecticide effects – evidence from a semi-field experiment. **Ecology Letters**, [S. l.], v. 24, n. 4, p. 668–675, 2021. DOI: 10.1111/ele.13683. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ele.13683>.

KLINGENBERG, CHRISTIAN PETER. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. **Molecular Ecology Resources**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 353–357, 2011. DOI: 10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x>.

KRAUS, E. J.; ARDUIN, M. Manual básico de métodos e morfologia vegetal. **EDUR**, Rio de Janeiro, [S. l.], 1997.

KROMBEIN, Karl V. **Trap-nesting wasps and bees: Life histories, Nests, and Bees**. Baltimore.

LAWSON, Sarah P.; KENNEDY, Kiley B.; REHAN, Sandra M. Pollen composition significantly impacts the development and survival of the native small carpenter bee, *Ceratina calcarata*. **Ecological Entomology**, [S. l.], v. 46, n. 2, p. 232–239, 2020. DOI: 10.1111/een.12955. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/een.12955>.

LOURENÇO, Anete P.; SANTOS, Ana Paula M.; CHECON, Hélio H.; COSTA, Mayra R.; ASSIS JÚNIOR, Sebastião L. Cavity-nesting bee communities in areas with different levels of vegetation disturbance. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, [S. l.], v. 55, n. 2, p. 116–128, 2020. DOI: 10.1080/01650521.2019.1710334. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01650521.2019.1710334>.

LUNA-LUCENA, Danielle; MOURE-OLIVEIRA, Diego; FERREIRA, Kátia M.; LUCENA, Daercio A. A.; GARÓFALO, Carlos A.; MORAES, Evandro M.; DEL LAMA, Marco A. High mitochondrial DNA diversity and lack of population structure in a solitary cavity-nesting bee in an urban landscape. **Biological Journal of the Linnean Society**, [S. l.], v. 121, n. 3, p. 564–575, 2017. DOI: 10.1093/biolinnean/blx019. Disponível em: <https://academic.oup.com/biolinnean/article-lookup/doi/10.1093/biolinnean/blx019>.

MACHADO, V. M.; SANTOS, J. B.; PEREIRA, I. M.; LARA, R. O.; CABRAL, C. M.; AMARAL, C. S. Avaliação do banco de sementes de uma área em processo de recuperação em cerrado campestre. **Planta Daninha**, [S. l.], v. 31, n. 2, p. 303–312, 2013. DOI: 10.1590/S0100-83582013000200007. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-83582013000200007&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582013000200007&lng=pt&tlng=pt).

MENDES, Fernanda N.; RÊGO, Márcia M. C. Nidificação de *Centris (Hemisiella) tarsata* Smith (Hymenoptera, Apidae, Centridini) em ninhos-armadilha no Nordeste do Maranhão, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, [S. l.], v. 51, n. 3, p. 382–388,

2007.

MICHENER, Charles D. An interesting method of pollen collecting by bees from flowers with tubular anthers. **Review Biology Tropical**, [S. l.], v. 10, p. 167–175, 1962.

MICHENER, Charles D. **Bees of the World**. 2. ed. Baltimore: The Johns Hopkins University Press Baltimore, 2007. v. 2

MONTEIRO, Leandro Rabello; REIS, Sérgio Furtado Dos. Princípios da Morfometria Geométrica. **Holos, Ribeirão Preto**, [S. l.], p. 189–189, 1999.

MORISITA, M. Measuring the Dispersion and the Analysis of Distribution Patterns. **Memoires of the Faculty of Science, Kyushu University**, [S. l.], v. 2, p. 215–235, 1959.

MOURE-OLIVEIRA, D.; ROCHA-FILHO, L. C.; FERREIRA-CALIMAN, M. J.; GARÓFALO, C. A. Nesting dynamic and sex allocation of the oil-collecting bee *Centris (Heterocentris) analis* (Fabricius, 1804) (Apidae: Centridini). **Journal of Natural History**, [S. l.], v. 51, n. 19–20, p. 1151–1168, 2017. DOI: 10.1080/00222933.2017.1324052. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00222933.2017.1324052>.

MÜLLER, ANDREAS; KUHLMANN, MICHAEL. Pollen hosts of western palaeartic bees of the genus *Colletes* (Hymenoptera: Colletidae): the Asteraceae paradox. **Biological Journal of the Linnean Society**, [S. l.], v. 95, n. 4, p. 719–733, 2008. DOI: 10.1111/j.1095-8312.2008.01113.x. Disponível em: <https://academic.oup.com/biolinnean/article-lookup/doi/10.1111/j.1095-8312.2008.01113.x>.

NEVES, Cynthia Maria de Lyra; CARVALHO, Carlos Alfredo Lopes De; SOUZA, Adriane Vieira; LIMA, Cristovam Alves De. Morphometric characterization of a population of *Tetrapedia diversipes* in restricted areas in Bahia, Brazil (Hymenoptera: Apidae). **Sociobiology**, [S. l.], v. 59, n. 3, p. 767–782, 2012. DOI: 10.13102/sociobiology.v59i3.546.

NEVES, S. C.; ABREU, P.; FRAGA, L. Serra do Espinhaço Meridional: Paisagens e ambientes. **Fisiografia. Ed. O Lutador. Belo Horizonte**, [S. l.], p. 47–58, 2005.

NUNES, L. A.; PASSOS, G. B.; CARVALHO, C. A. L.; ARAÚJO, E. D. Size and shape in *Melipona quadrifasciata anthidioides* Lepeletier, 1836 (Hymenoptera; Meliponini). **Brazilian Journal of Biology**, [S. l.], v. 73, n. 4, p. 887–893, 2013. DOI: 10.1590/S1519-698420130004000027. Disponível em: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84900021243&partnerID=tZOtx3y1>.

OLIVEIRA, Reislá; SCHLINDWEIN, Clemens. Searching for a Manageable Pollinator for Acerola Orchards: The Solitary Oil-Collecting Bee *Centris analis* (Hymenoptera: Apidae: Centridini). **Journal of Economic Entomology**, [S. l.], v. 102, n. 1, p. 265–273, 2009. DOI: 10.1603/029.102.0136. Disponível em: <https://academic.oup.com/jee/article-lookup/doi/10.1603/029.102.0136>.

PACKER, LAURENCE; ZAYED, AMRO; GRIXTI, JENNIFER C.; RUZ, LUISA; OWEN, ROBIN E.; VIVALLO, FELIPE; TORO, HAROLDO. Conservation Genetics

of Potentially Endangered Mutualisms: Reduced Levels of Genetic Variation in Specialist versus Generalist Bees. **Conservation Biology**, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 195–202, 2005. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2005.00601.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.2005.00601.x>.

PINTO, Carlos Eduardo; DA SILVA, Adriana; DURAN CORDEIRO, Guaraci; ALVES-DOS-SANTOS, Isabel. The body size of the oil-collecting bee *Tetrapedia diversipes* (Apidae). **Journal of Hymenoptera Research**, [S. l.], v. 47, p. 103–113, 2015. DOI: 10.3897/JHR.47.4837. Disponível em: <http://jhr.pensoft.net/articles.php?id=4837>.

PORTMAN, Zachary M.; ORR, Michael C.; GRISWOLD, Terry. A review and updated classification of pollen gathering behavior in bees (Hymenoptera, Apoidea). **Journal of Hymenoptera Research**, [S. l.], v. 71, p. 171–208, 2019. DOI: 10.3897/jhr.71.32671. Disponível em: <https://jhr.pensoft.net/article/32671/>.

RABELO, L. S.; VILHENA, A. M. G. F.; BASTOS, E. M. A. F.; AUGUSTO, S. C. Larval food sources of *Centris (Heterocentris) analis* (Fabricius, 1804) (Hymenoptera: Apidae), an oil-collecting bee. **Journal of Natural History**, [S. l.], v. 46, n. 17–18, p. 1129–1140, 2012. DOI: 10.1080/00222933.2011.651798. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00222933.2011.651798>.

RADMACHER, Sabine; STROHM, Erhard. Factors affecting offspring body size in the solitary bee *Osmia bicornis* (Hymenoptera, Megachilidae). **Apidologie**, [S. l.], v. 41, n. 2, p. 169–177, 2010. DOI: 10.1051/apido/2009064.

RAPINI, Alessandro; RIBEIRO, Patrícia Luz; LAMBERT, Sabrina; PIRANI, José Rubens. A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço. **Megadiversidade**, [S. l.], v. 4, n. 1–2, p. 15–23, 2008.

RENNER, Susanne S. A Survey of Reproductive Biology in Neotropical Melastomataceae and Memecylaceae. **Missouri Botanical Garden Press**, [S. l.], v. 76, n. 2, p. 496–518, 1989.

REZENDE, Leandro Pereira. **As populações urbanas de *Centris (Heterocentris) analis* Fabricius, 1804 (Hymenoptera, Apidae, Centridini) são geneticamente estruturadas?** 2019. Universidade Federal de São Carlos, [S. l.], 2019.

RIBEIRO, Mariléa; AGUIAR, Willian Moura; NUNES, Lorena Andrade; CARNEIRO, Lazaro Da Silva. Morphometric Changes in Three Species of Euglossini (Hymenoptera: Apidae) in Response to Landscape Structure. **Sociobiology**, [S. l.], v. 66, n. 2, p. 339, 2019. DOI: 10.13102/sociobiology.v66i2.3779. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/3779>.

RITCHIE, Alan D.; RUPPEL, Rebecca; JHA, Shalene. Generalist Behavior Describes Pollen Foraging for Perceived Oligolectic and Polylectic Bees. **Environmental Entomology**, [S. l.], v. 45, n. 4, p. 909–919, 2016. DOI: 10.1093/ee/nvw032. Disponível em: <https://academic.oup.com/ee/article-lookup/doi/10.1093/ee/nvw032>.

ROHLF, F. James. Morphometrics. **Annual Review of ecology and Systematics**, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 299–316, 1990.

ROULSTON, T'ai H.; CANE, James H. The effect of diet breadth and nesting ecology

on body size variation in bees (apiformes). **J. Kans. Entomol.**, [S. l.], v. 73, p. 129–142, 2000.

SANTOS, Priscila K. F.; FRANÇOSO, Elaine; CORDEIRO, Guaraci Duran; ALVES-DOS-SANTOS, Isabel; ARIAS, Maria Cristina. Genetic analyses reveal female philopatric behavior and nest usage by multiple females of the solitary oil-collecting bee *Tetrapedia diversipes* (Hymenoptera: Apidae). **Apidologie**, [S. l.], v. 51, n. 5, p. 815–825, 2020. DOI: 10.1007/s13592-020-00763-4. Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s13592-020-00763-4>.

SANTOS, Ricardo M.; AGUIAR, Cândida M. L.; DA C. DÓREA, Marcos; ALMEIDA, Gesline F.; DE A. R. DOS SANTOS, Francisco; AUGUSTO, Solange C. The larval provisions of the crop pollinator *Centris analis*: pollen spectrum and trophic niche breadth in an agroecosystem. **Apidologie**, [S. l.], v. 44, n. 6, p. 630–641, 2013. DOI: 10.1007/s13592-013-0211-z. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13592-013-0211-z>.

SHANNON, C. E. A Mathematical Theory of Communication. **Bell System Technical Journal**, [S. l.], v. 27, n. 4, p. 623–656, 1948. DOI: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb00917.x. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6773067>.

SILVA, Cláudia Inês et al. **Catálogo polínico das plantas usadas por abelhas no Campus da USP de Ribeirão Preto**. [s.l.: s.n.].

SKANDALIS, Dimitri A.; TATTERSALL, Glenn J.; PRAGER, Sean; RICHARDS, Miriam H. Body Size and Shape of the Large Carpenter Bee, *Xylocopa virginica* (L.) (Hymenoptera: Apidae). **Journal of the Kansas Entomological Society**, [S. l.], v. 82, n. 1, p. 30–42, 2009. DOI: 10.2317/JKES711.05.1. Disponível em: <http://www.bioone.org/doi/abs/10.2317/JKES711.05.1>.

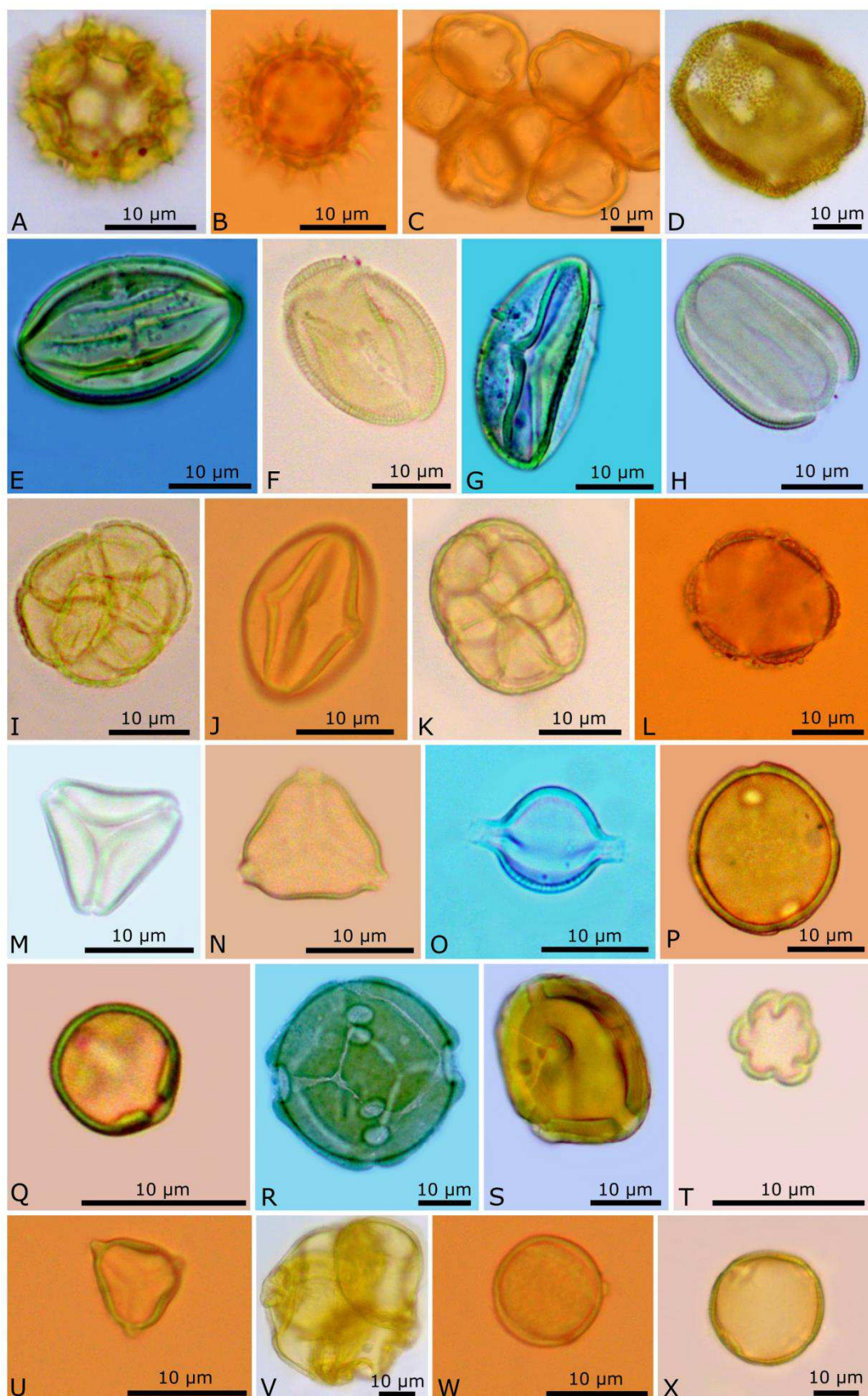
SOUZA, Adriane Vieira; NUNES, Lorena Andrade; MACHADO, Cerilene Santiago; SODRÉ, Geni Da Silva; CARVALHO, Carlos Alfredo Lopes De. Sexual dimorphism and morphometric characterization of *Centris tarsata* Smith, 1874, Hymenoptera: Apidae in different environments. **Acta Agronômica**, [S. l.], v. 67, n. 3, p. 438–445, 2018. DOI: 10.15446/acag.v67n3.60099. Disponível em: [https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/60099](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/60099).

VIEIRA DE JESUS, Bartira M.; GAROFALO, Carlos A. Nesting behaviour of *Centris (Heterocentris) analis* (Fabricius) in southeastern Brazil (Hymenoptera, Apidae, Centridini). **Apidologie**, [S. l.], v. 31, n. 4, p. 503–515, 2000. DOI: 10.1051/apido:2000142. Disponível em: <http://www.edpsciences.org/10.1051/apido:2000142>.

VOGEL, S. Oil-collecting flowers and bees. **Tropische und Subtropische Pflanzenwelt**, [S. l.], v. 7, p. 285–547, 1974.

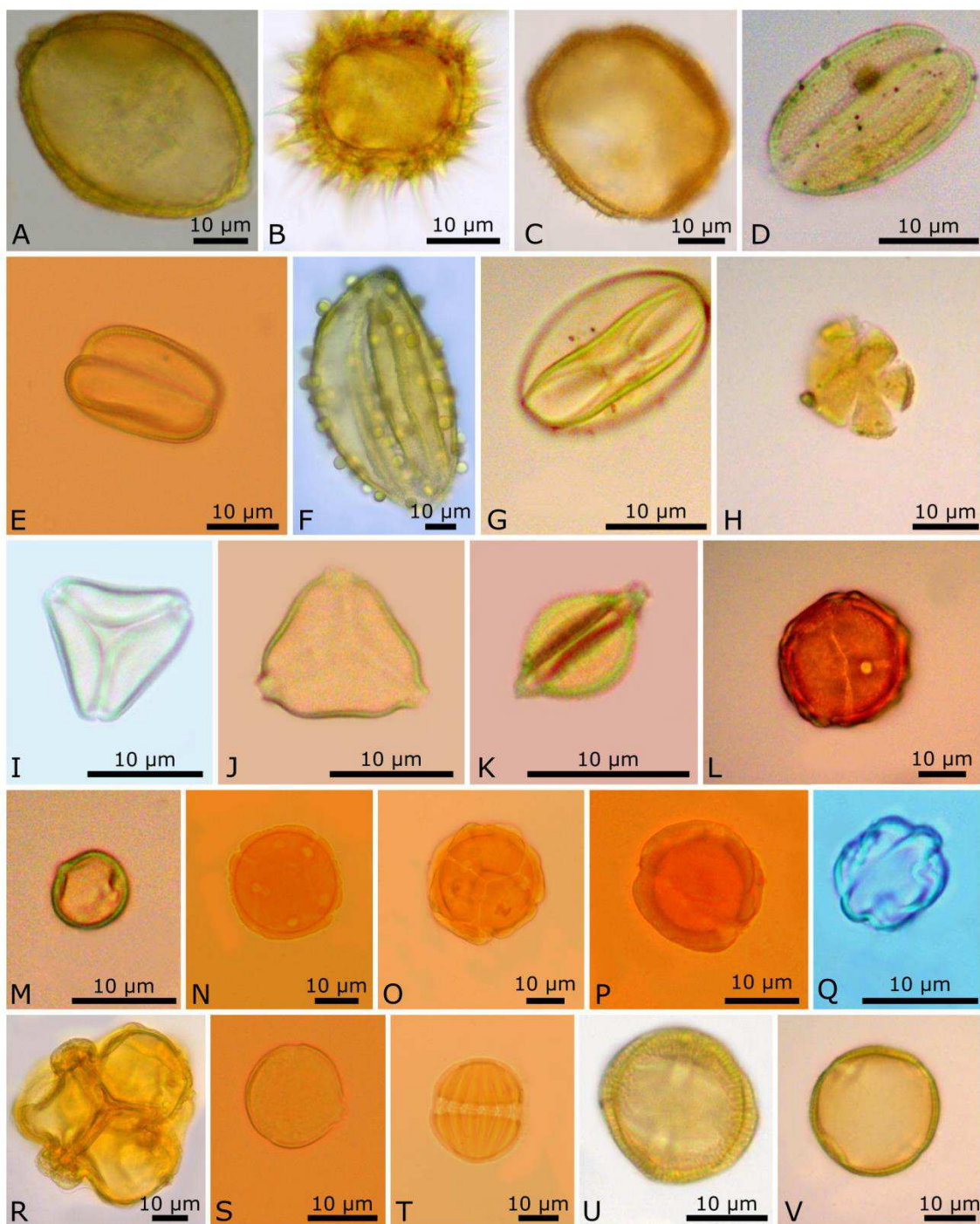
VOGEL, S. **History of the Malpighiaceae in the light of pollination ecology** **Memoirs of the New York Botanical Garden**, 1990. Disponível em: <http://www.lsa.umich.edu/herb/malpigh/MALPpdf/Vogel1990.pdf>.

APÊNDICE A – TIPOS POLÍNICOS CONSUMIDOS POR ABELHAS *Centris tarsata* E *Centris analis*

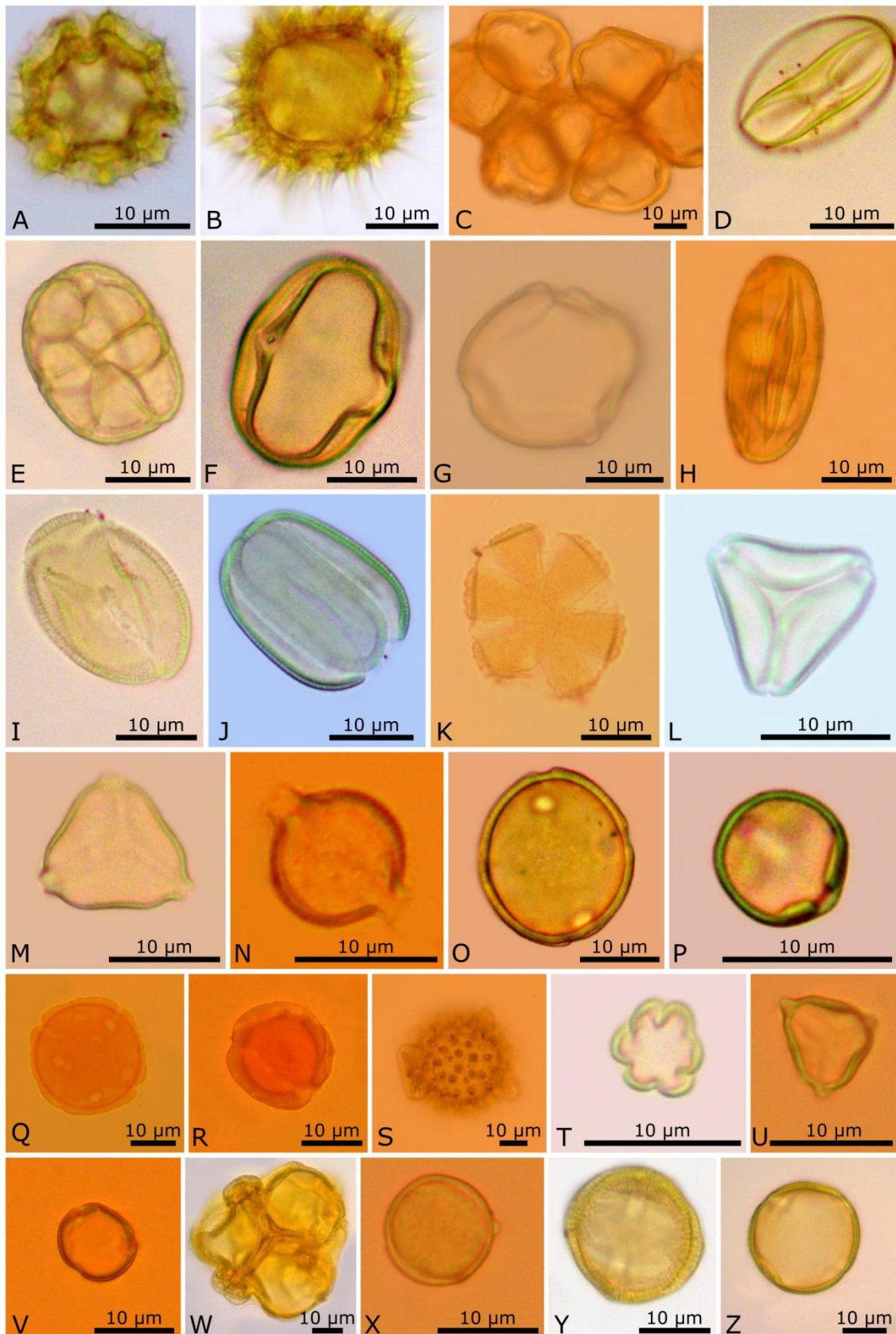


**Figura S1.** Tipos polínicos consumidos por *Centris tarsata* nas áreas: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB). (A) Asteraceae (Tipo *Taraxacum* sp.); (B) Asteraceae (Tipo 1); (C) Clusiaceae; (D) Portulacaceae (Tipo *Portulaca* sp.); (E) Fabaceae (Tipo 1); (F) Fabaceae (Tipo 2); (G) Fabaceae (Tipo 3); (H) Fabaceae (Tipo 4); (I) Fabaceae (Tipo *Mimosa* sp.); (J) Fabaceae (Tipo *Cassia* sp.); (K) Fabaceae (Tipo *Stryphnodendron* sp.); (L) Lamiaceae (Tipo *Hyptis* sp.); (M) Tipo Loranthaceae; (N) Lythraceae (*Cuphea* sp. 1); (O) Lythraceae (*Cuphea* sp. 2); (P) Malpighiaceae (Tipo *Banisteriopsis* sp.); (Q) Malpighiaceae (Tipo *Byrsonima* sp.); (R) Malpighiaceae (Tipo *Heteropterys* sp.); (S) Malpighiaceae (Tipo *Tetrapteryx* sp.); (T) Melastomataceae; (U) Myrtaceae; (V) Onagraceae (Tipo *Ludwigia* sp.); (W) Tipo Poaceae; (X) Solanaceae.



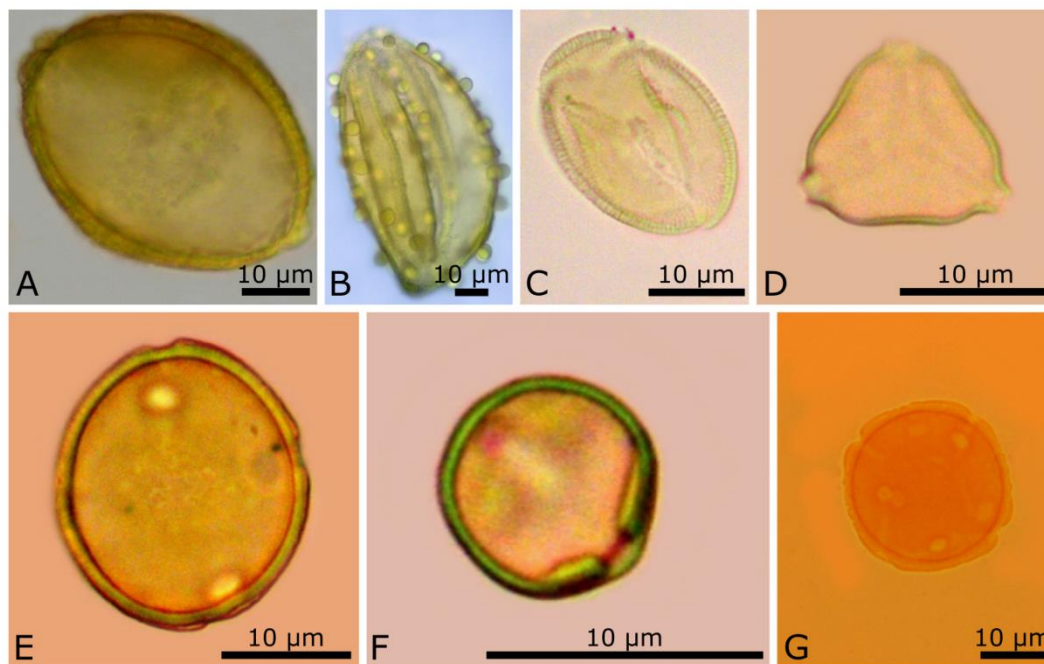


**Figura S2.** Tipos polínicos consumidos por *Centris analis* nas áreas: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB) e Parque Estadual do Rio Preto (PRP). (A) Tipo Acanthaceae; (B) Asteraceae (Tipo 1); (C) Portulacaceae (Tipo *Portulaca* sp.); (D) Fabaceae (Tipo 2); (E) Fabaceae (Tipo 4); (F) Fabaceae (Tipo *Bauhinia* sp.); (G) Fabaceae (Tipo *Cassia* sp.); (H) Lamiaceae (Tipo *Hyptis* sp.); (I) Tipo Loranthaceae; (J) Lythraceae (*Cuphea* sp. 1); (K) Lythraceae (*Cuphea* sp. 2); (L) Malpighiaceae (Tipo *Banisteriopsis* sp.); (M) Malpighiaceae (Tipo *Byrsonima* sp.); (N) Malpighiaceae (Tipo *Heteropterys* sp.); (O) Malpighiaceae (Tipo *Mascagnia* sp.); (P) Malpighiaceae (Tipo *Tetrapteryx* sp.); (Q) Melastomataceae; (R) Onagraceae (Tipo *Ludwigia* sp.); (S) Tipo Poaceae; (T) Polygalaceae; (U) Rubiaceae (Tipo *Pallicourea* sp.); (V) Solanaceae.



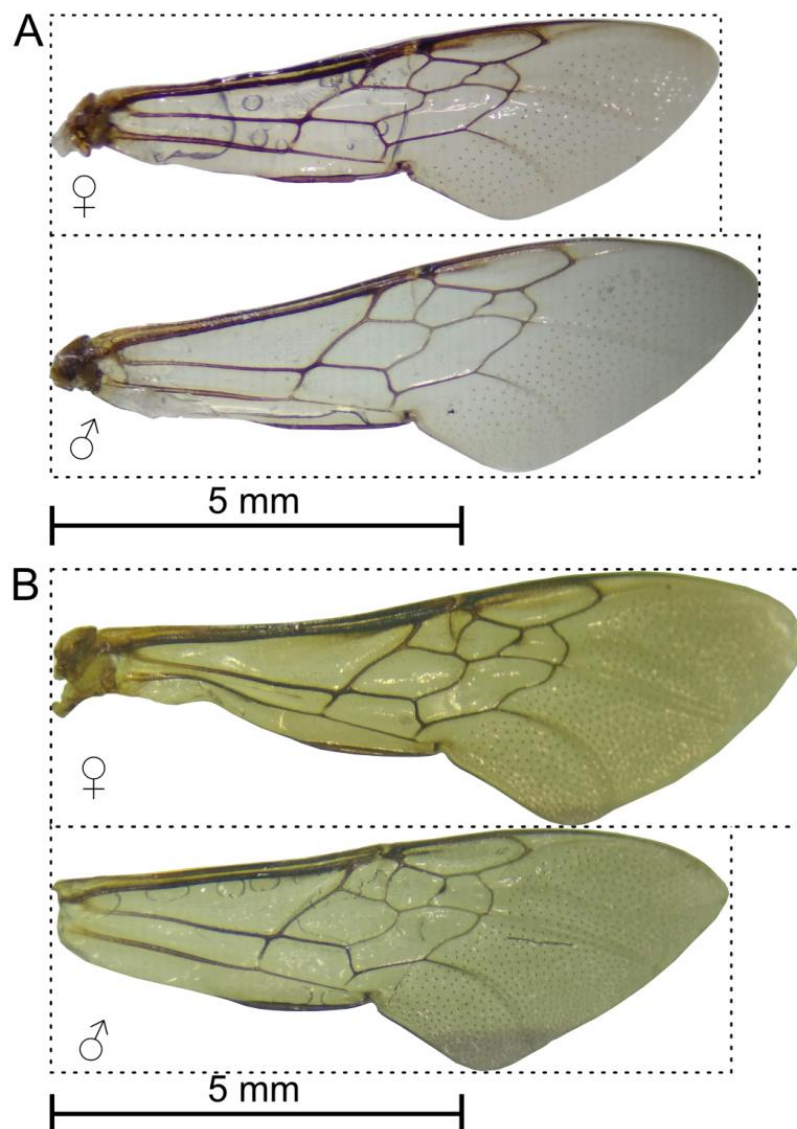
**Figura S3.** Tipos polínicos consumidos por *Centris tarsata* entre os anos de 2013 e 2019. (A) Asteraceae (Tipo *Taraxacum* sp.); (B) Asteraceae (Tipo 1); (C) Clusiaceae; (D) Fabaceae (Tipo *Cassia* sp.); (E) Fabaceae (Tipo *Stryphnodendron* sp.); (F) Fabaceae (Tipo *Senna* sp.); (G) Fabaceae (Tipo *Chamaecrista* sp.); (H) Fabaceae (Tipo 1); (I) Fabaceae (Tipo 2); (J) Fabaceae (Tipo 4); (K) Lamiaceae (Tipo *Hyptis*

sp.); (L) Tipo Loranthaceae; (M) Lytraceae (*Cuphea* sp. 1); (N) Lytraceae (*Cuphea* sp. 2); (O) Malpighiaceae (Tipo *Banisteriopsis* sp.); (P) Malpighiaceae (Tipo *Byrsonima* sp.) (Q) Malpighiaceae (Tipo *Heteropterys* sp.) (R) Malpighiaceae (Tipo *Tetrapteryx* sp.); (S) Malvaceae; (T) Melastomataceae; (U) Myrtaceae; (V) Ochnaceae (Tipo *Ouratea* sp.); (W) Onagraceae (Tipo *Ludwigia* sp.); (X) Tipo Poaceae; (Y) Rubiaceae (Tipo *Pallicoura* sp.); (Z) Solanaceae.



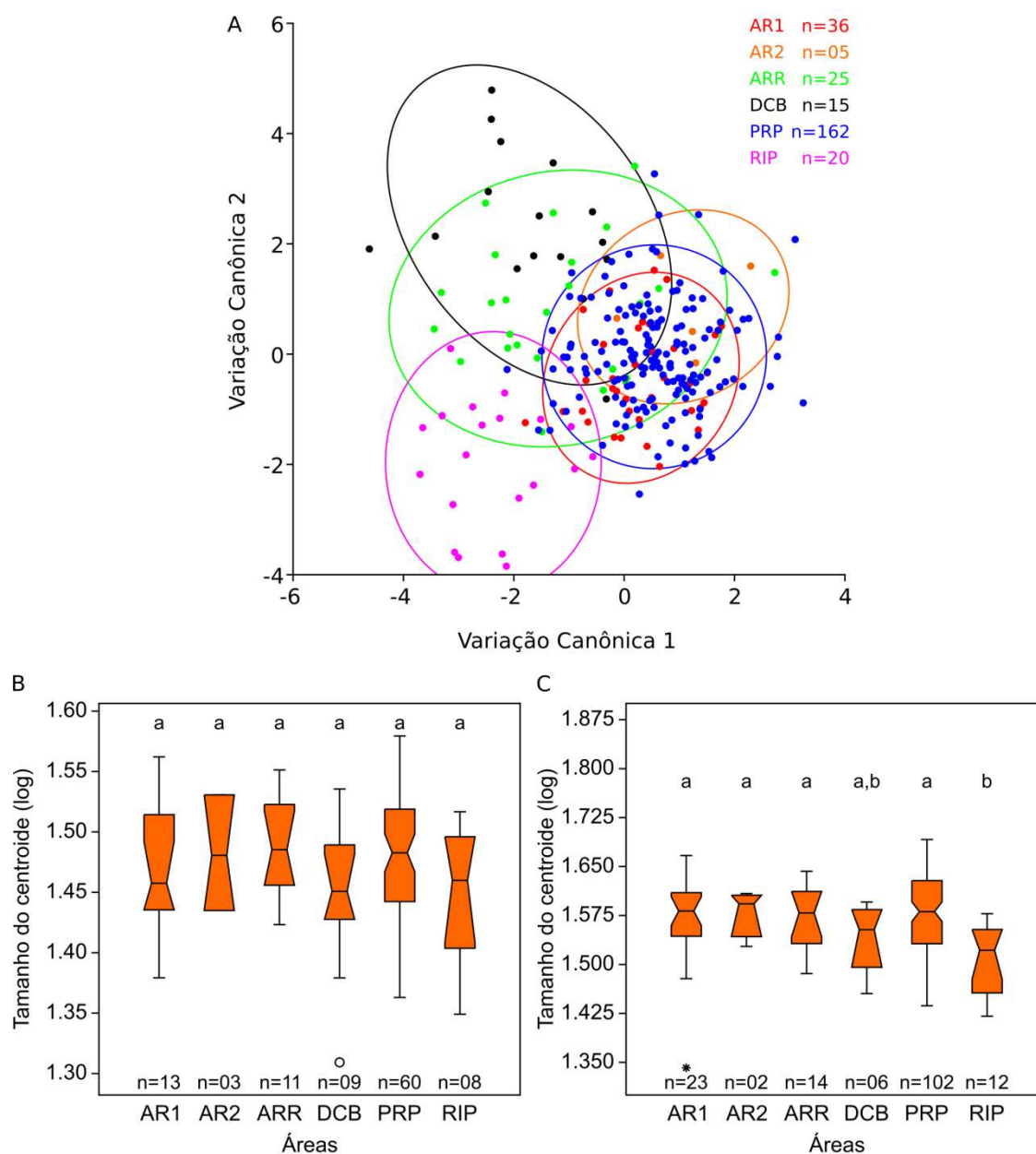
**Figura S4.** Tipos polínicos consumidos por *Centris analis* entre os anos de 2012 e 2013. (A) Tipo Acanthaceae; (B) Fabaceae (Tipo *Bauhinia* sp.); (C) Fabaceae (Tipo 2); (D) Lytraceae (Tipo *Cuphea* sp. 1); (E) Malpighiaceae (Tipo *Banisteriopsis* sp.); (F) Malpighiaceae (Tipo *Byrsonima* sp.); (G) Malpighiaceae (Tipo *Heteropterys* sp.).

APÊNDICE B – FOTOS DAS ASAS DAS ABELHAS *Centris tarsata* E *Centris analis*



**Figura S1.** Fotos da asa de (A) uma fêmea e um macho de *Centris analis* e de (B) uma fêmea e um macho de *Centris tarsata* indicando que os machos de *C. analis* são maiores, o contrário do que acontece com *C. tarsata*.

**APÊNDICE C – RESULTADOS DAS ANÁLISES DAS POPULAÇÕES DE *Centris analis* ENTRE AS ÁREAS, INCLUINDO ABELHAS DE RIBEIRÃO PRETO/SP**



**Figura S1.** (A) Gráficos da Variação Canônica (CVA) das abelhas *Centris analis*, e valor do log do centróide de (B) fêmeas e (C) machos de *Centris analis*, coletadas nas áreas: Parque Estadual do Biribiri – Ponto 1 (AR1) e Ponto 2 (AR2), UFVJM-Campus JK – Área de recuperação (ARR) e Departamento de Ciências Biológicas (DCB), Parque Estadual do Rio Preto (PRP) e Ribeirão Preto/SP (RIP). Em (A) os anos foram identificados por cores diferentes, assim como o n amostral. Em (B) e (C) Box-plot entalhado mostra a mediana (linhas horizontais), caixas apresentam percentis de 25 e 75, os valores máximos e mínimos são apresentados como linhas horizontais curtas (“whiskers”). Sendo  $\circ$  Outlier e \* Valor discrepante. Letras diferentes acima do box-plot significam diferença significativa ao nível de 5% de significância e abaixo do box-plot o n amostral.

## **CAPÍTULO 2: SAZONALIDADE, ALIMENTAÇÃO POLÍNICA E VARIAÇÕES MORFOMÉTRICAS NAS ABELHAS SOLITÁRIAS *Centris tarsata* E *Centris analis***

### **RESUMO**

O tamanho do corpo em abelhas possui uma variação considerável dentro e entre as populações e embora exista uma base genética para a variação morfológica, ela pode ser instável e influenciada por características ambientais como mudanças sazonais na temperatura, duração do dia e qualidade da alimentação. Condições adequadas oferecidas pelo ambiente como sazonalidade, fatores climáticos e disponibilidade de recursos afetam o tamanho corporal das abelhas. Foi levantada a hipótese de que fatores abióticos como precipitação e temperatura, e fatores bióticos como recursos alimentares possam interferir na morfometria de abelhas *Centris*. Levando em consideração estes pontos, objetivou-se caracterizar através da morfometria linear das cabeças e morfometria geométrica das asas, as populações de abelhas solitárias *C. tarsata* e *C. analis* encontradas em áreas de Cerrado, assim como caracterizar a alimentação polínica dos imaturos e avaliar a influência da sazonalidade e da alimentação nas variações morfológicas por um período de sete anos, entre 2012 e 2019. Não houve alterações morfológicas nas populações de *C. tarsata* ao longo dos anos. Observamos que as taxas de precipitação e temperatura não interferem na morfologia dessas abelhas ao longo dos anos. No ano de 2015, observamos que uma alta frequência de um único tipo de pólen no espectro polínico de *C. tarsata*, demonstrando um comportamento oligolético dessa espécie neste ano, o que pode ter sido diferente da estratégia utilizada por ela no ano de 2019, em que devido a uma possível escassez de recursos, ela buscou mais tipos de pólen, demonstrando comportamento generalista. Diante disso, aparentemente, duas estratégias de forrageamento diferentes foram utilizadas por essas abelhas nesses dois anos. Em *C. analis* observamos que as abelhas foram menores no ano de 2013, período em que a diversidade polínica na alimentação dos imaturos foi menor quando comparada a 2012 e onde também houve maior frequência de um único tipo de pólen, reforçando a hipótese de que a diversidade na alimentação é um fator que influencia no tamanho corporal dessas abelhas. Notamos ainda que há um desvio na razão sexual para machos de *C. tarsata* em 2019 e em *C. analis*, nos anos de 2012 e 2013; uma possível

escassez de recursos polínicos nestes anos poderia influenciar para que mais machos ocorressem.

**Palavras chave:** Abelhas solitárias. Análises morfométricas. Sazonalidade.

## ABSTRACT

Body size in bees has considerable variation within and between populations and although there is a genetic basis for morphological variation, it can be unstable and influenced by environmental characteristics such as seasonal changes in temperature, day length, and food quality. Appropriate conditions offered by the environment such as seasonality, climatic factors, and availability of resources affect the body size of bees. It was hypothesized that abiotic factors such as precipitation and temperature, and biotic factors such as food resources could interfere with the morphometry of *Centris* bees. Taking these points into account, our aim was to characterize, through linear morphometry of the heads and geometric morphometry of the wings, the populations of solitary bees *C. tarsata* and *C. analis* found in Cerrado areas, as well as to characterize the pollen feeding of immature and evaluate the influence of seasonality and feeding on morphological variations over a period of seven years, between 2012 and 2019. There were no morphological changes in *C. tarsata* populations over the years. We observed that precipitation and temperature rates do not affect the morphology of these bees over the years. In 2015 we observed a high frequency of a single type of pollen in the pollen spectrum of *C. tarsata*, demonstrating an oligolectic behavior of this species this year, which may have been different from the strategy used by it in 2019, where due to a possible scarcity of resources, females collected more types of pollen, demonstrating generalist behavior. Therefore, apparently two different foraging strategies were used by these bees in these two years. In *C. analis* we observed that bees were smaller in 2013, when pollen diversity in the feeding of immatures was lower when compared to 2012 and when there was also a higher frequency of a single type of pollen, reinforcing that the diversity in feeding is a factor that influences the body size of these bees. We also noticed that there is a deviation in the sex ratio for males of *C. tarsata* in 2019 and in *C. analis*, in the years 2012 and 2013; a possible shortage of pollen resources in these years could influence more males to occur.

**Keywords:** Bee solitary. Morphometric analysis. Seasonality.



## 1. INTRODUÇÃO

O tamanho corporal em animais tem correlação com um grande número de fatores ecológicos e fisiológicos (SCHMIDT-NIELSEN, 1984) e está positivamente associado à melhoria do desempenho, competitividade, capacidade de monopolizar recursos como território ou parceiros e enfrentar melhor algumas condições ambientais abióticas (BLANCKENHORN, 2000).

Entre os animais, os insetos apresentam uma grande diversidade no tamanho corporal e, dentro das espécies, o tamanho do corpo adulto é sensível a inúmeras condições ambientais, particularmente às mudanças na nutrição (KOYAMA; MENDES; MIRTH, 2013; MIRTH; SHINGLETON, 2012; NIJHOUT, 2003; NIJHOUT et al., 2014). O tamanho corporal em insetos adultos se correlaciona com uma série de características importantes como o condicionamento físico, a fecundidade, a longevidade, a resistência ao estresse e ao sucesso no acasalamento (KOYAMA; MIRTH, 2018).

O tamanho do corpo em abelhas possui uma variação considerável dentro e entre as populações, e nas espécies eussociais, essa variação também é encontrada dentro e entre as colônias (PEAT et al., 2005; PEAT; TUCKER; GOULSON, 2005). A variação de tamanho corporal pode afetar os serviços de polinização e nas espécies eussociais contribui para sua organização social (CHOLE; WOODARD; BLOCH, 2019). Embora exista uma base genética para a variação morfológica em abelhas (TEPEDINO; THOMPSON; TORCHIO, 1984), esta pode ser instável e influenciada por características ambientais como mudanças sazonais na temperatura, duração do dia e qualidade da alimentação (por exemplo, ALCOCK; SIMMONS; BEVERIDGE, 2005; KELEMEN; DORNHAUS, 2018; QUEZADA-EUÁN et al., 2011; RADMACHER; STROHM, 2010, 2011; TEPEDINO; PARKER, 1986).

De todas as espécies de abelhas do mundo, cerca de 85% são solitárias (BATRA, 1984), ou seja, cada fêmea sozinha é responsável por construir seu ninho e prover alimentação suficiente para o desenvolvimento de sua cria (MICHENER, 2007) e, apesar de ser o grupo mais diverso e abundante, há poucos estudos que relacionam a morfologia dessas abelhas às condições climáticas e sazonalidade. Por exemplo, há um estudo com a abelha solitária coletora de óleo *Tetrapedia curvitaris* Friese, 1899 no qual os autores avaliaram os efeitos da sazonalidade (estação fria/seca e quente/chuvosa) na produção dos ninhos, no nicho alimentar e no tamanho corporal das abelhas produzidas nesses períodos (CAMPOS et al., 2018). Eles observaram que o

número de ninhos e o número de células produzidas não diferiram entre as estações, mas maior tamanho corporal e maior amplitude de nicho foi observada na estação quente/chuvosa (CAMPOS et al., 2018). Há também estudos sobre o impacto de regimes de temperatura flutuantes na mortalidade e no tempo de desenvolvimento da abelha solitária *Osmia bicornis* Linnaeus, 1758, nos quais a alta temperatura levou a uma alta mortalidade de larvas e ao menor tamanho corporal, e aceleração do desenvolvimento na maioria dos estágios e regimes de temperatura (RADMACHER; STROHM, 2010, 2011). A compreensão de como as espécies de abelhas solitárias respondem às mudanças climáticas representa um desafio, visto que há poucos dados de longo prazo sobre a fenologia e a abundância dessas espécies para relacionar com as mudanças no clima (OGILVIE; FORREST, 2017).

A alimentação durante o estágio larval também é considerada um dos fatores importantes no controle do tamanho do corpo de abelhas solitárias, já que o tamanho da prole é limitado pelo tamanho da célula e pela qualidade ou quantidade do alimento que a mãe deposita antes de colocar o ovo (MÜLLER et al., 2006; VAUDO et al., 2015; VIEIRA DE JESUS; GAROFALO, 2000). Em *Osmia* spp., a pupação é desencadeada quando as larvas consomem todo o pólen da provisão fornecida pela mãe (HELM et al., 2017; SEIDELMANN, 2018). Na espécie subsocial *Ceratina calcarata*, a filha mais velha é alimentada com menor quantidade de alimento e com menor quantidade de proteína na dieta, resultando em uma abelha de corpo menor que suas irmãs mais novas (LAWSON; CIACCIO; REHAN, 2016).

As abelhas da tribo Centridini compreendem os gêneros *Centris* e *Epicharis*, são numerosas e divididas em vários subgêneros (MOURE; URBAN; MELO, 2008) e possuem comportamento solitário (BATRA, 1984). Abelhas do gênero *Centris* são amplamente distribuídas nas Américas, enquanto *Epicharis* é exclusivamente da região neotropical, juntos somam mais de 170 espécies (MICHENER, 2007). Em *Centris*, destacam-se as espécies *Centris tarsata* e *Centris analis*, que possuem ampla distribuição no Brasil e são encontradas nos mais diversos ambientes e biomas (ARAÚJO; LOURENÇO; RAW, 2016; CAMARGO; MAZUCATO, 1984; DA SILVA et al., 2017; GAGLIANONE et al., 2010; GAZOLA; GARÓFALO, 2009; LOURENÇO et al., 2020; LUNA-LUCENA et al., 2017; MORATO; GARCIA; CAMPOS, 1999; SILVA et al., 2007) e, por isso, são espécies com alta plasticidade.

Abelhas *C. tarsata* e *C. analis* nidificam em cavidades pré-existent e são abundantes em amostragens com ninhos-armadilha (AGUIAR; GARÓFALO, 2004;

VIEIRA DE JESUS; GAROFALO, 2000). Essas abelhas apresentam variação no período de nidificação dependendo da região em que ocorrem, por exemplo, no sul do Brasil, *C. tarsata* nidifica principalmente de novembro a março, produzindo duas gerações por ano (BUSCHINI; WOLFF, 2006); No nordeste da Bahia, essa espécie nidifica de setembro a maio, produzindo até quatro gerações (AGUIAR; GARÓFALO, 2004). No estado do Maranhão, ela se comporta como univoltina, nidificando de agosto a dezembro (MENDES; RÊGO, 2007). Para *C. analis*, em alguns ambientes, as atividades de nidificação podem ocorrer ao longo do ano (GAZOLA; GARÓFALO, 2009; PINA; AGUIAR, 2011), enquanto em outros ambientes pode ocorrer apenas em determinadas épocas, geralmente durante a estação quente e no início da estação chuvosa (AGUIAR; MARTINS, 2002; ALONSO; SILVA; GARÓFALO, 2012; CAMILLO et al., 1995; GAZOLA, A. L., GAROFALO, 2003; GAZOLA; GARÓFALO, 2009; MESQUITA; AUGUSTO, 2011).

O bioma Cerrado apresenta estações bem definidas quanto ao regime de chuvas, uma estação chuvosa que vai de outubro a março, e outra seca que vai de abril a setembro (GOMES et al., 2020; SILVA; ASSAD; EVANGELISTA, 2008) e uma variação sazonal muito marcante na fenologia das plantas e, conseqüentemente, uma crescente disponibilidade de recurso floral durante a estação chuvosa (BATALHA; MARTINS, 2004; LEITE et al., 2006).

Já sabemos que condições adequadas oferecidas pelo ambiente como sazonalidade, fatores climáticos e disponibilidade de recursos afetam o tamanho corporal das abelhas (ABRAHAMCZYK et al., 2011; BARTOMEUS et al., 2011; FRANKIE et al., 1998; OERTLI; MÜLLER; DORN, 2005; PINTO et al., 2015), no entanto, estudos com morfologia corporal de abelhas solitárias do gênero *Centris* são escassos. Há um trabalho que foi realizado utilizando morfometria geométrica para análise de populações de *C. aenea* em fitofisionomias distintas (FERREIRA et al., 2011) e outro estudo, também com essa metodologia, realizado com populações de *C. tarsata* encontradas em diferentes tipos de vegetação (SOUZA et al., 2018). No entanto, até onde sabemos não há estudos que relacionam a sazonalidade e a alimentação com a variação no tamanho corporal dessas abelhas.

Nesse contexto, levantamos a hipótese de que fatores abióticos como precipitação e temperatura, e fatores bióticos como recursos alimentares podem interferir na morfometria de abelhas *Centris*. Levando em consideração estes pontos, objetivamos caracterizar morfometricamente, através da morfometria linear das cabeças

e morfometria geométrica das asas, as populações de abelhas solitárias *C. tarsata* e *C. analis* encontradas em áreas de Cerrado, assim como caracterizar a alimentação polínica dos imaturos, e avaliar a influência da sazonalidade e da alimentação nas variações morfológicas, por um período de até sete anos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo e amostragem

As abelhas *C. tarsata* e *C. analis* utilizadas neste estudo foram provenientes de ninhos-armadilha coletados entre os anos de 2012 e 2019, em duas áreas de cerrado da Cadeia do Espinhaço, Minas Gerais: no Departamento de Ciências Biológicas (DCB) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) - 18°11'44"S, 43°34'20"O, 1.370 m de altitude; e no Parque Estadual do Rio Preto (PRP) - 18°05'26"S, 43°20'31"O, 833 m de altitude. A classificação de Köppen para o clima nesta região é *Cwb* – com verões suaves e úmidos e invernos frios e secos. A precipitação média anual varia de 1.250 mm a 1.550 mm, a temperatura média é fica entre 18 °C e 19 °C e a umidade relativa média anual é de 75,6% (NEVES; ABREU; FRAGA, 2005).

O DCB possui vegetação característica de Campo Rupestre. As abelhas dessa área correspondem às amostragens quinzenais e/ou mensais que foram feitas desde 2013 até o ano de 2019 (AGOSTINI et al., 2021; COSTA, 2014; DIAS, 2018). Já o PRP está inserido no bioma Cerrado, no complexo da Serra do Espinhaço, região alta do Vale do Jequitinhonha, e a sua vegetação e suas formações geológicas são características deste sistema, com presença de um mosaico de fitofisionomias contendo diversos afloramentos rochosos (IEF, 2004). As abelhas provenientes desta área corresponderam às amostragens mensais de Lourenço et al. (2020), nos anos de 2012 a 2013.

Para a amostragem, de 2012 a 2017 as abelhas foram coletadas durante o andamento de outros projetos e a metodologia de coleta está detalhada neles (AGOSTINI et al., 2021; COSTA, 2014; DIAS, 2018; LOURENÇO et al., 2020). Resumidamente, foram instaladas estações de coleta que possuíam ninhos armadilha, confeccionados com papel cartão, gomos de bambu ou tubos de plástico transparente (mangueira de PVC) com tamanhos variados: 0,6 a 1,5 cm de diâmetro e 10 a 15 cm de comprimento. Após coletados, os ninhos eram levados para o laboratório onde os imaturos eram separados e alocados em placas juntamente com o alimento presente na célula. Após o desenvolvimento dos imaturos e emergência dos adultos, as abelhas eram colocadas no congelador até a morte, e parte dos indivíduos foram depois alfinetados. Para as análises populacionais, foram utilizadas principalmente as abelhas emergentes de ninhos-armadilha ocupados pelas abelhas das espécies *C. tarsata* e *C. analis*. As abelhas encontram-se armazenadas em freezer -20 °C ou alfinetadas e depositadas na

Coleção de Abelhas do Laboratório de Estudos Integrados de Abelhas (LEIA) no Departamento de Ciências Biológicas da UFVJM. O material polínico foi coletado após a abertura dos ninhos com o auxílio de uma espátula, guardados em tubos do tipo Eppendorf de 2,0 mL, e identificados pelo código do ninho correspondente, armazenados em freezer -20 °C até sua análise.

## 2.2. Análises morfométricas

Para avaliar a morfometria linear das cabeças, as medidas foram obtidas utilizando um paquímetro digital, medindo de um olho ao outro das abelhas em sua parte mais extrema. Para as análises morfométricas lineares foram utilizadas 98 fêmeas e 118 machos totalizando 216 abelhas *C. tarsata*; e 61 fêmeas e 108 machos, totalizando 169 abelhas *C. analis* (Tabela 9).

Para avaliar a morfometria geométrica das asas, foram retiradas cuidadosamente todas as asas anteriores direitas dos indivíduos escolhidos, e posteriormente coladas uma a uma em lâminas de microscópio, utilizando esmalte de unha apenas na porção de fixação ao tórax. Algumas abelhas possuíam a asa anterior direita danificada, e, deste modo, não foram utilizadas para esta medida, mas as cabeças correspondentes foram utilizadas para a morfometria linear. Após colagem das asas, essas foram fotografadas com celular com auxílio de suporte acoplado em estereomicroscópio (Leica EZ4) com auxílio de um adaptador para celular (CitoHelper®) e de uma régua contendo marcações em milímetros. A partir da fotografia, foram marcados por meio do programa tpsDig versão 2.31, manualmente, 18 pontos anatômicos nas intersecções das veias das asas seguindo o proposto por Ferreira et al. (2011) para *C. aenea*. Para as análises morfométricas geométricas das asas foram utilizados fêmeas e machos, em um total de 207 abelhas da espécie *C. tarsata*, e fêmeas e machos da espécie *C. analis*, totalizando 161 abelhas (Tabela 9).

**Tabela 9:** Número de cabeças e asas de abelhas fêmeas e machos de *Centris tarsata* e *Centris analis* usadas nas análises morfométricas lineares e geométricas, respectivamente. As abelhas foram coletadas em dois pontos de coleta: Departamento de Ciências Biológicas (DCB) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri para *C. tarsata* e Parque Estadual do Rio Preto (PRP) para *C. analis*.

Anos de coleta	Cabeças				Asas			
	<i>C. tarsata</i>		<i>C. analis</i>		<i>C. tarsata</i>		<i>C. analis</i>	
	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos	Fêmeas	Machos
2012	-	-	25	51	-	-	25	47
2013	03	07	36	57	03	08	35	54
2014	16	15	-	-	20	09	-	-
2015	17	21	-	-	13	17	-	-
2016	29	33	-	-	29	33	-	-
2017	25	16	-	-	23	14	-	-
2019	13	31	-	-	13	25	-	-
<b>Total</b>	<b>226</b>		<b>169</b>		<b>207</b>		<b>161</b>	

### 2.3. Análise do material polínico

Foram usados 43 ninhos para análise do material polínico de *C. tarsata* (Tabela 10; Apêndice D, Figura S1), e 11 ninhos para análise de *C. analis* (05 ninhos coletados em dezembro de 2012 e 06 ninhos coletados em 2013, sendo 05 ninhos em janeiro e 01 ninho em fevereiro).

As amostras do material polínico foram submetidas ao processo de acetólise (ERDTMAN, 1960), posteriormente foram confeccionadas três lâminas de cada amostra, com gelatina glicerinada (KRAUS; ARDUIN, 1997). Os tipos polínicos presentes nas lâminas foram fotomicrografados e identificados até o nível de família, sendo que em alguns casos foi possível a resolução até o nível de gênero e espécie. Para as identificações, utilizamos a literatura especializada (DIAS, 2018; SILVA et al., 2014), bem como a comparação com os tipos polínicos depositados na Palinoteca de Referência do LEIA, que compreende grãos de pólen da flora ao redor da estação de coleta de abelhas no Campus JK. A análise quantitativa foi feita a partir da contagem dos grãos de pólen (cerca de 250 grãos por lâmina, totalizando 750 grãos por amostra) e cálculo da porcentagem de acordo com a incidência encontrada.

**Tabela 10.** Quantidade de ninhos-armadilhas ocupados pelas abelhas *Centris tarsata* utilizados nas análises polínicas. Os ninhos foram coletados entre os anos de 2013 a 2019 na área do Departamento de Ciências Biológicas do Campus JK/UFVJM.

Meses/Anos	2013	2014	2015	2016	2017	2019
Jan	-	-	-	-	01	-
Fev	-	-	02	02	-	-
Mar	-	04	-	-	01	-
Abr	-	-	01	-	02	01
Mai	-	-	01	02	-	-
Jun	-	01	-	-	-	-
Jul	-	-	-	-	-	-
Ago	-	-	-	01	02	01
Set	02	-	02	-	-	01
Out	-	-	-	03	-	02
Nov	-	02	-	01	-	02
Dez	-	-	02	-	04	-
<b>Total</b>	02	07	08	09	10	07

#### 2.4. Análise dos dados

As diferenças da largura da cabeça (morfometria linear) das abelhas *C. tarsata* e *C. analis* foram analisadas pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney, utilizando-se o programa PAST 4.03 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001), uma vez que os dados não apresentaram distribuição normal. Para as análises da forma da asa e tamanho de centroide (morfometria geométrica), foi utilizado o programa MorphoJ 1.07a (KLINGENBERG, 2011), no qual foram realizadas as análises dos Componentes Principais (PCA). As diferenças de forma foram analisadas usando métodos estatísticos multivariados da Análise Variável Canônica (CVA), que avalia o grau de similaridade entre os grupos analisados (ADAMS; ROHLF; SLICE, 2004).

As análises de diversidade do índice de Shannon-Wiener (SHANNON, 1948) foram calculadas utilizando-se PAST 4.03. Também foi realizado um teste t para verificar se existiam diferenças significativas entre os valores dos índices de diversidade de Shannon entre os anos, também no programa PAST 4.03. As análises da correlação dos tamanhos médios das cabeças dos indivíduos por mês, entre os anos e a razão sexual foram realizadas através do teste Qui-quadrado. Os dados de temperatura e pluviosidade ao longo dos anos estudados, da estação meteorológica de Diamantina-MG, foram consultados no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e as correlações entre o tamanho médio da cabeça dos indivíduos de *C. tarsata* com a



precipitação mensal acumulada e a temperatura média mensal foram realizadas através da correlação de *Spearman's*.

### 3. RESULTADOS

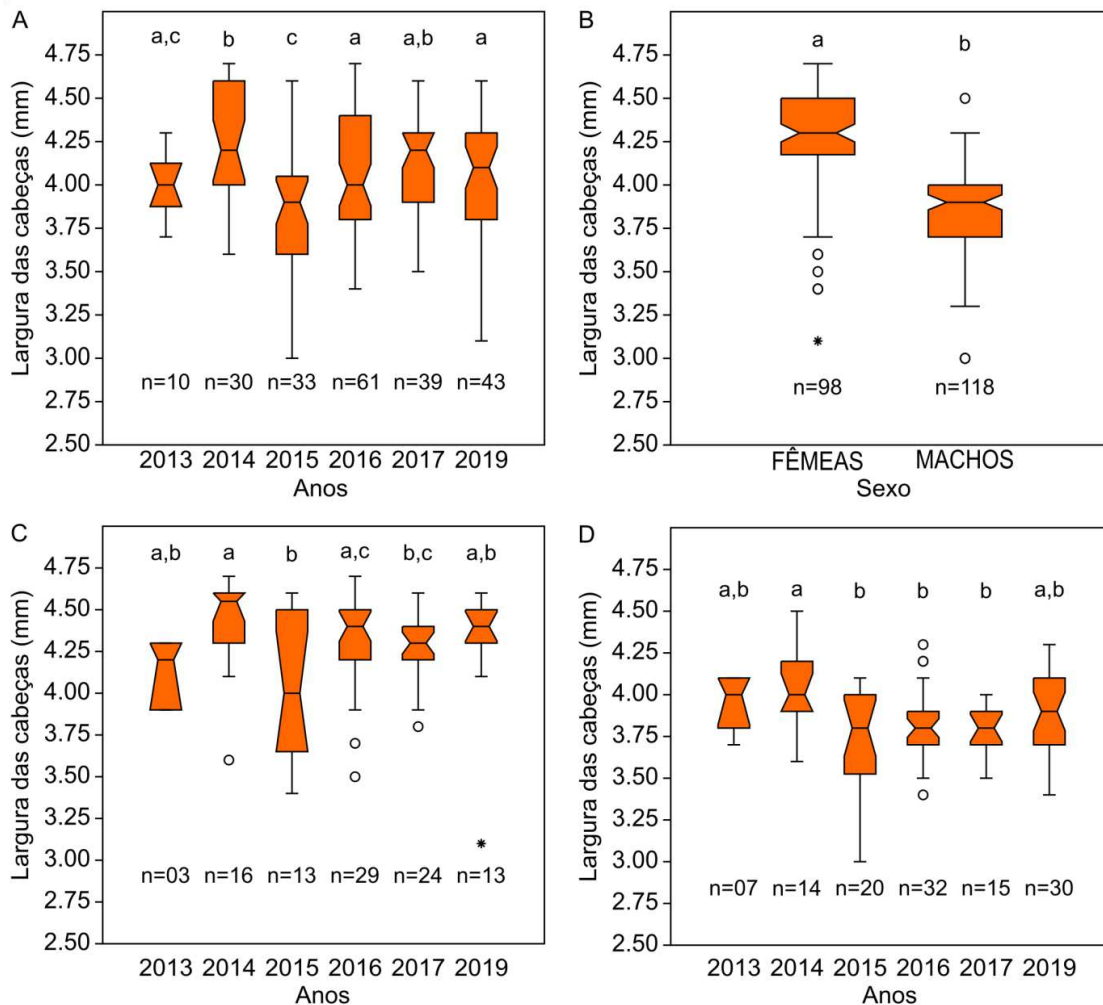
#### 3.1. Variações nas populações de abelhas *Centris tarsata* em diferentes anos

Para as análises das populações de diferentes anos foram utilizadas abelhas *C. tarsata* somente da área DCB, pois foi a área com maior número de indivíduos ao longo dos anos de 2013 a 2019.

##### 3.1.1. Morfometria linear

Com relação à morfometria linear das cabeças, ao compararmos todas as abelhas (fêmeas e machos no mesmo conjunto de dados), observamos que a população de 2015 foi menor que as populações dos outros anos, exceto com a de 2013 (Mann-Whitney pairwise,  $p = 0,111$ ; Figura 12A).

Investigamos se havia diferença de tamanho entre os sexos, e as fêmeas apresentaram largura de cabeça maior que os machos (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,05$ ; Figura 12B). Como há diferenças entre fêmeas e machos, e no ano de 2019 há desvio da razão sexual de 1:1 (Apêndice E; Tabela S1), analisamos os sexos separadamente para observarmos possíveis diferenças nas populações entre os anos, sendo que entre as fêmeas a população de 2014 é maior que a população de 2015 e 2017 (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,001$ ; Figura 12C), e quanto aos machos observamos que a população de 2014 é maior que as populações de 2015, 2016 e 2017 (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,001$ ; Figura 12D).



**Figura 12.** Valor médio e erro padrão das medidas de largura da cabeça das abelhas *Centris tarsata* coletadas ao longo dos anos de 2013 a 2019 no Departamento de Ciências Biológicas (DCB) da UFVJM. Box-plot entalhado mostra a mediana (linhas horizontais), caixas apresentam percentis de 25 e 75, os valores máximos e mínimos são apresentados como linhas horizontais curtas (“whiskers”). Sendo  $\circ$  Outlier e \* Valor discrepante. (A) Todos os indivíduos (fêmeas e machos) em um mesmo conjunto de dados, (B) Comparação entre fêmeas e machos, (C) Somente fêmeas e (D) Somente machos. Letras diferentes acima do box-plot significam diferença significativa ao nível de 5% de significância e abaixo do box-plot o n amostral.

### 3.1.2. Morfometria geométrica

Com relação à morfometria geométrica das asas, nas análises dos componentes principais (PCA) para avaliar a diferença entre as populações de *C. tarsata* entre os anos, observamos diferenças significativas quanto à forma média das asas ao analisarmos todos os indivíduos em um mesmo conjunto de dados. Os 18 primeiros fatores dessas medidas explicaram 92,02% da variabilidade total dos dados, com os dois primeiros PCs explicando 40,25% da variabilidade total (PC1 explicou 25,93% e PC2 explicou 14,32%). Para os resultados da variação canônica (CVA), foram encontradas diferenças entre todos os anos. O gráfico de dispersão (Figura 13A) mostra pouca separação entre os anos e muitas sobreposições podem ser observadas, com

diferenças significativas nas distâncias de Mahalanobis entre elas, sendo que as populações mais próximas foram dos anos de 2016 e 2019 (distância de Mahalanobis = 1,78;  $p < 0,001$ ; Tabela 11).

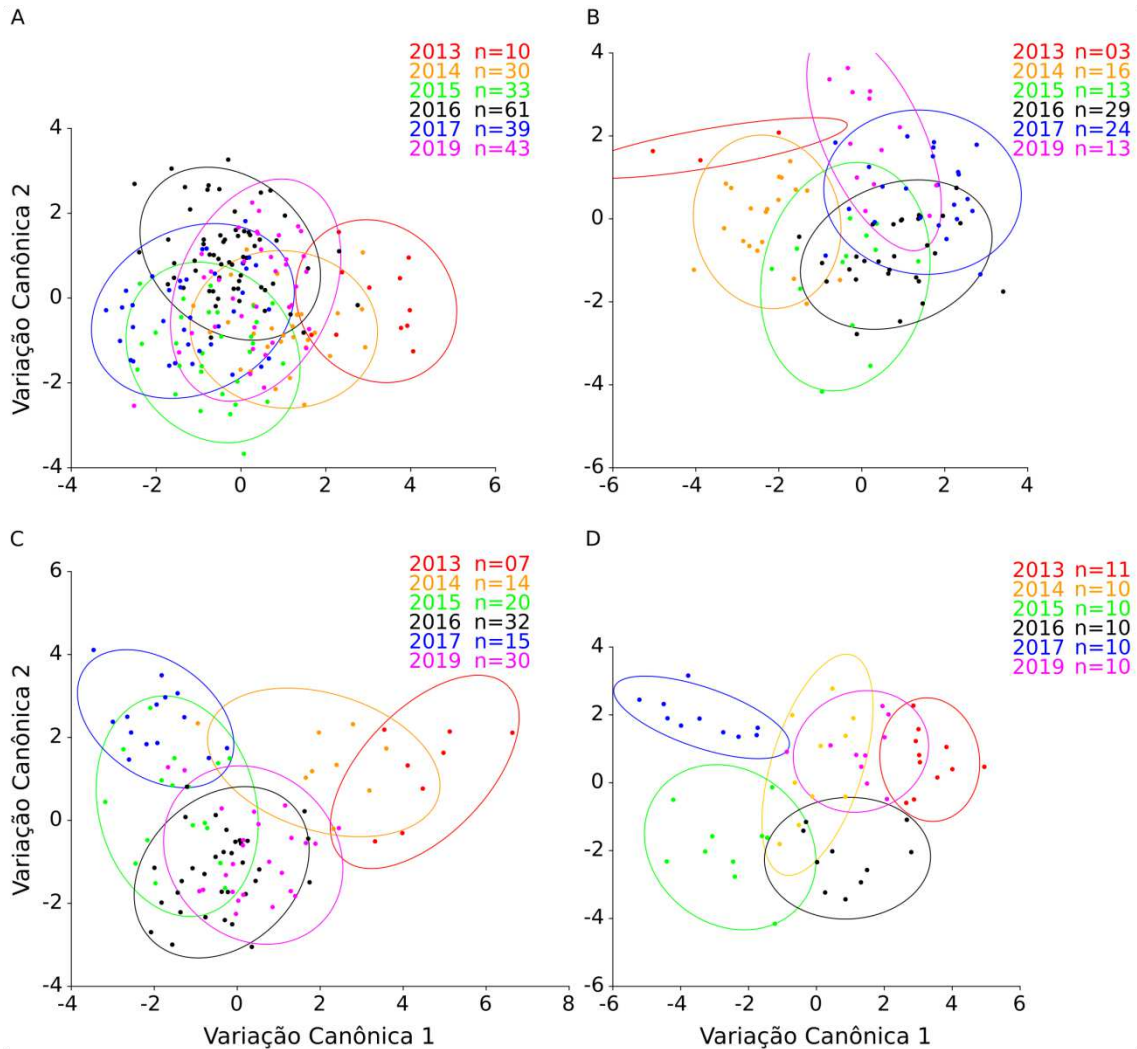
Nas comparações entre os anos analisamos as diferenças morfométricas entre machos e fêmeas (dimorfismo sexual) e o tamanho amostral desigual entre as populações, que poderiam influenciar os resultados das populações entre os anos.

Analisando-se os sexos, as fêmeas ( $n = 98$ ) são morfometricamente diferentes dos machos ( $n = 118$ ). Desta maneira, as análises somente para fêmeas (Figura 13B) e somente para machos (Figura 13C) entre anos foram feitas. Nas análises dos componentes principais (PCA), observamos diferenças estatísticas na forma da asa das fêmeas de *C. tarsata* entre os anos, mas não quanto ao tamanho do centroide e os 18 primeiros fatores dessas medidas explicaram 93,48% da variabilidade total dos dados, com os dois primeiros PCs explicando 39,75% da variabilidade total (PC1 explicou 24,97% e PC2 explicou 14,78%). Para os resultados da variação canônica (CVA), quando observamos o gráfico de dispersão (Figura 13B), notamos uma separação das populações de fêmeas, na qual as abelhas de todos os anos apresentaram diferenças entre si. As populações mais próximas foram dos anos de 2016 e 2017 (distância de Mahalanobis = 2,70;  $p < 0,001$ ; Tabela 11).

Para os machos, as análises dos componentes principais (PCA) mostraram diferenças estatísticas na forma das asas das populações entre os anos, porém quanto ao tamanho do centroide não, sendo que os 18 primeiros fatores dessas medidas explicaram 92,25% da variabilidade total dos dados, com os dois primeiros PCs explicando 31,39% da variabilidade total (PC1 explicou 19,05% e PC2 explicou 12,34%). Para os resultados da variação canônica (CVA), os machos de *C. tarsata* apresentaram diferenças entre todas as populações (distância de Mahalanobis,  $p \leq 0,001$ ) e as populações mais próximas foram as de 2016 e 2019 (distância de Mahalanobis = 2,25;  $p < 0,001$ ; Tabela 11).

Realizamos uma nova análise com números próximos de indivíduos entre os anos, diminuindo-se aleatoriamente o número de abelhas entre eles para avaliar se o tamanho amostral desigual entre as populações poderia interferir nos resultados. De acordo com as análises dos componentes principais (PCA) as diferenças significativas permaneceram nessa análise quanto à forma da asa, mas não quanto ao tamanho do centroide. Os 18 primeiros fatores dessas medidas explicaram 95,89% da variabilidade total dos dados, com os dois primeiros PCs explicando 46,63% da variabilidade total

(PC1 explicou 31,40% e PC2 explicou 15,23%). Para os resultados da variação canônica (CVA), as diferenças entre os anos permaneceram nesta análise, e as populações mais próximas são as populações do ano de 2014 e 2019 (distância de Mahalanobis = 4,29;  $p < 0,001$ ; Figura 13D; Tabela 11).

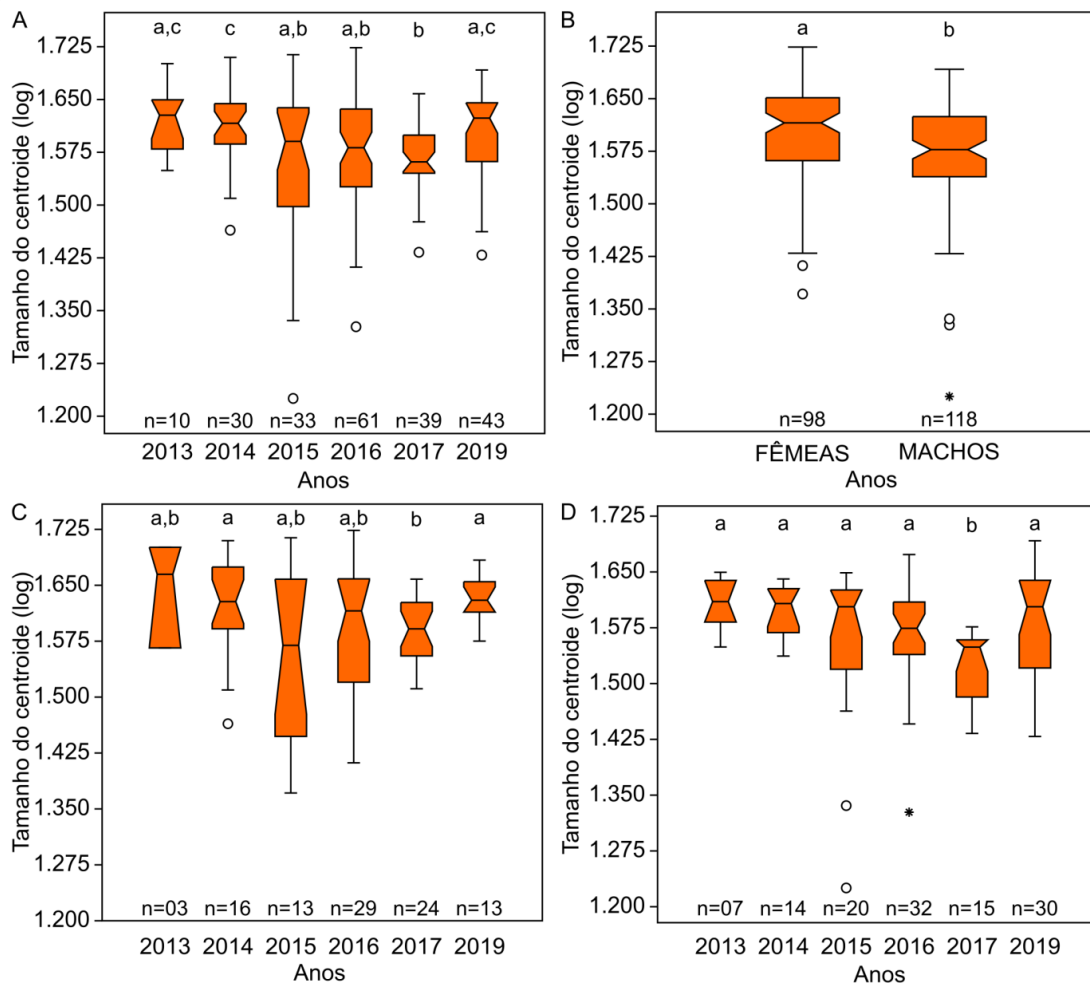


**Figura 13.** Análises de variáveis canônicas (CVA) entre as populações de *Centris tarsata* ao longo dos anos de 2013 a 2019 coletadas no Departamento de Ciências Biológicas (DCB) da UFVJM. Os anos foram identificados por cores diferentes, assim como o n amostral. (A) Todos os indivíduos no mesmo conjunto de dados; (B) Somente Fêmeas; (C) Somente Machos e (D) Números próximos de indivíduos.

**Tabela 11.** Distância de Mahalanobis entre as populações de *Centris tarsata* coletadas ao longo dos anos de 2012 a 2019 e entre parênteses os valores-P dos testes de permutação.

	Anos	2013	2014	2015	2016	2017
<b>Todos</b>	2014	3,18 (=0,001)	-	-	-	-
	2015	4,42 (<0,001)	2,54 (<0,001)	-	-	-
	2016	3,94 (<0,001)	2,42 (<0,001)	2,51 (<0,001)	-	-
	2017	4,49 (<0,001)	2,73 (<0,001)	2,54 (<0,001)	2,29 (<0,001)	-
	2019	3,37 (<0,001)	2,15 (<0,001)	2,40 (<0,001)	1,78 (<0,001)	2,24 (<0,001)
<b>Fêmeas</b>	2014	4,04 (=0,039)	-	-	-	-
	2015	6,10 (=0,002)	3,31 (<0,001)	-	-	-
	2016	5,72 (<0,001)	3,54 (<0,001)	3,25 (<0,001)	-	-
	2017	6,14 (<0,001)	3,94 (<0,001)	3,56 (<0,001)	2,70 (<0,001)	-
	2019	5,45 (<0,004)	3,86 (<0,001)	3,85 (<0,001)	3,36 (<0,001)	3,19 (<0,001)
<b>Machos</b>	2014	4,27 (=0,001)	-	-	-	-
	2015	6,49 (<0,001)	4,63 (<0,001)	-	-	-
	2016	5,69 (<0,001)	4,29 (<0,001)	3,39 (<0,001)	-	-
	2017	6,84 (<0,001)	5,15 (<0,001)	4,05 (<0,001)	4,19 (<0,001)	-
	2019	5,05 (<0,001)	3,92 (<0,001)	3,37 (<0,001)	2,25 (<0,001)	4,38 (<0,001)

A análise baseada no tamanho de centroide das populações de *C. tarsata* indicou que os indivíduos do ano de 2014 são maiores em comparação com as populações dos anos de 2015 e 2016 (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,05$ ) e a população de 2017 é menor que as populações de 2013, 2014 e 2019 (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,05$ ) em relação ao tamanho do centroide (Figura 14A). Para as fêmeas observamos que os indivíduos da população de 2017 são menores que os indivíduos da população de 2014 (Mann-Whitney pairwise,  $p = 0,017$ ) e de 2019 (Mann-Whitney pairwise,  $p = 0,002$ ; Figura 14C). Para os machos observamos que os indivíduos da população de 2017 são menores que as demais populações (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,05$ ; Figura 14D).



**Figura 14.** Valor médio e erro padrão do Log do centroide das abelhas *Centris tarsata* coletadas ao longo dos anos de 2013 a 2019 coletadas no Departamento de Ciências Biológicas (DCB) da UFVJM. Box-plot entalhado mostra a mediana (linhas horizontais), caixas apresentam percentis de 25 e 75, os valores máximos e mínimos são apresentados como linhas horizontais curtas (“whiskers”). Sendo  $\circ$  Outlier e \* Valor discrepante. **(A)** Todos os indivíduos (fêmeas e machos) num mesmo conjunto de dados; **(B)** Comparação entre fêmeas e machos **(C)** Somente fêmeas e **(D)** Somente machos. Letras diferentes acima do box-plot significam diferença significativa ao nível de 5% de significância e abaixo do box-plot o n amostral.

### 3.1.3. Análise polínica

As abelhas *C. tarsata* coletaram 26 tipos polínicos pertencentes a 15 famílias botânicas ao longo dos anos de 2013 a 2019, exceto em 2018, quando não houve coleta de ninhos-armadilha (Tabela 12; Apêndice A, Figura S3). Em 2013, foram coletados pelas abelhas 08 tipos polínicos de 06 famílias botânicas, sendo que os tipos mais consumidos neste ano foram um tipo de pólen da família Fabaceae e outro de Melastomataceae (Tabela 12). Em 2014 as abelhas *C. tarsata* coletaram 12 tipos polínicos pertencentes a 07 famílias botânicas, sendo que o tipo polínico mais coletado neste ano foi Melastomataceae, seguido por Fabaceae do tipo *Cassia* sp. (Tabela 12).

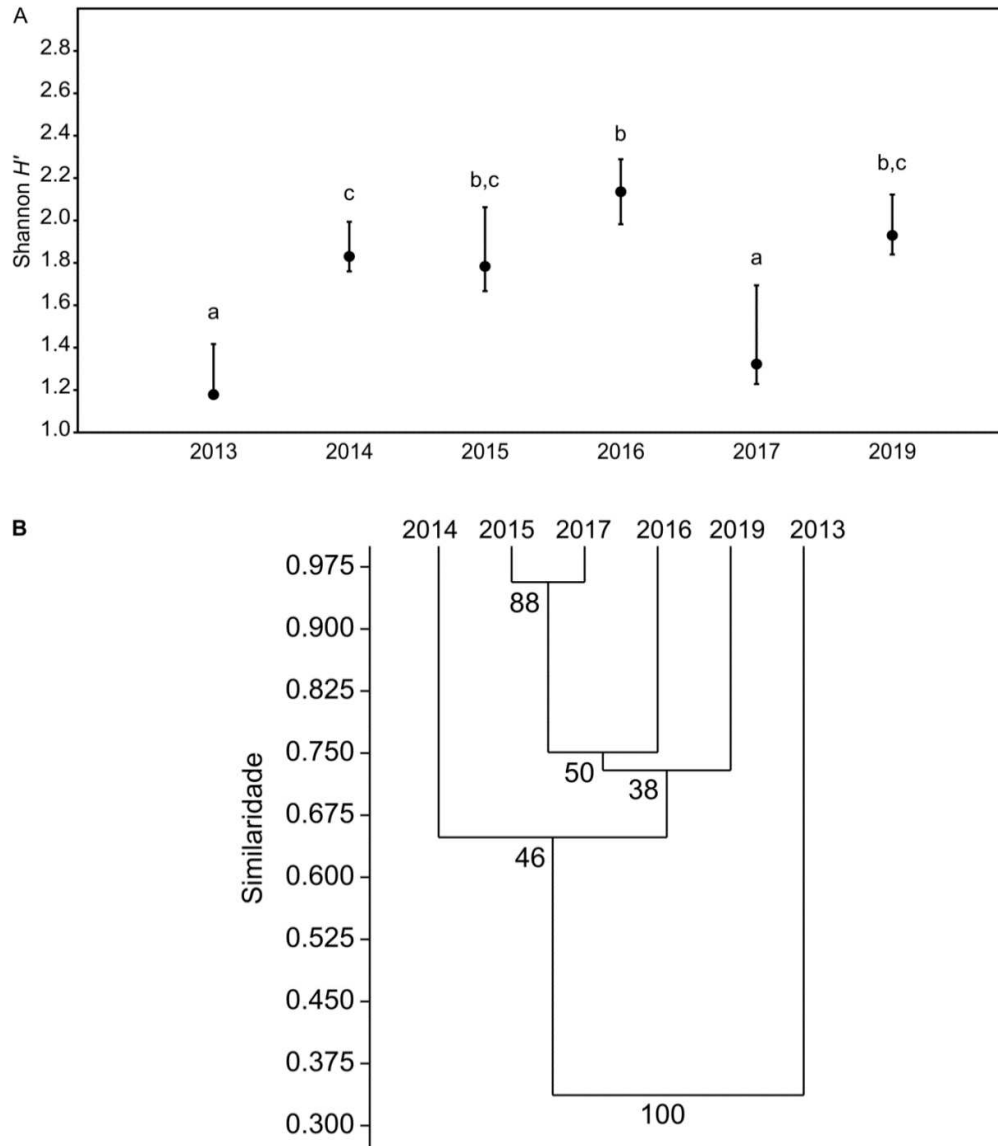
Em 2015 identificamos 17 tipos polínicos no espectro polínico de *C. tarsata*, de 11 famílias botânicas, sendo Fabaceae do tipo *Cassia* sp. o tipo mais consumido (Tabela 12). No ano de 2016 encontramos 17 tipos polínicos pertencentes a 10 famílias botânicas, sendo que Fabaceae (Tipo *Cassia* sp.) foi o tipo mais consumido (Tabela 12). Já em 2017 foram 15 tipos polínicos de 08 famílias botânicas, com Fabaceae (Tipo *Cassia* sp.) o tipo mais consumido, com mais da metade do espectro polínico (Tabela 12) e em 2019 identificamos 16 tipos polínicos pertencentes a 11 famílias botânicas, e os tipos mais consumidos foram dois tipos de Fabaceae: *Cassia* sp. e Fabaceae Tipo 2 (Tabela 12).

**Tabela 12:** Ocorrência de tipos polínicos (%) e riqueza da alimentação polínica fornecida às larvas de abelhas *Centris tarsata* em cada ano e o n amostral de ninhos coletados no ano entre parênteses, no Departamento de Ciências Biológicas (DCB).

Tipos polínicos	2013 (n=2)	2014 (n=7)	2015 (n=9)	2016 (n=8)	2017 (n=8)	2019 (n=7)	Figura no Apêndice A
Asteraceae (Tipo <i>Taraxacum</i> sp.)	0,00	0,00	0,11	0,00	0,10	1,44	Figura S3A
Asteraceae (Tipo 1)	0,06	11,59	0,98	0,00	0,00	0,00	Figura S3B
Clusiaceae	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	1,49	Figura S3C
Fabaceae (Tipo <i>Cassia</i> sp.)	2,42	21,45	51,05	27,7	65,89	29,91	Figura S3D
Fabaceae (Tipo <i>Stryphnodendron</i> sp.)	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,20	Figura S3E
Fabaceae (Tipo <i>Senna</i> sp.)	0,00	13,43	11,05	12,4	7,17	12,80	Figura S3F
Fabaceae (Tipo <i>Chamaecrisca</i> sp.)	0,00	0,00	5,11	8,4	1,02	0,66	Figura S3G
Fabaceae (Tipo 1)	0,00	0,00	0,00	0,5	0,00	0,00	Figura S3H
Fabaceae (Tipo 2)	47,22	12,28	0,00	0,00	0,85	21,29	Figura S3I
Fabaceae (Tipo 4)	0,00	0,00	0,00	1,1	0,00	0,00	Figura S3J
Lamiaceae (Tipo <i>Hyptis</i> sp.)	1,05	0,00	0,31	0,00	0,00	0,11	Figura S3K
Tipo Loranthaceae	0,00	0,00	0,05	0,1	0,00	0,00	Figura S3L
Lytraceae ( <i>Cuphea</i> sp. 1)	0,19	0,56	0,93	1,2	1,89	0,83	Figura S3M
Lytraceae ( <i>Cuphea</i> sp. 2)	0,00	0,55	1,21	0,00	0,17	0,00	Figura S3N
Malpighiaceae (Tipo <i>Banisteriopsis</i> sp.)	0,07	1,29	0,73	12,5	1,37	0,83	Figura S3O
Malpighiaceae (Tipo <i>Byrsonima</i> sp.)	19,37	3,35	8,09	3,5	5,24	13,92	Figura S3P
Malpighiaceae (Tipo <i>Heteropterys</i> sp.)	0,00	0,00	4,59	0,00	0,00	0,00	Figura S3Q
Malpighiaceae (Tipo <i>Tetrapteryx</i> sp.)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	Figura S3R
Malvaceae	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	Figura S3S
Melastomataceae	29,61	31,77	7,45	13,2	8,84	5,96	Figura S3T
Myrtaceae	0,00	0,00	0,57	1,2	0,15	0,09	Figura S3U
Ochnaceae (Tipo <i>Ouratea</i> sp.)	0,00	0,00	0,00	7,3	0,00	8,77	Figura S3V
Onagraceae (Tipo <i>Ludwigia</i> sp.)	0,00	2,84	0,66	2,1	0,00	1,64	Figura S3W
Tipo Poaceae	0,00	0,00	0,00	3,2	0,00	0,00	Figura S3X
Rubiaceae (Tipo <i>Pallicoura</i> sp.)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	Figura S3Y
Solanaceae	0,00	0,84	7,09	6,3	5,11	0,00	Figura S3Z
<b>Riqueza</b>	<b>08</b>	<b>12</b>	<b>17</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	



Analisando a riqueza e diversidade da alimentação, maior riqueza ( $n=17$ ) e a maior diversidade polínica foram observadas no ano de 2016 ( $H' = 2,14$ ; teste  $t$   $p < 0,005$ ), mas não diferindo de 2015 e 2019 (Figura 15A). Com base no índice de similaridade de Morisita, observamos semelhanças da alimentação das populações de abelhas dos anos de 2015 e 2017, que formaram um grupo (Figura 15B).



**Figura 15.** (A) Índice de diversidade Shannon  $H'$  da alimentação fornecida para as larvas de abelhas *Centris tarsata* entre os anos. Letras diferentes acima do desvio padrão significam diferença significativa ao nível de 5% de significância e (B) Dendograma de similaridade (Morisita) da alimentação dos imaturos de abelhas entre os anos de 2013 e 2019 no Departamento de Ciências Biológicas (DCB). Os valores numéricos entre os ramos indicam a porcentagem do quanto um grupo seja irmão do outro.

### 3.1.4. Análise da pluviosidade e temperatura nos anos de estudo

Foi feita uma correlação de *Spearman's* entre o tamanho médio da cabeça dos indivíduos de *C. tarsata* (fêmeas e machos juntos) entre os meses dos anos de coleta (Apêndice F; Tabela S1), com a precipitação mensal acumulada e com a temperatura média mensal, porém não houve correlação em nenhum dos anos (Tabelas 13 e 14).

**Tabela 13.** Resultados da correlação do tamanho médio das cabeças das abelhas *Centris tarsata* coletadas entre os anos de 2013 e 2019 com os valores de precipitação acumulada anual.

Correlação precipitação e tamanho de cabeça		
Anos	Valor de r	Valor de p
2013	Não foi possível correlacionar, devido à baixa quantidade de indivíduos.	
2014	-1,00	0,33
2015	-0,14	0,78
2016	-0,17	0,71
2017	0,16	0,69
2019	0,48	0,35
Correlação da precipitação com a média LC de todos os indivíduos juntos	-0,05	0,75

**Tabela 14.** Resultados da correlação do tamanho médio das cabeças das abelhas *Centris tarsata* coletadas entre os anos de 2013 e 2019 com os valores de temperatura média anual.

Correlação precipitação e tamanho de cabeça		
Anos	Valor de r	Valor de p
2013	Não foi possível correlacionar, devido à baixa quantidade de indivíduos.	
2014	-1,00	0,33
2015	-0,03	0,96
2016	-0,53	0,23
2017	-0,55	0,16
2019	0,48	0,35

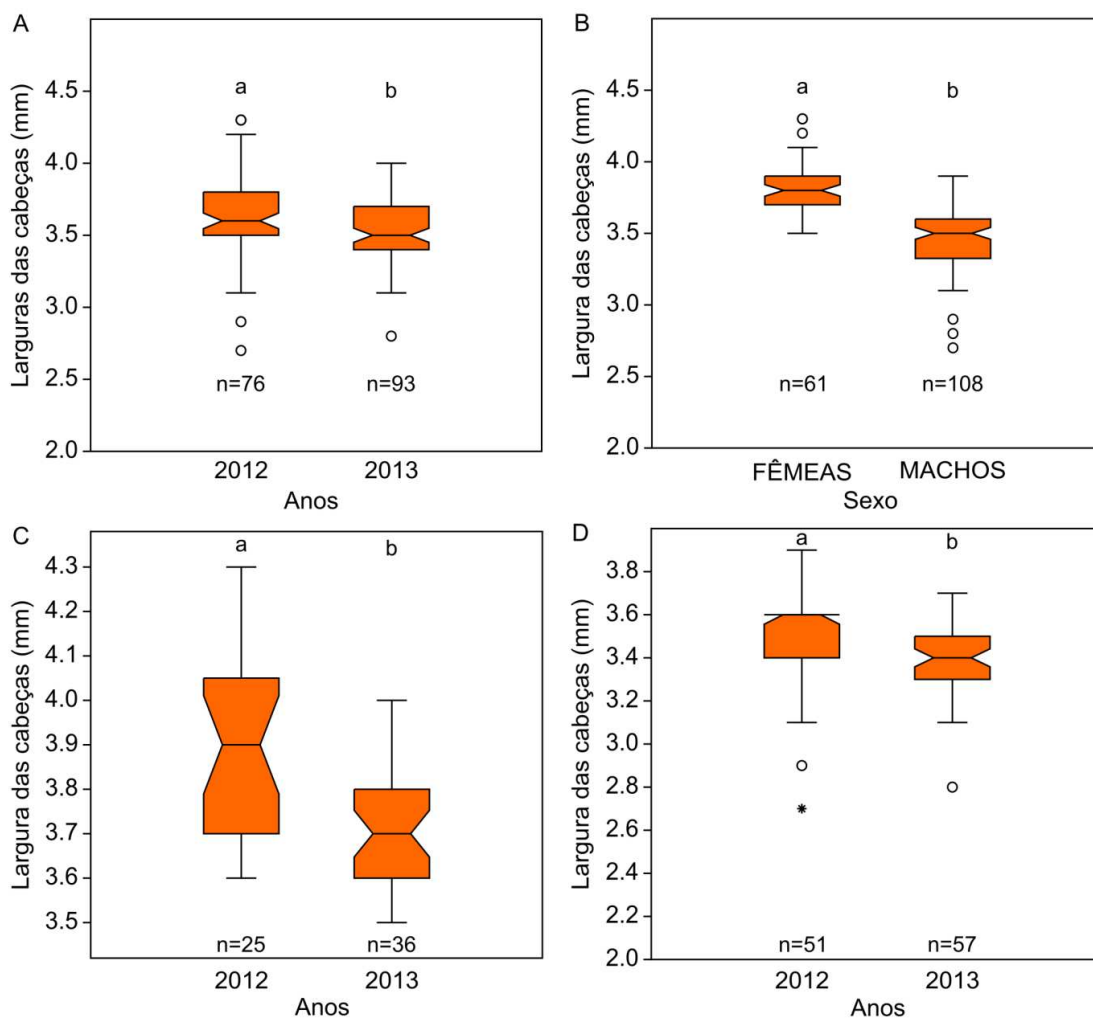
### 3.2. Variações nas populações de abelhas *Centris analis* em diferentes anos

Para as análises das populações de diferentes anos foram utilizadas abelhas *C. analis* coletadas somente no Parque Estadual do Rio Preto (PRP), pois foi a área com maior número desses indivíduos, as coletas nessa área foram realizadas nos anos de 2012 e 2013.

#### 3.2.1. Morfometria linear

Com relação à morfometria linear das cabeças, ao compararmos todas as abelhas *C. analis* (fêmeas e machos no mesmo conjunto de dados), observamos que a população de 2013 é menor que a população de 2012 (Mann-Whitney pairwise,  $p = 0,005$ ; Figura 16A).

Investigamos se havia diferença de tamanho entre os sexos, e as fêmeas apresentaram largura de cabeça maior que os machos (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,05$ ; Figura 16B). Como há diferenças entre fêmeas e machos e observamos um desvio na razão sexual de 1:1 entre os anos (Apêndice E; Tabela S2), analisamos os sexos separadamente para observarmos possíveis diferenças nas populações entre os anos. Observamos que, para as fêmeas, a população de 2013 é menor do que a população de 2012 (Mann-Whitney pairwise,  $p = 0,001$ ; Figura 16C). Os machos de *C. analis* da população do ano de 2013 também foram menores do que a população de 2012 (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,001$ ; Figura 16D).



**Figura 16.** Valor médio e erro padrão das medidas de largura da cabeça das abelhas *Centris analis* coletadas nos anos de 2012 e 2013 no Parque Estadual do Rio Preto (PRP). Box-plot entalhado mostra a mediana (linhas horizontais), caixas apresentam percentis de 25 e 75, os valores máximos e mínimos são apresentados como linhas horizontais curtas (“whiskers”), Sendo  $\circ$  Outlier e \* Valor discrepante. (A) Todos os indivíduos (fêmeas e machos) em um mesmo conjunto de dados, (B) Comparação entre fêmeas e machos, (C) Somente Fêmeas e (D) Somente Machos, Letras diferentes acima do box-plot significam diferença significativa ao nível de 5% de significância e abaixo do box-plot o n amostral.

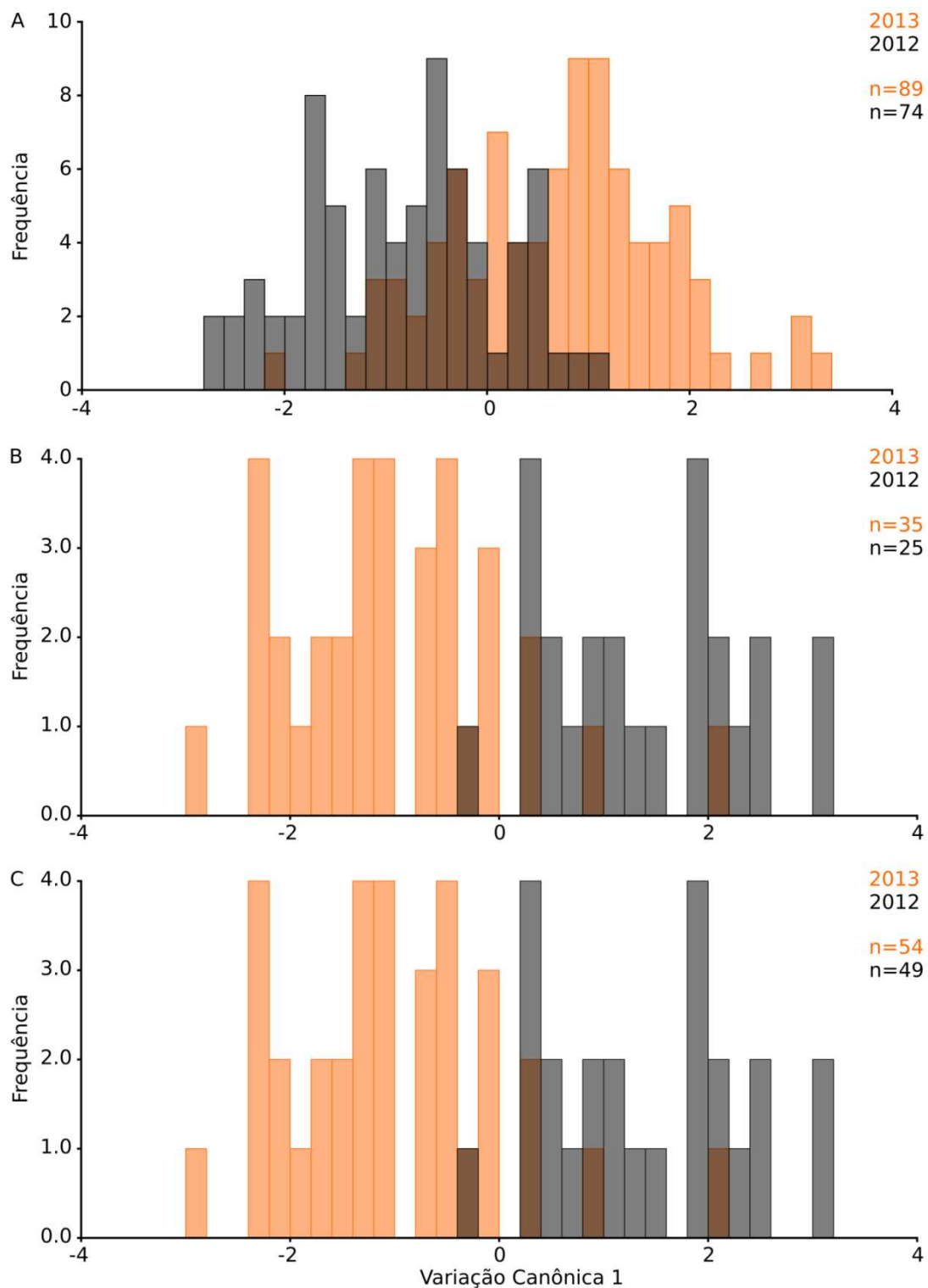
### 3.2.2. Morfometria geométrica

Com relação à morfometria geométrica das asas das populações de *C. analis*, nas análises dos componentes principais (PCA), ao compararmos todas as abelhas, (fêmeas e machos no mesmo conjunto de dados), foram observadas diferenças quanto à forma da asa, mas não quanto ao tamanho do centroide. Os 18 primeiros fatores dessas medidas explicaram 92,65% da variabilidade total dos dados, com os dois primeiros PCs explicando 48,84% da variabilidade (PC1 explicou 40,46% e PC2 explicou 8,37%). Para os resultados da variação canônica (CVA) foram encontradas diferenças entre todos os anos, e o gráfico (Figura 17A) mostra uma pequena

sobreposição entre os anos, com diferenças significativas nas distâncias de Mahalanobis entre eles (distância de Mahalanobis = 1,52;  $p < 0,001$ ; Tabela 15).

Foram analisadas as diferenças morfométricas entre machos e fêmeas (dimorfismo sexual). Analisando-se os sexos, as fêmeas ( $n = 60$ ) são morfometricamente diferentes dos machos ( $n = 103$ ), desta maneira, as análises somente para fêmeas e machos entre os anos foram feitas. Nas análises dos componentes principais (PCA), diferenças estatísticas foram encontradas na forma média da asa das fêmeas de *C. analis* entre os anos e os 18 primeiros fatores dessas medidas explicaram 90,65% da variabilidade total dos dados, com os dois primeiros PCs explicando 28,37% da variabilidade (PC1 explicou 15,74% e PC2 explicou 12,63%). Para os resultados da variação canônica (CVA), quando observamos o gráfico (Figura 17B), notamos uma separação das populações de fêmeas, com sutis sobreposições entre os anos (distância de Mahalanobis = 2,40;  $p < 0,001$ ).

Para os machos, as análises dos componentes principais (PCA) mostraram diferenças estatísticas na forma média das asas nas populações entre os anos, mas não quanto ao tamanho do centroide, sendo que os 18 primeiros fatores dessas medidas explicaram 90,78% da variabilidade total dos dados, com os dois primeiros PCs explicando 28,99% da variabilidade (PC1 explicou 16,99% e PC2 explicou 12%). Para os resultados da variação canônica (CVA), quando observamos o gráfico (Figura 17C) notamos uma separação das populações dos machos de *C. analis*, mas também com sutis sobreposições entre os anos. Eles apresentaram diferenças nas populações entre os anos (distância de Mahalanobis = 2,09;  $p < 0,001$ ; Tabela 15).

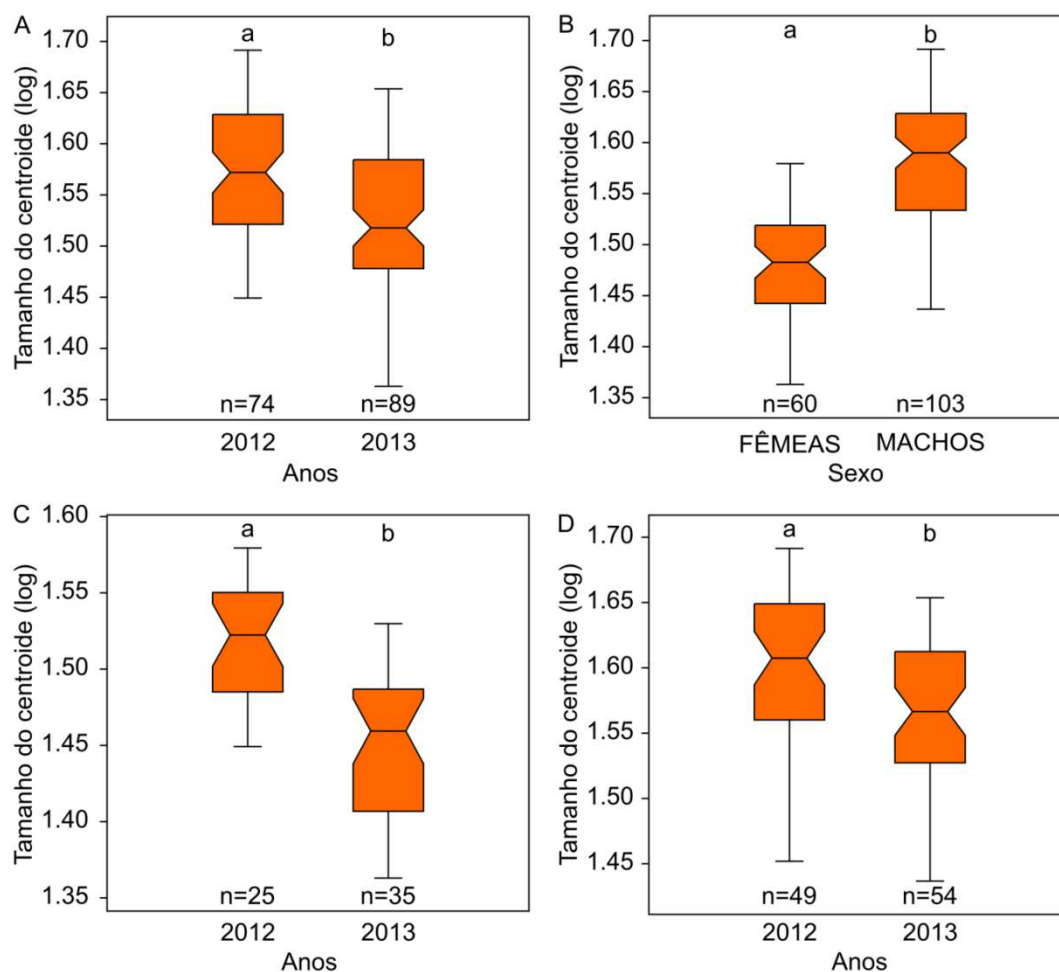


**Figura 17.** Análises das variáveis canônicas entre as populações de *Centris analis* coletadas entre os anos de 2012 e 2013 no Parque Estadual do Rio Preto (PRP). (A) Todos os indivíduos no mesmo conjunto de dados; (B) Somente Fêmeas e (C) Somente Machos.

**Tabela 15.** Resultados da Distância de Mahalanobis entre as populações de *Centris analis* e entre parênteses os valores-P dos testes de permutação, coletadas entre os anos de 2012 e 2013.

	Todos	Fêmeas	Machos
Anos	2013	2013	2013
	2012	2012	2012
	1,52 (<0,001)	2,40 (<0,001)	2,09 (<0,001)

Com relação ao tamanho de centroide das abelhas *C. analis*, observamos que os indivíduos dos anos de 2012 são maiores que os indivíduos da população do ano de 2013 (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,001$ ; Figura 18A). O tamanho de centroide das asas dos machos é maior que das fêmeas (as asas dos machos são maiores; Apêndice B, Figura S1A), deste modo, fizemos análises separadas por sexo. As fêmeas do ano de 2012 são maiores que as fêmeas do ano de 2013 (Mann-Whitney pairwise,  $p < 0,001$ ; Figura 18C) e para os machos também observamos que eles são maiores em 2012 (Mann-Whitney pairwise,  $p = 0,004$ ; Figura 18D).



**Figura 18.** Valor do Log do centroide das abelhas *Centris analis* coletadas entre os anos de 2012 e 2013 no Parque Estadual do Rio Preto (PRP), Box-plot entalhado mostra a mediana (linhas horizontais), caixas apresentam percentis de 25 e 75, os valores máximos e mínimos são apresentados como linhas horizontais curtas (“whiskers”), Sendo  $\circ$  Outlier e \* Valor discrepante, (A) Todos os indivíduos (fêmeas e machos) em um mesmo conjunto de dados, (B) Comparação entre fêmeas e machos, (C) Somente fêmeas e (D) Somente machos, Letras diferentes acima do box-plot significam diferença significativa ao nível de 5% de significância e abaixo do box-plot o n amostral.

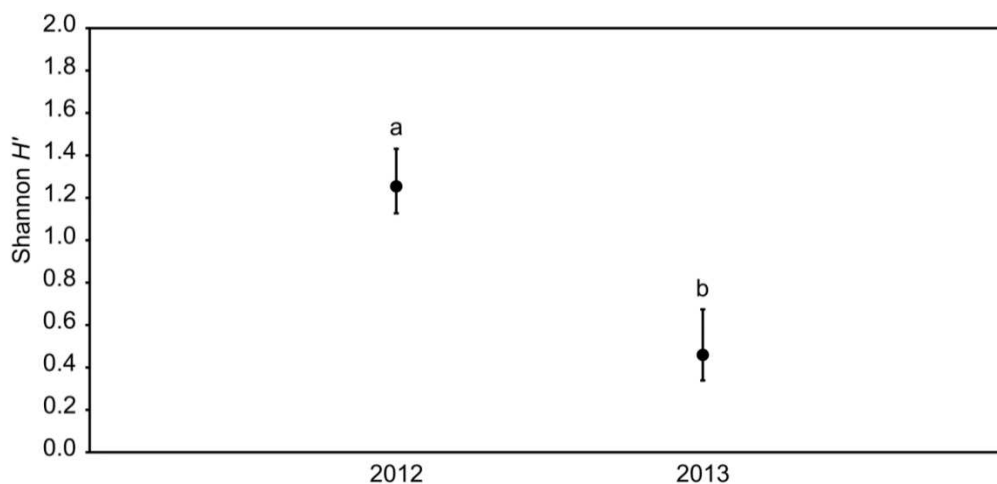
### 3.2.3. Análise polínica

As abelhas *C. analis* coletaram sete tipos polínicos pertencentes a quatro famílias botânicas, nos dois anos analisados (Tabela 16; Apêndice A, Figura S4). Em 2012 foram identificados no espectro polínico seis tipos de pólen de quatro famílias botânicas, sendo o tipo mais consumido *Byrsonima* sp. (Malpighiaceae). Em 2013, as abelhas coletaram quatro tipos polínicos pertencentes a duas famílias botânicas e o tipo mais consumido nesse ano também foi *Byrsonima* sp.. Notamos que, no ano de 2012, há dois tipos polínicos (Acanthaceae e Fabaceae tipo *Bauhinia* sp.) que não estão presentes em 2013.

**Tabela 16.** Ocorrência de tipos polínicos (%), riqueza da alimentação polínica fornecida às larvas de abelhas *Centris analis* nos anos de 2012 e 2013 e o n amostral de ninhos coletados na área amostrada no Parque Estadual do Rio Preto (PRP).

Tipos polínicos	2012 (n=5)	2013 (n=6)	Figura no Apêndice A
Tipo Acanthaceae	10,87	0,00	Figura S4A
Fabaceae (Tipo <i>Bauhinia</i> sp.)	9,07	0,00	Figura S4B
Fabaceae (Tipo 2)	0,00	0,65	Figura S4C
Lytraceae ( <i>Cuphea</i> sp. 1)	0,05	0,00	Figura S4D
Malpighiaceae (Tipo <i>Banisteriopsis</i> sp.)	5,35	6,18	Figura S4E
Malpighiaceae (Tipo <i>Byrsonima</i> sp.)	54,66	87,77	Figura S4F
Malpighiaceae (Tipo <i>Heteropterys</i> sp.)	20,00	5,40	Figura S4G
<b>Riqueza</b>	<b>06</b>	<b>04</b>	

Analisando a riqueza e diversidade da alimentação, a maior riqueza e a maior diversidade polínica foram encontradas no ano de 2012 ( $H' = 1,27$ ; teste t p < 0,005; Figura 19).



**Figura 19.** Índice de diversidade Shannon  $H'$  da alimentação fornecida para as larvas de abelhas *Centris analis* coletadas no Parque Estadual do Rio Preto (PRP), entre os anos de 2012 e 2013. Letras diferentes acima do desvio padrão significam diferença significativa ao nível de 5% de significância.



## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Fatores abióticos na influência da variação morfológica nas populações de *Centris* entre os anos

Quanto à variação das populações de *C. tarsata*, quando analisamos os tamanhos de cabeça pela morfometria linear, observamos que as menores abelhas (fêmeas e machos) foram registradas em 2015. A presença de indivíduos muito pequenos poderia ser explicada talvez por questões climáticas. Um período com muitas chuvas durante a fase de construção dos ninhos poderia afetar nas viagens de coleta de material para construção do ninho, assim como na coleta de recursos florais. Sabe-se que *C. tarsata* faz em média três a quatro viagens para o aprisionamento de uma célula (AGUIAR; GARÓFALO, 2004). Assim, a impossibilidade das viagens de forrageamento das fêmeas ovopositoras poderiam gerar células com menor quantidade de alimento e, conseqüentemente, de tamanhos menores. O tamanho da célula e a quantidade de alimento estão diretamente relacionados com o tamanho do indivíduo adulto (VIEIRA DE JESUS; GAROFALO, 2000). No Cerrado, as estações seca e chuvosa são bem definidas quanto ao regime de chuvas (GOMES et al., 2020; SILVA; ASSAD; EVANGELISTA, 2008) e sabe-se que o ciclo reprodutivo de *C. tarsata* ocorre principalmente, durante a estação chuvosa e úmida (AGUIAR; GARÓFALO, 2004; BUSCHINI; WOLFF, 2006; MENDES; RÊGO, 2007; nossas observações). Assim, em anos que houve maior precipitação, poderiam influenciar indiretamente no tamanho das abelhas. Porém, os tamanhos dos indivíduos entre os anos não estão correlacionados os valores de precipitação mensal ao longo dos anos (Tabela 13) e não observamos menores valores de precipitação no ano de 2015 com relação aos demais anos estudados (Apêndice D; Figura S2).

A temperatura também é um fator abiótico que influencia no tamanho corporal de abelhas solitárias, pois temperaturas mais baixas durante o desenvolvimento resultam em maior tamanho do corpo adulto (ATKINSON, 1994). No entanto, não observamos correlação entre a temperatura média anual e o tamanho dos indivíduos (Tabela 14). Sendo assim, fatores abióticos como precipitação e temperatura parecem não interferir morfológicamente nas populações de abelhas solitárias *C. tarsata*.

Nos levantamentos de ninhos-armadilha em áreas de Cerrado na Cadeia do Espinhaço, notamos que *C. tarsata* é a espécie mais comum de *Centris*, exceto no Parque Estadual do Rio Preto, em que *C. analis* foi mais abundante (ARAÚJO;

LOURENÇO; RAW, 2016; LOURENÇO et al., 2020; dados não publicados). Observamos que as abelhas (fêmeas e machos) de 2012 foram maiores que as de 2013. As abelhas analisadas de 2012 e 2013 corresponderam aos meses de dezembro/2012, janeiro e fevereiro/2013. Assim, as abelhas analisadas neste trabalho são de uma mesma época do ano, portanto, a precipitação e temperatura nesse período (estação quente/úmida) variaram muito pouco (Anexo A; Figura S1) e não tiveram influência no tamanho corporal das abelhas.

#### **4.2. Relação da alimentação dos imaturos e a morfologia das abelhas ao longo dos anos**

De maneira geral, nos ninhos das abelhas *C. tarsata* foram encontrados 26 tipos polínicos pertencentes a 16 famílias botânicas ao longo dos anos, sendo Fabaceae e Melastomataceae as famílias mais frequentes. Malpighiaceae, Fabaceae, Ochnaceae e Solanaceae são as famílias botânicas mais representativas para essa espécie em ambientes de Caatinga, Mata de Araucária, e Cerrado do Maranhão (AGUIAR et al., 2003; CRUZ; DÓREA; LIMA, 2015; DÓREA et al., 2009; GONÇALVES; DA SILVA; BUSCHINI, 2012; MENDES; RÊGO, 2007) e, de acordo com nossos resultados, podemos dizer que Melastomataceae é um importante recurso alimentar para *C. tarsata* em áreas de Cerrado e Campo Rupestre. Para *C. analis*, observamos a presença de 07 tipos polínicos pertencentes a 04 famílias botânicas, sendo o tipo polínico com maior frequência, Malpighiaceae (*Byrsonima* sp.) nos dois anos analisados. Pólen das famílias Malpighiaceae, seguido de Fabaceae e Solanaceae são os tipos com maior frequência de ocorrência no espectro polínico de *C. analis* em outros estudos (DA SILVA et al., 2017; DÓREA et al., 2010b; RABELO et al., 2012; SANTOS et al., 2013) e a grande frequência de pólen de Malpighiaceae encontrada em nossos resultados reforça a importância dessa família para essa abelha, uma vez que *C. analis* usam o óleo para a construção das células e não para a alimentação das larvas (VIEIRA DE JESUS; GAROFALO, 2000).

No ano de 2015, abelhas *C. tarsata* foram menores quanto ao tamanho da cabeça, mas não em relação às abelhas do ano de 2013. Observamos, em 2015, uma alta frequência do tipo *Cassia* sp. (>50%) no espectro polínico de *C. tarsata*, ou seja, a fêmea ovopositora demonstrou comportamento oligolético, o que pode ter sido diferente da estratégia utilizada por ela no ano de 2019, período em que, devido a uma possível

escassez de recursos, ela buscou mais tipos de pólen (não observamos uma frequência >30% para nenhum tipo polínico), demonstrando comportamento generalista.

Sabemos que essa espécie é considerada polilética, pois busca pólen em uma ampla variedade de espécies de plantas (RITCHIE; RUPPEL; JHA, 2016), no entanto *C. tarsata* pode apresentar tendência de comportamento oligolético no provisionamento larval, dependendo da região em que se encontra (GONÇALVES; DA SILVA; BUSCHINI, 2012). Nesse sentido, aparentemente, duas estratégias de forrageamento diferentes foram utilizadas por essas abelhas nesses dois anos.

Possivelmente, a maior busca por um único tipo polínico em 2015 pode ter influenciado no menor tamanho de *C. tarsata* nesse ano. Em *C. analis*, as abelhas foram menores no ano de 2013, período em que a diversidade polínica na alimentação dos imaturos foi menor quando comparada a 2012 e ano em que também houve maior frequência de um único tipo de pólen (>80% de Malpighiaceae) em seu espectro polínico. Uma dieta polínica com menor diversidade pode estar nutricionalmente desbalanceada, com escassez de nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento larval (FILIPIAK; FILIPIAK, 2020), impondo restrições ao desenvolvimento dos imaturos, resultando em tamanho corporal menor nos adultos (FILIPIAK et al., 2017). Para *Tetrapedia curvitaris* maior amplitude de nicho alimentar na estação quente/chuvosa causou maior tamanho dos indivíduos (CAMPOS et al., 2018) e, em nossos estudos, observamos que tanto abelhas *C. tarsata* quanto *C. analis* foram maiores na área onde havia maior disponibilidade de recursos polínicos, reforçando a importância da diversidade polínica na alimentação de abelhas solitárias.

Em *C. analis*, houve diferenças entre os dois anos comparados (2012 e 2013), sendo que em 2012 os indivíduos foram maiores. Mesmo tendo observado uma baixa variabilidade no espectro polínico dessa espécie nesses dois anos analisados (riqueza de seis e quatro tipos polínicos, respectivamente), notamos que em 2012 há dois tipos que não foram observados em 2013, Fabaceae do tipo *Bauhinia* sp. e tipo Acanthaceae. Pólen do tipo Acanthaceae possui uma média de 43% de proteína, sendo consideravelmente proteico, uma vez que a porcentagem de proteína no pólen de várias espécies botânicas varia entre 2,5-60% (ROULSTON; CANE, 2000). A presença de tipos polínicos bastante proteicos na alimentação das larvas poderia influenciar para que as abelhas fossem maiores em 2012, como observado para outras abelhas (LAWSON; HELMREICH; REHAN, 2017; ROULSTON; CANE, 2000). É importante ressaltar, ainda, que, em 2012, a diversidade polínica foi maior que em 2013, reforçando que a

diversidade na alimentação é um fator que influencia no tamanho corporal dessas abelhas. A variação quantitativa de nutrientes disponíveis influencia no tamanho de fêmeas e machos e, desta maneira, no seu sucesso reprodutivo (ALCOCK, 1997; TEPEDINO; TORCHIO, 1982) e no tamanho da prole (BOSCH; VICENS, 2002, 2006; KIM; THORP, 2001).

#### **4.3. Razão sexual enviesada nas populações de abelhas solitárias**

Nas análises entre todos os anos, observamos que apenas em 2019 há um desvio na razão sexual para machos de *C. tarsata* (Apêndice E; Tabela S1). Para *C. analis*, também observamos maior número de machos do que fêmeas nos dois anos analisados (Apêndice E; Tabela S2). Uma razão sexual enviesada para machos em uma população de abelhas *C. analis* também foi observada em um estudo realizado em área urbana, com espécies arbóreas típicas de florestas semidecíduais (MOURE-OLIVEIRA et al., 2017), e uma assimetria na alocação do sexo masculina foi observada para *C. tarsata* em uma área de Caatinga (AGUIAR; GARÓFALO, 2004).

Desvios da proporção sexual 1:1 podem estar associados a alguns fatores, como assimetria na alocação de sexo (FISHER, 1958) ou condições ambientais adversas, como escassez de recursos (CHARNOV, 1982; FRANK, 1995; TRIVERS; WILLARD, 1973) ou uma alta taxa de cleptoparasitismo (SEIDELMANN, 2006). Também observamos grande quantidade de parasitas nos ninhos de *C. tarsata* coletados em 2019 (dados não publicados), geralmente na primeira célula do ninho, o que também pode ter favorecido o desvio na razão sexual para machos, uma vez que há um viés feminino na primeira posição da célula de cria ou na postura do primeiro ovo (JOHNSON, 1988; REHAN; RICHARDS, 2010). O custo para a produção de fêmeas também é maior (PETERSON; ROITBERG; PETERSON, 2006; VIEIRA DE JESUS; GAROFALO, 2000) e há diferenças comportamentais no forrageamento de fêmeas de acordo com o fornecimento de uma célula destinada a ser uma abelha fêmea versus um macho, onde a alocação de alimento na célula destinada a ser fêmea é maior e a ovopositora realiza mais viagens para provisionamento larval da célula feminina (VIEIRA DE JESUS; GAROFALO, 2000). Desse modo, uma possível escassez de recursos polínicos no ano de 2019 para *C. tarsata* e, nos anos de 2012 e 2013 para *C. analis*, poderia influenciar para que mais machos ocorressem.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acreditávamos que as taxas de precipitação e temperatura poderiam interferir nas variações morfológicas de *C. tarsata* e *C. analis* ao longo dos anos, no entanto, não confirmamos esta hipótese através dos nossos resultados.

Nos levantamentos de ninhos-armadilha em áreas de Cerrado na Cadeia do Espinhaço, notamos que *C. tarsata* é a espécie mais abundante de *Centris*, no entanto observamos que no Parque Estadual do Rio Preto *C. analis* foi mais abundante.

As variações observadas nas populações de *C. tarsata* demonstram que as abelhas ovopositoras utilizaram duas estratégias diferentes entre os anos ao nidificar, fator esse que interferiu no tamanho das abelhas e, possivelmente, aumentou a quantidade de machos entre os anos.

Por fim, concluímos que a diversidade polínica é um fator importante para o desenvolvimento de *C. tarsata* e *C. analis*, e que esse fator interfere na morfologia desses insetos.

## REFERÊNCIAS

- ABRAHAMCZYK, Stefan; GOTTLEUBER, Peter; MATAUSCHEK, Christian; KESSLER, Michael. Diversity and community composition of euglossine bee assemblages (Hymenoptera: Apidae) in western Amazonia. **Biodiversity and Conservation**, [S. l.], v. 20, n. 13, p. 2981–3001, 2011. DOI: 10.1007/s10531-011-0105-1. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s10531-011-0105-1>.
- ADAMS, Dean C.; ROHLF, F. James; SLICE, Dennis E. Geometric morphometrics: Ten years of progress following the ‘revolution’. **Italian Journal of Zoology**, [S. l.], v. 71, n. 1, p. 5–16, 2004. DOI: 10.1080/11250000409356545. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/11250000409356545>.
- AGOSTINI, Júlia Colombelli; COSTA, Claudineia Pereira; FERREIRA, Jaíne Taís; DIAS, Adriana Cristina; GUERRA, Nathália Prestes; SIMÕES, Zilá Luz Paulino; LOURENÇO, Anete Pedro. Vitellogenin of the solitary bees *Centris tarsata* and *Centris analis* (Hymenoptera: Apidae): cDNA structural analysis and gene expression. **Apidologie**, [S. l.], v. 52, n. 1, p. 292–307, 2021. DOI: 10.1007/s13592-020-00818-6. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13592-020-00818-6>.
- AGUIAR, Antonio José Camillo; MARTINS, Celso Feitosa. Abelhas e vespas solitárias em ninhos-armadilha na Reserva Biológica Guaribas (Mamanguape, Paraíba, Brasil). **Revista Brasileira de Zoologia**, [S. l.], v. 19, n. suppl 1, p. 101–116, 2002. DOI: 10.1590/S0101-81752002000500005. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-81752002000500005&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-81752002000500005&lng=pt&tlng=pt).
- AGUIAR, Cândida M. L.; GARÓFALO, Carlos A. Nesting biology of *Centris (Hemisiella) tarsata* Smith (Hymenoptera, Apidae, Centridini). **Revista Brasileira de Zoologia**, [S. l.], v. 21, n. 3, p. 477–486, 2004.
- AGUIAR, Cândida M. L.; ZANELLA, Fernando C. V.; MARTINS, Celso F.; CARVALHO, Carlos A. L. De. Plantas visitadas por *Centris* spp. (Hymenoptera: Apidae) na Caatinga para obtenção de recursos florais. **Neotropical Entomology**, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 247–259, 2003. DOI: 10.1590/S1519-566X2003000200009. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-566X2003000200009&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-566X2003000200009&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt).
- ALCOCK, John. Competition from large males and the alternative mating tactics of small males of dawson’s burrowing bee (*Amegilla dawsoni*) (apidae, apinae, anthophorini). **Journal of Insect Behavior**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 99–113, 1997. DOI: 10.1007/BF02765477. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/BF02765477>.
- ALCOCK, John; SIMMONS, Leigh W.; BEVERIDGE, Maxine. Seasonal change in offspring sex and size in Dawson’s burrowing bees (*Amegilla dawsoni*) (Hymenoptera: Anthophorini). **Ecological Entomology**, [S. l.], v. 30, n. 3, p. 247–254, 2005. DOI: 10.1111/j.0307-6946.2005.00695.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.0307-6946.2005.00695.x>.
- ALONSO, Juliana D. S.; SILVA, Janaina F.; GARÓFALO, Carlos A. The effects of cavity length on nest size, sex ratio and mortality of *Centris (Heterocentris) analis* (Hymenoptera, Apidae, Centridini). **Apidologie**, [S. l.], v. 43, n. 4, p. 436–448, 2012.

DOI: 10.1007/s13592-011-0110-0. Disponível em:  
<http://link.springer.com/10.1007/s13592-011-0110-0>.

ARAÚJO, P. C. S.; LOURENÇO, A. P.; RAW, A. Trap-Nesting Bees in Montane Grassland (Campo Rupestre) and Cerrado in Brazil: Collecting Generalist or Specialist Nesters. **Neotropical Entomology**, [S. l.], v. 45, n. 5, p. 482–489, 2016. DOI: 10.1007/s13744-016-0395-9. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13744-016-0395-9>.

ATKINSON, D. Temperature and organism size - a biological law for ectotherms? **Adv. Ecol. Res.**, [S. l.], v. 25, p. 1–58, 1994.

BARTOMEUS, Ignasi; ASCHER, John S.; WAGNER, David; DANFORTH, Bryan N.; COLLA, Sheila; KORNBLUTH, Sarah; WINFREE, Rachael. Climate-associated phenological advances in bee pollinators and bee-pollinated plants. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [S. l.], v. 108, n. 51, p. 20645–20649, 2011. DOI: 10.1073/pnas.1115559108. Disponível em: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1115559108>.

BATALHA, Marco Antônio; MARTINS, Fernando Roberto. Reproductive phenology of the cerrado plant community in Emas National Park (central Brazil). **Australian Journal of Botany**, [S. l.], v. 52, n. 2, p. 149, 2004. DOI: 10.1071/BT03098. Disponível em: <http://www.publish.csiro.au/?paper=BT03098>.

BATRA, Suzanne W. T. Solitary Bees. **Scientific American, a division of Nature America, Inc.**, [S. l.], v. 250, n. 2, p. 120–127, 1984.

BLANCKENHORN, Wolf U. The Evolution of body size: What keeps organisms small? **The Quarterly Review of Biolog**, [S. l.], v. 75, n. 4, p. 385–407, 2000.

BOSCH, Jordi; VICENS, Narcís. Body size as an estimator of production costs in a solitary bee. **Ecological Entomology**, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 129–137, 2002. DOI: 10.1046/j.1365-2311.2002.00406.x. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2311.2002.00406.x>.

BOSCH, Jordi; VICENS, Narcís. Relationship between body size, provisioning rate, longevity and reproductive success in females of the solitary bee *Osmia cornuta*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, [S. l.], v. 60, n. 1, p. 26–33, 2006. DOI: 10.1007/s00265-005-0134-4. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00265-005-0134-4>.

BUSCHINI, Maria Luisa Tunes; WOLFF, L. L. Nesting biology of *Centris (Hemisiella) tarsata* Smith in Southern Brazil (Hymenoptera, Apidae, Centridini). **Brazilian Journal of Biology**, [S. l.], v. 66, n. 4, p. 1091–1101, 2006. DOI: 10.1590/S1519-69842006000600016.

CAMARGO, J. M. F.; MAZUCATO, M. Inventário da apifauna e flora apícola de Ribeirão Preto. **Dusenía**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 55–87, 1984.

CAMILLO, E.; GARÓFALO, C. A.; SERRANO, J. C.; MUCCILO, G. Diversidade e abundância sazonal de abelhas e vespas solitárias em ninhos armadilhas (Hymenoptera: Apocrita: Aculeata). **Rev. Bras. Entomol.**, [S. l.], v. 39, p. 459–470, 1995.

CAMPOS, Eliza Siqueira; ARAUJO, Thayane Nogueira; RABELO, Laíce Souza;

BASTOS, Esther Margarida Alves; AUGUSTO, Solange Cristina. Does Seasonality Affect the Nest Productivity, Body Size, and Food Niche of *Tetrapedia curvitaris* Friese (Apidae, Tetrapediini)? **Sociobiology**, [S. l.], v. 65, n. 4, p. 576, 2018. DOI: 10.13102/sociobiology.v65i4.3395. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/3395>.

CHARNOV, E. L. The theory of sex allocation. **Princeton University Press.**, [S. l.], 1982.

CHOLE, Hanna; WOODARD, Sarah Hollis; BLOCH, Guy. Body size variation in bees: regulation, mechanisms, and relationship to social organization. **Current Opinion in Insect Science**, [S. l.], v. 35, p. 77–87, 2019. DOI: 10.1016/j.cois.2019.07.006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2019.07.006>.

COSTA, Mayra Ruas Da. **Morfometria de indivíduos e análise polínica de ninhos de *Centris tarsata* e *Centris analis* em áreas de Cerrado**. 2014. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, [S. l.], 2014.

CRUZ, Ana Paula Araújo Da; DÓREA, Marcos da Costa; LIMA, Luciene Cristina Lima e. Pollen types used by *Centris (Hemisiella) tarsata* Smith (1874) (Hymenoptera, Apidae) in the provisioning of brood cells in an area of Caatinga. **Acta Botanica Brasilica**, [S. l.], v. 29, n. 2, p. 282–284, 2015. DOI: 10.1590/0102-33062015abb0005. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-33062015000200282&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-33062015000200282&lng=en&tlng=en).

DA SILVA, Cláudia Inês; HIROTSU, Carolina Mayumi; DE SUZA PACHECO FILHO, Alípio José; QUEIROZ, Elisa Pereira; GARÓFALO, Carlos Alberto. Is the maximum reproductive rate of *Centris analis* (Hymenoptera, Apidae, Centridini) associated with floral resource availability? **Arthropod-Plant Interactions**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 389–402, 2017. DOI: 10.1007/s11829-017-9513-9. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11829-017-9513-9>.

DIAS, Adriana Cristina. **Imunidade em abelhas solitárias: capacidade de resposta imune frente à infecção por bactérias e investigação de infecção por patógenos**. 2018. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, [S. l.], 2018.

DÓREA, Marcos da Costa; AGUIAR, Cândida Maria Lima; FIGUEROA, Luís Enrique Rodrigues; LIMA, Luciene Cristina Lima; SANTOS, Francisco de Assis Ribeiro. Residual pollen in nests of *Centris analis* (hymenoptera, apidae, centridini) in an area of caatinga vegetation from Brazil. **Oecologia Australis**, [S. l.], v. 14, n. 01, p. 232–237, 2010. DOI: 10.4257/oeco.2010.1401.13. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/8097>.

DÓREA, Marcos da Costa; SANTOS, Francisco de A. R. Dos; LIMA, Luciene C. de L. E.; FIGUEROA, Luís E. R. Análise polínica do resíduo pós-emergência de ninhos de *Centris tarsata* Smith (Hymenoptera: Apidae, Centridini). **Neotropical Entomology**, [S. l.], v. 38, n. 2, p. 197–202, 2009. DOI: 10.1590/S1519-566X2009000200005. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-566X2009000200005&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-566X2009000200005&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt).

ERDTMAN, G. The acetolysis method in a revised description. **Sven. Bot. Tidskr.**, [S. l.], v. 54, p. 561–564, 1960.



FERREIRA, VS; AGUIAR, CML; COSTA, MA; SILVA, JG. Morphometric Analysis of Populations of *Centris aenea* Lepeletier (Hymenoptera: Apidae) from Northeastern Brazil. **Neotropical Entomology**, [S. l.], v. 40, n. 1, p. 97–102, 2011. DOI: 10.1590/S1519-566X2011000100014. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1519-566X2011000100014&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-566X2011000100014&lng=en&nrm=iso&tlng=en).

FILIPIAK, Michał; KUSZEWSKA, Karolina; ASSELMAN, Michel; DENISOW, Bożena; STAWIARZ, Ernest; WOYCIECHOWSKI, Michał; WEINER, January. Ecological stoichiometry of the honeybee: Pollen diversity and adequate species composition are needed to mitigate limitations imposed on the growth and development of bees by pollen quality. **PLOS ONE**, [S. l.], v. 12, n. 8, p. e0183236, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0183236. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0183236>.

FILIPIAK, Zuzanna M.; FILIPIAK, Michał. The Scarcity of Specific Nutrients in Wild Bee Larval Food Negatively Influences Certain Life History Traits. **Biology**, [S. l.], v. 9, n. 12, p. 462, 2020. DOI: 10.3390/biology9120462. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-7737/9/12/462>.

FISHER, R. A. **The genetical theory of natural selection**. 2 ed. ed. New York.

FRANK, S. A. Sex allocation in solitary bees and wasps. **Am. Nat.**, [S. l.], v. 146, p. 316–323, 1995.

FRANKIE, Gordon W.; THORP, Robbin W.; NEWSTROM-LLOYD, Linda E.; RIZZARDI, Mark A.; BARTHELL, John F.; GRISWOLD, Terry L.; KIM, Jong-Yoon; KAPPAGODA, Shanthi. Monitoring Solitary Bees in Modified Wildland Habitats: Implications for Bee Ecology and Conservation. **Environmental Entomology**, [S. l.], v. 27, n. 5, p. 1137–1148, 1998. DOI: 10.1093/ee/27.5.1137. Disponível em: <https://academic.oup.com/ee/article-lookup/doi/10.1093/ee/27.5.1137>.

GAGLIANONE, Maria Cristina; ROCHA, Hugo Henrique Salgado; BENEVIDES, Cristine Rodrigues; JUNQUEIRA, Camila Nonato; AUGUSTO, Solange Cristina. Importância de Centridini (apidae) na polinização de plantas de interesse agrícola: o maracujá-doce (*Passiflora alata* Curtis) como estudo de caso na região sudeste do Brasil. **Oecologia Australis**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 152–164, 2010. DOI: 10.4257/oeco.2010.1401.08.

GAZOLA, A. L., GAROFALO, C. A. Parasitic Behavior of *Leucospis cayennensis* Westwood (Hymenoptera: Leucospidae) and Rates of Parasitism in Populations of *Centris (Heterocentris) analis* (Fabricius) (Hymenoptera: Apidae: Centridini). **Kansas (Central States) Entomological Society**, [S. l.], v. 76, n. 2, p. 131–142, 2003. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/25086098>.

GAZOLA, A. L.; GARÓFALO, C. A. Trap-nesting bees (Hymenoptera: Apoidea) in forest fragments of the state of São Paulo, Brazil. **Genetics and Molecular Research**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 607–622, 2009. DOI: 10.4238/vol8-2kerr016.

GOMES, Letícia; MIRANDA, Heloisa Sinátora; SOARES-FILHO, Britaldo; RODRIGUES, Lucas; OLIVEIRA, Ubirajara; BUSTAMANTE, Mercedes M. C. Responses of Plant Biomass in the Brazilian Savanna to Frequent Fires. **Frontiers in Forests and Global Change**, [S. l.], v. 3, n. November, p. 1–11, 2020. DOI:

10.3389/ffgc.2020.507710. Disponível em:  
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/ffgc.2020.507710/full>.

GONÇALVES, Lia; DA SILVA, Cláudia Inês; BUSCHINI, Maria Luisa Tunes. Collection of pollen grains by *Centris (Hemisiella) tarsata* Smith (Apidae: Centridini): Is *C. tarsata* an oligolectic or polylectic species? **Zoological Studies**, [S. l.], v. 51, n. 2, p. 195–203, 2012.

HAMMER, Oyvind; HARPER, David A. T.; RYAN, Paul D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, [S. l.], v. 4, n. 1, 2001.

HELM, Bryan R.; RINEHART, Joseph P.; YOCUM, George D.; GREENLEE, Kendra J.; BOWSER, Julia H. Metamorphosis is induced by food absence rather than a critical weight in the solitary bee, *Osmia lignaria*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [S. l.], v. 114, n. 41, p. 10924–10929, 2017. DOI: 10.1073/pnas.1703008114. Disponível em:  
<http://www.pnas.org/lookup/doi/10.1073/pnas.1703008114>.

IEF. Plano de Manejo do Parque Estadual do Rio Preto. **IEF (Instituto Estadual de Florestas)**, [S. l.], 2004.

**Instituto Nacional de Meteorologia - INMET**. [s.d.].

JOHNSON, MICHAEL D. The relationship of provision weight to adult weight and sex ratio in the solitary bee, *Ceratina calcarata*. **Ecological Entomology**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 165–170, 1988. DOI: 10.1111/j.1365-2311.1988.tb00344.x. Disponível em:  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2311.1988.tb00344.x>.

KELEMEN, Evan; DORNHAUS, Anna. Lower temperatures decrease worker size variation but do not affect fine-grained thermoregulation in bumble bees. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, [S. l.], v. 72, n. 10, p. 170, 2018. DOI: 10.1007/s00265-018-2577-4. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00265-018-2577-4>.

KIM, Jong-yoon; THORP, Robbin W. Maternal investment and size-number trade-off in a bee, *Megachile apicalis*, in seasonal environments. **Oecologia**, [S. l.], v. 126, n. 3, p. 451–456, 2001. DOI: 10.1007/s004420000540. Disponível em:  
<http://link.springer.com/10.1007/s004420000540>.

KLINGENBERG, CHRISTIAN PETER. MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. **Molecular Ecology Resources**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. 353–357, 2011. DOI: 10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x. Disponível em:  
<http://doi.wiley.com/10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x>.

KOYAMA, Takashi; MENDES, Cláudia C.; MIRTH, Christen K. Mechanisms regulating nutrition-dependent developmental plasticity through organ-specific effects in insects. **Frontiers in Physiology**, [S. l.], v. 4, n. September, p. 1–12, 2013. DOI: 10.3389/fphys.2013.00263. Disponível em:  
<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fphys.2013.00263/abstract>.

KOYAMA, Takashi; MIRTH, Christen K. Unravelling the diversity of mechanisms through which nutrition regulates body size in insects. **Current Opinion in Insect Science**, [S. l.], v. 25, p. 1–8, 2018. DOI: 10.1016/j.cois.2017.11.002. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.cois.2017.11.002>.

KRAUS, E. J.; ARDUIN, M. Manual básico de métodos e morfologia vegetal. **EDUR**, Rio de Janeiro, [S. l.], 1997.

LAWSON, Sarah P.; CIACCIO, Krista N.; REHAN, Sandra M. Maternal manipulation of pollen provisions affects worker production in a small carpenter bee. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, [S. l.], v. 70, n. 11, p. 1891–1900, 2016. DOI: 10.1007/s00265-016-2194-z. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s00265-016-2194-z>.

LAWSON, Sarah P.; HELMREICH, Salena L.; REHAN, Sandra M. Effects of nutritional deprivation on development and behavior in the subsocial bee *Ceratina calcarata* (Hymenoptera: Xylocopinae). **Journal of Experimental Biology**, [S. l.], v. 220, n. 23, p. 4456–4462, 2017. DOI: 10.1242/jeb.160531. Disponível em: <http://jeb.biologists.org/lookup/doi/10.1242/jeb.160531>.

LEITE, Germano L. D.; VON DOS S. VELOSO, Ronnie; ZANUNCIO, José C.; FERNANDES, Luiz Arnaldo; ALMEIDA, Chrystian I. M. Phenology of Caryocar brasiliense in the Brazilian cerrado region. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 236, n. 2–3, p. 286–294, 2006. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.09.013. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378112706009017>.

LOURENÇO, Anete P.; SANTOS, Ana Paula M.; CHECON, Hélio H.; COSTA, Mayra R.; ASSIS JÚNIOR, Sebastião L. Cavity-nesting bee communities in areas with different levels of vegetation disturbance. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, [S. l.], v. 55, n. 2, p. 116–128, 2020. DOI: 10.1080/01650521.2019.1710334. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01650521.2019.1710334>.

LUNA-LUCENA, Danielle; MOURE-OLIVEIRA, Diego; FERREIRA, Kátia M.; LUCENA, Daercio A. A.; GARÓFALO, Carlos A.; MORAES, Evandro M.; DEL LAMA, Marco A. High mitochondrial DNA diversity and lack of population structure in a solitary cavity-nesting bee in an urban landscape. **Biological Journal of the Linnean Society**, [S. l.], v. 121, n. 3, p. 564–575, 2017. DOI: 10.1093/biolinnean/blx019. Disponível em: <https://academic.oup.com/biolinnean/article-lookup/doi/10.1093/biolinnean/blx019>.

MENDES, Fernanda N.; RÊGO, Márcia M. C. Nidificação de *Centris (Hemisiella) tarsata* Smith (Hymenoptera, Apidae, Centridini) em ninhos-armadilha no Nordeste do Maranhão, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, [S. l.], v. 51, n. 3, p. 382–388, 2007.

MESQUITA, T. M. S.; AUGUSTO, S. C. Diversity of trap-nesting bees and their natural enemies in the Brazilian savanna. **Tropical Zoology**, [S. l.], v. 24, n. 2, p. 127–144, 2011.

MICHENER, Charles D. **Bees of the World**. 2. ed. Baltimore: The Johns Hopkins University Press Baltimore, 2007. v. 2

MIRTH, Christen Kerry; SHINGLETON, Alexander W. Integrating Body and Organ Size in Drosophila: Recent Advances and Outstanding Problems. **Frontiers in Endocrinology**, [S. l.], v. 3, n. APR, p. 1–13, 2012. DOI: 10.3389/fendo.2012.00049.

Disponível em: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fendo.2012.00049/abstract>.

MORATO, Elder F.; GARCIA, Marcos V. B.; CAMPOS, Lúcio Antonio De O. Biologia de *Centris Fabricius* (Hymenoptera, Anthophoridae, Centridini) em matas contínuas e fragmentos na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Zoologia**, [S. l.], v. 16, n. 4, p. 1213–1222, 1999.

MOURE-OLIVEIRA, D.; ROCHA-FILHO, L. C.; FERREIRA-CALIMAN, M. J.; GARÓFALO, C. A. Nesting dynamic and sex allocation of the oil-collecting bee *Centris (Heterocentris) analis* (Fabricius, 1804) (Apidae: Centridini). **Journal of Natural History**, [S. l.], v. 51, n. 19–20, p. 1151–1168, 2017. DOI: 10.1080/00222933.2017.1324052. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00222933.2017.1324052>.

MOURE, J. S.; URBAN, D.; MELO, G. A. R. Catalogue of bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical region. **Sociedade Brasileira de Entomologia**, [S. l.], v. 14, p. 1054, 2008.

MÜLLER, Andreas; DIENER, Stefan; SCHNYDER, Simone; STUTZ, Katharina; SEDIVY, Claudio; DORN, Silvia. Quantitative pollen requirements of solitary bees: Implications for bee conservation and the evolution of bee–flower relationships. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 130, n. 4, p. 604–615, 2006. DOI: 10.1016/j.biocon.2006.01.023. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006320706000498>.

NIJHOUT, H. F. The control of body size in insects. **Developmental Biology**, [S. l.], v. 261, n. 1, p. 1–9, 2003. DOI: 10.1016/S0012-1606(03)00276-8. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0012160603002768>.

NIJHOUT, H. Frederik; RIDDIFORD, Lynn M.; MIRTH, Christen; SHINGLETON, Alexander W.; SUZUKI, Yuichiro; CALLIER, Viviane. The developmental control of size in insects. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biology**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 113–134, 2014. DOI: 10.1002/wdev.124. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wdev.124>.

OERTLI, Sabine; MÜLLER, Andreas; DORN, Silvia. Ecological and seasonal patterns in the diversity of a species-rich bee assemblage (Hymenoptera: Apoidea: Apiformes). **European Journal of Entomology**, [S. l.], v. 102, n. 1, p. 53–63, 2005. DOI: 10.14411/eje.2005.008. Disponível em: <http://www.eje.cz/doi/10.14411/eje.2005.008.html>.

OGILVIE, Jane E.; FORREST, Jessica RK. Interactions between bee foraging and floral resource phenology shape bee populations and communities. **Current Opinion in Insect Science**, [S. l.], v. 21, n. 17, p. 75–82, 2017. DOI: 10.1016/j.cois.2017.05.015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cois.2017.05.015>.

PEAT, J.; DARVILL, B.; ELLIS, J.; GOULSON, D. Effects of climate on intra- and interspecific size variation in bumble-bees. **Functional Ecology**, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 145–151, 2005. DOI: 10.1111/j.0269-8463.2005.00946.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.0269-8463.2005.00946.x>.

PEAT, J.; TUCKER, J.; GOULSON, D. Does intraspecific size variation in bumblebees allow colonies to efficiently exploit different flowers? **Ecological Entomology**, [S. l.],

v. 30, n. 2, p. 176–181, 2005. DOI: 10.1111/j.0307-6946.2005.00676.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.0307-6946.2005.00676.x>.

PETERSON, Jason H.; ROITBERG, Bernard D.; PETERSON, Jason H. Impacts of flight distance on sex ratio and resource allocation to offspring in the leafcutter bee, *Megachile rotundata*. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, [S. l.], v. 59, n. 5, p. 589–596, 2006. DOI: 10.1007/s00265-005-0085-9. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00265-005-0085-9>.

PINA, Welber Da C.; AGUIAR, Candida M. L. Trap-nesting Bees (Hymenoptera: Apidae) in orchards of acerola (*Malpighia emarginata*) in a semiarid region of Brazil. **Sociobiology**, [S. l.], v. 58, n. 2, p. 379–392, 2011.

PINTO, Carlos Eduardo; DA SILVA, Adriana; DURAN CORDEIRO, Guaraci; ALVES-DOS-SANTOS, Isabel. The body size of the oil-collecting bee *Tetrapedia diversipes* (Apidae). **Journal of Hymenoptera Research**, [S. l.], v. 47, p. 103–113, 2015. DOI: 10.3897/JHR.47.4837. Disponível em: <http://jhr.pensoft.net/articles.php?id=4837>.

QUEZADA-EUÁN, J. J. G.; LÓPEZ-VELASCO, A.; PÉREZ-BALAM, J.; MOO-VALLE, H.; VELAZQUEZ-MADRAZO, A.; PAXTON, R. J. Body size differs in workers produced across time and is associated with variation in the quantity and composition of larval food in *Nannotrigona perilampoides* (Hymenoptera, Meliponini). **Insectes Sociaux**, [S. l.], v. 58, n. 1, p. 31–38, 2011. DOI: 10.1007/s00040-010-0113-2. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00040-010-0113-2>.

RABELO, L. S.; VILHENA, A. M. G. F.; BASTOS, E. M. A. F.; AUGUSTO, S. C. Larval food sources of *Centris (Heterocentris) analis* (Fabricius, 1804) (Hymenoptera: Apidae), an oil-collecting bee. **Journal of Natural History**, [S. l.], v. 46, n. 17–18, p. 1129–1140, 2012. DOI: 10.1080/00222933.2011.651798. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00222933.2011.651798>.

RADMACHER, Sabine; STROHM, Erhard. Factors affecting offspring body size in the solitary bee *Osmia bicornis* (Hymenoptera, Megachilidae). **Apidologie**, [S. l.], v. 41, n. 2, p. 169–177, 2010. DOI: 10.1051/apido/2009064.

RADMACHER, Sabine; STROHM, Erhard. Effects of constant and fluctuating temperatures on the development of the solitary bee *Osmia bicornis* (Hymenoptera: Megachilidae). **Apidologie**, [S. l.], v. 42, n. 6, p. 711–720, 2011. DOI: 10.1007/s13592-011-0078-9. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13592-011-0078-9>.

REHAN, Sandra M.; RICHARDS, Miriam H. The Influence of Maternal Quality on Brood Sex Allocation in the Small Carpenter Bee, *Ceratina calcarata*. **Ethology**, [S. l.], v. 116, n. 9, p. no-no, 2010. DOI: 10.1111/j.1439-0310.2010.01804.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1439-0310.2010.01804.x>.

RITCHIE, Alan D.; RUPPEL, Rebecca; JHA, Shalene. Generalist Behavior Describes Pollen Foraging for Perceived Oligolectic and Polylectic Bees. **Environmental Entomology**, [S. l.], v. 45, n. 4, p. 909–919, 2016. DOI: 10.1093/ee/nvw032. Disponível em: <https://academic.oup.com/ee/article-lookup/doi/10.1093/ee/nvw032>.

ROULSTON, T'ai H.; CANE, James H. The effect of diet breadth and nesting ecology on body size variation in bees (apiformes). **J. Kans. Entomol.**, [S. l.], v. 73, p. 129–

142, 2000.

SANTOS, Ricardo M.; AGUIAR, Cândida M. L.; DA C. DÓREA, Marcos; ALMEIDA, Gesline F.; DE A. R. DOS SANTOS, Francisco; AUGUSTO, Solange C. The larval provisions of the crop pollinator *Centris analis*: pollen spectrum and trophic niche breadth in an agroecosystem. **Apidologie**, [S. l.], v. 44, n. 6, p. 630–641, 2013. DOI: 10.1007/s13592-013-0211-z. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s13592-013-0211-z>.

SCHMIDT-NIELSEN, K. **Scaling: why is animal size so important?** [s.l.] : Cambridge University Press., 1984.

SEIDELMANN, Karsten. Open-cell parasitism shapes maternal investment patterns in the Red Mason bee *Osmia rufa*. **Behavioral Ecology**, [S. l.], v. 17, n. 5, p. 839–848, 2006. DOI: 10.1093/beheco/arl017. Disponível em: <http://academic.oup.com/beheco/article/17/5/839/207234/Open-cell-parasitism-shapes-maternal-investment>.

SEIDELMANN, Karsten. Optimal resource allocation, maternal investment, and body size in a solitary bee, *Osmia bicornis*. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, [S. l.], v. 166, n. 9, p. 790–799, 2018. DOI: 10.1111/eea.12711. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/eea.12711>.

SHANNON, C. E. A Mathematical Theory of Communication. **Bell System Technical Journal**, [S. l.], v. 27, n. 4, p. 623–656, 1948. DOI: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb00917.x. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6773067>.

SILVA, Cláudia I.; AUGUSTO, Solange C.; SOFIA, Silvia H.; MOSCHETA, Ismar S. Diversidade de Abelhas em *Tecoma stans* (L.) Kunth (Bignoniaceae): Importância na Polinização e Produção de Frutos. **Neotropical Entomology**, [S. l.], v. 36, n. 3, p. 331–341, 2007.

SILVA, Cláudia Inês et al. **Catálogo polínico das plantas usadas por abelhas no Campus da USP de Ribeirão Preto**. [s.l.: s.n.].

SILVA, F. M.; ASSAD, E. D.; EVANGELISTA, B. A. “Caracterização climática do bioma Cerrado” in Cerrado: ecologia e flora. **EMBRAPA: Informação Tecnológica Brasília**, [S. l.], v. 1, p. 69–88, 2008.

SOUZA, Adriane Vieira; NUNES, Lorena Andrade; MACHADO, Cerilene Santiago; SODRÉ, Geni Da Silva; CARVALHO, Carlos Alfredo Lopes De. Sexual dimorphism and morphometric characterization of *Centris tarsata* Smith, 1874, Hymenoptera: Apidae in different environments. **Acta Agronômica**, [S. l.], v. 67, n. 3, p. 438–445, 2018. DOI: 10.15446/acag.v67n3.60099. Disponível em: [https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta\\_agronomica/article/view/60099](https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/60099).

TEPEDINO, V. J.; PARKER, F. D. Effect of Rearing Temperature on Mortality, Second-generation Emergence, and Size of Adult in *Megachile rotundata* (Hymenoptera: Megachilidae). **Journal of Economic Entomology**, [S. l.], v. 79, n. 4, p. 974–977, 1986. DOI: 10.1093/jee/79.4.974. Disponível em: <http://academic.oup.com/jee/article/79/4/974/812934/Effect-of-Rearing-Temperature-on-Mortality>.

TEPEDINO, V. J.; THOMPSON, R.; TORCHIO, P. F. Heritability for size in the Megachilid bee *Osmia lignaria propinqua* Cresson. **Apidologie**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 83–88, 1984.

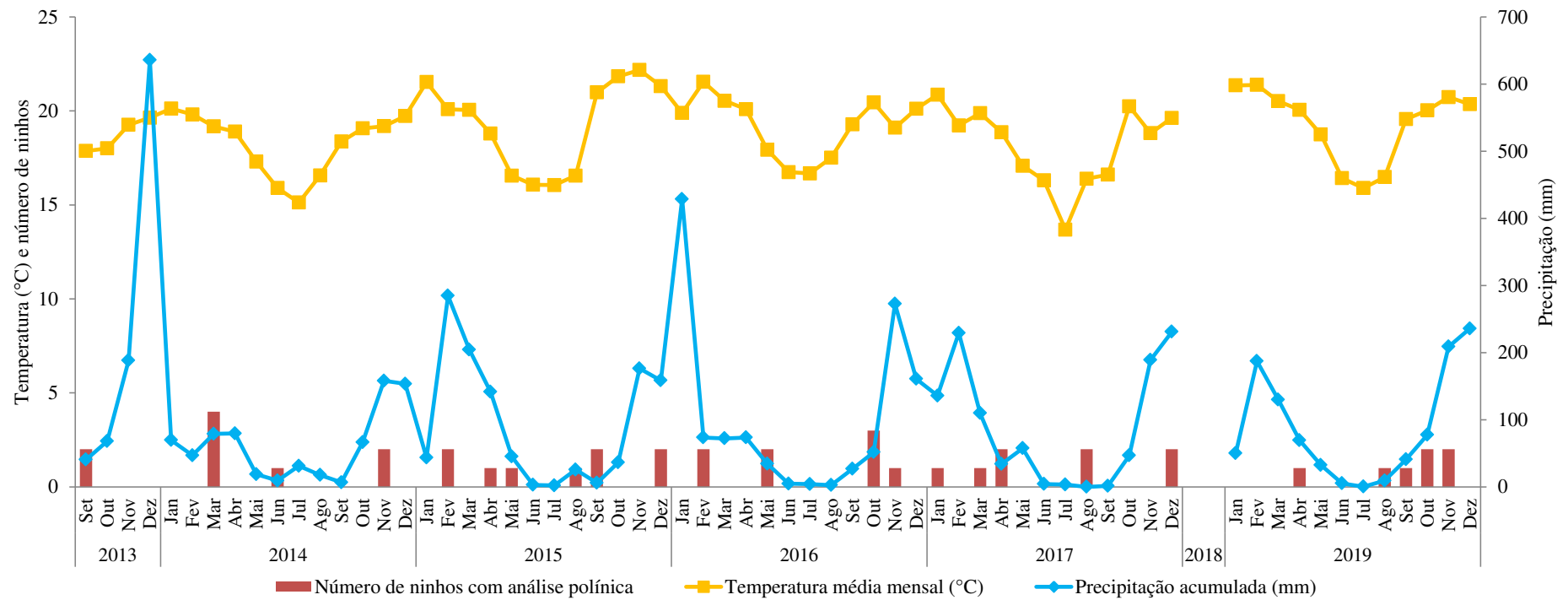
TEPEDINO, V. J.; TORCHIO, P. F. Phenotypic variability in nesting success among *Osmia lignaria propinqua* females in a glasshouse environment: (Hymenoptera: Megachilidae). **Ecological Entomology**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 453–462, 1982. DOI: 10.1111/j.1365-2311.1982.tb00688.x. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-2311.1982.tb00688.x>.

TRIVERS, Robert L.; WILLARD, Dan E. Natural Selection of Parental Ability to Vary the Sex Ratio of Offspring. **Science**, [S. l.], v. 179, n. 4068, p. 90–92, 1973. DOI: 10.1126/science.179.4068.90. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.179.4068.90>.

VAUDO, Anthony D.; TOOKER, John F.; GROZINGER, Christina M.; PATCH, Harland M. Bee nutrition and floral resource restoration. **Current Opinion in Insect Science**, [S. l.], v. 10, p. 133–141, 2015. DOI: 10.1016/j.cois.2015.05.008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cois.2015.05.008>.

VIEIRA DE JESUS, Bartira M.; GAROFALO, Carlos A. Nesting behaviour of *Centris (Heterocentris) analis* (Fabricius) in southeastern Brazil (Hymenoptera, Apidae, Centridini). **Apidologie**, [S. l.], v. 31, n. 4, p. 503–515, 2000. DOI: 10.1051/apido:2000142. Disponível em: <http://www.edpsciences.org/10.1051/apido:2000142>.

**APÊNDICE D – MÉDIAS MENSAIS DE TEMPERATURA, PRECIPITAÇÃO TOTAL MENSAL E NÚMERO DE NINHOS DE *Centris tarsata* COLETADOS AO LONGO DOS ANOS DE 2013 A 2019**



**Figura S1.** Médias mensais de temperatura, precipitação total mensal ao longo dos anos de 2013 a 2019 e o número de ninhos utilizados na análise polínica de *Centris tarsata* coletados no Departamento de Ciências Biológicas (DCB).



## APÊNDICE E – RAZÃO SEXUAL DAS POPULAÇÕES DE ABELHAS *Centris*

**Tabela S1.** Teste Qui-Quadrado e valor de  $p$  da razão sexual para fêmeas e machos de *Centris tarsata* em cada um dos anos analisados.

<b>Anos</b>	<b>Fêmeas</b>	<b>Machos</b>	<b>Total</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>Valor de <math>p</math></b>
<b>2013</b>	03	07	10	1,6	0,205903
<b>2014</b>	16	15	31	0,03336	0,857462
<b>2015</b>	17	21	38	0,42105	0,516412
<b>2016</b>	29	33	62	0,25807	0,611453
<b>2017</b>	25	16	41	1,97561	0,159854
<b>2019</b>	13	31	44	7,36364	0,006656

**Tabela S2.** Teste Qui-Quadrado e valor de  $p$  da razão sexual para fêmeas e machos de *Centris analis* em cada um dos anos analisados.

<b>Anos</b>	<b>Fêmeas</b>	<b>Machos</b>	<b>Total</b>	<b>X<sup>2</sup></b>	<b>Valor de <math>p</math></b>
<b>2012</b>	24	52	76	10,31579	0,001319
<b>2013</b>	36	57	93	4,741935	0,02943

**APÊNDICE F – MESES DE COLETA, PRECIPITAÇÃO MENSAL ACUMULADA, TEMPERATURA E TAMANHO MÉDIO DAS CABEÇAS DE *Centris tarsata***

**Tabela S1.** Relação dos meses de coleta, dados de precipitação mensal acumulada, temperatura e tamanho médio das cabeças (LC) das abelhas *Centris tarsata* fêmeas e machos, coletadas entre os anos de 2013 e 2019.

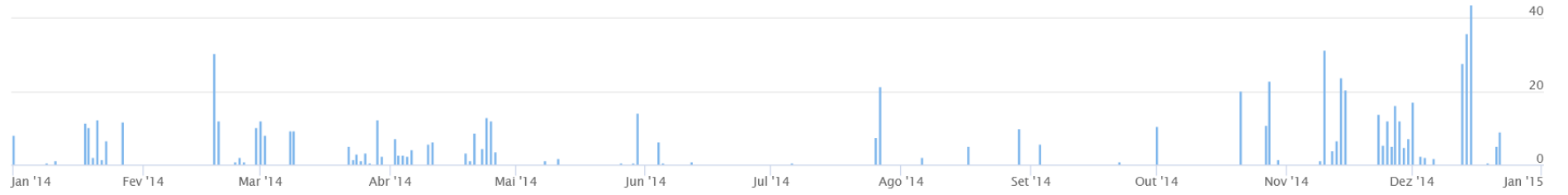
Ano	Mês	Precipitação	Temperatura	Média LC	Média LC ♀	Média LC ♂
<b>2013</b>	Setembro	40,40	17,87	4,05	4,13	3,96
<b>2014</b>	Março	78,80	19,18	4,25	4,42	4,09
	Junho	9,20	15,90	4,33	4,60	4,05
	Novembro	158,00	19,19	3,99	4,33	3,65
<b>2015</b>	Fevereiro	284,60	20,09	3,87	4,20	3,54
	Março	204,40	20,05	4,12	4,34	3,90
	Abril	141,40	18,80	3,95	3,95	-
	Maio	45,00	16,55	3,80	-	3,80
	Agosto	25,60	16,55	3,90	-	3,90
	Setembro	5,80	20,99	4,05	4,00	4,10
	Dezembro	158,40	21,32	3,67	3,83	3,50
		Fevereiro	73,40	21,55	3,96	4,19
<b>2016</b>	Março	72,20	20,54	4,27	4,53	4,01
	Maio	34,40	17,93	4,08	4,40	3,75
	Agosto	2,60	17,51	4,60	4,60	-
	Outubro	51,60	20,45	3,97	4,23	3,72
	Novembro	272,60	19,11	4,23	4,50	3,97
	Dezembro	160,80	20,11	4,12	4,44	3,80
		Janeiro	135,80	20,86	4,00	-
<b>2017</b>	Fevereiro	229,20	19,23	4,13	4,45	3,80
	Março	109,80	19,88	3,90	4,30	3,50
	Abril	34,00	18,87	4,05	4,29	3,82
	Maio	57,40	17,08	4,00	4,20	3,80
	Agosto	0,00	16,40	4,30	4,30	-
	Novembro	189,00	18,82	4,40	4,40	-
	Dezembro	231,00	19,63	4,10	4,10	-
		Abril	69,40	20,06	4,05	4,50
<b>2019</b>	Agosto	9,20	16,48	4,10	4,50	3,70
	Setembro	40,80	19,56	4,14	4,40	3,88
	Outubro	77,40	20,03	3,95	-	3,95
	Novembro	208,80	20,73	4,16	4,38	3,93
	Dezembro	235,80	20,36	4,24	4,50	3,98

### ANEXO A – MÉDIAS DIÁRIAS DE PRECIPITAÇÃO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE DIAMANTINA/MG (INMET)



Zoom 1m 3m 6m 1A

De Jan 1, 2014 Para Dez 31, 2014



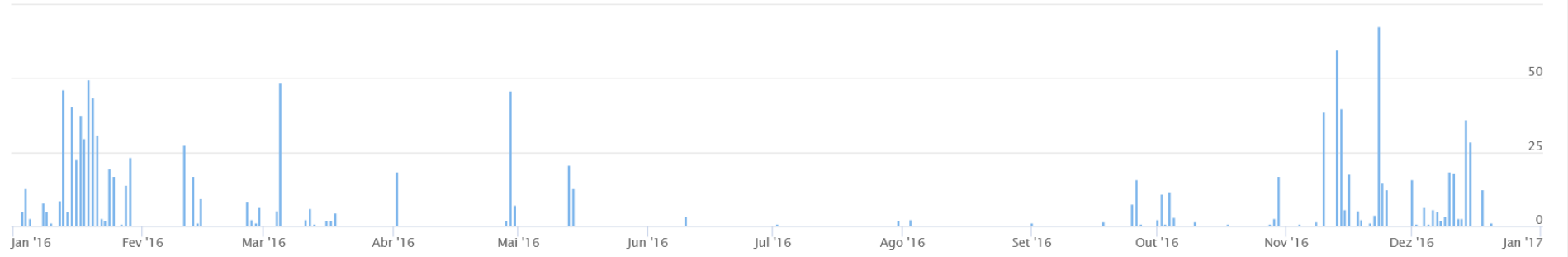
Zoom 1m 3m 6m 1A

De Jan 1, 2015 Para Dez 31, 2015



Zoom 1m 3m 6m **1A**

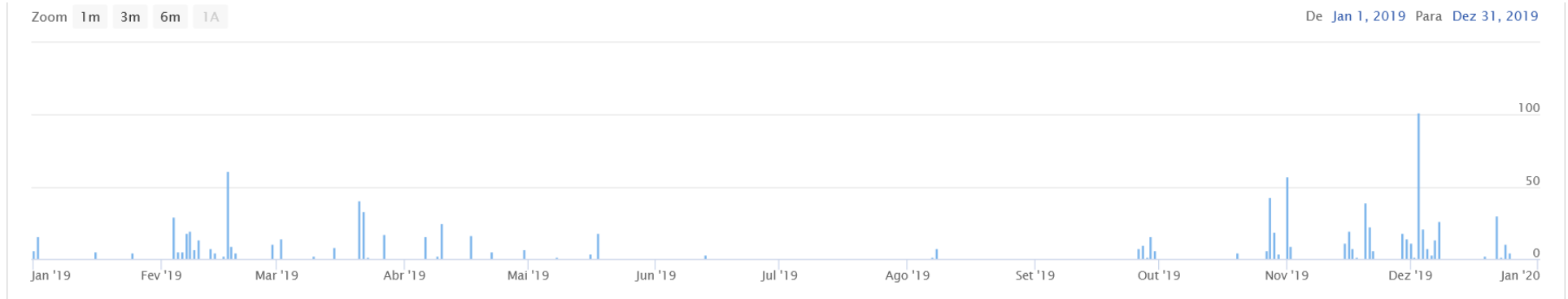
De Jan 1, 2016 Para Dez 31, 2016



Zoom 1m 3m 6m **1A**

De Jan 1, 2017 Para Dez 31, 2017





**Figura S1.** Taxas diárias de precipitação ao longo dos meses, dos anos de 2012 a 2019 da Estação Meteorológica de Diamantina/MG (INMET).