

**ESTRUTURA DA CUTÍCULA DE TERGOS METASSOMÁTICOS
DA ABELHA CARPINTEIRA *Xylocopa nigrocincta* Smith, 1854
(Hymenoptera, Apidae)**

GIOVANNA DALLA POLA

Foz do Iguaçu
2026

**ESTRUTURA DA CUTÍCULA DE TERGOS METASSOMÁTICOS
DA ABELHA CARPINTEIRA *Xylocopa nigrocincta* Smith, 1854
(Hymenoptera, Apidae)**

GIOVANNA DALLA POLA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Ciências da Vida e da Natureza da
Universidade Federal da Integração Latino-Americana,
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas Ecologia e
Biodiversidade

Orientador: Prof. Dr. Pablo Henrique Nunes

Foz do Iguaçu
2026

GIOVANNA DALLA POLA

**ESTRUTURA DA CUTÍCULA DE TERGOS METASSOMÁTICOS DA
ABELHA CARPINTEIRA *Xylocopa nigrocincta* Smith, 1854
(Hymenoptera, Apidae)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Ciências da Vida e da Natureza da
Universidade Federal da Integração Latino-Americana,
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Ciências Biológicas Ecologia e
Biodiversidade

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Pablo Henrique Nunes
UNILA

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Cezar Zanella
UNILA

Prof. Dr. Luiz Roberto Ribeiro Faria Junior
UNILA

Prof. Dr. Felipe de Lemos
UNILA

Foz do Iguaçu, 02 de Julho de 2026.

Dedico este trabalho a
minha mãe e ao meu pai,
que alimentaram minha
curiosidade pela natureza
toda minha vida

AGRADECIMENTOS

I would like to thank my parents for sacrificing so much of themselves for me. They believed in me, guided me along the right path, and made difficult decisions with my best interests at heart. You filled my childhood with the magic and wonder of nature, giving me opportunities and memories that I will cherish forever. From taking us camping as babies to teaching us to explore and appreciate the world and its inhabitants, you nurtured a curiosity and love for nature that continues to shape who I am today. I know that my admiration for the wonders of this planet exists because you taught me to see them through your eyes.

To my brother John, your support for my education has been fundamental throughout my life. From an early age, you encouraged me to question how the world works and challenged me to think about how I can help make it a better place for all who walk, fly, and swim within it. Your influence has played an important role in shaping both my academic journey and most importantly my values.

To my brother Giulio, my almost twin, my goofball, thank you for always being able to bring the biggest smile to my face, for your warmest hugs that hold me in ways you never knew I needed. I will always treasure the time we shared here in Foz and carry those simple, joyful days with me wherever life takes us. The memories we created from childhood to college days together, will remain among my most cherished.

Minhas avós e meus avôs, por todo amor, carinho e cuidado que sempre me dedicaram, mesmo quando a distância nos separava, senti as orações e torcida constante me blindando de todo mal.

Ao meu amado, meu príncipe encantado, por ter transformado minha caminhada durante a graduação em algo mais leve, feliz e significativo. Desde que nossos caminhos se cruzaram no meio desta jornada, encontrei em você apoio, incentivo e companheirismo, sendo meu conselheiro na atlética e hoje meu melhor amigo.

Laura, my Mona Lisa, thank you for inspiring me from a young age to question the world around me and the everyday actions we often take for granted. You may not fully realize the impact you have had on my life and academic journey, but it has been profound. I am deeply grateful for your growing up, by your side.

Julia e Sarah, crescemos juntas e compartilhamos algumas das fases mais importantes da vida. Vocês estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis, tornando os dias mais leves e me oferecendo amizade, apoio e companhia quando eu mais precisava. Sempre carregarei comigo as lembranças da nossa infância, repletas de

alegria, cumplicidade e afeto. Das fotografias vergonhosas que hoje nos fazem rir às incontáveis histórias e aventuras que vivemos juntas, cada memória ocupa um lugar especial no meu coração. Sou grata por termos crescido lado a lado e por podermos contar umas com as outras ao longo dos anos.

Nikolle, mi compañera, gracias por haber recorrido conmigo esta etapa tan importante de nuestras vidas. Juntas enfrentamos desafios, incertidumbres y muchos momentos difíciles, pero también compartimos alegrías, aprendizajes y recuerdos que llevaré conmigo para siempre. Fuimos jóvenes juntas, crecimos académicamente una al lado de la otra y tuvimos el privilegio de vernos convertirmos, poco a poco, en las personas y profesionales que soñábamos ser. Tu apoyo, tu amistad y tu compañía hicieron este camino más ligero y significativo. Gracias por estar presente en los buenos y malos momentos, por escuchar, aconsejar y celebrar cada logro.

Ao Caio, à Sophia, à Júlia e à Luana, meu mais sincero agradecimento por terem caminhado ao meu lado desde os tempos do EAD. Em uma fase tão atípica e desafiadora que é a graduação, encontrei em vocês amizade, companheirismo e apoio, e sou profundamente grata por isso. Ao longo desses anos, vocês foram muito mais do que colegas de faculdade. Foram amigos, parceiros de jornada e verdadeiros professores da vida, compartilhando aprendizados que vão muito além da sala de aula. Nos momentos de dúvida, cansaço e incerteza, sempre pude contar com vocês. Não tenho dúvidas de que esta conquista também carrega um pouco de cada um de vocês. Eu não teria chegado até aqui sem o apoio, a amizade e as experiências que compartilhamos ao longo dessa trajetória. Obrigada por fazerem parte da minha história.

À Associação Atlética Acadêmica Coletiva das Biológicas, minha segunda família. Foi sob o símbolo da *Panthera onca* e ao lado de tantas pessoas incríveis que vivi algumas das experiências mais marcantes da minha graduação. A AACBio me proporcionou muito mais do que momentos fora da sala de aula; ela se tornou um espaço de crescimento, pertencimento e aprendizado que complementou minha formação de maneiras que nenhuma disciplina poderia oferecer. Dediquei grande parte da minha vida universitária à atlética e jamais me arrependerei disso. Foi nesse ambiente que desenvolvi valores, habilidades e amizades que levarei para toda a vida. Ali vivi minha paixão pelo esporte, encontrei espaços para exercer liderança e política. Sou eternamente grata por ter feito parte desta história e por tudo o que ela representou na pessoa que me tornei. Uma vez Pantheras, sempre Pantheras.

Aos meus orientadores, Fernando Zanella e Pablo Nunes, minha profunda gratidão pela mentoria, pela paciência inesgotável e pela orientação ao longo desta jornada. Em uma das fases mais desafiadoras e desgastantes da minha formação, tive o privilégio de contar não apenas com profissionais extremamente capacitados, mas também com pessoas humanas, compreensivas e generosas. Muito obrigada por compartilharem seus conhecimentos, acreditarem no meu potencial e me ajudarem a chegar até aqui.

Ao professor Cleto e aos professores Elaine, Nuno, Hermes, Peter, Michel, Alexandre, Danúbia, Carla, Giovana, Laura, Gleisson e Narian, agradeço pela dedicação à docência e pelo compromisso com seus estudantes. Sou grata por cada aula, cada conversa, cada orientação e cada ensinamento compartilhado ao longo desses anos. Vocês contribuíram de maneira única para a minha formação, e levarei comigo, para além da vida acadêmica, os conhecimentos, valores e inspirações que me transmitiram.

À UNILA, por muito mais do que uma formação acadêmica. Obrigada por me ensinar o que significa ser latino-americana com orgulho, por ampliar minha visão de mundo e por me proporcionar encontros, aprendizados e experiências que transformaram profundamente a minha trajetória pessoal e profissional.

Sou quem eu sou, por cada um de vocês.

*Você não consegue passar um único dia sem
causar impacto no mundo ao seu redor. O que
você faz faz a diferença, e você tem que decidir
que tipo de diferença quer fazer - **Jane
Goodall***

RESUMO

A cutícula dos insetos é uma estrutura acelular produzida por células epidérmicas, composta geralmente por epicutícula, endocutícula e exocutícula. Pode ser encontrada em diversos padrões distintos, em diferentes organismos, estágios de desenvolvimento e regiões do corpo, conforme adaptações funcionais específicas, e desempenha funções relacionadas a sustentação, proteção e interação com o ambiente. No gênero *Xylocopa*, possui coloração variável entre faixas pretas e vermelhas/amareladas, que sugerem variações estruturais ainda pouco compreendidas. Este trabalho pretende descrever a estrutura da cutícula do segundo tergo metassomático de fêmeas de *X. nigrocincta*, comparando regiões de coloração preta e avermelhada, bem como investigar possíveis evidências estruturais da pigmentação. Tergos metassomáticos passaram por análises em estereomicroscópio, microscopia eletrônica de varredura e microscopia de luz, através das quais foram observadas as camadas da cutícula, tais como a epicutícula associada a exocutícula e uma camada interna, a endocutícula, sendo possível observar as variações na espessura ao longo do tergo. Em MEV, foram observadas estruturas associadas ao integumento, incluindo carenas, cerdas, estruturas respiratórias, membrana artrodial, e feixes musculares. Não foram observados grânulos de pigmentos em nenhuma das amostras analisadas, sugerindo que a coloração observada esteja associada principalmente a difusão de melaninas e esclerotização da cutícula. Os resultados auxiliam na ampliação do conhecimento a respeito da morfologia da cutícula em *X. nigrocincta*.

Palavras-chave: epicutícula; exocutícula; endocutícula; integumento, melanina, pigmentação, MEV,

RESUMEN

La cutícula de los insectos es una estructura acelular producida por células epidérmicas, compuesta generalmente por epicutícula, endocutícula y exocutícula. Puede encontrarse en diversos patrones, en diferentes organismos, etapas de desarrollo y regiones del cuerpo, de acuerdo con adaptaciones funcionales específicas, y desempeña funciones relacionadas con el soporte, la protección y la interacción con el ambiente. En el género *Xylocopa*, cuya coloración varía entre bandas negras y rojizas o amarillentas, se observan diferencias que sugieren variaciones estructurales aún poco comprendidas. Este trabajo tuvo como objetivo describir la estructura de la cutícula de los tergos metasomáticos de hembras de *Xylocopa nigrocincta*, comparando regiones de coloración negra y rojiza, así como investigar posibles evidencias estructurales relacionadas con la pigmentación. Los tergos metasomáticos fueron analizados mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) y microscopía óptica, permitiendo observar las capas de la cutícula, incluyendo la epicutícula asociada a la exocutícula y una capa interna correspondiente a la endocutícula, además de variaciones en su espesor a lo largo del tergo. En las observaciones mediante MEB se identificaron estructuras asociadas al tegumento, tales como carenas, setas, estructuras respiratorias, membrana artrodial y haces musculares. No se observaron gránulos de pigmento en ninguna de las muestras analizadas, lo que sugiere que la coloración observada está asociada principalmente con la distribución difusa de melaninas y con los procesos de esclerotización de la cutícula. Los resultados contribuyen a ampliar el conocimiento sobre la morfología de la cutícula en *Xylocopa nigrocincta*.

Palabras clave: epicutícula; exocutícula; endocutícula; tegumento; melanina; pigmentación; MEB;

ABSTRACT

The insect cuticle is an acellular structure produced by epidermal cells, generally composed of the epicuticle, endocuticle, and exocuticle. It can occur in a variety of patterns among different organisms, developmental stages, and body regions according to specific functional adaptations, and it plays important roles in support, protection, and interaction with the environment. In the genus *Xylocopa*, whose coloration varies between black and reddish or yellowish bands, these differences suggest structural variations that remain poorly understood. This study aimed to describe the cuticular structure of the metasomal terga of female *Xylocopa nigrocincta*, comparing black and reddish regions and investigating possible structural evidence related to pigmentation. Metasomal terga were analyzed using scanning electron microscopy (SEM) and light microscopy, allowing the observation of cuticular layers, including the epicuticle associated with the exocuticle and an inner endocuticular layer, as well as variations in thickness along the tergum. SEM analyses revealed structures associated with the integument, including carinae, setae, respiratory structures, the arthrodial membrane, and muscle bundles. No pigment granules were observed in any of the analyzed samples, suggesting that the observed coloration is mainly associated with the diffuse distribution of melanins and with cuticular sclerotization processes. These findings contribute to expanding the current knowledge of cuticular morphology in *Xylocopa nigrocincta*.

Keywords: epicuticle; exocuticle; endocuticle; integument; melanin; pigmentation; SEM.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema generalizado da estrutura do integumento de insetos, encontrada em (King e Akai, 1982) reproduzida de Hackman (1971).....	18
Figura 2 – Diagrama esquemático da epicutícula de um inseto, encontrado em Hepburn (1985) adaptado de Locke, M (1974)	18
Figura 3 – Microscopia eletrônica de varredura mostrando visão geral de uma porção amarela da cutícula de <i>P. dominula</i> (Ferrari e Polidori, 2024).....	22
Figura 4 – Micrografia eletrônica de Varredura por Emissão de Campo (FE-SEM) de uma seção transversal através de uma faixa cuticular amarela de vespa adulta. Encontrado e adaptado de (Ishay et al., 2004)	23
Figura 5 - Variação no número de faixas avermelhadas nos tergitos do metassoma presentes em dois morfotipos de <i>Xylocopa nigrocincta</i> (com uma ou mais faixas avermelhadas) e <i>suspecta</i> (inteiramente preta). A: tergitos do metassoma totalmente pretos; B: uma faixa; C, D: duas faixas, sendo uma pequena mancha no T1 e faixas completas em T2 e T3; E: três faixas; F: quatro faixas; G: cinco faixas; H: seis faixas. Barra de escala: 1 mm. (Fonte: Agostini et al., 2024).	24
Figura 6 – Esquema de um tergo metassomático ...	30
Figura 7 – Plancha 1 Fotomicrografias dos tergos metassomáticos 2 de <i>Xylocopa nigrocincta</i> vistos sob estereomicroscópio Zeiss Discovery V12	32
Figura 8 – Plancha 2 Fotomicrografias dos tergos metassomáticos 2 de <i>X. nigrocincta</i> vistos sob estereomicroscópio Zeiss Discovery V12	33
Figura 9 – Plancha 1 Fotomicrografias eletrônicas de varredura dos tergos metassomáticos 2 de <i>X. nigrocincta</i> analisados sob microscópio eletrônico de varredura (MEV) Zeiss Evo	35
Figura 10 – Plancha 2 Fotomicrografias eletrônicas de varredura dos tergos metassomáticos 2 de <i>X. nigrocincta</i> analisados sob microscópio eletrônico de varredura (MEV) Zeiss Evo	36
Figura 11 – Plancha 1 Fotomicrografias dos tergos metassomáticos 2 de <i>X. nigrocincta</i> analisados sob microscópio de luz Zeiss Primotech	38
Figura 12 – Plancha 2 Fotomicrografias dos tergos metassomáticos 2 de <i>X. nigrocincta</i> analisados sob microscópio de luz Zeiss Primotech	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparação entre espessura de cutícula e estruturas associadas do abdômen e tórax de três espécies de artrópodes, *Acheta domesticus* (Orthoptera), *Latrodectus hesperus* (Araneae), *Hadrurus arizonensis* (Scorpiones) respectivamente traduzida e adaptada de Hendricks e Hadley(1983).....20

Tabela 2. Variações das camadas da cutícula em um único tergo metassomático 2. Fonte: Autor37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UNILA - Universidade Federal da Integração Latino-Americana

T2 - Tergo metassomático 2

MEV - Microscopia Eletrônico de Varredura

PER - Receptor Eletromagnético Periférico

ML - Microscopia de Luz

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	26
2.1 GERAL	26
2.2 ESPECÍFICOS	26
2.2.1 Obtenção de fêmeas de <i>X. nigrocincta</i> e dissecação dos tergos metassomáticos...	26
2.2.2 Análise em estereomicroscópio	27
2.2.3 Microscopia Eletrônica de Varredura	27
2.2.4 Histologia/ Microscopia de luz	28
3 RESULTADOS	29
4 DISCUSSÃO	40
5 REFERÊNCIAS	44

INTRODUÇÃO

Em animais Ecdysozoa como os insetos, crustáceos, aracnídeos e miriápodes, existe uma estrutura de revestimento externo conhecida como cutícula. A cutícula atua como uma estrutura de sustentação; como um filtro para interações com o meio externo, proporcionando proteção contra a ação de agentes patogênicos e predadores (Wang et al., 2018); fornece uma impermeabilização, dada pela deposição de lipídios na camada externa, sendo assim uma estrutura complexa e multifuncional (Gibbs, 2002). Essa estrutura acelular origina-se a partir de secreções de células epidérmicas e em insetos com exoesqueleto rígido é composta por três camadas principais sendo elas a epicutícula, exocutícula e a endocutícula (Figura 1). A epicutícula é a mais externa, tem espessura variável e é composta por lipídeos, proteínas e cera, sem quitina (Figura 2). Atua como a barreira entre o ambiente externo e o interior do corpo do inseto (Hepburn, 1985) e pode ser dividida em 4 camadas: a camada cimentícia, a camada da cera, a epicutícula exterior e por fim a epicutícula interior (Figura 3) (Hepburn, 1985, Zheng et al., 2025).

Logo abaixo da epicutícula, localiza-se a exocutícula, a região da cutícula que é rígida em consequência das ligações cruzadas das proteínas presentes, resultantes de um processo de esclerotização criado pela oxidação de fenóis diídricos sintetizados pelas células epidérmicas e por quinonas e responsável pela rigidez do exoesqueleto (Cruz-Landim, 2009). Sua dureza deve-se exclusivamente desses processos de estabilização da proteínas da família CPR contendo o motivo RR-2 são predominantemente associadas a regiões rígidas e esclerotizadas, enquanto proteínas RR-1 são mais frequentemente encontradas em cutículas flexíveis e membranosas (Vannini & Willis, 2017). Esse processo é também conhecido como esclerotização (Chapman, 1998). A região da exocutícula também é conhecida por ser a região pigmentada por melanina, podendo se encontrar os pigmentos quando presentes. Os pigmentos frequentemente encontrados em insetos incluem a eumelanina conferindo coloração preta ou castanha e a feomelanina podendo ser responsável pela coloração avermelhada ou amarelada (Gálvan, 2015). Os pigmentos podem ser encontrados tanto em forma de grânulos, quanto distribuídos de forma difusa, sendo que a melanina só se encontra de forma difusa (Andersen, 2010). Na região da exocutícula, a melanina e o processo de

esclerotização são citados como responsáveis pelo escurecimento cuticular (Chapman, 1998).

Mais internamente e acima da epiderme encontra-se a endocutícula, em um estado mais flexível e incolor, constituída por quitina, proteínas e polifenóis e lipídios (Cruz-Landim, 2009). Na parte superior da endocutícula pode ocorrer a mesocutícula, uma região de transição depositada entre a exocutícula e a endocutícula (Figura 1), sendo geralmente identificada após análises histológicas. A distinção dessas camadas, está relacionado ao grau de impregnação por proteínas e lipídeos e o processo de esclerotização. Inicialmente, a endocutícula não é impregnada nem esclerotizada, mantendo espaços livres para passagem de azul de anilina. Após a secreção da cutícula, e a diferenciação dessa camada, a impregnação por lipídios e proteínas reduz os espaços, e permite apenas passagem de moléculas pequenas, como a fucsina ácida, assim permitindo a visualização da mesocutícula (Neville, 1975).

Existem registros de uma última camada da cutícula, a hipocutícula. Em estudos com *Vespa orientalis*, essa camada foi descrita como situada entre as lamelas da endocutícula e a epiderme, estando associada à presença de numerosos grânulos secretores (xantossomos), que contribuem para o aumento da espessura da cutícula amarela (Ishay e Pertsis, 2002). Em trabalho posterior, Ishay (2004) passou a tratar a hipocutícula como uma membrana delgada localizada imediatamente acima da epiderme.

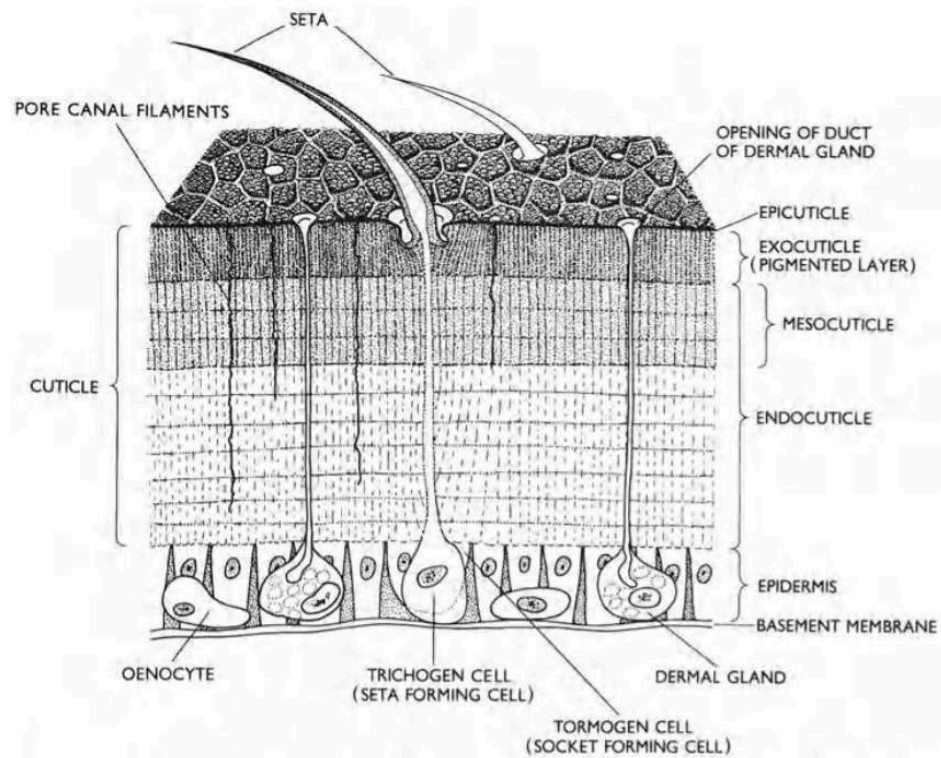


Figura 1. Esquema generalizado da estrutura do integumento de insetos, encontrada em (King e Akai, 1982) reproduzida de Hackman (1971)

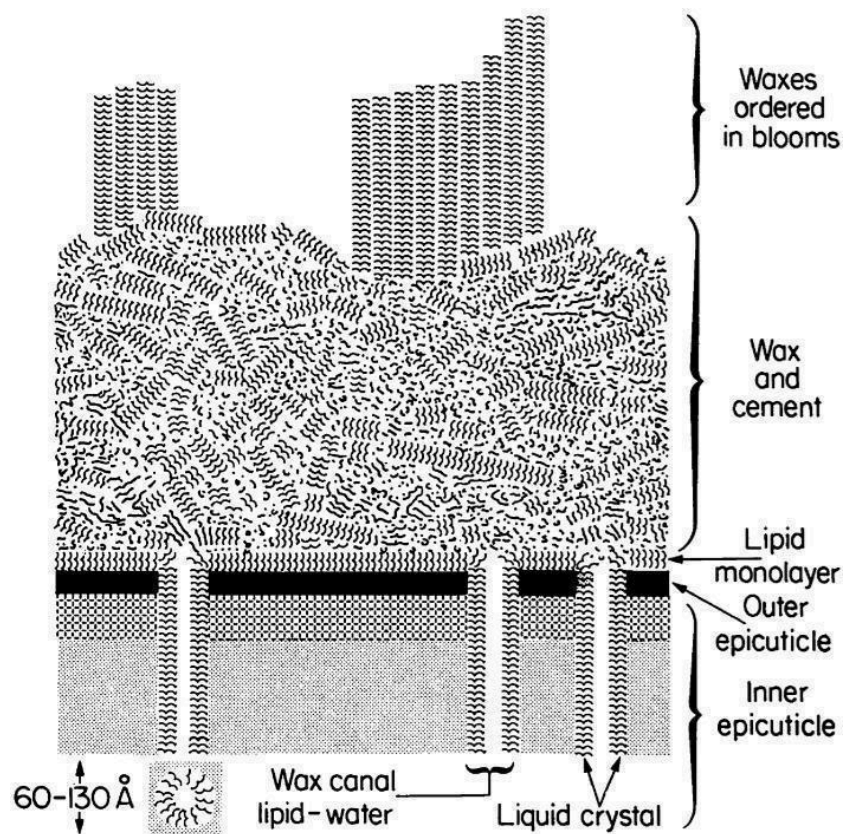


Figura 2. Diagrama esquemático da epicutícula de um inseto, encontrado em Hepburn evidenciando a camada mais externa de cera, uma camada intermediária com cimento, uma única camada de lipídeos, e uma Epicutícula externa e um interna(1985) adaptado de Locke, M (1974)

A cutícula geralmente segue um padrão geral nos insetos, mas a estrutura em si não é uniforme em todo o corpo. Neste ponto, observa-se essas variações estruturais e nas propriedades físicas da cutícula, de forma que ela pode ser rígida em um segmento e/ou flexível em outro, fina em um ponto e espessa em outro, dependendo da função da estrutura e necessidades do organismo (Filshie, 1982). A cutícula pode definir e estabilizar o formato do corpo, apêndices e órgãos internos e, especificamente nos insetos, a sua presença nas traquéias diminui a desidratação e infecção (Moussian, 2013).

Escleritos são placas articulares endurecidas conectadas por membranas flexíveis, os quais recobrem o corpo do indivíduo (Chapman, 1998), e de forma geral possuem variações estruturais observadas entre diferentes partes do corpo dos insetos, diferentes estágios do desenvolvimento e em diferentes grupos taxonômicos, refletindo adaptações funcionais específicas (Tajiri, 2017). A tabela 1 traz a comparação entre cutícula e estruturas associadas do abdômen e tórax de 3 espécies de artrópodes. Em larvas de *Calpodes ethlius* (Lepidoptera, Hesperidae) e *Tenebrio molitor* (Coleoptera, Tenebrionidae), por exemplo, observa-se a presença de uma camada cimentícia e uma densa camada epicuticular associada a filamentos de canais de cera de pequeno diâmetro, responsáveis pelo transporte de lipídios à superfície (Figura 2) (Locke, 1961). Em *Galleria mellonella* (Lepidoptera, Galleriidae), a cutícula mantém estrutura semelhante às mencionadas anteriormente, porém com maior espessura dos canais de cera, o que pode estar relacionado à proteção contra perda hídrica e à resistência mecânica.

Em abelhas do gênero *Apis*, cuja cutícula está adaptada à permitir a passagem da secreção e ao manejo de cera, a organização apresenta modificações: a camada cimentícia está ausente e há predomínio de lipídios orientados e de canais de cera de maior diâmetro, o que facilita o transporte e a deposição na camada externa da epicutícula, secretada por glândulas dermais da hipoderme (Lockey, 1985). Nota-se inclusive a presença de organelas responsáveis pela percepção de luz, como os receptores eletromagnéticos periféricos (PERs) importantes na orientação espacial do indivíduo (Ishay et al., 2005). Essas diferenças reafirmam que, embora a arquitetura geral da cutícula seja conservada entre os insetos, a microestrutura e a composição das suas camadas refletem especializações associadas à função ecológica e fisiológica de cada espécie (Locke, 1961).

	<i>Archaea domestica</i>	<i>Latrodectus hesperus</i>	<i>Hadrurus arizonensis</i>
espessura total da cutícula	25µm	11 - 26µm	100µm
Membrana externa epicutícula	4,2nm	2nm	3
Epicutícula externa	8,4nm	12nm	3
Camada densa	130nm	116nm	289
Exocutícula	6µm	3,3µm	18µm
Meso Cutícula	3µm	0,8µm	Sem dados
Endocutícula	9 - 14µm	4 - 19µm	65 - 85µm

Tabela 1. Comparação entre espessura de cutícula e estruturas associadas do abdômen e tórax de três espécies de artrópodes, *Acheta domestica* (Orthoptera), *Latrodectus hesperus* (Araneae), *Hadrurus arizonensis* (Scorpiones) (traduzida e adaptada de Hendricks e Hadley, 1983).

A pigmentação da cutícula de insetos, é um dos fatores que permitem uma proteção física do corpo, visto que cutículas mais escuras estão relacionadas com proteção contra radiações de alta frequência, maior resistência mecânica e menor taxa de dessecação (Kalmus 1941). Por ser a região do corpo que apresenta a cor, a cutícula tem uma função importante de expressar certos sinais visuais biológicos como a camuflagem, advertência e diferenciação sexual (Badejo et al., 2020). Foi observado por Clusella-Trullas et al. (2007) que várias espécies de insetos que apresentam cores escuras conseguem aumentar a temperatura corporal acima da temperatura ambiente de forma mais eficaz que indivíduos de cor clara (Clusella Trullas et al., 2007; Kalmus et al., 1941). True et al. (2003) relacionam a espessura da cutícula e seu estado mais escuro como um fator que possibilita maior proteção contra excesso de perda de calor o que pode estar relacionado ao sucesso, tanto na distribuição em diferentes habitats, como também em forrageio em regiões mais quentes ou durante as atividades diurnas (Zeuss et al., 2014). Gilbert et al. (1998) trazem que, em borboletas e libélulas, a cutícula mais escura apresenta vantagem

apenas em regiões mais frias, visto que a cor clara permite a proteção contra o superaquecimento o que possibilita que a espécie consiga exercer atividades de forrageio por um período de tempo estendido e conquiste uma variedade mais ampla de habitats. Eles destacam essas capacidades como essenciais no contexto atual de aquecimento global. Entretanto Lopez et al. (2024) critica o uso da coloração mais clara como indicador de controle de aquecimento, dado que existem diversos fatores que determinam cores mais claras ou mais escuras e dependendo do fator que determina a cor, podem haver diferentes estruturas e/ou substâncias químicas, conferindo diferentes propriedades em relação à absorção e retenção de calor.

No trabalho de Lopez et al. (2024) é reforçado que tratar apenas da melanina como responsável pela variação de cor clara e escura, seria incorreto já que existem outros processos que também determinam a cor dos insetos. Como exemplo, em certos Odonatas, a iridescência derivada de coloração estrutural, traduz em um aspecto de cor clara do inseto, apesar da alta melanização da cutícula.

Trabalhos recentes têm apoiado a compreensão sobre as diferentes variações estruturais da cutícula dos insetos, bem como sua relação com os padrões de coloração. A produção da coloração em insetos pode ocorrer de forma estrutural ou pigmentar, sendo que a última pode ser encontrada como pterinas, carotenoides, melaninas e omocromos (Andrade e Carneiro, 2021). A eumelanina pode estar distribuída pela exocutícula até a hypocutícula (Ferrari e Polidori, 2024), conferindo principalmente colorações escuras, como tons pretos. Em contrapartida, trabalhos recentes demonstraram a presença de feomelanina em insetos, pigmento associado a colorações amareladas, castanhas e avermelhadas (Galván et al., 2015). A melanina atua também como um escudo que encapsula e isola estruturas e reforça a estrutura celular e a exocutícula contra potenciais danos microbiais. Em certas espécies do gênero *Vespula* e *Vespa*, foi visto que a coloração preta é possível pela dispersão da eumelanina desde a exocutícula até a hipocutícula e que uma camada de grânulos de xantopterina presente na hipocutícula permite uma coloração amarela (Ferrari e Polidori, 2024). Em *vespula*, a espécie *P. dominula* é possível observar uma camada de pterinas em grânulos abaixo da endocutícula, na porção hipocuticular do segundo tergo metassomático (Figura 3) (Ferrari e Polidori, 2024).

Pigmentos da classe das pterinas como a xantopterina por sua vez, são encontradas como grânulos na cutícula ou na epiderme, apresentando desde pigmentos brancos, amarelo e até um tom de vermelho alaranjado, mas em conjunto com processos estruturais e pigmentares, pode conferir cores complexas como o azul esverdeado com marrom (Andrade e Carneiro, 2021).

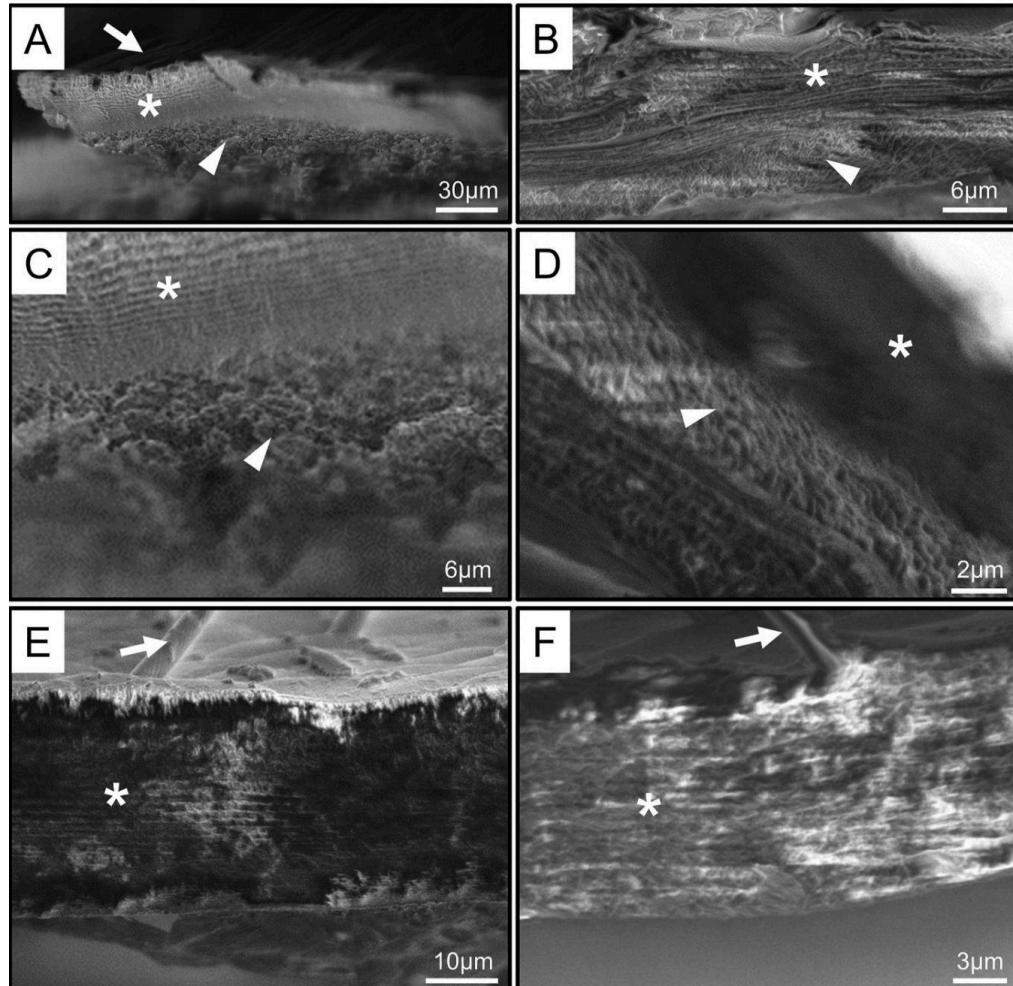


Figura 3. Micrografia eletrônica de varredura mostrando visão geral de uma porção amarela da cutícula de *P. dominula* (A) e *Vespula* sp. (B). Aumento dos grânulos de xantopterina em *P. dominula* (C) e *Vespula* sp. (D). Porção preta da cutícula, usada como controle em *P. dominula* (E) e *Vespula* sp. (F). Setas: pilosidades emergindo da cutícula, asteriscos: endocutícula, Ponta da seta: grânulos de xantopterina (Fonte: Ferrari e Polidori, 2024).

Ishay et al. (2004) descrevem a presença de grânulos de pigmentos amarelos depositados entre camadas da endocutícula da *Vespa orientalis*, dispostos em uma camada longitudinal cilíndrica, visto na figura 4.

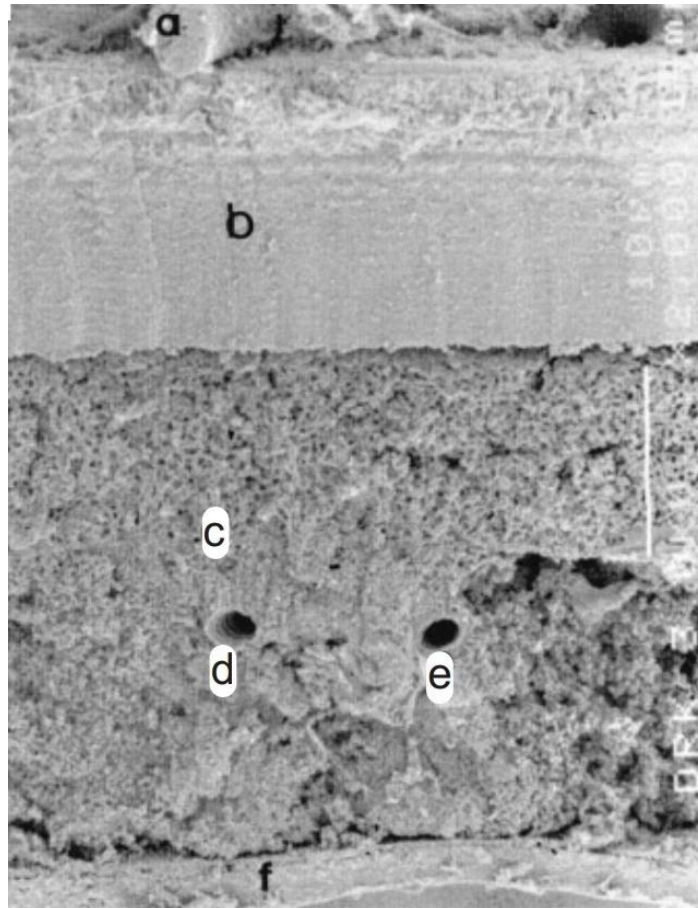


Figura 4. Micrografia eletrônica de Varredura por Emissão de Campo (FE-SEM) de uma seção transversal através de uma faixa cuticular amarela de vespa adulta. De cima para baixo, observam-se : cerdas (a), epi-exo- e endocutícula (b), uma camada densa de grânulos amarelos (c), duas traqueias atravessando a região (d, e) e, por último, algumas das camadas da endocutícula e hipocutícula (f). Barra 10 µm. (Imagem e texto Adaptado de Ishay et al.(2004).

Pelas diversas formas que o pigmento é encontrado no integumento dos insetos, a compreensão da organização estrutural da cutícula e suas variações de coloração podem levar a identificação de padrões estruturais associados aos tipos de pigmentos e podem ajudar a resolver problemas taxonômicos e eventualmente permitir o reconhecimento de novos caracteres de valor taxonômico ou de auxiliar na compreensão das propriedades da cutícula em relação a fatores ambientais.

Encontrada na família Apidae, subfamília Xylocopinae, e tribo *Xylocopini* (Mariano; Abrahamovich, 2014) o gênero *Xylocopa* possui cerca de 31 subgêneros e 470 espécies que possuem distribuição predominantemente tropical e subtropical (Michener 2007). Conhecidas como abelhas robustas, com integumentos pretos, verdes ou azuis metálicos (Lucia & Abrahamovich, 2010; Michener, 2007; Moure, 2008; Zanella & Silva, 2010). Na espécie *X. nigrocincta* a coloração predominante é aquela em que as fêmeas possuem metassoma inteiramente preto ou porção apical preta com faixas ferrugíneas na região supramarginal desde o primeiro tergo até o sexto. Nas laterais um revestimento de pelos longos e densos, e suas asas castanhas escuras com brilho esverdeado e pontas douradas, ou asas violetas com brilho azulado (Agostini et al., 2024). Devido a um forte dimorfismo sexual no gênero, existem poucas informações atualizadas a respeito das características morfológicas dos indivíduos machos (Agostini et al., 2024).

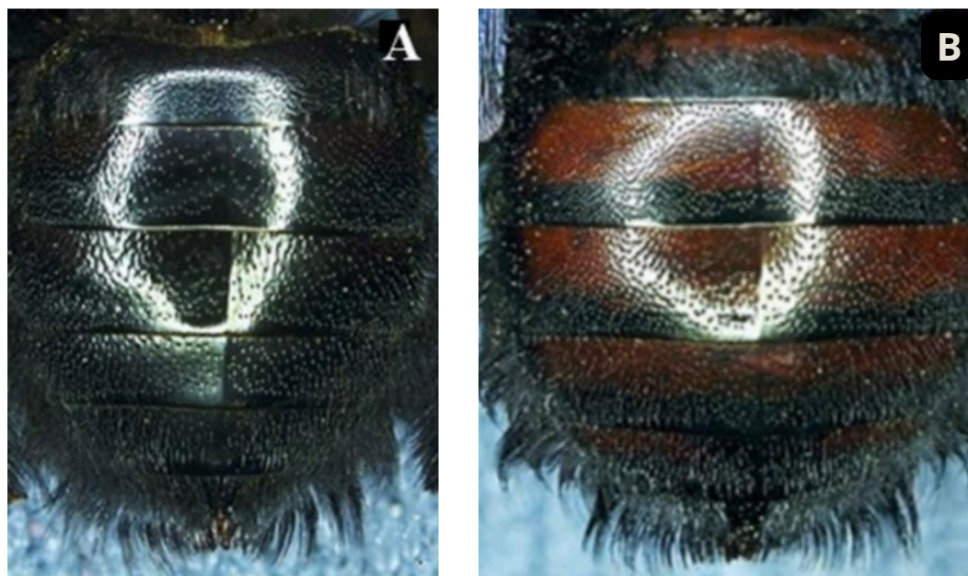


Figura 5. Exemplo de duas formas presentes em fêmeas de *Xylocopa nigrocincta* de acordo com a coloração dos tergos metassomáticos. A: forma melanina, com tergos pretos. B: forma com faixas metassomáticos avermelhadas (Adaptado de Fonte: Agostini et al., 2024).

Conhecidas como abelhas carpinteiras, os indivíduos dessas espécies possuem hábitos de nidificação predominantemente ao redor de madeira morta, espaços em bambus e árvores (Hurd & Moure 1963; Marchi e Alves dos Santos, 2013). Em relação à sociabilidade, tanto padrões solitários quanto parassociais foram observados (Michener 1990). São conhecidas por serem polinizadores do *Phaseolus vulgaris*, Flores do gênero *Passiflora* e até o tomate - *Solanum lycopersicum*, e são capazes de vibrar para extrair pólen de flores (Corbet & Willmer 1980; Giannini et al. 2015; Keasar 2010; Marchi e Alves dos Santos, 2013; Yamamoto et al. 2010; Yamamoto et al. 2014). Neste trabalho pretende-se estudar a estrutura da cutícula da abelha *X. nigrocincta*. que apresenta integumento predominantemente preto, mas com parte dos indivíduos apresentando faixas avermelhadas nos tergos metassomáticos, visto que há uma escassez de informações claras relacionadas à estrutura especialmente no grupo em questão.

2 OBJETIVOS

Geral

- Analisar e descrever a estrutura geral da cutícula de tergos metassomáticos de *Xylocopa nigrocincta*

Específicos

- Descrever a estrutura geral da cutícula em estereomicroscópio sob diferentes condições de iluminação.
- Descrever a estrutura geral da cutícula em microscopia de luz;
- Descrever a ultraestrutura da cutícula em microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Obtenção de fêmeas de *X. nigrocincta* e dissecação dos tergos metassomáticos

Para desenvolver o presente trabalho, foram realizadas coletas de 5 abelhas em três árvores da espécie *Cassia fistula* na rua Plácido Rorato Foz do Iguaçu Brasil. As abelhas fêmeas coletadas foram identificadas pelo Professor Co Orientador Fernando Zanella, e em seguida foram anestesiadas a frio (choque térmico) e dissecadas em placas de Petri contendo solução fisiológica tamponada com fosfato-PBS (NaCl 7.5 g/L, Na₂HPO₄ 2.38 g/L e KH₂PO₄ 2.72 g/L) e, sob estereomicroscópio tiveram os tergos metassomáticos 2 retirados e transferidos para diferentes fixadores, conforme técnica a ser empregada, nos quais permaneceram por pelo menos 5 dias. Foi dada preferência para o tergo metassomático 2, por ser um tergo que possui características diagnósticas da espécie.

Análise em estereomicroscópio

Para análise em estereomicroscópio, os tergos removidos dos espécimes foram posicionados em vista ventral e vista dorsal sobre massas de modelar.

Para melhor diferenciação das regiões pretas e vermelhas, foram utilizadas diferentes intensidades de luz, bem como massas para modelar com diferentes colorações, para obtenção de fundo com diferentes contrastes.

Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

O material fixado na mistura de Karnovsky, foi desidratado em série alcoólica com concentrações crescentes, de 70%, 80%, 85%, 90%, 95% e 100% , esta última por 2 vezes com duração de 15 minutos cada banho. Após a desidratação, as amostras foram secas em estufa a 40 °C e posteriormente coladas com fita adesiva dupla face em stubs (suportes de alumínio) onde foram metalizadas com liga ouro/paládio em “Sputtering”, examinados e fotografados em microscópio eletrônico de varredura ZEISS EVO no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura da UNILA.

Histologia/ Microscopia de luz

O material foi fixado em paraformaldeído 4%, e desidratado em série alcoólica com concentrações crescentes, de 70%, 80%, 85%, 90%, 95% e 100% , esta última por 2 vezes com duração de 15 minutos cada banho. Em seguida, o material foi embebido em mistura de historesina Leica e etanol, na proporção de 1:1 por 24 horas e, posteriormente transferido para historesina pura por mais 24 horas para infiltração. Na sequência as amostras foram incluídas em historesina LEICA contendo polimerizador em moldes plásticos. Após a polimerização, os blocos foram seccionados com 3 µm de espessura em micrótomo Leica HistoCore – AUTOCUT no Laboratório de Biotecnologia Aplicada à Saúde, localizado no Câmpus Jardim Universitário da UNILA. As seções foram recolhidas em lâminas de vidro previamente limpas e coradas com a técnica de Hematoxilina e Eosina (HE) (Junqueira & Junqueira, 1983).

A técnica de coloração por HE (Hematoxilina Eosina) consiste em corar as lâminas com hematoxilina durante 5 minutos, em seguida lavar por 5 minutos em água corrente. Na sequência as lâminas foram coradas pela eosina aquosa durante 5 minutos e lavadas em água corrente novamente por 5 minutos. Após secagem ao ar livre, em suportes de madeira, as lâminas foram montadas com bálsamo do Canadá e lamínula. O material obtido foi examinado e fotografado em microscópio de luz ZEISS PRIMOTECH.

2 RESULTADOS

Os escleritos são regiões endurecidas da parede corporal dos insetos, formadas pelo processo de esclerotização. Essas estruturas também conhecidas como placas, apresentam grande variação em tamanho e forma, e recebem nomes distintos em regiões diferentes do corpo, como por exemplo os tergitos ou tergo, os quais são escleritos que constituem subdivisões da região dorsal da parede corporal (Resh; Cardé, 2003).

O segundo tergo metassomático apresenta uma superfície dorsal, com muitas cerdas eretas que ocorrem até próximo do bordo apical (Figura 7A) e um pouco antes do bordo basal (Figura 8B). Denominamos como bordo apical livre, a porção apical que possui região dorsal e ventral formados por cutícula esclerotizada (Figura 6G) e que na sua extremidade continua na forma de membrana artrodial (Figura 6F).

O bordo apical livre (Figura 6G) fica sobreposto a porção basal do tergo metassomático 3 (Figura 6H) o bordo basal fica abaixo do tergo anterior e apresenta na porção subapical inferior, um apódema e no ápice continua na forma de membrana artrodial (Figura 6F). A membrana artrodial posterior se une ao bordo basal do tergo posterior e membrana artrodial anterior se une ao tergo anterior.

A epicutícula + exocutícula recobre a porção do tergo que entra em contato com o meio externo (Figura 6E), adentra o apódema (Figura 6A), recobre a porção interna do bordo apical livre (Figura 6G), como película (Figura 6I), e atua como estrutura de sustentação de músculo (Figura 6B). A endocutícula, se encontra abaixo da epicutícula (Figura 6C) e acima do tecido epitelial (Figura 6D).

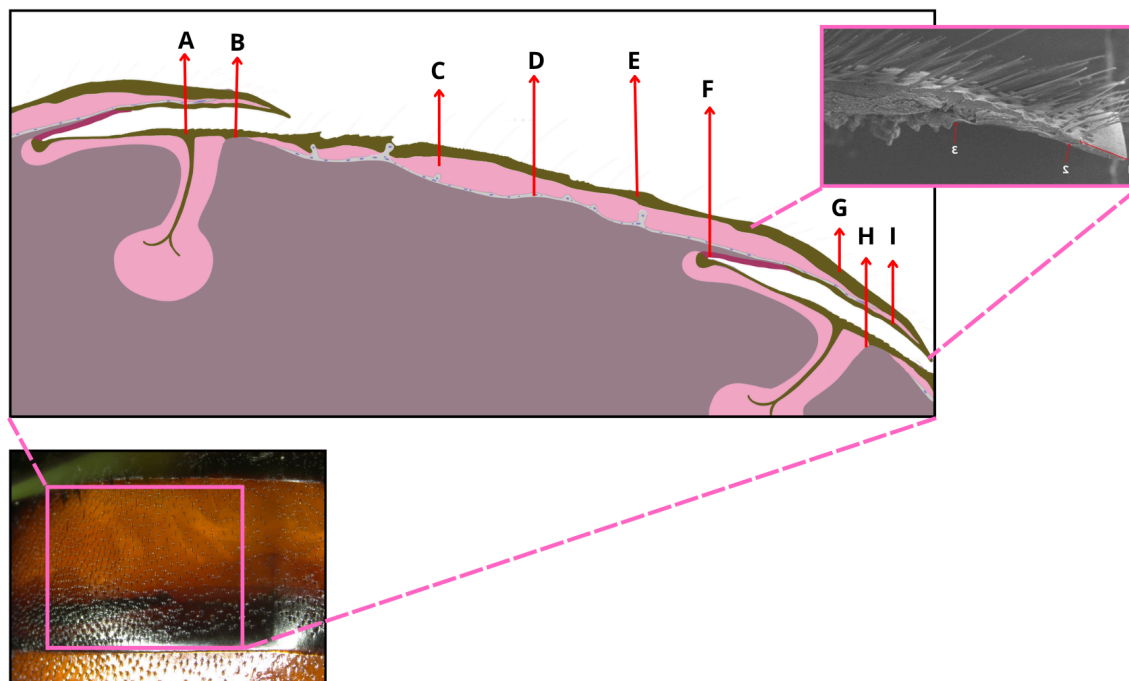


Figura 6. Esquema da estrutura de um tergo metassomático **A.** Invaginação da Epicutícula + Exocutícula no apódema. **B.** Região de Epicutícula + Exocutícula em que pode ter inserção de músculos. **C.** Endocutícula **D.** Tecido epitelial **E.** Epicutícula + Exocutícula **F.** Membrana artrodial **G.** Bordo apical livre **H.** Tergo metassomático 3 **I.** Película. Fonte: Alberto Mejia Paniagua (2026)

Houve diversas dificuldades enfrentadas no preparo das amostras, por se tratar de uma abelha grande com exoesqueleto e cutícula espessa e rígida. No preparo para histologia, houve dificuldade de penetração da resina para emblocamento, resultando no deslocamento da resina e frequentemente alteração da estrutura da cutícula.

As atividades iniciais de preparação de amostras para MEV e ML, foram realizadas separando-se partes pretas e avermelhadas de um mesmo tergo, mas posteriormente, após análise em estereomicroscópio, observou-se grande variação das características da cutícula ao longo do tergo, o que impossibilitaria uma comparação caso as amostras viessem de diferentes regiões do tergo.

Com esse resultado prévio, o planejamento passou a considerar para um próximo projeto, a obtenção de indivíduos melânicos e indivíduos com pelo menos o tergo metassomático 2 com área distal avermelhada, para preparação de amostras de tergos na mesma posição.

Análises da região dorsal do tergo em estereomicroscópio permitiram a

visualização de pilosidades sobre o bordo livre, até um certo ponto. O bordo apical livre é mais largo na porção mediana, se estreitando em direção às laterais, sendo evidenciado em vista ventral e, no caso dos tergos avermelhados, em vista dorsal por transparência (Figura 7A e C; Figura 8D). A parte dorsal do bordo apical livre apresenta apicalmente uma região relativamente estreita sem pilosidades, cerca de $\frac{1}{4}$ na porção mediana e que se estreita em direção às laterais (Figura 7A; Figura 8D). A parte sem cerdas, é comparativamente mais estreita em relação ao bordo livre. Ficam nítidas as regiões pretas e avermelhadas, sendo que a região avermelhada apresentou ser mais translúcida em comparação com a região preta, possibilitando a visualização de estruturas do sistema traqueal os sacos aéreos na região interna por transparência (Figura 8C), os quais foram vistos depois em visão ventral (Figura 8A). Dorsalmente, a região do bordo apical livre apresenta uma faixa preta na borda, quase em um formato triangular, e o restante do tergo apresentando uma cor avermelhada (Figura 7A; Figura 8C). Observando os tergos sobre fundos contrastantes, ficaram ainda mais evidentes as diferenças de coloração preta e avermelhada (Figura 7E; Figura 8F).

Em vista ventral, foram observadas carenas longitudinais e uma “película” interna recobrando apenas o bordo apical livre do tergo (Figura 7C e D, Figura 8D). Também foram observados ventralmente, remanescentes da membrana artrodial, porções das traquéias, inserção de cerdas (Figura 8A), feixes de músculos e vaso dorsal (Figura 7B e C). Logo abaixo da ponta da borda apical livre, o apódema possui uma invaginação de Epicutícula + Exocutícula, visto em estereomicroscópio como uma continuação da parte preta, para dentro do apódema (Figura 8B). A figura 8E, evidencia a diferença de espessura do próprio bordo apical livre. Não foram observados grânulos pigmentares em nenhuma das regiões analisadas, tanto nas áreas pretas quanto nas avermelhadas, em nenhuma das técnicas empregadas.

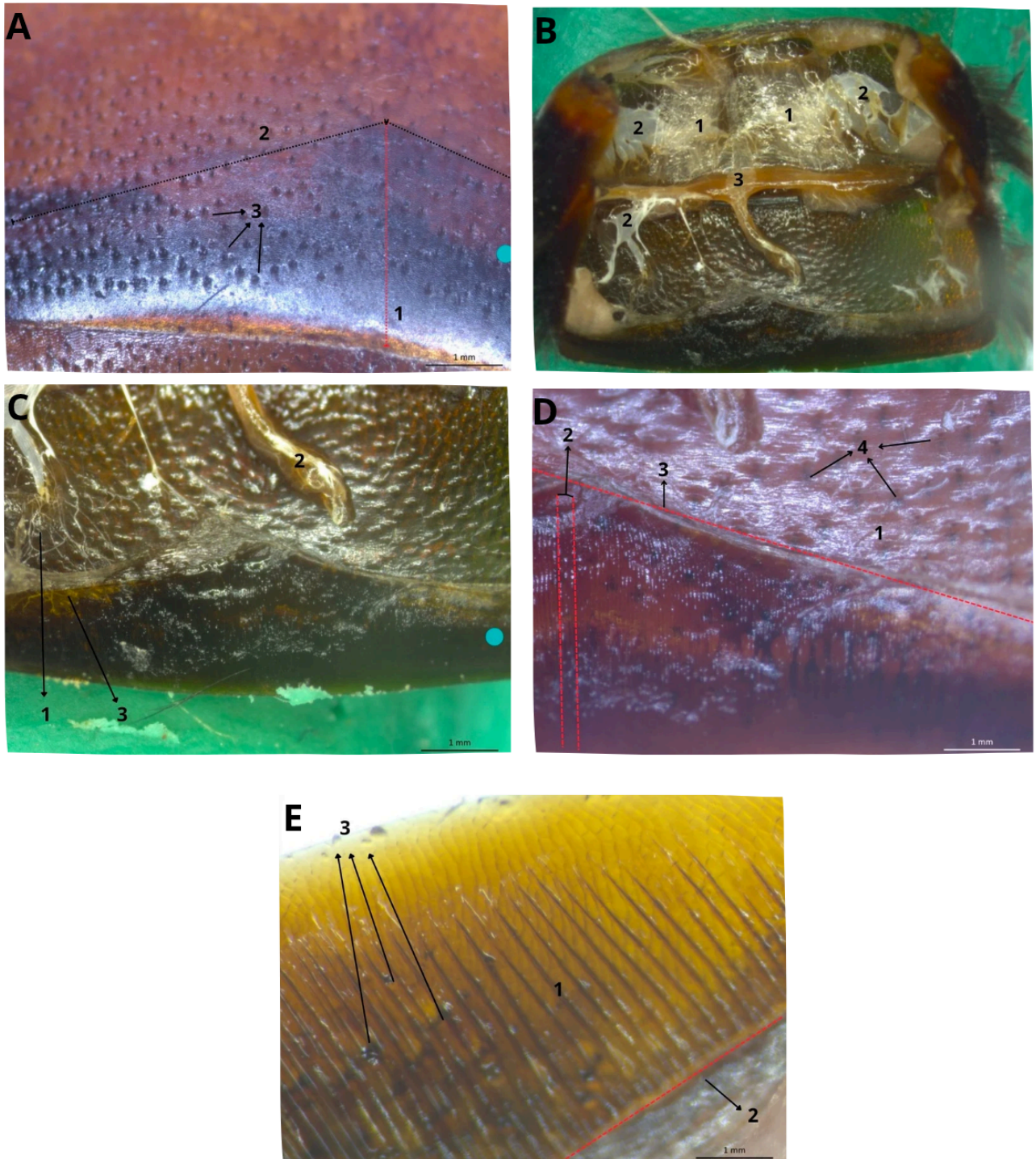
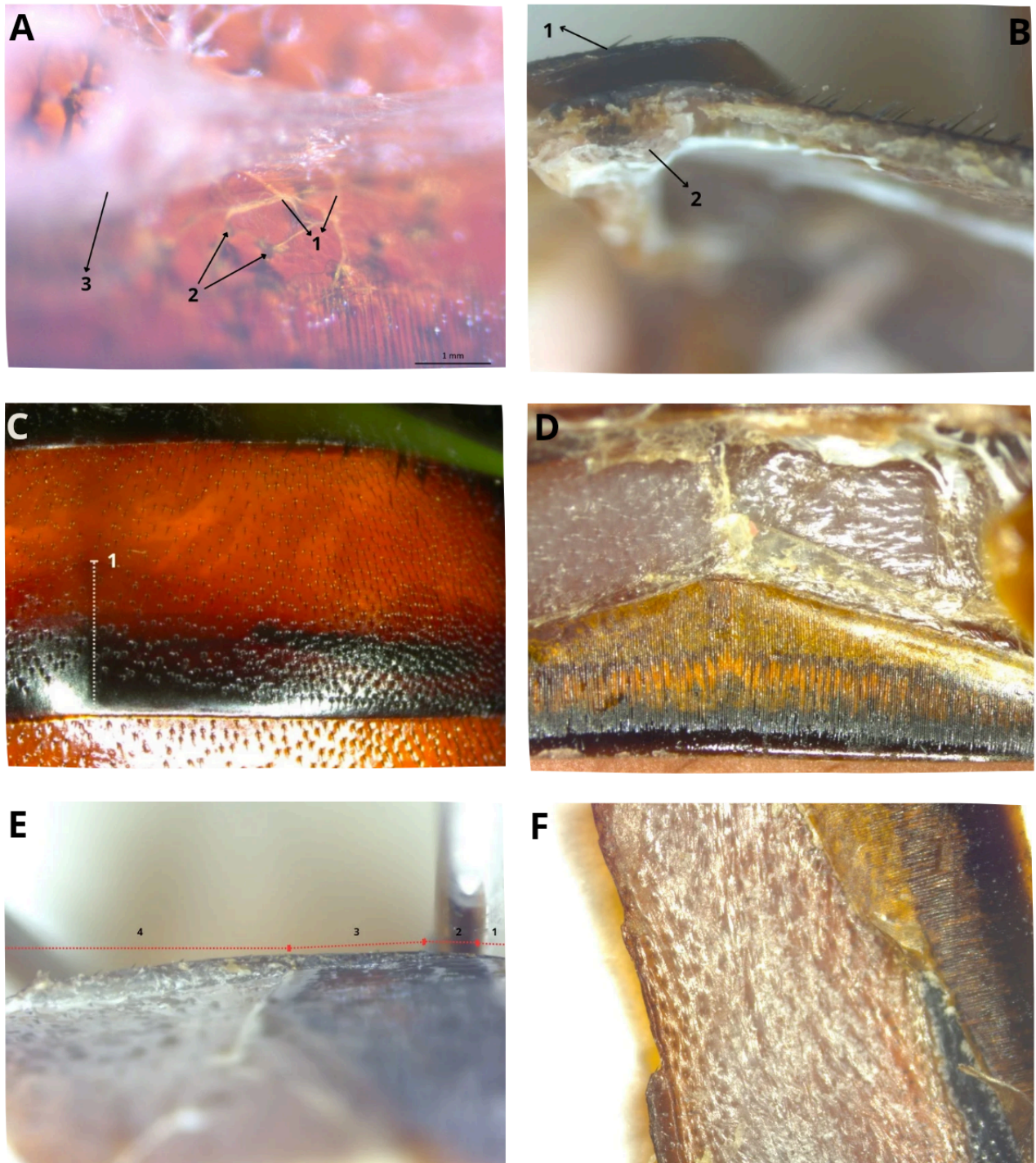


Figura 7. **A.** Vista dorsal de Seção de parte apical mediana do tergo metassomático 2 (T2) 1. Linha mediana do T2; 2. Limite aproximado do bordo apical livre); 3. pilosidades sobre borda livre. **B.** Tergo metassomático 2 e 3 recém dissecados em visão ventral e estruturas associadas. 1: Feixes de músculo; 2: Sacos aéreos; 3: Vaso Dorsal **C.** Detalhe da figura 2 com porção apical do tergo metassomático 3 em visão ventral. 1: Traquéolas originadas do saco aéreo ; 2: Porto de fixação da membrana artrodial com borda inferior do T3 3. Película, porção da cutícula esclerotizada em posição ventral no bordo apical do T3, mas não fundida à cutícula em posição superior, com epiderme entre elas. **D.** Tergo metassomático 2 em visão ventral. 1: Resquícios de membrana artrodial; 2: carenas longitudinais; 3: Borda da película; 4: Cerdas embaixo membrana artrodial. **E.** Tergo metassomático 2 em visão ventral da borda livre apical em posição sublateral. 1: Carenas longitudinais; 2: bordo apical; 3: inserção de cerdas.



Fotografia 8. **A.** Detalhe do bordo da película na porção apical livre do tergo metassomático 2, em visão ventral. 1: Traquéolas; 2: Pontos de inserção de cerdas; 3: Membrana artodial. **B.** Corte longitudinal da porção apical do T1 e basal do T2. 1: Porção apical do T1; 2: Apódema na porção basal do T2, em que podemos observar uma invaginação da cutícula preta no apódema. **C.** Tergo metassomático 2 com presença de transparência na porção avermelhada, evidenciando sacos aéreos abaixo do epiderme e observados por transparência na parte avermelhada do tergo. 1. Linha mediana longitudinal do tergo. 2. Área subapical transversal da cutícula dorsal com coloração preta. **D.** Tergo metassomático 2 em vista ventral - evidenciando película interna recobrendo carenas longitudinais no limite do bordo apical livre. Também é possível visualizar o encontro dessa película com a membrana artodial. **E.** Corte longitudinal do Tergo metassomático 2 em visão lateral evidenciando uma diferença de espessura em porções do tergo com colorações diferentes. 1: Região clara do bordo apical livre, região sem cerdas dorsais e sem carenas ventrais; 2: Região preta do bordo apical livre com carenas e sem cerdas dorsais; 3: Região de transição de

cor preta pra ferruginea do bordo apical livre com carenas sobre a película; 4: Cutícula superior e Região com epiderme, traquéia e musculatura na região ventral. **F.** Evidencia a translucidez do tergo.

Análises em MEV permitiram a visualização da superfície dorsal do tergo recoberto por cerdas (Figura 9A e B). Na porção ventral, foram analisadas inclusive, estruturas associadas ao tergo, como feixes musculares, traquéias e membrana artrodial (Figuras 9C; 10B). A partir das análises em MEV, foi possível observar a variação da espessura entre diferentes camadas da cutícula (Figura 9D), em que se destaca uma Epicutícula + Exocutícula de espessura intermediária, uma Endocutícula bastante espessa, e uma uma película bem mais fina. Além dessas variações de espessura, existem as diferenças entre uma mesma camada. Em diferentes porções de um tergo (Figura 9C), observa que a camada Epicutícula + Exocutícula possui espessura mais fina, na região apical do tergo, em comparação com a porção Epicutícula + Exocutícula que se encontra mais ao meio do tergo, visto em outra foto com cerca de 17,46 µm de espessura (Figura 10C). Analisando a porção ventral do tergo, no bordo apical livre é possível ver carenas longitudinais paralelas (Figura 10A). Não foram observados grânulos pigmentares em nenhuma das regiões analisadas, tanto nas áreas pretas (bordo apical livre) quanto nas avermelhadas (após bordo apical livre), em nenhuma das técnicas realizadas neste projeto.

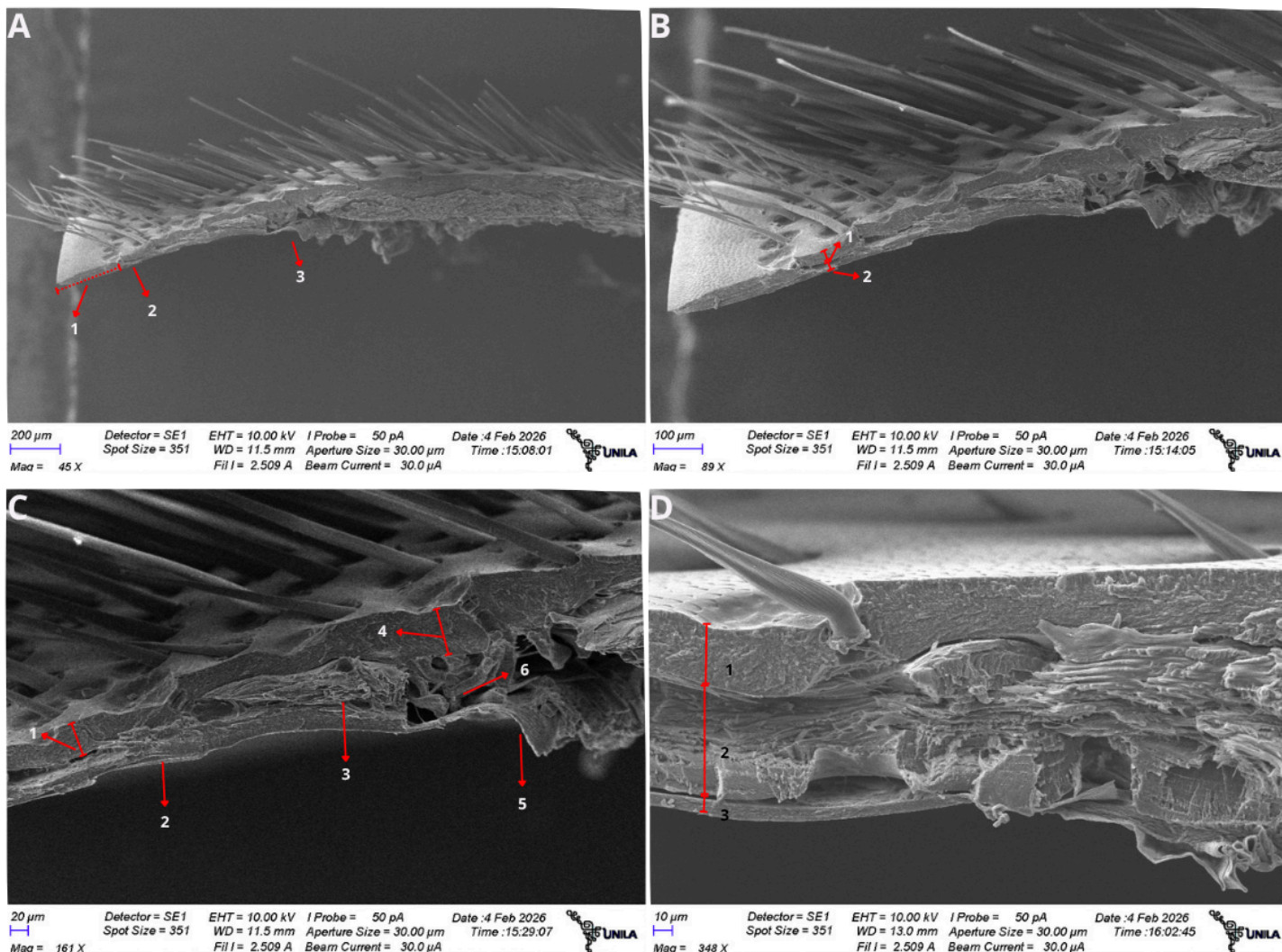


Figura 9. A: Corte longitudinal do T2 em posição submediana. 1: Bordo apical do tergo livre de cerdas na porção dorsal, e sem epiderme na porção ventral; 2: Encontro de cutícula superior e cutícula inferior separados por camada de epiderme, evidenciado pela presença de cerdas na porção dorsal; 3: Membrana artrodial na porção ventral. **B:** Tergo 2 camadas distintas da cutícula supondo 1: Epi +e Exo 2: Endocutícula. **C:** Vista lateral do corte Longitudinal do T2 1: Epicutícula + Exocutícula em espessura mais fina em comparação com a 4: Epicutícula + Exocutícula em espessura mais grossa; 2: Película; 3: Inserção da membrana artrodial; 5: Membrana artrodial; 6: Ramos traqueias. **D:** Evidenciando as diferentes camadas da cutícula do tergo 2; 1: Exocutícula + Epicutícula da cutícula dorsal; 2: Endocutícula da cutícula dorsal; 3: Película, a cutícula ventral do bordo apical do tergo, continuando para a direita como membrana artrodial.

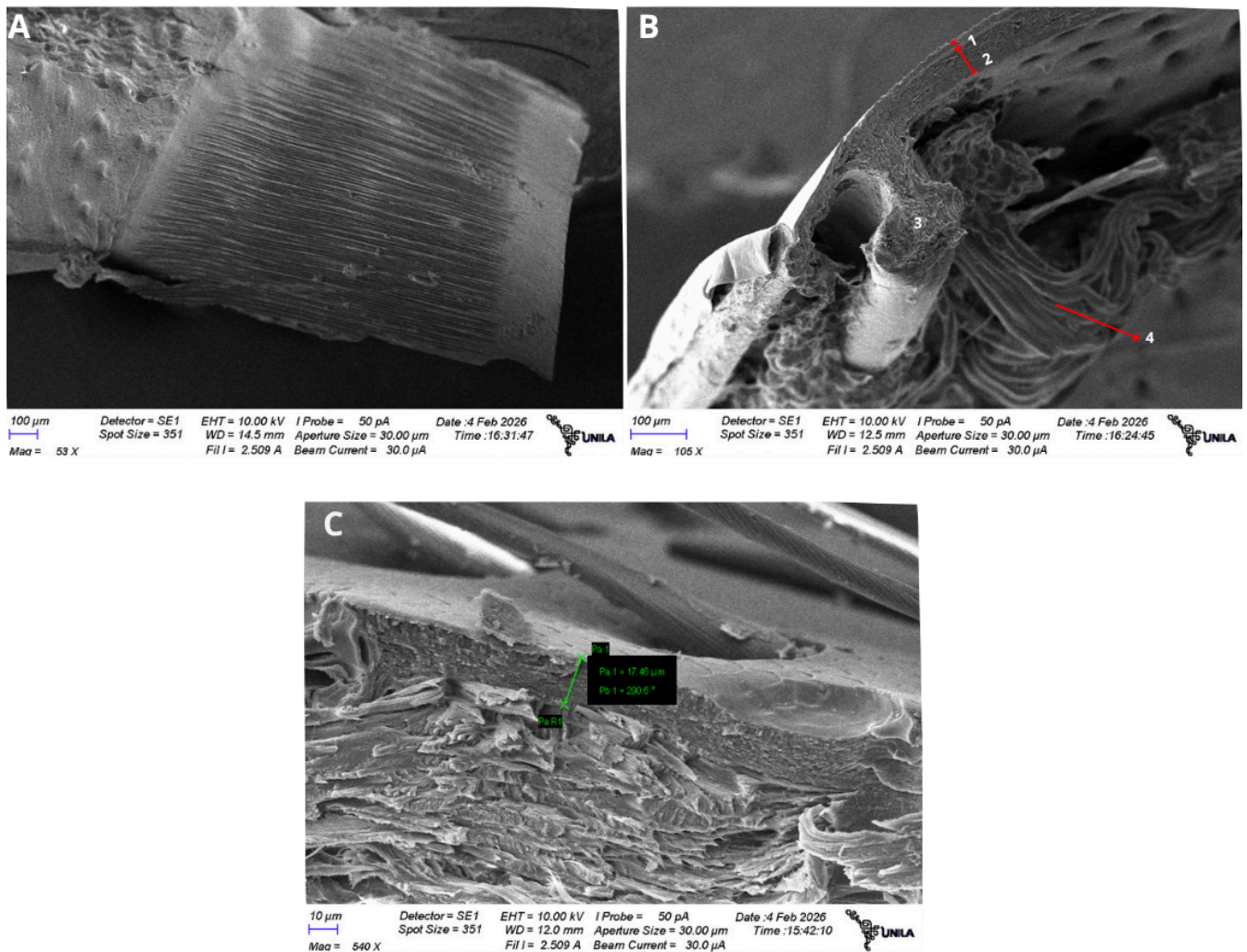


Figura 10. A: Evidenciando o bordo apical livre e carenas do T2 em visão ventral. **B:** T2 em corte longitudinal evidenciando diferentes camadas da cutícula sem conseguir visualizar invaginação da exocutícula no apódema 1: Epicutícula+Exocutícula; 2: Endocutícula; 3 apódema; 4: Músculos; 5. Membrana artrodial recobrendo porção dorsal to T2. **C:** Espessura Epicutícula + Exocutícula

As análises das amostras em microscopia de luz permitiram confirmar as variações de espessura das camadas, Epicutícula + Exocutícula e endocutícula, entretanto essas variações não apresentaram relação com a coloração do tergo.

	Fig. 11A	Fig. 11B	Fig. 11C	Fig. 11D
Epicutícula + Exocutícula	13,6µm - 35,5µm	22,5 µm	43,5µm	20,6µm
Endocutícula	46,5µm - 68,4µm	49,1µm	52,5µm	10,3µm

Tabela 2. Variações das camadas da cutícula em diferentes regiões de um único tergo metassomático 2. Fonte: Autor.

Na região próxima ao bordo apical livre, é possível observar uma dupla camada de Epicutícula + Exocutícula, que é dividida em seu meio por uma camada fina de células epidérmicas que formam um epitélio simples pavimentoso, e um pouco sobreposta uma camada fina de endocutícula (Figura 11F) que se estende quase até o final do tergo. A cutícula ventral (“Película”) vista anteriormente, recobrendo a porção ventral do bordo apical livre do tergo, apresentou coloração igual à da camada Epicutícula + Exocutícula (Figura 11F). Destaca-se na região do bordo apical, a camada superior de Epicutícula + Exocutícula, possui tom mais escuro que em outras partes do tergo, visto em estereomicroscópio como a parte mais apical do tergo (Figura 8E). Foram encontradas estruturas semelhantes á canais ao longo do tergo, geralmente vistas como invaginações da epiderme na endocutícula ao longo do tergo (Figura 11A e B).

Comparando a porção externa da Epicutícula + Exocutícula em diferentes partes do tergo, esta camada apresenta uma forma mais uniforme e lisa ao exterior do tergo em regiões mais apicais (Figura 11C; Figura 11F), e mais “serrilhada” em porções basais próximas ao apódema (Figura 11E). Foi encontrada, uma estrutura semelhante a um canal, distribuído em diversos pontos da tergo, sempre aparecendo na camada da endocutícula (Figura 11A). Foi possível observar ainda, que o apódema é composto externamente por uma camada endocuticular, e internamente por uma Epicutícula + Exocutícula (Figura 12B).

Nas partes correspondentes às partes avermelhadas e pretas do terço, não é visível melanina preta, escura ou camada de grânulos de pigmento, mesmo que a técnica permita a visualização se estiverem presentes.

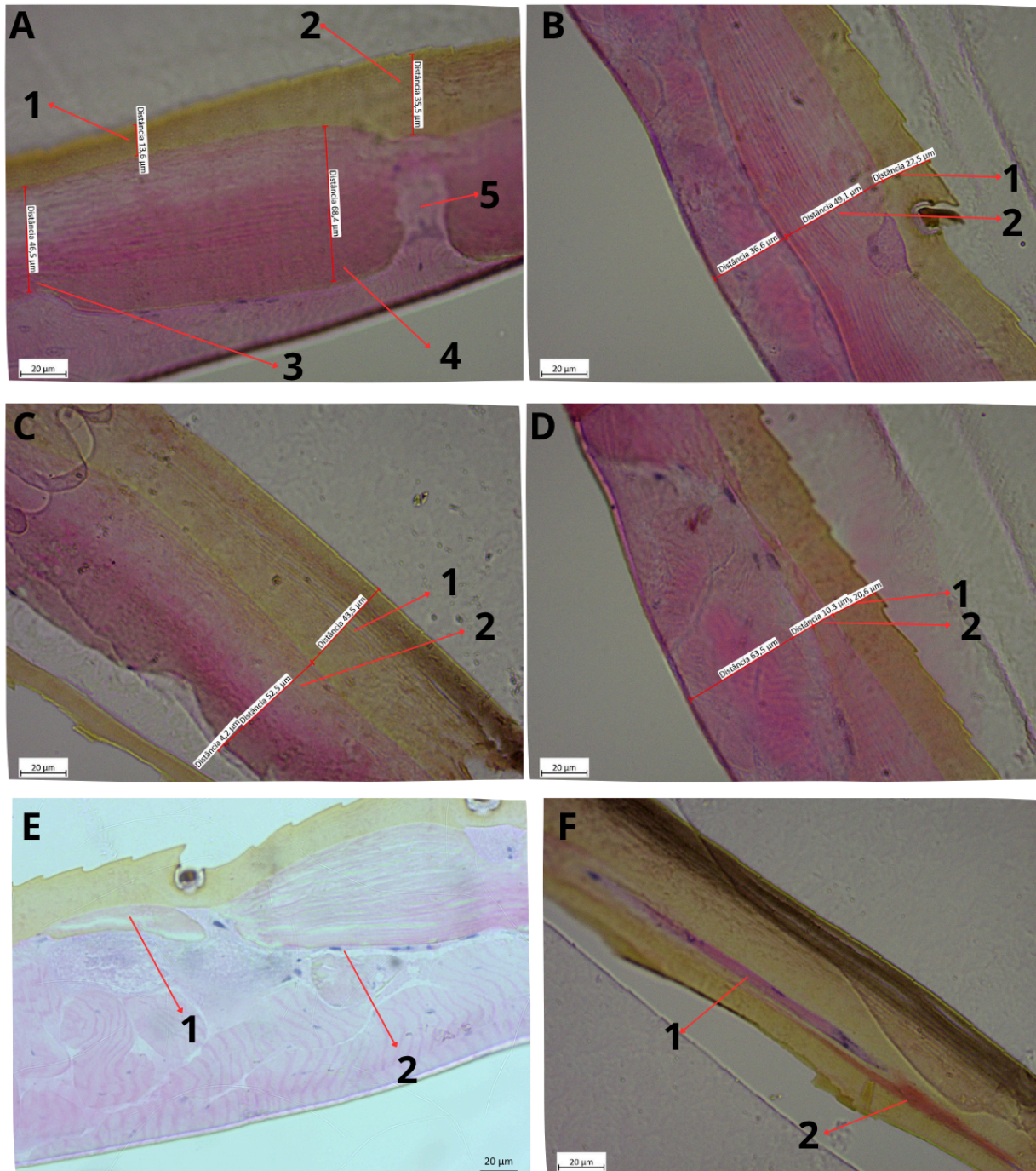


Figura 11. Fotomicrografias da cutícula do terço 2 de *X. nigrocincta* coradas com Hematoxilina e Eosina. A. 1: Epicutícula+Exocutícula com espessura de 13,6 μm . 2: Epicutícula+Exocutícula com espessura de 35,5 μm . 3: Endocutícula com espessura de 46,5 μm . 4: Endocutícula com espessura de 68,3 μm . 5. Estrutura não identificada **B.** 1: Epicutícula+Exocutícula com espessura de 22,5 μm 2: Endocutícula com espessura de 49,1 μm . **C.** 1: Epicutícula+Exocutícula com espessura de 43,5 μm . 2: Endocutícula com espessura de 52,5 μm . **D.** 1: Epicutícula+Exocutícula com espessura de 20,6 μm . 2: Endocutícula com espessura de 10,3 μm . **E.** Próximo ao Apódema evidenciando início do aparecimento da endocutícula. 1: Endocutícula; 2: Tecido epitelial. **F.** Porção mais próxima do ápice do terço, sem cerdas 1: Epiderme. 2:

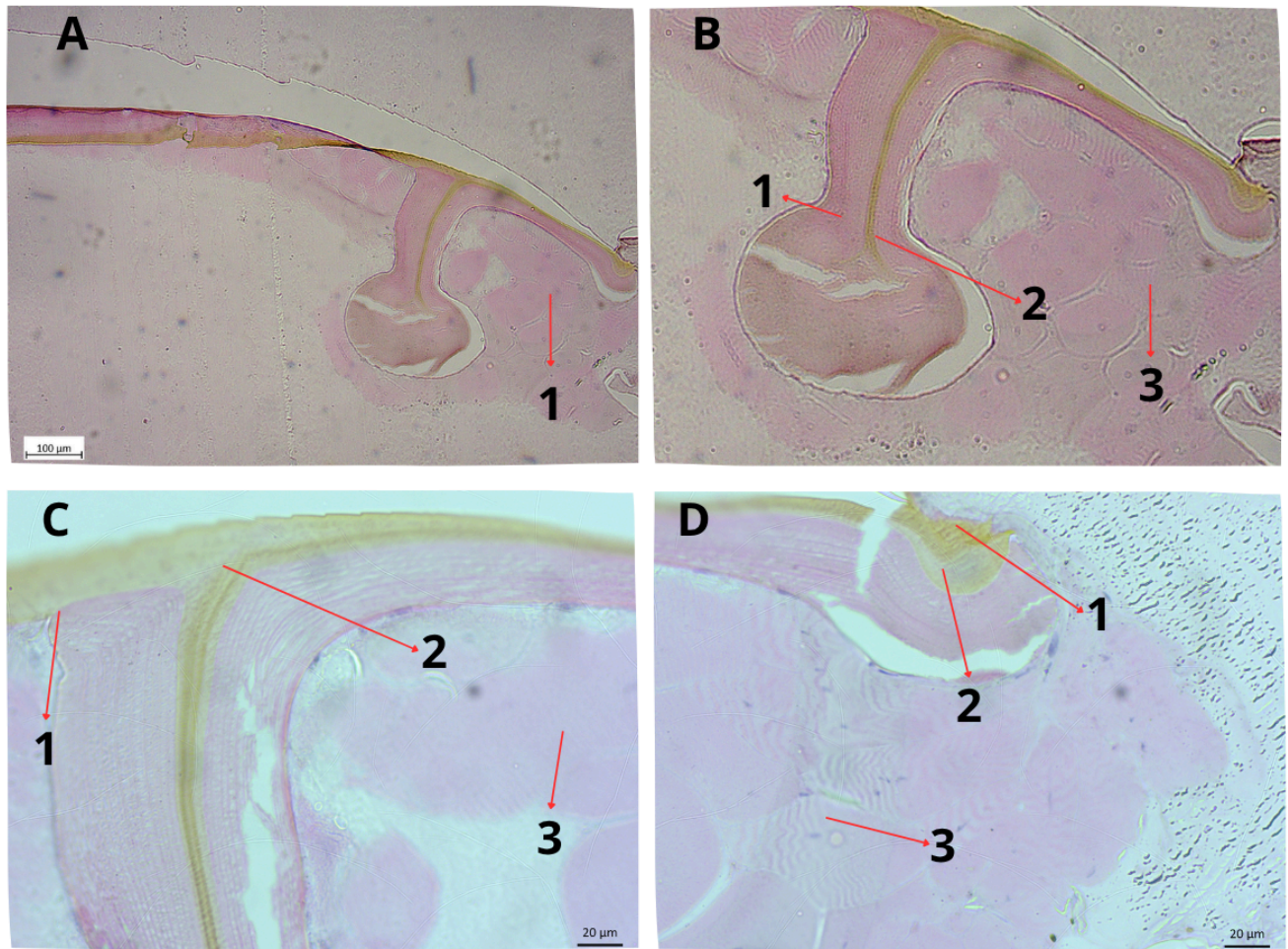


Figura 12. Fotomicrografias da cutícula do tergo 2 de *X. nigrocincta* coradas com Hematoxilina e Eosina
A: Visão geral do apódema, estrutura sub basal ventral 1: músculos associados à cutícula **B.** Detalhe do apódema mostrando 1: Endocutícula e 2: Invaginação das camadas Epicutícula+Exocutícula 3: Músculos associados à cutícula **C.** Detalhe da região basal do apódema. 1: Limite da endocutícula no apódema 2: Invaginação da Epicutícula + Exocutícula 3: músculos associados à cutícula **D.** Detalhe da região anterior ao apódema 1: Epicutícula 2: Exocutícula 3: Músculos associados à cutícula.

DISCUSSÃO

Como não foram encontradas descrições detalhadas da estrutura dos tergos, foi necessário um esforço adicional em estereomicroscópio para descrever a estrutura básica e até mesmo propor nomes para partes, tendo em vista a importância de discriminar as diferenças entre regiões dos tergos para uma efetiva comparação.

Na literatura geral, por exemplo em Cruz-Landim (2009), é ressaltado que a cutícula apresenta uma estrutura geral relativamente padronizada, com epicutícula, exocutícula e endocutícula, sendo às vezes possível reconhecer uma camada intermediária entre essas duas últimas, a mesocutícula, e proposto por Ishay (2004) uma última camada mais interna, a hipocutícula. Também são de conhecimento as variações na espessura das diferentes camadas da cutícula, conforme a espécie ou a parte do corpo. Ao analisar a cutícula do tergo 2 de *X. nigrocincta*, foi observada grande variação de espessura das camadas entre um mesmo indivíduo.

Em um trabalho de élitros de besouro de Noh et al. (2017) indica que os élitros são formados por duas camadas de cutícula, uma dorsal e outra ventral, com características distintas. Encontramos algo semelhante para o bordo apical livre do tergo de *X. nigrocincta* na Figura 11F, a região foi denominada, neste trabalho, como película, sendo de aparência aparentemente igual às camadas de Epicutícula + Exocutícula.

Na região subapical ventral do segundo tergo metassomático foi observado um apódema bem desenvolvido, localizado próximo ao bordo basal (Figuras 10B; 12 A, B, C e D). Em estereomicroscópio, foi possível visualizar uma invaginação da camada de epicutícula + exocutícula em direção ao interior do apódema (Figura 8B). As análises em microscopia de luz permitiram observar que o apódema é constituído externamente por uma camada de endocutícula e internamente por uma invaginação da epicutícula + exocutícula (Figura 12 B e C). Em microscopia eletrônica de varredura (Figura 10B) e em microscopia de luz (12D), o apódema foi observado associado a feixes musculares e à membrana artrodial, localizada na região basal do tergo.

Foram observadas estruturas, ainda não documentadas previamente em abelhas, como a “película” (Figura 11F) e as carenas longitudinais na superfície ventral do bordo apical livre (Figura 7E).

Apresentaram-se estruturas ao longo do tergo, não identificadas (Figura 11A), mas que podem ser interpretadas como os Receptores Eletromagnéticos periféricos (PER), vistos em Ishay (2005).

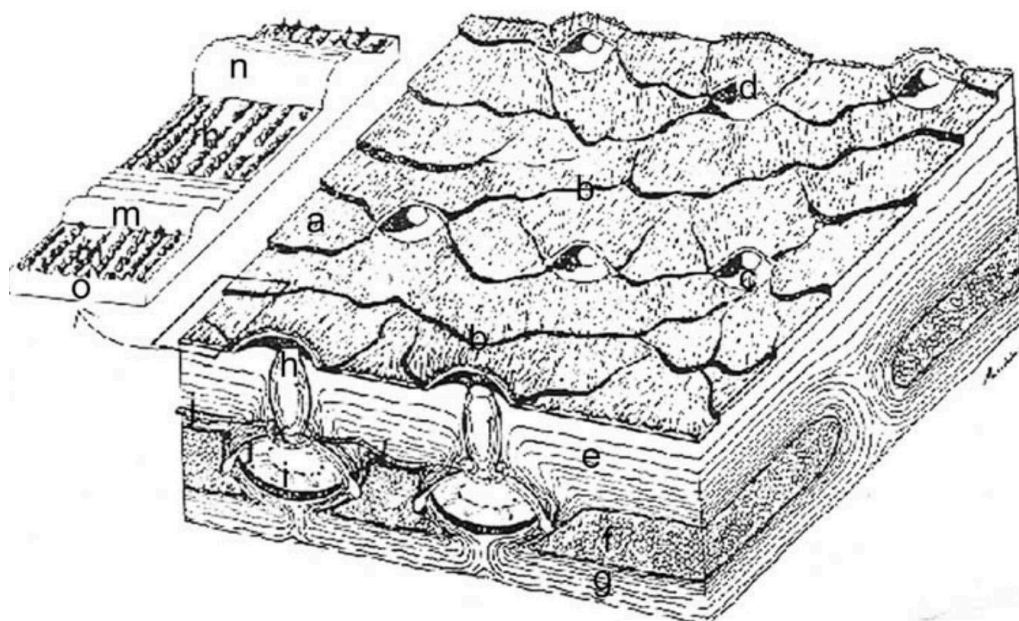


Figura 13. Esquema do Receptor Eletromagnético Periférico (PER). A abertura arredondada na superfície da cutícula (d) corresponde à porção externa do receptor. O PER apresenta uma extensão que alcança as camadas superiores da cutícula (h). Na base do receptor são observadas regiões do rabdoma em formato de ferradura (i), fibras nervosas associadas (j) e elementos traqueais que circundam (k) e interligam (l) o receptor. Adaptado de Ishay et al. (2005).

A coloração dos tergos metassomáticos em *X. nigrocincta* apresenta alta variabilidade intraespecífica, mas tradicionalmente é reconhecida pelas faixas metassomáticas avermelhadas de quantidade e extensão variada entre populações (Schlindwein et al., 2003). Desde da sua primeira descrição, já se destacava um metassoma ferrugíneo com margens apicais pretas dos tergos, e asas de coloração castanho escuros e iridescência violácea (Agostini et al., 2024).

Esse padrão de coloração, foi considerado um importante caráter de

identificação, entretanto revisões taxonômicas mais recentes demonstram que pode existir um gradiente contínuo de variação na coloração do metassoma, apresentando indivíduos com nenhuma, uma, duas, três ou quatro faixas avermelhadas. Análises morfológicas e dados moleculares revelaram que esses diferentes padrões, não representam espécies distintas, mas sim morfotipos presentes na mesma espécie (Agostini et al., 2024).

Os resultados analisados sugerem que a cutícula de *X. nigrocincta* segue o padrão estrutural descrito para insetos, sendo composta por Epicutícula e Exocutícula externas e endocutícula interna, mas visto aqui com uma variação nas espessuras destas em diferentes regiões do tergo.

A Epicutícula + Exocutícula foi tratada sempre como uma única camada no decorrer do trabalho, pela dificuldade de diferenciar uma da outra, dado que a epicutícula geralmente se encontra significativamente mais fina que as outras (Chapman, 2013). A Epicutícula + Exocutícula apresentou variação de espessura ao longo do tergo, sendo encontrada de forma mais fina em alguns pontos, mas também mais espessa em outras. É possível observar que imediatamente após o apódema, o tergo segue com uma única camada de Epicutícula + Exocutícula, até que inicia a endocutícula (Figura 12A), mas também se encontra como camada dupla de Epicutícula + Exocutícula no bordo livre neste trabalho tratando a camada ventral, como “película” (Figura 11F). Tendo em vista que o bordo apical livre do tergo tem contato dorsal e ventral com o ambiente externo, sugere-se que este possui essa dupla camada de Epicutícula + Exocutícula, para garantir a melhor proteção contra influências externas, visto que a camada possui características que permitem atuar como barreira contra o meio externo (Hepburn, 1985). Nesta mesma imagem (11F), a região mais escura do bordo apical com ausência de qualquer grânulo de pigmento, sugere presença de eumelanina concentrado na parte superior da exocutícula.

A endocutícula pôde ser observada, em alguns pontos do tergo, subdividida em uma mesocutícula, mais clara, sobreposta a uma endocutícula em sentido estrito, mais escura (Figura 11A e C). Essa diferenciação foi evidenciada apenas em microscopia de luz após a coloração das lâminas histológicas, uma vez que a técnica permite distinguir regiões com diferentes graus de compactação. As

camadas mais compactadas, correspondentes à mesocutícula, apresentam coloração mais clara devido à menor penetração do corante, enquanto as regiões menos compactadas, correspondentes à endocutícula em sentido estrito, coram-se mais intensamente. Dessa forma, a porção superior da endocutícula foi interpretada como sendo predominantemente constituída por mesocutícula, uma camada de transição que apresenta características intermediárias entre a exocutícula e a endocutícula em sentido estrito, inclusive quanto ao grau de rigidez.

Em alguns segmentos do tergo, foi possível observar estruturas do tecido epitelial, sugerindo um epitélio de revestimento simples pavimentoso e estruturas associadas, como glândulas e músculos.

Os tergos utilizados neste trabalho seguem o padrão de coloração descrito da espécie, com um bordo apical preto seguido pela coloração avermelhada. Entretanto, nota-se a variação da espessura das camadas avermelhadas, mesmo que não foram observados espaços entre as camadas da cutícula com presença de grânulos sugerindo que as camadas variam de espessura por outros motivos não identificados, e que a pigmentação encontrada é proveniente dos processos de esclerotização e difusão de tipos de melanina, e que aparentemente não influencia na espessura da cutícula.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGOSTINI, J. C. ; FRANÇOSO, E. ; ARIAS, M. C. ; ZANELLA, F. C. V. Morphological and molecular evidence for considering *Xylocopa nigrocincta* as the senior synonym of *Xylocopa suspecta* (Apidae: Xylocopini). *Apidologie*, v. 55, art. 18, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13592-024-01057-9>.
- ANDERSEN, S. O. Insect cuticular sclerotization: A review. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, [s. l.], v. 40, n. 3, p. 166-178, mar. 2010.
- ANDRADE, P.; CARNEIRO, M. Pterin-based pigmentation in animals. *Biology Letters*, v. 17, n. 6, p. 20210221, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2021.0221>. Acesso em: 1 jun. 2026.
- BADEJO, O; SKALDINA, O; GILEV, A; SORVARI, J. Benefits of insect colours: a review from social insect studies. *Oecologia*, v. 194, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-020-04738-1>
- CHAPMAN, R. F. *The insects: structure and function*. 4. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- CHAPMAN, R. F. *The Insects: Structure and Function*. 5. ed. Editado por Stephen J. Simpson e Angela E. Douglas. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- CLUSSELLA-TRULLAS, S.; VAN WYK, J. H.; SPOTILA, J. R. Thermal melanism in ectotherms. *Journal of Thermal Biology*, v. 32, p. 235–245, 2007.
- CORBET, S. A.; WILLMER, P. G. Pollination of the yellow passionfruit: nectar, pollen and carpenter bees. *Journal of Agricultural Science*, v. 95, n. 3, p. 655–666, 1980.
- CRUZ-LANDIM, C. *Abelhas: morfologia e função de sistemas*. São Paulo: Editora UNESP, 2009. DOI: 10.7476/9788539304301.

- FILSHIE, B. K. Fine structure of the cuticle of insects and other arthropods. In: KING, R. C.; AKAI, H. (ed.). *Insect Ultrastructure*. New York: Springer, 1982.
- FERRARI, A.; POLIDORI, C. Temperature differently affects body pigmentation of the paper wasp *Polistes dominula* along an urban and a wider geographical gradient. *Journal of Thermal Biology*, v. 122, p. 103840, abr. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2024.103840>. Acesso em: 1 jun. 2026.
- GALVÁN, I.; JORGE, A.; EDELAAR, P.; WAKAMATSU, K. Insects synthesize pheomelanin. *Pigment Cell & Melanoma Research*, v. 28, n. 5, p. 599–602, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/pcmr.12397>.
- GIBBS, A. Lipid melting and cuticular permeability: new insights into an old problem. *Journal of Insect Physiology*, [s. l.], v. 48, n. 4, p. 391–400, abr. 2002. DOI [https://doi.org/10.1016/s0022-1910\(02\)00059-8](https://doi.org/10.1016/s0022-1910(02)00059-8).
- GIANNINI, T. C.; CORDEIRO, G. D.; FREITAS, B. M.; SARAIVA, A. M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. *Journal of Economic Entomology*, v. 108, n. 3, p. 849–857, 2015. DOI: 10.1093/jee/tov093
- GIBERT, P.; MORETEAU, B.; MORETEAU, J. C.; PARKASH, R.; DAVID, J. R. Light body pigmentation in Indian *Drosophila melanogaster*: a likely adaptation to a hot and arid climate. *Journal of Genetics*, v. 77, p. 13–20, 1998.
- HURD, P. D.; MOURE, J. S. A classification of the large carpenter bees (Xylocopini) (Hymenoptera: Apoidea). Berkeley: University of California Press, 1963. 365 p. (University of California Publications in Entomology, v. 29).
- HENDRICKS, D. E.; HADLEY, N. F. Water relations of the cuticle of terrestrial arthropods. *Journal of Experimental Biology*, v. 107, p. 101–118, 1983.

HEPBURN, H. R. Structure of the integument. In: KERKUT, G. A.; GILBERT, L. I. (ed.). *Comprehensive insect physiology, biochemistry and pharmacology*. Oxford: Pergamon Press, 1985. v. 3.

ISHAY, J. S.; PERTSIS, V. The specific heat of the cuticle and the morphological differences between the brown and yellow cuticles of hornets. *Journal of Electron Microscopy*, Oxford, v. 51, n. 6, p. 401–411, 2002.

ISHAY, J. S.; GALUSHKO, D.; ERMAKOV, N.; BERGMAN, D. J. Yellow pigment granules in hornets: their origin and development. *Journal of Electron Microscopy*, v. 53, n. 6, p. 649–657, 2004. DOI: 10.1093/jmicro/dfh084

ISHAY, J. S.; JOSEPH, Z.; GALUSHKO, D. V.; BERGMAN, D. J. The nanostructure of the Oriental hornet (Hymenoptera, Vespinae) cuticle and silk and some of their biophysical properties. *Journal of Natural Fibers*, v. 2, n. 4, p. 17–30, 2005.

JUNQUEIRA, L. C. U.; JUNQUEIRA, L. M. M. S. *Técnicas básicas de citologia e histologia*. 1. ed. São Paulo: Santos, 1983. p. 123.

KALMUS, H. Physiology and ecology of cuticle colour in insects. *Nature*, v. 148, p. 428–431, 1941.

KEASAR, T. Social behavior and division of labor in carpenter bees (*Xylocopa*). *Apidologie*, v. 41, n. 2, p. 145–155, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1051/apido/2009083>

KING, R. C.; AKAI, H. *Insect ultrastructure: volume 1*. Boston: Springer, 1982.

LUCIA, M.; ABRAHAMOVICH, A. H. A new species of large carpenter bee, *Xylocopa* (Hymenoptera: Apidae), from Argentina. *Entomological News*, v. 121, n. 3, p. 243–248, 2010. DOI: <https://doi.org/10.3157/021.121.0305>

LOPEZ, V. M.; DATTO-LIBERATO, F.; GORB, S. N.; GUILLERMO-FERREIRA, R. A *critique of the use of colour lightness in animal studies*. *Biological Journal of the Linnean Society*, v. 143, n. 3, 2024. DOI: 10.1093/biolinnean/blae015.

CRUZ-LANDIM, C.. Abelhas: morfologia e função de sistemas. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

LOCKE, M. The structure and formation of the integument of insects. In: ROCKSTEIN, M. (ed.). The physiology of insecta. 2. ed. New York: Academic Press, 1974. v. 6.

LOCKE, M. Pore canals and related structures in insect cuticles. Journal of Biophysical and Biochemical Cytology, v. 10. 1961

LOCKEY, K. H. Insect cuticular lipids. Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry, v. 81, n. 2, p. 263–273, 1985.

LUCIA, M. M.; ABRAHAMOVICH, A. H. Nesting biology and behavior of carpenter bees (*Xylocopa*). Apidologie, v. 41

MARCHI, P.; ALVES-DOS-SANTOS, I. As abelhas do gênero *Xylocopa* Latreille (Xylocopini, Apidae) do Estado de São Paulo, Brasil. Biota Neotropica, v. 13, n. 2, 2013.

MARIANO, L.; ABRAHAMOVICH, A. H. Large carpenter bees in Argentina: systematics and notes on the biology of *Xylocopa* subgenus *Neoxylocopa* (Hymenoptera: Apidae). Zootaxa, v. 3860, n. 3, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3860.3.1>.

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

MOURE, J. S. Catálogo de abelhas (Hymenoptera, Apoidea) da região Neotropical. Curitiba: Rede Paranaense de Coleções Biológicas, 2008. Disponível em: <http://moure.cria.org.br>

MOUSSIAN, B. The arthropod cuticle. In: MINELLI, A.; BOXSHALL, G.; FUSCO, G. (org.). Arthropod structure & development. Berlin: De Gruyter, 2013. p. 1–39.

NEVILLE, Anthony C. Biology of the arthropod cuticle. Berlin; New York: Springer-Verlag, 1975. 448 p. (Zoophysiology and Ecology, v. 4/5). ISBN 3-540-07081-8.

NOH, M. Y.; MUTHUKRISHNAN, S.; KRAMER, K. J.; ARAKANE, Y. Development and ultrastructure of the rigid dorsal and flexible ventral cuticles of the elytron of the red flour beetle, *Tribolium castaneum*. Insect Biochemistry and Molecular Biology, Amsterdam, v. 91, p. 21–33, 2017. DOI: 10.1016/j.ibmb.2017.11.003.

RESH, V. H.; CARDÉ, R. T. (ed.). Encyclopedia of Insects. San Diego: Academic Press, 2003.

SILVEIRA, F. A ; MELO, G. A. R. ; ALMEIDA, E. A. B. Morfologia externa. In: SILVEIRA, Fernando Amaral da; MELO, Gabriel Augusto Rodrigues; ALMEIDA, Eduardo Andrade Botelho de. Abelhas brasileiras: sistemática e identificação. Belo Horizonte: Fundação Araucária, 2002.

SCHLINDWEIN, C.; SCHLUMPBERGER, B.; WITTMANN, D.; MOURE, J. S. O gênero *Xylocopa* Latreille no Rio Grande do Sul, Brasil (Hymenoptera, Anthophoridae). *Revista Brasileira de Entomologia*, Curitiba, v. 47, n. 1, p. 107–118, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0085-56262003000100016>

TAJIRI, R. Cuticle itself as a central and dynamic player in shaping cuticle. *Current Opinion in Insect Science*, v. 19, p. 30–35, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cois.2016.10.009>

TRUE, J. R. Insect melanism: the molecules matter. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 18, n. 12, p. 640–647, 2003.

VANNINI, L.; WILLIS, J. H. Localization of RR-1 and RR-2 cuticular proteins within the cuticle of *Anopheles gambiae*. *Arthropod Structure & Development*, v. 46, n. 1, p. 13–29, 2017.

WANG, L.-Y.; RAJABI, H.; GHOROUBI, N.; LIN, C.-P.; GORB, S. N. Biomechanical strategies underlying the robust body armour of an aposematic weevil. *Frontiers in Physiology*, Lausanne, v. 9, art. 1410, 2018. DOI: 10.3389/fphys.2018.01410.

YAMAMOTO, M.; SILVA, C. I.; AUGUSTO, S. C.; BARBOSA, A. A. A.; OLIVEIRA, P. E. The role of bee diversity in pollination and fruit set of yellow passion fruit (*Passiflora edulis f. flavicarpa*). Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 136, p. 94–101, 2010.

YAMAMOTO, M.; YOSHIDA, T.; SAKAGAMI, S. F. Nesting biology and social behavior of carpenter bees in the genus *Xylocopa*. Journal of Hymenoptera Research, v. 38, p. 1–20, 2014. DOI: <https://doi.org/10.3897/JHR.38.7271>.

ZANELLA, F. C.; SILVA, C. I. Nidificação de abelhas em cavidades preexistentes. In: IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. et al. (org.). Polinizadores no Brasil. São Paulo: EDUSP, 2010.

ZEUSS, D.; BRANDL, R.; BRÄNDLE, M.; RAHBEK, C.; BRUNZEL, S. Global warming favours light-coloured insects in Europe. Nature Communications, v. 5, p. 3874, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/ncomms4874>.

ZHENG, Y. ; WANG, J. ; WANG, J. ; LI, Y. ; JIANG, Z. Insect cuticle: A source of inspiration for biomimetic interface material design. Colloids and Interface Science Communications, v. 64, p. 100818, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2025.100818>