



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

MARIA BEATRIZ NUNES DE SOUZA

**UMA INTERAÇÃO NEGLIGENCIADA *RHYNCHOPHORUS PALMARUM* –
ÁCAROS FORÉTICOS**

Recife – PE
2025

MARIA BEATRIZ NUNES DE SOUZA

**UMA INTERAÇÃO NEGLIGENCIADA *RHYNCHOPHORUS PALMARUM* –
ÁCAROS FORÉTICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre (a) em Biologia Animal. Área de Concentração: Biologia Animal.

Orientador: Dr. Jose Wagner da Silva Melo

Recife – PE

2025

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Souza, Maria Beatriz Nunes de.

Uma interação negligenciada *Rhynchophorus palmarum* - ácaros foréticos / Maria Beatriz Nunes de Souza. - Recife, 2025.
88f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, 2025.

Orientação: José Wagner da Silva Melo.

Inclui referências.

1. South American palm weevil; 2. Curculionidae; 3. Forésia; 4. Uropodina; 5. Astigmata. I. Melo, José Wagner da Silva. II. Título.

MARIA BEATRIZ NUNES DE SOUZA

**UMA INTERAÇÃO NEGLIGENCIADA *RHYNCHOPHORUS PALMARUM* –
ÁCAROS FORÉTICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre (a) em Biologia Animal. Área de Concentração: Biologia Animal.

Aprovado em: 30/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jose Wagner da Silva Melo (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof^a. Dr^a. Luciana Iannuzzi (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Paulo Felliipe Cristaldo (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

*Dedico este trabalho aos meus avós,
Zezinho (in memoriam) e Liô, que muito
torceram e torcem por mim. Eu amo vocês
para além da eternidade!*

AGRADECIMENTOS

Esta é sempre a parte mais difícil para mim. Nunca sei exatamente o que dizer, mesmo sabendo que existem tantas coisas para serem ditas. É fato que um fim sempre vem marcado por um grande começo, e não poderia ser diferente agora. Foram inúmeras coisas vividas até aqui. Foi uma experiência intensa e imersiva, driblando os costumes de uma cidade diferente, com hábitos diferentes, mas tendo a oportunidade de viver momentos incríveis ao lado de pessoas incríveis. Tentarei ao máximo exprimir meus sentimentos, mas de certo não será possível externar tudo em todos os seus detalhes.

Anseio começar agradecendo aos meus avós, José João (Zezinho) e Maria das Graças (Liô). Hoje, infelizmente, sinto a perda do meu avô. Faz somente um ano que ele faleceu, e estava tão feliz por mim. Os dois cresceram na roça, viveram da roça e fizeram todo o possível para ver suas filhas terem um destino diferente. Os dois não sabiam e ainda não sabem bem o que significa um mestrado ou doutorado, mas mesmo assim, o meu avô ficou tão feliz em me ver aqui. Lembro que no começo ele me perguntava como estavam sendo as aulas na “escola”, se era difícil e se eu estava indo bem. Mesmo os dois não sabendo o que uma pós-graduação significa, ambos sabem o poder que o estudo tem, e é por isso que educação sempre foi prioridade para as filhas e netos. Então tudo isto aqui é em prol dos dois. Eu amo vocês e prometo retornar com mais vitórias!

Palavras também não poderiam expressar a gratidão que eu tenho pela minha mãe, Margarida. Ela que sempre fez tudo isso acontecer, que trabalhou duro e que sempre me incentivou. Nunca se opôs às minhas escolhas acadêmicas e sempre esteve feliz me vendo vencer. Eu agradeço imensamente pela confiança que sempre depositou em mim como filha, mas também como pessoa. Te admiro como mãe, mulher e pessoa. Aprendi muito contigo e sou feliz por ter sido agraciada com suas boas características. Obrigada por acreditar em mim! Espero te honrar para todo o sempre, amo você!

Às minhas melhores amigas fora da Universidade, eu sempre serei grata por acreditarem em mim, mas mais do que isso por terem tido tanta paciência (ou não) com a minha ausência ao longo desses dois anos. A distância física e virtual também não foi muito amigável ou bondosa conosco, mas no meu coração vocês sempre estiveram presentes. Vocês foram e ainda são parte importante

da minha vida e do meu crescimento. Sinto imensa saudade de vocês, de conversar, de sair e de ser feliz. Prometo que vou separar um tempo somente e exclusivamente para nós. Espero, ansiosamente, viver momentos maravilhosos em Maceió ao lado das duas. Muita gratidão, amo muito vocês, espero que continuem sempre comigo, Luana Pereira e Mayara Alves. À Raquel Santana, que mora quase no lado sul do mapa, saiba que você é uma grande amiga, são muitos anos de amizade, né? Uns 12 anos, talvez, quase uma vida (risos). Você é uma pessoa incrível, parceira e esteve comigo em muitos momentos difíceis e de alegria da minha vida. Obrigada por nunca ter me deixado! Nos devemos um encontro. Te amo!

O mundo acadêmico sempre me surpreendeu com pessoas incríveis! É por isso que sou tão feliz e realizada quando me lembro do orgulho que é ter vocês, Ismael Santos, Aila Oliveira e Taini Polo. Hoje, após três anos do meu último agradecimento (TCC), posso dizer que muitas coisas mudaram para vocês também, né? E eu sou tão feliz por isso, sabe? Ismael no mestrado, Aila concursada e Taini mestra. Sério, incrível! Eu sou fã de vocês, muito obrigada por tudo até aqui, não só por compartilharem problemas e soluções acadêmicas, mas também por dividirem comigo uma vida. Amo vocês!

Ali, por meados dos anos 80, brincadeira... Ano passado, tive a felicidade de te conhecer. Você que sempre se interessou por minha vida acadêmica, por entender o que eu fazia e o porquê fazia. Você que sempre se orgulhou de mim mesmo sem me conhecer direito, eu sou muito grata! Obrigada por estar comigo hoje, por torcer por mim, por ter os olhos brilhantes quando me ouve falar e por me admirar. Obrigada por me dar tantos momentos de alegria, por cuidar de mim e por me acalmar nos momentos mais difíceis. Obrigada por ter me dado tantos dias de descanso e criado tantas boas memórias comigo. Saiba que toda esta admiração é imensamente recíproca. Você é o meu orgulho! Eu amo você, João Victor Lins.

Nestes dois anos em Recife, tantas coisas aconteceram...Tive medo ao chegar. Vinha me perguntando se daria certo, se as pessoas gostariam de mim, se eu ia conseguir. Será que o ambiente de trabalho seria legal? Será que estas pessoas iriam gostar de mim? Será que eu ia vencer os obstáculos que é viver em Recife? Hoje, eu posso dizer que tudo deu certo! Eu deixei minha família para trás no Sertão, e consegui uma nova família em Recife, dentro do meu

Laboratório de Acarologia. Quando lembro de tudo, do começo do mestrado até aqui, vejo o quanto tudo mudou.

No comecinho do mestrado, eu dividi tanto da vida com vocês, Bruna Campelo, Isabel Gomes e João Miguel. Vivi com vocês três tantas coisas difíceis, rimos tanto, brincamos, mas em meio a dias difíceis nos reerguemos. Eu tenho tanto orgulho de vocês, das nossas mudanças e do quanto melhoramos. Ainda temos tanto para melhorar, mas caramba! Vencemos! São muitas lembranças que percorrem a minha mente agora, nossa luta na disciplina de taxonomia, nossas dormidas no laboratório, nossa partilha de alimentos, nossas viagens, nossos memes ambulantes, nossos desentendimentos, tudo foi tão significativo e importante para mim, tenho vocês três como meus irmãos de outros pais. Independente do futuro, do que acontecerá após os quatro anos que virão, lembrarei de nós com muita felicidade e gratidão, vocês sempre serão meu quarteto fantástico! Sentirei muita saudade de você, Isabel, mas ficaremos torcendo para que você seja feliz aonde quer que vá. Fará muita falta ouvir suas risadas. Agora, me resta encher o saco apenas de Bruna e João Miguel.

E depois do meu quarteto, não poderia esquecer de tantas outras pessoas especiais para mim no laboratório: Ana Júlia, Beatriz Duarte, Eduarda Barbosa, Erika Luiza, Iasmyn Vitória e Rhaisa Chaves. Vocês não fazem ideia do quanto foram e são importantes na minha vida. Eu sobrevivi nesses dois anos porque vocês foram a minha força para continuar aqui. Eu não trocaria o nosso caos no laboratório por nada. Vocês são a grandeza da minha felicidade nos dias difíceis. Eu agradeço muito pelas risadas, pelos desabafos, pelas reclamações, pela vida compartilhada em toda a sua plenitude. Não vou esquecer de nenhum momento icônico, e são tantos que poderíamos escrever um livro. Obrigada por serem a minha família aqui, por tornarem tudo isso mais fácil, por me acolherem, torcerem por mim e me aceitarem como eu sou. Levarei vocês no meu coração! Amo todos vocês!

Preciso separar um espaço para falar das minhas IC's, Eduarda B. e Erika L., que além de terem sido a minha família no laboratório, também foram minha maior ajuda na luta da contagem de ácaros. Sério, meninas, isto aqui não seria possível sem vocês. Contar mais de 100 mil ácaros não foi uma tarefa fácil! Cada letra desta dissertação tem um pouco do "sangue" de vocês (e da tendinite de Duda). Eu desejo muito que para onde vocês forem, vocês cresçam e sejam

profissionais incríveis. Me preocupo com vocês como filhas, por isso anseio que sejam felizes e que sempre se superem.

Bom, Ericles Charles, a você uma vida, não é? Estamos juntos desde a graduação e estaremos juntos no doutorado. Você que mesmo sendo incrivelmente chato, não deixa de sentar ao meu lado, não deixa de se importar comigo e de seguir o pedido da minha família. Eu quero muito te ver alcançar tudo que sonha, você merece isso. Te admiro demais, sei que será um grande professor e pesquisador. Você tem o perfil, tem tudo! Amo você!

Agradeço fortemente a todos os demais amigos e colegas, seja de dentro ou fora do âmbito acadêmico, que me apoiaram de forma direta ou indireta durante esse processo. Especialmente ao Juan Sebastián, obrigada por nos ouvir, nos ajudar a melhorar nossa apresentação e por estar disposto a mergulhar em novas áreas. O Laboratório de Acarologia agradece por tê-lo!

Ao meu orientador, José Wagner, um misto de coisas. Você me mostrou um mundo novo, algo que nunca pretendi fazer. Hoje talvez eu goste um pouco de ácaros, “não à toa”, escolhi continuar. Mas falando sério, eu sei que lidar comigo não foi e não é uma tarefa fácil, porém você fez acontecer. Foram dois anos complexos, mas eu pude aprender muito contigo. Tudo que vivemos foi parte importante do meu processo de aprendizado, crescimento e amadurecimento, não só como profissional (que ainda engatinha), mas também como pessoa. Você é um dos profissionais mais inteligentes que conheço (sem dúvidas, extremamente inteligente). Os artigos aqui apresentados, cada caractere ou frase pensada, absolutamente tudo, tem um brilho que só você soube/sabe dar. Tivemos muitas dificuldades ao longo desse árduo caminho, mas cá estamos, viu? Eu tentei o meu melhor dentro de circunstâncias novas, dentro da minha carência de conhecimento, mas era tudo que eu tinha e podia no momento. Prometo te orgulhar durante o doutorado. Agradeço por todo o conhecimento que se empenhou em me dar. Espero poder absorver e aprender muito mais contigo nos próximos quatro anos. Publicaremos muito ainda!

Agradeço à professora Débora Barbosa por me ajudar não somente no trabalho, mas por me propiciar uma infraestrutura para a realização do meu projeto durante esses dois anos (e os próximos do doutorado).

Ao professor Hans Klompen (The Ohio State University), meu enorme agradecimento. Me ajudou muito na taxonomia de grupos tão difíceis. Gastei

todo o inglês que eu não tinha, mas você continuou me entendendo e me ajudando. Sem você, muitas coisas não teriam acontecido. Obrigada pela paciência e carinho com esta desconhecida (eu).

Não posso esquecer de Vinicius Borges (ESALQ/USP). Você me ajudou muito na taxonomia desde o começo, me ensinou muitas coisas e se fez paciente mesmo sem me conhecer. Imagina alguém no teu privado, choramingando o tempo todo?! É luta, viu? Obrigada por me aguentar e estar comigo até o final!

A todos do Laboratório de Acarologia da Universidade Federal Rural de Pernambuco, minha gratidão, em especial ao professor Manoel Gondim por ceder o espaço e equipamento quando precisei, mas principalmente a Isaac Feitosa, o “the best” da taxonomia no Nordeste. Isaac, você foi luz na minha vida! Obrigada por me aguentar, por entender meus surtos e me tranquilizar. Não se preocupe que ainda vou encher bastante a sua paciência, viu? Mas, sério, Isaac, você foi essencial mesmo sem saber.

A todos os professores e pesquisadores que me ajudaram até aqui, em especial aos do Nordeste que contribuíram me ajudando nas coletas de *Rhynchophorus palmarum*, meus mais sinceros muito obrigada! Ao pessoal da empresa Coco do Valle, na Paraíba, que me cedeu a área para coletar besouros, gratidão eterna! Pessoal, vocês me fizeram feliz!

Minha gratidão também à banca avaliadora, composta pelos professores Luciana Iannuzzi e Paulo Cristaldo. Sou grata por compartilhar esse momento com vocês e por ter a honra de receber tamanho conhecimento.

Agradeço a Universidade Federal de Pernambuco por ter me dado a possibilidade de conhecer pessoas incríveis e de viver tudo isso. Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal (PPGBA) da UFPE e também às agências de fomento CAPES e CNPq, pois me deram a oportunidade de um mestrado e de viver novas experiências longe de casa. Que a ciência resista!

Para concluir, eu agradeço a mim! Não somente a minha rotina mudou, mas eu também mudei. Vejo a vida de uma forma diferente e almejo coisas diferentes também. Ainda me orgulho muito de quem eu era, mas estou pronta para me orgulhar ainda mais do meu eu de agora e do futuro.

*A vida é boa pa' c****'*
Nem sei por que eu tô chorando
Eu tenho 20 e poucos anos
E não vou parar aqui
Eu sinto falta da minha casa
Minha mãe sente minha falta
Tudo bem!
Essa é a vida que eu escolhi
Desde pequeno
Falam que eu sou curioso
Quem me viu, quem me vê
Fala que eu nunca cresci
Não tenho medo de errar
Só medo de desistir
Mas tenho 20 e poucos anos
E não vou parar aqui...
(Ninguém me ensinou - Lagum, 2021)

RESUMO

A dispersão e colonização de novos habitats por ácaros tem sido amplamente atribuída à forésia, uma estratégia ecológica em que os indivíduos utilizam hospedeiros móveis para alcançar novos ambientes. Espécies foréticas de ácaros apresentam adaptações morfológicas especializadas que facilitam essa dispersão, incluindo estruturas de fixação e resistência, permitindo-lhes se fixar a diferentes hospedeiros, como o besouro *Rhynchophorus palmarum*, praga relevante em plantações de coco (*Cocos nucifera*) no Brasil. Esta espécie de besouro é responsável por ser vetor de patógenos letais para determinadas culturas, mas também atua como vetor de diferentes grupos de ácaros foréticos. No entanto, ainda são escassas as informações sobre a composição de acarofauna, seus padrões espaciais de distribuição sobre o besouro *R. palmarum* e a dinâmica populacional entre estes organismos. Com a necessidade de preencher essa lacuna, inúmeros indivíduos do besouro *R. palmarum* foram coletados em plantações de coco no Nordeste do Brasil, com a finalidade de investigar a diversidade, distribuição espacial e interações ecológicas dos ácaros foréticos associados a esta espécie de besouro. Nossos esforços revelaram a presença de 19 táxons distintos de ácaros associados ao besouro *R. palmarum*, destacando-se ácaros Uropodina e Astigmata, um número relativamente alto se comparado a estudos com ácaros em outras espécies de *Rhynchophorus*. A presença destes ácaros mostrou-se variável ou inédita dependendo do estado do Nordeste em que foi localizado. Novas espécies também foram descobertas. Os indivíduos acarinos foram registrados em diferentes regiões do corpo do besouro. O padrão de distribuição espacial dos ácaros sobre o corpo do besouro mostrou-se não aleatório, com grupos demonstrando maior preferência pela região do subélitro (região inferior do élitro), sugerindo possíveis mecanismos de coexistência ou exclusão para alguns táxons. Além disso, apesar do sexo e o porte corporal do hospedeiro não influenciarem a carga total de ácaros foréticos, o tamanho mostrou-se um fator determinante na variação da abundância de alguns grupos específicos de ácaros, como *Lasioseius* sp., *Macrocheles mammifer*, *Gamasina* sp1 e *Crenamargo binuseta*. De forma relevante, as populações do ácaro *Centrouropoda* sp. nov. (nova espécie ainda não descrita) apresentaram redução em resposta à presença dos ácaros *C. binuseta* e *Rhynchopolipus rhynchophori*, indicando possíveis interações de exclusão competitiva ou segregação de microhabitat entre as espécies. Estas descobertas são fundamentais para o reconhecimento da biodiversidade de ácaros associado ao besouro *R. palmarum*, mas também para a compreensão das interações ecológicas que moldam essa associação.

Palavras-chave: South American palm weevil; Curculionidae; Forésia; Uropodina; Astigmata.

ABSTRACT

The dispersal and colonization of new habitats by mites have been widely attributed to phoresy—an ecological strategy in which individuals use mobile hosts to reach new environments. Phoretic mite species exhibit specialized morphological adaptations that facilitate this dispersal, including attachment and resistance structures that allow them to cling to various hosts, such as the beetle *Rhynchophorus palmarum*, a significant pest in coconut (*Cocos nucifera*) plantations in Brazil. This beetle species is known not only as a vector of lethal pathogens affecting certain crops but also as a carrier of different groups of phoretic mites. However, information on the composition of mite fauna, their spatial distribution patterns on *R. palmarum*, and the population dynamics among these organisms remains limited. To address this knowledge gap, numerous *R. palmarum* individuals were collected from coconut plantations in northeastern Brazil with the aim of investigating the diversity, spatial distribution, and ecological interactions of phoretic mites associated with this beetle species. Our survey revealed 19 distinct mite taxa associated with *R. palmarum*, with Uropodina and Astigmata mites being particularly prominent—a relatively high number compared to studies involving mites on other *Rhynchophorus* species. The presence of these mites varied, or was previously unrecorded, depending on the state within the Northeast region where they were found. New species were also discovered. Mite individuals were found on different regions of the beetle's body. Their spatial distribution was non-random, with certain groups showing a marked preference for the subelytral region (the underside of the elytra), suggesting possible mechanisms of coexistence or exclusion among some taxa. Moreover, while the host's sex and overall body size did not affect total phoretic mite load, body size was a determining factor in the variation in abundance of specific mite groups, such as *Lasioseius* sp., *Macrocheles mammifer*, *Gamasina* sp. 1, and *Crenamargo binuseta*. Notably, populations of *Centrouropoda* sp. nov. (a new, yet undescribed species) declined in response to the presence of *C. binuseta* and *Rhynchopolipus rhynchophori*, indicating potential interactions involving competitive exclusion or microhabitat segregation among these species. These findings are essential not only for recognizing the mite biodiversity associated with *R. palmarum*, but also for understanding the ecological interactions that shape this symbiotic association.

Keywords: South American palm weevil; Curculionids; Phoresy; Uropodina; Astigmata.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2 OBJETIVOS	20
2.1 Objetivo geral	20
2.2 Objetivos específicos.....	20
REFERÊNCIAS	21
ARTIGO 1 – Acarofauna associada a <i>Rhynchophorus palmarum</i> L. (Coleoptera: Curculionidae) em coqueiros no Brasil: Novos registros e uma lista revisada	24
Resumo.....	25
Abstract.....	26
3 INTRODUÇÃO	27
4 METODOLOGIA	28
4.1 Locais de coleta	28
4.2 Coleta dos insetos.....	28
4.3 Coleta e identificação dos ácaros	29
4.4 Revisão da acarofauna associada a <i>Rhynchophorus palmarum</i>	31
5 RESULTADOS	31
5.1 Levantamento de campo	31
5.2 Levantamento bibliográfico	32
6 DISCUSSÃO	35
AGRADECIMENTOS	36
REFERÊNCIAS	36
ARTIGO 2 - Diversity, microhabitat use, and niche overlap of phoretic mites associated with <i>Rhynchophorus palmarum</i> L. in Brazil	39
Abstract.....	40
Resumo.....	41
7 INTRODUCTION.....	42
8 METHODOLOGY.....	43
8.1 Description of the sampling site and insect collection	43
8.2 Extraction of mite specimens	44
8.3 Mounting and identification of mite specimens.....	44
8.4 Data analysis.....	45

9 RESULTS	46
10 DISCUSSION	54
ACKNOWLEDGEMENTS.....	60
REFERENCES	60
ARTIGO 3 - Além da forésia: padrões ecológicos, efeitos de atributos do hospedeiro e dinâmica populacional em ácaros associados a <i>Rhynchophorus palmarum</i> L.....	64
Resumo.....	65
Abstract.....	66
11 INTRODUÇÃO	67
12 METODOLOGIA	68
12.1 Área de estudo e coleta de espécimes de <i>Rhynchophorus palmarum</i>	68
12.2 Morfometria dos insetos e extração dos espécimes acarinos	69
12.3 Montagem e identificação dos espécimes acarinos	69
12.4 Dinâmica populacional	69
12.5 Análise de dados	70
13 RESULTADOS	71
14 DISCUSSÃO	79
AGRADECIMENTOS	83
REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO GERAL

A forésia é uma interação interespecífica temporária, no qual um organismo menor (forético/foronte) se fixa a um outro organismo maior (o portador) para se dispersar (Camerik, 2010; Walter e Proctor, 2013; Seeman e Walter, 2023). Isto ocorre devido a necessidade do forético de se deslocar de um ambiente menos propício para um ambiente com melhores recursos, seja para alimentação, abrigo ou reprodução (Camerik, 2010; Walter e Proctor, 2013).

Inicialmente, a forésia incluía qualquer relação de transporte, incluindo interações intraespecíficas e interações não tróficas (Lesne, 1986). Entretanto, atualmente as definições de forésia excluem o transporte intraespecífico, as relações que envolvem parasitismo (mesmo que haja transporte temporário), bem como situações em que o organismo se desenvolve durante a forésia (Camerik, 2010; Walter e Proctor, 2013). Embora o objetivo do forético seja a dispersão, Seeman e Walter (2023) acreditam que o mecanismo de forésia pode resultar em algum tipo de impacto negativo para o portador, seja na dificuldade do movimento do portador ou na possibilidade de alimentação pelo forético. Por outro lado, Abbot e Dill (2001) mostram possíveis efeitos positivos da interação entre ácaros e besouros, como o caso do ácaro parasita *Chrysomelobia labidomerae* Eickwort (Acari: Podapolipidae) sobre o besouro *Labidomera clivicollis* (Kirby) (Coleoptera: Chrysomelidae). A espécie *C. labidomerae* poderia influenciar o comportamento do besouro macho de *L. clivicollis* para favorecer a própria dispersão. Em troca, o ácaro pode influenciar a taxa de reprodução do macho, uma vez que machos parasitados deslocam os machos rivais, obtendo assim maiores chances de cópula. Longo e Ragusa (2006) apontam que algo semelhante pode ocorrer na relação entre ácaros foréticos e besouros. Nesse caso, o ácaro *Centrouropoda almerodai* Hirschmann & Hiramatsu (Acari: Uropodidae) poderia influenciar a dispersão do besouro portador para hospedeiros saudáveis, contribuindo na dispersão de ambos. Outro estudo revela que o aumento da carga forética pode favorecer o fitness reprodutivo da fêmea, isso porque a fêmea gastaria mais energia para a prole atual (Hodgkin et al., 2010). Sendo assim, a relação destes ácaros com os vetores pode englobar mais tipos de interações ecológicas do que apenas comensalismo ou mutualismo, porém pouco tem sido considerado a respeito de interações do tipo parasitismo.

Em uma relação forética, o forético é geralmente pequeno, com baixa mobilidade e usa habitats ou recursos efêmeros e/ou amplamente dispersos (Bartlow e Agosta, 2021). Apesar de ser um comportamento frequentemente observado por vários organismos, sendo pelo menos 13 filos animais, 25 classes e 60 ordens (Bartlow e Agosta, 2021), pouco se sabe sobre a ecologia, evolução e os mecanismos exatos que antecedem a forésia (Camerik, 2010; Walter e Proctor, 2013; Bartlow e Agosta, 2021; Seeman e Walter, 2023). A maioria das espécies foréticas conhecidas são artrópodes em habitats terrestres, mas também ocorrem em ambientes de água doce e marinhos (Bartlow e Agosta 2021). Dentre estes, os insetos apresentam o maior número de organismos conhecidos que exibem esse comportamento, porém o grupo mais comumente associado a este comportamento é o dos ácaros (Camerik, 2010; Walter e Proctor, 2013). Os ácaros apresentam um conjunto diversificado de características morfológicas e comportamentais usadas para localizar, fixar e desprender-se de seus portadores (Camerik, 2010; Walter e Proctor, 2013; Bartlow e Agosta, 2021; Seeman e Walter, 2023) e são conhecidos por usar uma ampla gama de hospedeiros de dispersão, incluindo morcegos, mamíferos não voadores, pássaros, moscas, abelhas, vespas, formigas e besouros (Bartlow e Agosta 2021; Seeman e Walter 2023).

Os estudos sobre evolução e ecologia de ácaros foréticos seguem sem respostas muito concretas, principalmente devido às dificuldades encontradas na filogenia do grupo, embora avanços recentes tenham contribuído significativamente para o aprimoramento desse cenário (Seeman e Walter, 2023). No grupo dos ácaros, os indivíduos responsáveis pela realização da forésia são adultos e/ou deutoninfas especializadas, frequentemente vistos em ácaros Uropodina e Astigmata (Seeman e Walter, 2023). A forésia pode ser classificada em dois subtipos: forésia acidental ou facultativa, na qual o ácaro pode ser visto ocasionalmente sendo transportado por indivíduos maiores (Athias-Binche, 1984; Camerik, 2010); e forésia obrigatória, no qual o ácaro obrigatoriamente realiza forésia como parte importante do seu ciclo de vida (Camerik, 2010). Ainda dentro da forésia obrigatória, esta pode ser dividida em forésia obrigatória frequente (em que o forético precisa realizar a forésia de forma regular devido à natureza efêmera do habitat) e infrequente (em que a forésia

ocorre apenas ocasionalmente, pois o habitat é mais estável) (Camerik, 2010). Atualmente, o grande desafio dos pesquisadores é descobrir padrões foréticos, possíveis custos aos hospedeiros e as possibilidades de transições parasitárias (Houck e Cohen, 1995; Longo e Ragusa, 2006; El-Sharabasy, 2010; Seeman e Walter, 2023).

Os besouros do gênero *Rhynchophorus* Herbst (Coleoptera: Curculionidae), conhecidos como gorgulhos das palmeiras, são considerados as principais pragas de culturas da família Arecaceae (Ferreira et al., 2014). O gênero inclui dez espécies descritas, dentre as quais três ocorrem nas Américas (Ambrogi et al., 2009; Ferreira et al., 2014). No Brasil, a espécie conhecida é *Rhynchophorus palmarum* L., também conhecida como broca-do-olho-do-coqueiro (Negrisoli Júnior et al., 2011). Este inseto é considerado praga-chave da cocoicultura (*Cocos nucifera* L.) em diversos países do continente americano, incluindo o Brasil (Ferreira et al., 2002), pois a sua larva alimenta-se do coqueiro, podendo levar a morte de plantas jovens e adultas (Griffith, 1968; Sánchez e Cerda, 1993; Ferreira et al., 2002). O adulto de *R. palmarum* é responsável por ser o principal transmissor do nematoide *Bursaphelenchus cocophilus* (Cobb) Baujard (Nematoda: Aphelenchidae), agente causal da doença letal conhecida como anel-vermelho-do-coqueiro (Ferreira et al., 2002), e do fungo *Thielaviopsis paradoxa* (De Seynes) Höhn. causador da resinose do coqueiro (Parra et al., 2003). Além de transportar estes patógenos, o besouro *R. palmarum* também é relatado transportando ácaros, embora os relatos sejam escassos na literatura.

Apesar de publicações, estas limitam-se ao relato da ocorrência do fenômeno como é o caso da dispersão de ácaros através de adultos de *R. palmarum*. Atualmente, grande parte das investigações sobre ácaros foréticos associados a espécies do gênero *Rhynchophorus* concentra-se em *R. ferrugineus* (Olivier) (Al-Deeb et al., 2011; Mazza et al., 2011; Dilipkumar et al., 2015; Farahani et al., 2016; Monzenga Lokela et al., 2021; Matos et al., 2023). Estas pesquisas são impulsionadas pela necessidade de compreender os organismos que este besouro pode transportar e seu potencial impacto ecológico e econômico. Tal foco se justifica pelo status de *R. ferrugineus* como praga agrícola invasora, cuja rápida expansão geográfica em diferentes regiões do mundo nas últimas décadas tem levantado preocupações quanto à sua

capacidade de disseminar organismos associados, incluindo ácaros (Murphy e Briscoe, 1999). Enquanto isso, para outras espécies de besouros deste gênero, poucos estudos são realizados, sendo vistos em *R. phoenicis* Fabricius e *R. vulneratus* (Panzer) (Husband e OConnor, 1999; Murphy e Briscoe, 1999; Kontschán et al., 2012; Monzenga Lokela et al., 2021).

Gómez-Marco et al. (2021) realizaram um estudo para investigar a acarofauna associada a esta espécie na Califórnia, Estados Unidos da América, região recentemente colonizada por *R. palmarum*, sendo relatadas apenas três espécies de ácaros aderidas ao corpo do inseto: *Centrouropoda* sp. nov., *Dinychus* sp. nov. (ambas novas espécies não descritas) e *Fuscuropoda marginata* (Koch) (Parasitiformes: Uropodina). No Panamá, Rodríguez-Morell et al. (2012) relataram a presença de duas espécies acarinas associadas a *R. palmarum*, sendo elas *C. almerodai* e *Glyphtholaspis* sp. Filipponi y Pegazzano (Acari: Macrochelidae). Não há estudo semelhante no Brasil, até o momento, há apenas o relato de ocorrência de duas espécies foréticas de ácaros associadas ao besouro *R. palmarum* sendo elas: *Rhynchopolipus rhynchophori* (Ewing) (Acari: Podapolipidae) (Husband e Flechtmann, 1972; Di Palma e Porcelli, 2014) e uma espécie pertencente à família Diplogyniidae (Flechtmann, 1981; Negrisoni Júnior et al., 2011).

De acordo com alguns estudos anteriores, nota-se que há um padrão não aleatório na distribuição dos ácaros no seu hospedeiro, sugerindo a influência de fatores biológicos na ocupação diferencial das regiões corporais. Esta organização estruturada aponta para a coexistência de múltiplas espécies, com indícios de segregação ou sobreposição de nicho (Holt, 2009; Matos et al., 2023). Tais padrões reforçam a hipótese de que o corpo do hospedeiro atua como um microhabitat particionado (Rohde, 1984; Matos et al., 2023). Estudos relacionados a preferência de fixação dos ácaros foréticos em relação ao sexo de *R. ferrugineus* mostram ainda uma leve variação nas respostas obtidas. Alguns relatam que os ácaros tendem a preferir besouros machos, sugerindo que estes possuem um tamanho maior, sendo possível abrigar mais ácaros (Dilipkumar et al., 2015); outros relatam não haver diferença significativa nessa escolha (Matos et al., 2023). Entretanto, em um estudo realizado com o besouro

R. palmarum, Gómez-Marco et al. (2021) demonstrou que machos com grandes cargas foréticas apresentaram uma leve diminuição na largura do pronoto.

Embora já se saiba da interação existente entre *R. palmarum* e ácaros foréticos, a composição e diversidade dos ácaros associados a esse besouro permanecem pouco exploradas, principalmente em território brasileiro. Esse conhecimento limitado impede uma compreensão mais ampla das relações ecológicas e dos potenciais impactos que esses ácaros podem ter na biologia e comportamento de *R. palmarum*, além de suas possíveis implicações econômicas, considerando a relevância do besouro como praga agrícola. Nesse sentido, pesquisas sobre a história de vida desses ácaros aliados com estudos sobre os besouros são cruciais para o entendimento e solidificação do conceito de forésia e possível transição com parasitismo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Caracterizar a acarofauna forética associada a *Rhynchophorus palmarum* em áreas adjacentes a cultivos de coqueiro no Nordeste do Brasil e compreender os padrões ecológicos que estruturam essa interação, com ênfase na diversidade de espécies, no uso diferencial de microhabitats, nas relações interespecíficas e nos fatores que modulam a abundância e dinâmica populacional dos ácaros foréticos.

2.2 Objetivos específicos

- Inventariar a acarofauna forética associada a *Rhynchophorus palmarum* em diferentes estados da região Nordeste, destacando associações e registros inéditos;
- Avaliar a distribuição espacial dos ácaros no corpo do hospedeiro e identificar se há padrões de preferência por regiões específicas, testando hipóteses de sobreposição ou segregação de nicho;
- Verificar se atributos morfológicos do hospedeiro (sexo, tamanho corporal) influenciam a composição e abundância dos ácaros associados;
- Investigar como fatores abióticos (ex.: temperatura, umidade) e bióticos (demais espécies associadas) influenciam a dinâmica populacional do principal táxon de ácaro forético ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

- Abbot, P., & Dill, L.M. (2001). Sexually transmitted parasites and sexual selection in the milkweed leaf beetle, *Labidomera clivicollis*. – OIKOS 92, 91–100. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.920111.x>
- Al-Deeb, M.A., Muzaffar, S.B., Abuagla, A.M., & Sharif, E.M. (2011). Distribution and abundance of phoretic mites (Astigmata, Mesostigmata) on *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae). FI Entomol. 94 (4): 748–755. <https://doi.org/10.1653/024.094.0403>
- Ambrogi, B.G., Vidal, D.M., & Zarbin, P.H.G. (2009). Feromônios de agregação em Curculionidae (Insecta: Coleoptera) e sua implicação taxonômica. Quim. Nova. 32 (8): 2151-2158. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000800029>
- Athias-Binche, F. (1984). La phorésie chez les acariens uropodides (Anactinotriches), une stratégie écologique originale. Acta Ecol. Ecol. Gen. 5, 119–33.
- Bartlow, A.W., & Agosta, S.J. (2021). Phoresy in animals: review and synthesis of a common but understudied mode of dispersal. Biol. Rev. 96, 223–46. <https://doi.org/10.1111/brv.12654>
- Camerik, A.M. (2010). Phoresy revisited. In Trends in Acarology, ed. M Sabelis, J Bruin, pp. 333–36. Berlin:Springer. https://doi.org/10.1007/978-90-481-9837-5_53
- Di Palma, A., & Porcelli, F. (2014). Illustration of some Morphological Features Important for Identification of *Rhynchopolipus rhynchophori* (Ewing) (Acari: Podapolipidae). Acarina 22 (2): 92–99.
- Dilipkumar, M., Ahadiyat, A., Mašán, P., & Chuah, T.S. (2015). Mites (Acari) associated with *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) in Malaysia, with a revised list of the mites found on this weevil. J Asia-Pac Entomol. 18, 169–174. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2014.12.010>
- El-Sharabasy, H.M. (2010). A survey of mite species associated with the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) in Egypt. Egypt. J. Biol. Pest Control. 20 (1): 67–70.
- Farahani, V.R.F., Ahadiyat, A., Mašán, P., & Dehvari, M.A. (2016). Phoretic uropodine mites (Acari: Mesostigmata) associated with the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) in Iran. J. Entomol. Acarol. Res. 48, 317–322. <https://doi.org/10.4081/jeur.2016.5853>
- Ferreira, J.M.S., Araújo, R.P.C., & Sarro, F.B. (2002). Táticas de manejo das pragas. In: Ferreira JMS (Ed.). Coco, fitossanidade. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. 136, 83-106. (Frutas do Brasil, 28).
- Ferreira, J.M.S., Teodoro, A.V., Negrisoli Júnior, A.S., & Guzzo, E.C. (2014). Manejo integrado da broca-do-olho-do-coqueiro *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae). Comunicado Técnico EMBRAPA, Aracaju-SE, ISSN 1678-1937.

- Flechtmann, C.H.W. (1981). New records of mites from Brasil, with description of two new species in the genus *Oligonychus* Berlese (Acari, Tetranychidae). *Rev Brasil Biol.*, 41(4): 861-866.
- Gómez-Marco, F., Klompen, H., & Hoddle, M.S. (2021). Phoretic mite infestations associated with *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae) in southern California. *Syst Appl Acarol.* 26 (10): 1913–1926. <https://doi.org/10.11158/saa.26.10.6>
- Griffith, R. (1968). The relationship between the red ring nematode and the palm weevil. *J. Agric. Soc. Trinidad and Tobago* 68, 342-356.
- Hodgkin, L., Elgar, M.A., & Symonds, M.R.E. (2010). Positive and negative effects of phoretic mites on the reproductive output of an invasive bark beetle. *Australian Journal of Zoology*, 58 (3): 198–204.
- Holt, R.D. (2009). Bringing the Hutchinsonian niche into the 21st century: Ecological and evolutionary perspectives. *Proc Sci. USA* 106 (suplemento_2): 19659-19665. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905137106>
- Houck, M.A., & Cohen, A.C. (1995). The potential role of phoresy in the evolution of parasitism: radiolabelling (tritium) evidence from an astigmatid mite. *Exp Appl Acarol.* 19, 677–94. <https://doi.org/10.1007/BF00052079>
- Husband, R.W., & Flechtmann, C.H.W. (1972). A new genus of mite, *Rhynchopolipus*, associated with the palm weevil in Central and South America (Acarina, Podapolipodidae). *Rev Bras Biol.* 32 (4): 519–522.
- Husband, R.W., & Oconnor, B.M. (1999). Two new ectoparasitic mites (Acari: Podapolipidae) of *Rhynchophorus* spp. (Coleoptera: Curculionidae) from Indonesia, Malaysia, the Philippines and West Africa. *Int. J. Acarol.* 25, 101–110. <https://doi.org/10.1080/01647959908683621>
- Kontschán, J.; Tambe, J.T., & Riolo, P. (2012). *Uroobovella phoenicicola* sp. n., a new Uropodina mite (Acari: Mesostigmata) associated with the African palm weevil (*Rhynchophorus phoenicis* Fabricius, 1801) from Cameroon. *Afr. Invertebr.* 53, 593–600. <https://doi.org/10.5733/afin.053.0205>
- Lesne, P. (1986). Moeurs du *Limosina sacra* Meig. [Dipt.]. Phénomènes de transport mutuel chez les animaux articulés. Origine du parasitisme chez les Insectes diptères. *Bull. Soc. Entomol. Fr.* 1, 162–65.
- Longo, S., & Ragusa, S. (2006). Presenza e diffusione in Italia dell'acaro *Centrouropoda almerodai* (Uroactiniinae Uropodina). *Boll. Zool. Agr. Bachic.* (Ser. II), 38, 265–269.
- Matos, I., Silva, D., Oliveira, J., Gonçalves, C., Alves, R., Pereira, N., Catarino, F., Ameixa, O.M.C.C., Souza, J.A., Rangel, L.F., Santos, M.J., & Ayra-Pardo, C. (2023). Body size-dependent effects on the distribution patterns of phoretic mite species assemblages on *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790). *Ecol Evol.* <https://doi.org/10.1002/ece3.10338>
- Mazza, G., Cini, A., Cervo, R., & Longo, S. (2011). Just phoresy? Reduced lifespan in red palm weevils *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) infested by the mite *Centrouropoda almerodai* (Uroactiniinae:

- Monzenga Lokela, J.C., Le Goff, G.J., Kayisu, K., & Hance, T. (2021). Phoretic mites associated with *Rhynchophorus phoenicis* Fabricius (1880) (Coleoptera: Curculionidae) in the Kisangani region, D.R. Congo. *Acarology* 61 (2): 291-296. <https://doi.org/10.24349/acarologia/20214431>
- Murphy, S.T., & Briscoe, B.R. (1999). The red palm weevil as an alien invasive: Biology and the prospects for biological control as a component of IPM. *Biocontrol News Inf.* 20, 35–46.
- Negrisoli Junior, A.S., Silva, E.S., Negrisoli, C.R.C.B.; dos Santos, N.L., & Guzzo, E.C. (2011). Criação em laboratório da broca-do-olho-do-coqueiro *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae) visando pesquisas para o controle das suas larvas. Embrapa Tabuleiros Costeiros-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).
- Parra, D., Morillo, F., Sánchez, P., Pineda, J., & Guerra, J. (2003). Presencia de *Thielaviopsis paradoxa* De Seynes Höhn en el tubo digestivo de *Rhynchophorus palmarum* Linneo (Coleoptera:Curculionidae). *Entomotropica*, 18 (1): 49-55.
- Rodríguez-Morell, H., Quirós-Mc Intire, E.I., Domingo-Quirós, A.E., Chico-Morejón, R., & Porcelli, F. (2012). Presencia de *Centrouropoda almerodai* y *Glyptholaspis* sp. (Acari: Uropodina, Macrochelidae) sobre el picudo negro del cocotero (*Rhynchophorus palmarum*) (Coleoptera: Curculionidae) en Panamá. *Métodos Ecol Sist.*, 7, 1–7.
- Rohde, K. (1984). Ecology of marine parasites. *Helgol Meeresunters.* 37, 5–33. <https://doi.org/10.1007/BF01989293>
- Sánchez, P.A., & Cerda, H. (1993). El complejo *Rhynchophorus palmarum* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) - *Bursaphelenchus cocophilus* (Cobb) (Tylenchida: Aphelenchoididae), em palmeras. *Bol. Entomol. Venez.* 8, 1-18.
- Seeman, O., & Walter, D.E. (2023). Phoresy and Mites: More than just a free ride. *Annu. Rev Entomol.* 68 (1): 69-88. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120220-013329>.
- Walter, D.E., & Proctor, H.C. (2013). *Mites: Ecology, Evolution and Behaviour*. Berlin: Springer. 2nd ed. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7164-2>

ARTIGO 1 – Acarofauna associada a *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae) em coqueiros no Brasil: Novos registros e uma lista revisada

Maria Beatriz Nunes de Souza¹, Hans Klompen², Vinicius Borges da Silva³, Raphael de Campos Castilho³, Marina Ferraz de Camargo Barbosa³, José Wagner da Silva Melo¹

¹*Laboratório de Acarologia, Departamento de Zoologia, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil*

²*Department of Evolution, Ecology, and Organismal Biology, The Ohio State University, Columbus OH 43212, USA*

³*Laboratório de Acarologia, Departamento de Entomologia e Acarologia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil*

Resumo

A broca-do-olho-coqueiro, *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae), é considerada praga-chave de palmeiras, não só pelos danos diretos causados pela alimentação de suas larvas, mas também pela capacidade de carrear fitopatógenos letais. Além dos fitopatogênicos, diversos organismos não danosos às palmeiras utilizam *R. palmarum* como meio de transporte, dentre eles várias espécies de ácaros. Apesar da ampla associação forética entre ácaros e este inseto, o conhecimento sobre sua acarofauna associada, particularmente em sua região de origem (América), permanece limitado. Este estudo teve como objetivo caracterizar as espécies de ácaros foréticos associadas a *R. palmarum* em cultivos de coqueiro (*Cocos nucifera*) no Nordeste do Brasil e integrar esses achados com uma revisão sistemática da literatura global existente sobre essa interação. Indivíduos de *R. palmarum* foram coletados em oito diferentes estados produtores de coco no Nordeste do Brasil, e os ácaros associados foram posteriormente extraídos, montados e identificados. Concomitantemente, uma revisão sistemática da literatura foi realizada em bases de dados científicas. No levantamento de campo foram identificados 19 táxons de ácaros, sendo 13 associações inéditas para *R. palmarum*. O ácaro *Centrouropoda* sp. nov. (espécie nova ainda não descrita) destacou-se como o táxon mais abundante e geograficamente difundido. A revisão bibliográfica simultânea ressaltou a escassez de estudos formais prévios (n=7), predominantemente descritivos. Os achados do presente estudo reforçam a prevalência de associações com Uropodina e famílias como Diplogyniidae, Macrochelidae e Podapolipidae, enquanto expandem significativamente a diversidade conhecida e clarificam e/ou reforçam certas ambiguidades taxonômicas de relatos anteriores. Esta pesquisa fornece a caracterização mais abrangente e atualizada da acarofauna associada a *R. palmarum*.

Palavras-chave: Forésia; Broca-do-olho-coqueiro; Diversidade; Interação ácaro-inseto.

Abstract

The South American palm weevil, *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae), is considered a key pest of palm trees, not only due to the direct damage caused by larval feeding but also because of its ability to transmit lethal phytopathogens. In addition to these plant pathogens, several non-harmful organisms also use *R. palmarum* as a means of transportation, including various mite species. Despite the widespread phoretic association between mites and this insect, knowledge of its associated mite fauna, particularly in its native range (the Americas), remains limited. This study aimed to characterize the phoretic mite species associated with *R. palmarum* in coconut (*Cocos nucifera*) plantations in northeastern Brazil and to integrate these findings with a systematic review of the global literature on this interaction. Individuals of *R. palmarum* were collected from eight coconut-producing states in northeastern Brazil, and associated mites were subsequently extracted, mounted, and identified. Concurrently, a systematic literature review was conducted using scientific databases. The field survey identified 19 mite taxa, 13 of which represent previously unrecorded associations with *R. palmarum*. *Centrouropoda* sp. nov. (a new, undescribed species) stood out as the most abundant and geographically widespread taxon. The literature review highlighted the scarcity of prior formal studies (n = 7), most of which were descriptive in nature. The findings of this study reinforce the prevalence of associations with Uropodina and families such as Diplogyniidae, Macrochelidae, and Podapolipidae, while significantly expanding the known diversity and clarifying or reinforcing certain taxonomic ambiguities found in previous reports. This research provides the most comprehensive and up-to-date characterization of the mite fauna associated with *R. palmarum* to date.

Keywords: Phoresy; South American palm weevil; Diversity; Mite-insect interaction.

3 INTRODUÇÃO

O besouro *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae) é amplamente conhecido como a principal praga de palmeiras nas Américas (Wattanapongsiri, 1966; Ferreira et al., 2002; Löhr et al., 2015). Sua importância econômica está relacionada não apenas aos danos diretos causados pelas larvas, que se alimentam do meristema apical das palmeiras, comprometendo seu crescimento e estrutura, mas também à sua capacidade de transportar organismos patogênicos, como por exemplo o nematoide *Bursaphelenchus cocophilus* (Cobb) Baujard (Nematoda: Aphelenchidae), agente causal da doença do anel-vermelho, e o fungo *Thielaviopsis paradoxa* (De Seynes) Höhn. (Microascales: Ophiostomataceae), agente causal da resinose do estipe do coqueiro (Hagley, 1965; Griffith, 1968; Parra et al., 2003).

Além desses agentes fitopatogênicos, outros organismos utilizam *R. palmarum* como meio de transporte, entre eles várias espécies de ácaros. A associação entre ácaros e besouros do gênero *Rhynchophorus* é predominantemente do tipo forética, uma interação de curta duração em que um organismo menor utiliza o corpo de um hospedeiro maior para dispersão (Seeman e Walter, 2023). Tal estratégia é amplamente documentada em ambientes que impõem barreiras físicas à locomoção dos ácaros, como ocorrem nas palmeiras cultivadas. Estudos recentes indicam que esses ácaros podem se alojar em regiões específicas do corpo do hospedeiro, como o espaço subelital, com implicações potenciais na fisiologia e comportamento do besouro (Mazza et al., 2011; Gómez-Marco et al., 2021; Hoddle et al., 2024). Embora a forésia seja considerada uma relação neutra, alguns trabalhos indicam possíveis impactos negativos sobre o hospedeiro, como redução da longevidade ou da fecundidade (Hodgkin et al., 2010; Mazza et al., 2011).

Apesar da importância potencial dessa interação, o conhecimento sobre a acarofauna associada a *R. palmarum* ainda é escasso. No Brasil, país que se insere na provável região de origem de *R. palmarum* e concentra populações nativas bem estabelecidas dessa espécie, os registros existentes são escassos e dispersos. Estão disponíveis apenas quatro menções na literatura: representantes da família Diplogyniidae (Flechtman, 1981; Negrisoli Júnior et al., 2011) e a espécie *Rhynchopolipus rhynchophori* (Ewing) (Acari:

Podapolipidae) (Husband e Flechtmann, 1972; Di Palma e Porcelli, 2014). No entanto, nenhum desses estudos teve como foco principal a caracterização da acarofauna forética.

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivos (i) realizar um levantamento das espécies de ácaros foréticos associados a *R. palmarum* em diferentes estados da região Nordeste do Brasil (onde se concentra a maior produção de coco (IBGE, 2025)), e (ii) revisar os registros disponíveis na literatura científica sobre a acarofauna associada a esse hospedeiro. Ao integrar dados de campo e informações bibliográficas, esta pesquisa busca oferecer uma visão abrangente e atualizada sobre essas associações, contribuindo para o avanço do conhecimento ecológico e taxonômico das interações entre ácaros e insetos vetores em agroecossistemas tropicais.

4 METODOLOGIA

4.1 Locais de coleta

O estudo foi conduzido em oito estados com áreas agrícolas destinadas a cultura de coqueiro, todas presentes na região Nordeste do Brasil, sendo uma coleta por estado. Detalhes das áreas de coletas são apresentadas na Figura 1.

4.2 Coleta dos insetos

Em cada local foi estabelecido um número padrão de 20 besouros a serem coletados. Os espécimes de *R. palmarum* foram coletados com o auxílio de armadilhas artesanais confeccionadas de acordo com a metodologia proposta por Ferreira et al. (2002). As armadilhas foram constituídas por recipientes de polietileno (baldes) com capacidade de 1,5L com um orifício na tampa para a entrada dos besouros. No interior de cada recipiente foi fixado um microtubo contendo feromônio de agregação sintético específico para *R. palmarum* (rincoforol, 6-metil-2-(E)-hepten-4 ol, Interacta Química) e colmos de cana-de-açúcar semimacerados que serviram como atrativo alimentar. Quatro armadilhas foram instaladas por área experimental, posicionadas próximas ao estipe das plantas e distribuídas aleatoriamente nas áreas. As armadilhas permaneceram no campo por um período de 96 horas. Esse procedimento foi repetido até a obtenção da quantidade de espécimes de *R. palmarum*/área experimental preestabelecidos. Todos os espécimes coletados foram armazenados

individualmente em tubos Falcon (50 mL), transportados para o Laboratório de Acarologia da UFPE e armazenados a -30°C.

4.3 Coleta e identificação dos ácaros

No laboratório, todos os ácaros aderidos ao corpo dos insetos foram coletados com o auxílio de pincel de cerdas finas, pinça e escalpelo, e preservados em álcool (70%). Espécimes esclerotizados foram submetidos à clarificação em solução Nesbit por sete dias (Krantz e Walter, 2009). Espécimes pouco esclerotizados foram montados diretamente em um conjunto de lâmina, lamínulas e com o meio Hoyer (Krantz e Walter, 2009). Em seguida, as lâminas foram armazenadas em estufas de secagem a 50°C por sete dias. Posteriormente, as lamínulas foram vedadas às lâminas com verniz vitral (Acrilex®), e após secagem foram observadas em microscópio com contraste de fase Olympus® modelo BX41, para identificação ao menor nível taxonômico possível.

Os ácaros foram identificados com base na literatura existente (Krantz e Walter, 2009; Di palma e Porcelli, 2014) e sempre que necessário foram também enviadas a especialistas em táxons específicos para confirmação das identificações. As lâminas foram depositadas na Coleção Acarológica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil.

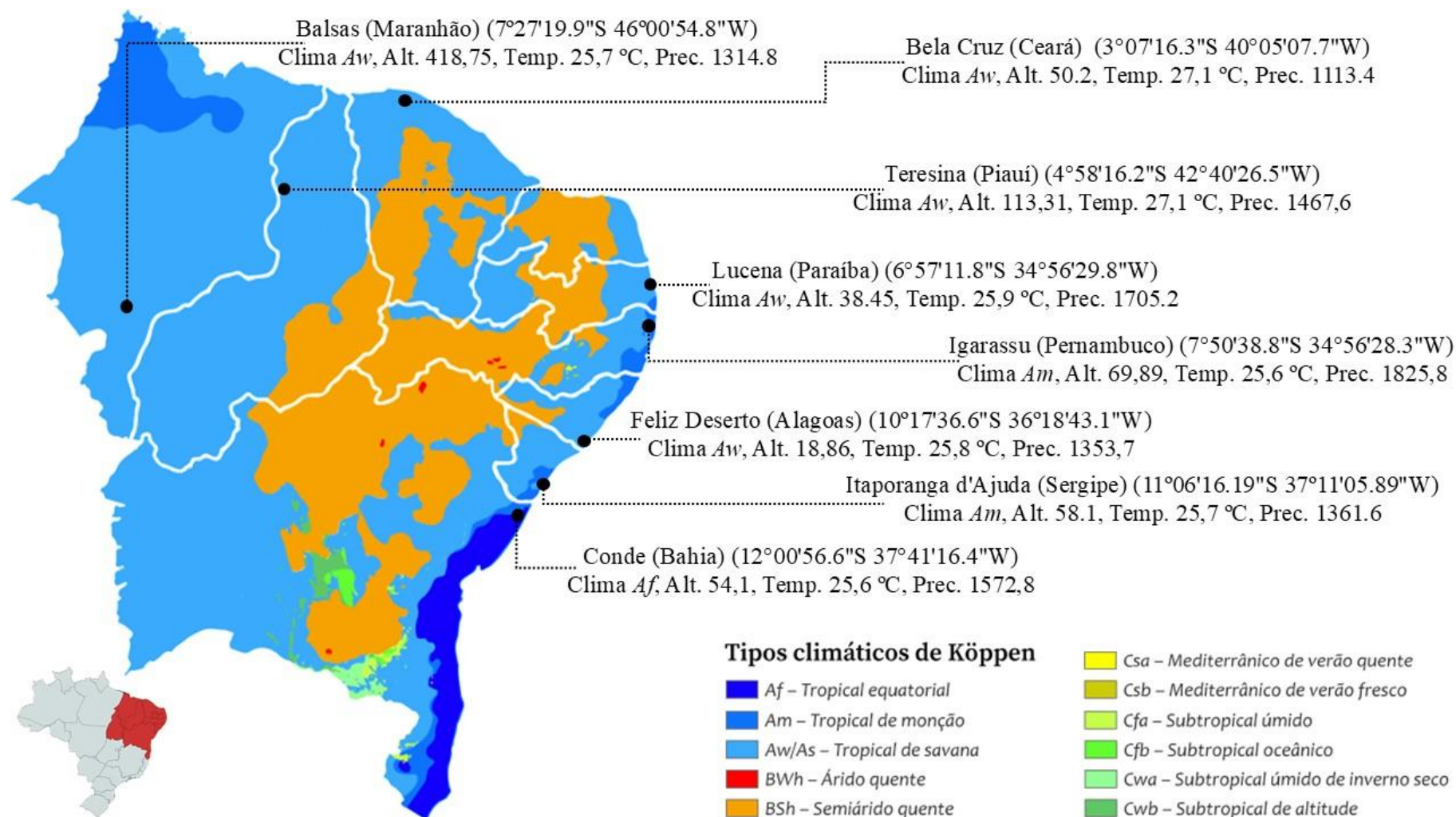


Figura 1. Locais de coleta de besouros *Rhynchophorus palmarum* e informações das variáveis ambientais extraídas da base de dados Köppen Brasil, disponível em: <https://koppenbrasil.github.io/>

4.4 Revisão da acarofauna associada a *Rhynchophorus palmarum*

Com o objetivo de fornecer um panorama mais abrangente da diversidade e distribuição dos ácaros associados ao besouro *R. palmarum*, foi realizado um levantamento bibliográfico em três bases de dados: Scopus, Web of Science e Google Scholar. As buscas iniciaram em janeiro de 2025 utilizando os seguintes termos-chave, combinados por operadores booleanos: “mite”, “acari” e “phoresy” com “*Rhynchophorus palmarum*” e “palm weevil”, além de todas essas combinações e “associated/association” juntas e suas correspondências em inglês, português e espanhol. As buscas incluíram publicações de qualquer ano até junho de 2025.

A seleção dos estudos foi realizada em duas etapas: na primeira, os títulos e resumos foram analisados para verificação da pertinência; na segunda, os textos completos dos artigos potencialmente relevantes foram examinados para confirmar se continham registros explícitos de ácaros associados a *R. palmarum*, seja como foréticos, parasitas, predadores, comensais ou habitantes do corpo ou dos ambientes ocupados pelo besouro. Não foram aplicadas restrições quanto ao idioma ou ao período de publicação.

Além dos resultados recuperados diretamente pelas palavras-chave, também foi adotada a técnica de busca por referências cruzadas (snowballing), com análise das listas bibliográficas dos artigos inicialmente selecionados, permitindo a inclusão de registros adicionais. Todas as espécies de ácaros mencionadas como associadas ao besouro foram listadas com suas respectivas fontes.

5 RESULTADOS

5.1 Levantamento de campo

O levantamento de campo resultou na identificação de 19 táxons de ácaros associados a *R. palmarum*, indicados como Souza et al.* na Tabela 1.

A espécie mais abundante foi *Centrouropoda* sp. nov. (Acari: Uropodina s.l., espécie nova ainda não descrita), com mais de 37 mil indivíduos registrados, presente em todos os estados amostrados, com destaque para Pernambuco (10.585) e Sergipe (9.179). O táxon Uropodina sp1 também apresentou elevada abundância, especialmente nos estados do Ceará (4.860), Paraíba (4.362) e

Sergipe (3.184), com quase 20 mil indivíduos. Outros táxons amplamente distribuídos e expressivos em abundância incluíram *Curculanoetus* sp. Fain (Astigmata: Histiotomatidae), *Dinychus* sp. nov. (Mesostigmata: Dinychidae, espécie nova ainda não descrita) e espécimes da família Trematuridae sp. (1 morfoespécie). Alguns táxons apresentaram ocorrência mais localizada e com menor abundância, como da família Uropodidae sp. (1 morfoespécie), *Crenamargo binuseta* Hicks (Mesostigmata: Diplogyniidae), espécimes de Gamasina sp. (1 morfoespécie), *Fuscuropoda marginata* (Koch) (Mesostigmata: Urodinychidae), *Lasioseius* sp. Berlese (Mesostigmata: Blattisociidae), representantes da família Acaridae sp. (1 morfoespécie), *Macrocheles mammifer* Berlese e *Macrocheles* sp. nov. (Mesostigmata: Macrochelidae, espécie nova ainda não descrita). Espécies de ocorrência mais restrita incluíram *Tarsonemus* sp. Canestrini and Fanzago (Heterostigmatina: Tarsonemidae), espécimes de Melicharidae sp. (1 morfoespécie), Digamasellidae sp. (1 morfoespécie) e Uropodina sp2 (1 morfoespécie), sendo observadas exclusivamente na Bahia, e *Histiostoma* sp. Kramer (Astigmata: Histiotomatidae), observadas na Bahia e Sergipe. A espécie de ácaro *R. rhynchophori* (Ewing) (Heterostigmata: Podapolipidae), ácaro ectoparasita, foi registrado em todos os estados, com maior abundância na Bahia e Piauí.

5.2 Levantamento bibliográfico

Apenas 7 publicações relatam formalmente a ocorrência de ácaros associados a *R. palmarum*, abrangendo registros na América Central, América do Sul e Estados Unidos (Tabela 1). A maioria dessas publicações (seis) são de natureza observacional ou taxonômica.

O estudo mais recente, conduzido por Gómez-Marco et al. (2021), relatou a ocorrência de três espécies de Uropodina associadas a adultos de *R. palmarum* coletados na Califórnia (EUA): *Centrouropoda* sp. nov., *Dinychus* sp. nov. (ambas espécies novas não descritas) e *F. marginata*. No Panamá, Rodríguez-Morell et al. (2012) relataram a ocorrência de *Centrouropoda almerodai* Hiramatsu e Hirschmann e *Glyphtholaspis* sp. Filipponi y Pegazzano sobre *R. palmarum*, porém revisões posteriores indicam que essas identificações podem estar incorretas: *C. almerodai* possivelmente corresponde a *Centrouropoda* sp. nov., segundo Gómez-Marco et al. (2021), e *Glyphtholaspis* sp.

trata-se, provavelmente, de *M. mammifer*, conforme sugerido por Dilipkumar et al. (2015). Hicks (1958) descreveu o ácaro *C. binuseta* associada a *R. palmarum* coletados na Nicarágua. Husband e Flechtmann (1972) descreveram o ácaro *R. rhynchophori* associada ao besouro *R. palmarum* coletados no Panamá, Brasil e Nicarágua, posteriormente Di Palma e Porcelli (2014) contribuíram com ilustrações detalhadas para identificação do ácaro *R. rhynchophori* coletados sobre o besouro *R. palmarum* no Brasil. Flechtmann (1981) e Negrisoli et al. (2011) mencionaram a presença de ácaros da família Diplogyniidae aderidos ao corpo de adultos de *R. palmarum* coletados no Brasil. Este último é um documento de natureza técnica, sem identificação ao nível de espécie, mas destaca a possível implicação dos estágios imaturos como predadores de ovos e larvas do besouro em ambiente de criação laboratorial.

Em conjunto, esses estudos revelam que as espécies de ácaros mais frequentemente relatadas em associação com *R. palmarum* pertencem principalmente às famílias de Macrochelidae, Diplogyniidae, Podapolipidae e ao grupo Uropodina. A maioria das associações descritas refere-se à forésia, embora algumas interações potenciais (como parasitismo ou oportunismo trófico) tenham sido sugeridas. Os táxons registrados, suas localidades e referências correspondentes foram adicionadas a Tabela 1.

Tabela 1. Ácaros associados a *Rhynchophorus palmarum* relatados neste estudo (Souza et al.*) e em estudos anteriores.

Táxons			Local	Referência
Trigynaspida	Diplogyniidae	<i>Crenamargo binuseta</i> Hicks, 1958	Brasil, Nicarágua	Hicks (1958), Flechtmann (1981), Negrisoli Júnior et al. (2011), Souza et al.*
Heterostigmata	Podapolipidae	<i>Rhynchopolipus rhynchophori</i> (Ewing)	Panamá, Nicarágua, Brasil	Husband e Flechtmann (1972), Di palma e Porcelli (2014), Souza et al.*
	Tarsonemidae	<i>Tarsonemus</i> sp. Canestrini and Fanzago	Brasil	Souza et al.*
Uropodina		Uropodina sp1	Brasil	Souza et al.*
		Uropodina sp2	Brasil	Souza et al.*
	Urodinychidae	<i>Fuscuropoda marginata</i> (Koch)	EUA, Brasil	Gómez-Marco et al (2021), Souza et al.*
	Uropodidae	Uropodidae sp.	Brasil	Souza et al.*
	Uropodidae	<i>Centrouropoda</i> sp. nov.**	EUA, Brasil	Gómez-Marco et al (2021), Souza et al.*
		<i>Centrouropoda almerodai</i> ¹ Hiramatsu e Hirschmann	Panamá	Rodríguez-Morell et al. (2012)
	Dinychidae	<i>Dinychus</i> sp. nov.**	EUA, Brasil	Gómez-Marco et al (2021), Souza et al.*
Gamasina	Trematuridae	Trematuridae sp.	Brasil	Souza et al.*
		Gamasina sp.	Brasil	Souza et al.*
	Macrochelidae	<i>Glyptholaspis</i> sp. Filipponi y Pegazzano	Panamá	Rodríguez-Morell et al. (2012)
		<i>Macrocheles mammifer</i> ² Berlese	Brasil	Souza et al.*
		<i>Macrocheles</i> sp. nov.**	Brasil	Souza et al.*
	Blattisociidae	<i>Lasioseius</i> sp. Berlese	Brasil	Souza et al.*
	Digamasellidae	Digamasellidae sp.	Brasil	Souza et al.*
Astigmata	Melicharidae	Melicharidae sp.	Brasil	Souza et al.*
	Histiosomatidae	<i>Curculanoetus</i> sp. Fain	Brasil	Souza et al.*
		<i>Histiosoma</i> sp. Kramer	Brasil	Souza et al.*
	Acaridae	Acaridae sp.	Brasil	Souza et al.*

¹Possivelmente *Centrouropoda* sp. nov. de acordo com Gómez-Marco et al. (2021)

²Possivelmente *Macrocheles mammifer* de acordo com Dilipkumar et al. (2015)

*Estudo atual

**Espécie nova não descrita (mencionada dessa forma por Gómez-Marco et al. (2021))

6 DISCUSSÃO

Este estudo representa o maior levantamento de campo da acarofauna associada a *R. palmarum* realizado até o momento, tanto em termos de abrangência geográfica quanto de riqueza de táxons. A identificação de 19 táxons em diferentes níveis taxonômicos, com registros em todos os estados do Nordeste brasileiro amostrados, destaca a expressiva diversidade de ácaros foréticos associados a esse besouro e amplia substancialmente o conhecimento sobre suas interações interespecíficas.

A diversidade e a abundância dos ácaros variaram substancialmente entre os estados e entre os táxons registrados. Os táxons mais frequentemente encontrados neste estudo, como *Centrouropoda* sp. nov., *Dinychus* sp. nov., além de *F. marginata* foram também registrados por Gómez-Marco et al. (2021), o que sugere uma distribuição geográfica ampla e possivelmente cosmopolita de alguns grupos de Uropodina associados a *R. palmarum*. Em particular, *Centrouropoda* sp. nov. foi o táxon mais abundante, mais frequente e amplamente distribuído, refletindo seu alto grau de associação com o hospedeiro, especialmente sob os élitros – padrão já documentado em estudos anteriores com *R. ferrugineus* (Dilipkumar et al., 2015; Matos et al., 2023).

Do total de táxons identificados neste levantamento, 13 não haviam sido anteriormente associados a *R. palmarum*, representando registros inéditos. Isso inclui representantes de famílias como Blattisociidae sp., Melicharidae sp., Digamasellidae sp., Tarsonemidae sp., Acaridae sp., além de novas morfoespécies dentro de famílias já previamente registradas. Essa descoberta reforça o potencial do hospedeiro em abrigar uma comunidade acarina altamente diversa, refletindo também a carência de levantamentos sistemáticos anteriores, especialmente no Brasil.

Comparações com *R. ferrugineus* (espécie morfologicamente e ecologicamente próxima a *R. palmarum*) evidenciam que as comunidades acarinas associadas compartilham diversas famílias, particularmente dentro de Mesostigmata (Dilipkumar et al., 2015; Matos et al., 2023). Contudo, mesmo com essa sobreposição, certos táxons relatados aqui, como *Tarsonemus* sp., *Lasioseius* sp. e os espécimes não identificados de Uropodina sp1, Uropodina

sp2, Gamasina sp. e Uropodidae sp., ainda não foram documentados em associação a *R. ferrugineus*, apontando possíveis especificidades na composição de ácaros entre os hospedeiros.

A análise bibliográfica demonstrou a escassez de estudos voltados à acarofauna de *R. palmarum*. Apenas sete trabalhos publicados tratam diretamente do tema, sendo quatro de natureza descritiva ou observacional, e apenas um (Gómez-Marco et al. (2021)) aborda de forma mais sistemática a composição de espécies e a intensidade da infestação. Além da escassez de dados, destaca-se outro entrave recorrente: a dificuldade na identificação taxonômica precisa dos ácaros foréticos. A elevada similaridade morfológica entre algumas espécies, como observado entre *C. almerodai* e *Centrouropoda* sp. nov., tem gerado confusões taxonômicas persistentes, levando à reinterpretação de registros prévios (Kontschán et al., 2014; Gómez-Marco et al., 2021).

Considerando a amplitude geográfica do presente estudo, o número de espécimes amostrados e a diversidade taxonômica registrada, esta representa atualmente a lista mais completa e atualizada de ácaros associados a *R. palmarum*. Tais informações contribuem não apenas para o conhecimento da biodiversidade acarológica, mas também abrem perspectivas para estudos futuros sobre o papel ecológico desses organismos, inclusive com vistas ao seu possível uso em programas de manejo biológico de pragas em palmeiras.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a todos os colegas que prestaram assistência técnica no campo e no laboratório: Maria I. de O. L. Gomes, João M. R. Costa, Bruna R. M. Campelo, Ana J. D. Monteiro, assim como aos professores e profissionais que contribuíram ativamente com o fornecimento de materiais. Este estudo foi financiado, em parte, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- Di Palma, A., & Porcelli, F. (2014). Illustration of some Morphological Features Important for Identification of *Rhynchopolipus rhynchophori* (Ewing) (Acari: Podapolipidae). *Acarina* 22 (2): 92–99.
- Dilipkumar, M., Ahadiyat, A., Mašán, P., & Chuah, T.S. (2015). Mites (Acari) associated with *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) in Malaysia, with a revised list of the mites found on this weevil. *J Asia-Pac Entomol.* 18, 169–174. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2014.12.010>

- Ferreira, J.M.S., Araújo, R.P.C., & Sarro, F.B. (2002). Táticas de manejo das pragas. In: Ferreira JMS (Ed.). Coco, fitossanidade. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. 136, 83-106. (Frutas do Brasil, 28).
- Flechtmann, C.H.W. (1981). New records of mites from Brasil, with description of two new species in the genus *Oligonychus* Berlese (Acari, Tetranychidae). Rev Brasil Biol., 41(4): 861-866.
- Gómez-Marco, F., Klompen, H., & Hoddle, M.S. (2021). Phoretic mite infestations associated with *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae) in southern California. Syst Appl Acarol. 26 (10): 1913–1926. <https://doi.org/10.11158/saa.26.10.6>
- Griffith, R. (1968). The relationship between the red ring nematode and the palm weevil. J. Agric. Soc. Trinidad and Tobago 68, 342-356.
- Hagley, E.A.C. (1965). On the Life History and Habits of the Palm Weevil, *Rhynchophorus palmarum*. Ann. Entomol. Soc. Am. 58 (1): 22–28. <https://doi.org/10.1093/aesa/58.1.22>
- Hicks, E.A. (1958). A new genus and species of diplogyniid from Nicaragua (Order Acarina, Family Diplogyniidae). Iowa State College Journal of Science, 33, 103–110.
- Hoddle, M.S., Antony, B., El-Shafie, H.A.F., Chamorro, M.L., Milosavljevic, I., Löhr, B., Faleiro, J.R. (2024). Taxonomy, Biology, Symbionts, Omics, and Management of *Rhynchophorus* Palm Weevils (Coleoptera: Curculionidae: Dryophthorinae). Annu. Rev. Entomol. 69, 455–79. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-013023-121139>
- Hodgkin, L., Elgar, M.A., & Symonds, M.R.E. (2010). Positive and negative effects of phoretic mites on the reproductive output of an invasive bark beetle. Australian Journal of Zoology, 58 (3): 198–204.
- Husband, R.W., & Flechtmann, C.H.W. (1972). A new genus of mite, *Rhynchopolipus*, associated with the palm weevil in Central and South America (Acarina, Podapolipodidae). Rev Bras Biol. 32 (4): 519–522.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2025). Produção de Coco-da-baía. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/coco-da-baia/br>> Acesso em: 07/08/2025.
- Kontschán, J., Mazza, G., Nannelli, R., & Roversi, P.F. (2014). The true identity of the red palm weevil associated Uropodina mite, *Centrouropoda almerodai* Hiramatsu & Hirschmann, 1992. Redia-Giornale Di Zool., 97, 83–88. CABI Record Number: 20153013887
- Krantz, G.W., & Walter, D.E. (2009). Collecting, rearing and preparing specimens. In: Krantz, G.W. & Walter, D.E. (Eds.), A manual of Acarology, Third Edition. Lubbock, Texas Tech University Press, pp. 83–95.
- Löhr, B., Vásquez-Ordóñez, A.A., & Becerra López-Lavalle, L.A. (2015). *Rhynchophorus palmarum* in Disguise: Undescribed Polymorphism in the “Black” Palm Weevil. PLoS ONE 10(12): e0143210. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143210>

- Matos, I., Silva, D., Oliveira, J., Gonçalves, C., Alves, R., Pereira, N., Catarino, F., Ameixa, O.M.C.C., Souza, J.A., Rangel, L.F., Santos, M.J., & Ayra-Pardo, C. (2023). Body size-dependent effects on the distribution patterns of phoretic mite species assemblages on *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790). *Ecol Evol.* <https://doi.org/10.1002/ece3.10338>
- Mazza, G., Cini, A., Cervo, R., & Longo, S. (2011). Just phoresy? Reduced lifespan in red palm weevils *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) infested by the mite *Centrouropoda almerodai* (Uroactiniinae: Uropodina). *Ital J Zool.* 78, 101–105. <https://doi.org/10.1080/11250003.2010.509135>
- Negrisol Junior, A.S., Silva, E.S., Negrisol, C.R.C.B.; dos Santos, N.L., & Guzzo, E.C. (2011). Criação em laboratório da broca-do-olho-do-coqueiro *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae) visando pesquisas para o controle das suas larvas. Embrapa Tabuleiros Costeiros-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).
- Parra, D., Morillo, F., Sánchez, P., Pineda, J., & Guerra, J. (2003). Presencia de *Thielaviopsis paradoxa* De Seynes Höhn en el tubo digestivo de *Rhynchophorus palmarum* Linneo (Coleoptera:Curculionidae). *Entomotropica*, 18 (1): 49-55.
- Rodríguez-Morell, H., Quirós-Mc Intire, E.I., Domingo-Quirós, A.E., Chico-Morejón, R., & Porcelli, F. (2012). Presencia de *Centrouropoda almerodai* y *Glyptholaspis* sp. (Acari: Uropodina, Macrochelidae) sobre el picudo negro del cocotero (*Rhynchophorus palmarum*) (Coleoptera: Curculionidae) en Panamá. *Métodos Ecol Sist.*, 7, 1–7.
- Seeman, O., & Walter, D.E. (2023). Phoresy and Mites: More than just a free ride. *Annu. Rev Entomol.* 68 (1): 69-88. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120220-013329>.
- Wattanapongsiri, A. (1966). A revision of the genera *Rhynchophorus* and *Dynamis* (Coleoptera: Curculionidae). Bulletin 1, Department of Agriculture Science, Bangkok, Thailand, pp. 328.

ARTIGO 2 - Diversity, microhabitat use, and niche overlap of phoretic mites associated with *Rhynchophorus palmarum* L. in Brazil

Maria Beatriz Nunes de Souza¹, Maria E. B. Almeida², Erika L. S. Torres², Hans Klompen³, Manoel G. C. Gondim Junior⁴, Debora B. Lima¹, José W. S. Melo¹

¹*Laboratório de Acarologia, Departamento de Zoologia, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil*

²*Laboratório de Acarologia, Departamento de Zoologia, Graduação em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil*

³*Department of Evolution, Ecology, and Organismal Biology, The Ohio State University, Columbus OH 43212, USA*

⁴*Laboratório de Acarologia, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Entomologia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brazil*

Abstract

Understanding the microscale organization of phoretic mite communities is essential to unravel the mechanisms that govern the assembly and coexistence of symbionts on mobile hosts. This study presents the first comprehensive survey of phoretic mite fauna associated with *Rhynchophorus palmarum* in its native range in Brazil. A total of 56,304 mites belonging to 14 taxa were collected from 100 beetle individuals. With the exception of *Rhynchopolipus rhynchophori* and *Crenamargo binuseta*, all taxa were recorded for the first time in association with *R. palmarum* in the country, including at least three undescribed species. The prevalence of infested beetles was 100%, with phoretic load ranging from 1 to 3,354 mites per individual. Although some taxa exhibited generalist patterns, most showed strong preference for specific body regions, particularly the subelytral space, which harbored the highest densities. Network analysis revealed a moderately specialized and nested structure, indicating a non-random use of microhabitats. Null models confirmed that aggregation patterns were not stochastic, but instead influenced by ecological constraints and potential competitive interactions. Life stage analysis indicated varied dispersal strategies, with deutonymphs predominating in Uropodina and Astigmata, while gravid females were more common in Macrochelidae, Blattisociidae, and Diplogyniidae. Notably, *R. rhynchophori* exhibited a parasitic lifestyle, with adult females permanently attached to the host and producing more than 187 eggs per infested beetle. The results reveal a highly diverse and structured mite assemblage shaped by ecological filters and distinct life-history strategies. This study provides a foundation for future research on host–symbiont dynamics, including the influence of macrohabitats, host–plant associations, and interspecific interactions within multisymbiont systems.

Keywords: Symbiotic interactions, Community assembly, Host specificity, Null models, Spatial structuring

Resumo

A compreensão da organização em microescala de comunidades de ácaros foréticos é essencial para desvendar os mecanismos que regem a montagem e a coexistência de simbioses em hospedeiros móveis. Este estudo apresenta o primeiro levantamento abrangente da fauna de ácaros foréticos associados a *Rhynchophorus palmarum* em sua área nativa no Brasil. Um total de 56.304 ácaros pertencentes a 14 táxons foram coletados de 100 indivíduos do besouro. Com exceção dos ácaros *Rhynchopolipus rhynchophori* e *Crenamargo binuseta*, todos os táxons foram registrados pela primeira vez em associação com o besouro *R. palmarum* no país, incluindo pelo menos três espécies ainda não descritas. A prevalência de besouros infestados foi de 100%, com carga forética variando entre 1 e 3.354 indivíduos por besouro. Embora alguns táxons apresentem padrões generalistas, a maioria mostrou forte preferência por determinadas regiões do corpo, especialmente o espaço subelital, que concentrou as maiores densidades. A análise de rede revelou uma estrutura moderadamente especializada e aninhada, indicando uso não aleatório de microhabitats. Modelos nulos confirmaram que os padrões de agregação não foram estocásticos, mas influenciados por restrições ecológicas e possíveis interações competitivas. A análise dos estágios de vida indicou estratégias de dispersão variadas, com deutoninfas predominando em Uropodina e Astigmata, enquanto fêmeas grávidas foram mais frequentes em Macrochelidae, Blattisociidae e Diplogyniidae. Notavelmente, o ácaro *R. rhynchophori* revelou um estilo de vida parasítico, com fêmeas adultas permanentemente fixadas ao hospedeiro e produzindo mais de 187 ovos/besouro infestado. Os resultados revelam uma assembleia altamente diversa e estruturada de ácaros, moldada por filtros ecológicos e estratégias de vida distintas. Este trabalho fornece uma base para estudos futuros sobre a dinâmica hospedeiro-simbionte, incluindo a influência de macrohabitats, associações hospedeiro-planta e interações interespecíficas em sistemas multissimbiontes.

Palavras-chave: Interações simbióticas, Montagem de comunidades, Especificidade ao hospedeiro, Modelos nulos, Estruturação espacial

7 INTRODUCTION

Mites are masters of phoresy—an ecologically significant, yet often overlooked, form of symbiosis in which they attach to larger arthropods for transportation to new habitats (Seeman & Walter, 2023). While traditionally considered passive hitchhikers, many phoretic mites do not merely use their hosts as vehicles; instead, they may inhabit host microhabitats forming complex, temporally extended associations that blur the boundaries between phoresy, commensalism, and parasitism (Seeman & Walter, 2023). In the case of beetles, particularly large-bodied species such as palm weevils (*Rhynchophorus* spp.), these associations can involve diverse mite taxa that exploit discrete body regions of the host (e.g. sub-elytral space, pygidium, antennae) for shelter, reproduction, or opportunistic feeding (Porcelli et al., 2009; Slimane-Kharrrat & Ouali et al., 2019; Gómez-Marco et al., 2021; Matos et al., 2023).

The spatial organization of these mite communities can be viewed through the dual lens of macro- and microhabitat use. Following Rohde (1984), the macrohabitat refers to the external environment in which the host lives, while the microhabitat is the host's body itself—partitioned into discrete sites that differ in structure, protection, exposure, and contact frequency. These microhabitats are not used randomly. Coexisting mite species often display site-specific preferences, potentially shaped by interspecific interactions such as competition, substrate specialization, and reproductive interference. When multiple taxa co-occur in the same host individual, the degree of niche overlap—that is, the extent to which species share microhabitat space—can provide insights into the ecological mechanisms underlying community assembly and coexistence (Holt, 2009). Null models have been increasingly used to test for non-random patterns of co-distribution, helping to disentangle stochastic from biologically structured processes (Gotelli & Graves, 1996).

Despite the growing interest in phoretic mite communities associated with beetles —particularly in invasive populations of *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790) (Coleoptera: Curculionidae) and other large-bodied hosts (e.g., Atakan et al., 2009; Porcelli et al., 2009; Mazza et al., 2011; Allam et al., 2013) — *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae) has received comparatively little attention, especially in its native range. Among the most

detailed investigations to date is the study by Gómez-Marco et al. (2021), who examined over 3,000 adult *R. palmarum* collected in southern California over a 2.5-year period. They reported three co-occurring uropodine mite species, each showing consistent attachment to specific host body regions. Mite prevalence varied seasonally and spatially, and one species (*Centrouropoda* sp. nov., new, yet undescribed species) increased markedly in abundance over time, particularly under the elytra. Notably, mite load was negatively correlated with pronotum width in male weevils, suggesting possible fitness effects. While this study provides key insights into the dynamics of phoretic associations in an invaded range, *R. palmarum* populations in the Neotropics represent the species' center of origin and may harbor richer or more stable multisymbiont communities. Thus, studying phoretic mites in native populations may offer a more complete understanding of host-symbiont interactions and the ecological forces shaping community structure. In this context, our study system provides a valuable opportunity to explore niche organization at microhabitat scales in a historically and evolutionarily relevant setting.

In this study, we investigated the diversity and spatial distribution of phoretic mites associated with *R. palmarum* in its native range in northeastern Brazil. Specifically, we asked: (1) Which mite taxa are associated with *R. palmarum* adults? (2) How are these taxa distributed among distinct body regions of the host? and (3) Do these spatial patterns reflect niche overlap or segregation among co-occurring species? To address these questions, we applied null model analyses to mite abundance data collected from defined body regions, providing a first look at the fine-scale coexistence patterns in this complex multisymbiont system.

8 METHODOLOGY

8.1 Description of the sampling site and insect collection

The sampling were carried out in a coconut plantation (*Cocos nucifera* L.) located in the municipality of Igarassu, Pernambuco, Brazil (7°50'38.8"S 34°56'28.3"W), from December 2023 to May 2024. *Rhynchophorus palmarum* specimens were collected using traps prepared according to the methodology described by Ferreira et al. (2002). In total, four traps were made using 1.5 L polyethylene containers. Each lid had a circular opening that allowed the entry of the beetles.

Each trap was baited with a microtube containing a synthetic aggregation pheromone (rhynchophorol, 6-metil-2-(E)-hepten-4 ol, Interacta Química) specific to *R. palmarum*, combined with partially crushed sugarcane stalks (*Saccharum officinarum* L.) as a food attractant. The traps were randomly placed in the area, attached to the plant trunks at ground level, with a minimum distance of 100 meters between traps. Biweekly sampling were conducted until reaching a total of 100 beetles (excluding damaged specimens, i.e., those missing any body parts). Captured insects were individually transferred to 50 mL Falcon tubes without alcohol (and transported to the laboratory, where they were stored at – 30°C in a freezer until further processing).

8.2 Extraction of mite specimens

The presence or absence of mites was recorded based on seven distinct body regions of the insect (virtually divided), namely: head, thorax, abdomen, legs, pygidium, external elytra, and subelytral area (the underside of the elytra) (adapted from Matos et al. (2023) and Gómez-Marco et al. (2021)). All mites attached to the insects were removed using a brush, forceps, and scalpel, then counted, sorted into morphospecies, and preserved in Eppendorf tubes containing 70% ethanol for subsequent identification.

8.3 Mounting and identification of mite specimens

Morphospecies exhibiting strong sclerotization were transferred to Eppendorf tubes containing Nesbitt's solution (Krantz & Walter, 2009) and maintained for seven days for clarification. The remaining morphospecies were directly mounted on microscope slides using coverslips and Hoyer's medium (Krantz & Walter, 2009). The slides were then placed in a drying oven at 50°C for seven days. Afterward, the coverslips were sealed to the slides with vitral varnish (Acrilex®) and examined under a phase-contrast microscope (Olympus® BX41) for identification to the lowest possible taxonomic level. The same procedure was applied to specimens clarified in Nesbitt's solution. Mite identification was based on the specialized literature (Krantz & Walter, 2009; Di Palma & Porcelli, 2014) and supported by taxonomic experts (authors or contributors, see acknowledgements). All slides were deposited in the Acarological Collection of the Federal University of Pernambuco, Brazil.

8.4 Data analysis

Bipartite networks were constructed to represent the associations between mites and the host's body regions. The structural properties of these networks were analyzed using the bipartite (Dormann, 2022) and vegan (Oksanen et al., 2025) packages in R. Network-level metrics were calculated to describe interaction patterns, including H2' specialization, connectance, modularity, and nestedness (NODF2). To assess whether the observed nestedness differed from random expectations, a null model with 1,000 simulations was applied (method = "swap"). Additionally, a hierarchical clustering analysis was performed to visualize the distribution of mites across different host body regions and explore co-occurrence patterns among taxa. For this, a resource-use matrix was constructed based on the abundance of each mite species within the distinct microhabitats of *R. palmarum*. The analysis was conducted using the ward.D method, Euclidean distance, and 10,000 bootstrap replicates via the pvclust package in R (Suzuki & Shimodaira, 2006). To investigate potential spatial niche overlap among co-occurring taxa, Pianka's niche overlap index was used. This symmetric index quantifies resource-use similarity between species pairs, with values ranging from 0 (no overlap) to 1 (complete overlap). The observed overlap was compared to null expectations using the EcoSimR package (Gotelli et al., 2015), which generates random assemblages to simulate expected overlap values under the hypothesis of stochastic resource use (Gotelli & Graves, 1996). Spatial resources were defined based on the relative abundance of each taxon within different spatial resource categories (e.g., microhabitats). Null model simulations were run using two randomization algorithms: RA2: maintains the observed total resource use for each species but allows resource use to vary freely within species. This algorithm relaxes niche breadth constraints while keeping total resource use constant; RA3: preserves the observed niche breadth for each taxon (i.e., the number of resources used) but randomly reallocates resource use. This tests whether the observed overlap differs from expectations when niche breadth is fixed. Each algorithm was executed with 10,000 iterations. Statistical significance was assessed by comparing the observed Pianka index to the distribution of simulated values, generating one-tailed and two-tailed p-values, as well as standardized effect sizes (*SES*).

9 RESULTS

A total of 56,304 mite specimens were extracted from 100 individuals of *R. palmarum* collected (Table 1). The mean phoretic load per beetle was 563.1 ± 72.17 , ranging from 1 to 3,354 individuals. The mites were classified into 14 distinct taxa, encompassing different developmental stages (larvae, deutonymphs, and adults). All taxa were recorded for the first time in association with *R. palmarum* in Brazil, except for *Rhynchopolipus rhynchophori* (Ewing) and Diplogyniidae Trägårdh. The recorded taxa included: *Fuscuropoda marginata* (Koch) (Urodinychidae), *Centrouropoda* sp. nov. (Uropodina s.l.), *Dinychus* sp. nov. (Dinychidae), *Macrocheles* sp. nov. (new, yet undescribed species) and *Macrocheles mammifer* Berlese (Macrochelidae), *Lasioseius* sp. Berlese (Blattisociidae), *Crenamargo binuseta* Hicks (Diplogyniidae), *R. rhynchophori* (Podapolipidae), *Curculanoetus* sp. Fain (Histiostomatidae), Acaridae sp., Trematuridae sp., Uropodidae sp., Uropodina sp. and Gamasina sp. Additionally, 443 mites were found loose inside the tubes that individually housed the beetles, likely detached during transportation to the laboratory. These individuals belonged to different taxonomic groups, with their identities and counts detailed in Table 1. Furthermore, 15 deutonymphs from the order Astigmata were observed, exclusively attached to the edges of individuals from the family Uropodidae sp. These mites, belonging to the family Histiostomatidae, represent a genus distinct from *Curculanoetus* sp. Since they were not attached to the host's body, these specimens were not considered in the body distribution analyses.

Mite specimens were found in all predefined regions of the beetle's body, and all beetles harbored mites, although not all individuals had mites in every body region (Figure 1). The bipartite network (Figure 1) illustrates the interaction patterns between the 14 mite taxa and the microhabitats (body regions) of the host. Although most mite species interacted with more than one body region, the legs and the sub-elytral space stood out — with the legs showing the highest number of associations (11 associations), while the sub-elytral space concentrated the highest intensities (phoretic load of 54,043). The taxa *Centrouropoda* sp. nov., *Dinychus* sp. nov., *Curculanoetus* sp., *R. rhynchophori*, Acaridae sp., and Uropodina sp. stood out for establishing strong — and

sometimes exclusive — interactions with the sub-elytral space, suggesting a high specificity or preference for this region. In contrast, the other taxa displayed more generalist interaction patterns, being found in other body regions, especially the legs (Figure 1). Structurally, the network exhibited a moderate level of specialization ($H2' = 0.61$), indicating that interactions were non-random but organized. The connectance was 0.54, meaning that more than half of the possible interactions occurred, reflecting a well-connected system. However, modularity was low ($Q = 0.05$), indicating little compartmentalization into subgroups. Nestedness was moderately high ($NODF2 = 60.72$, $p < 0.001$), suggesting that the most specialized species tend to use subsets of the microhabitats used by more generalist species.

Table 1: List of mite taxa associated with *Rhynchophorus palmarum*, including total counts, frequency (% of infested hosts), and distribution across host body regions and collection tubes. Life stages are coded as follows: DN = deutonymph, A = adult, F = female, M = male and L-F = larval female (Podapolipidae).

Taxa	Life stage	Total	Freq.	Body region							Falcon Tube
				Abdomen	External elytra	Head	Legs	Pygidium	Subelytral	Thorax	
Uropodina											
Dinychidae - <i>Dinychus</i> sp. nov.	DN	9991	52%								1
Trematuridae - “Unknown” sp.	DN	435	47%								20
Urodinychidae - <i>Fuscuropoda marginata</i> (Koch)	DN	88	13%								8
Uropodina s.l. - <i>Centrouropoda</i> sp. nov.	DN	30690	91%								212
Uropodidae - “Unknown” sp.	DN	806	70%								5
“Unknown” sp.	DN	9177	56%								11
Gamasina											
Blattisociidae - <i>Lasioseius</i> sp. Berlese	A/F	22	10%								28
Macrochelidae - <i>Macrocheles mammifer</i> (Berlese)	A/F	9	5%								3
Macrochelidae - <i>Macrocheles</i> sp. nov.	A/F	34	14%								8
“Unknown” sp.	A/F	122	39%								38
Trigynaspida											
Diplogyniidae - <i>Crenamargo binuseta</i> Hicks	A/F/M	56	24%								109
Astigmata											
Acaridae - “Unknown” sp.	DN	1099	4%								-
Histiostomatidae - <i>Curculanoetus</i> sp. Fain	DN	2570	50%								-
Heterostigmata											
Podapolipidae - <i>Rhynchopolipus rhynchophori</i> (Ewing)	F/M/L-F	1205	31%								-
Total		56,304									433

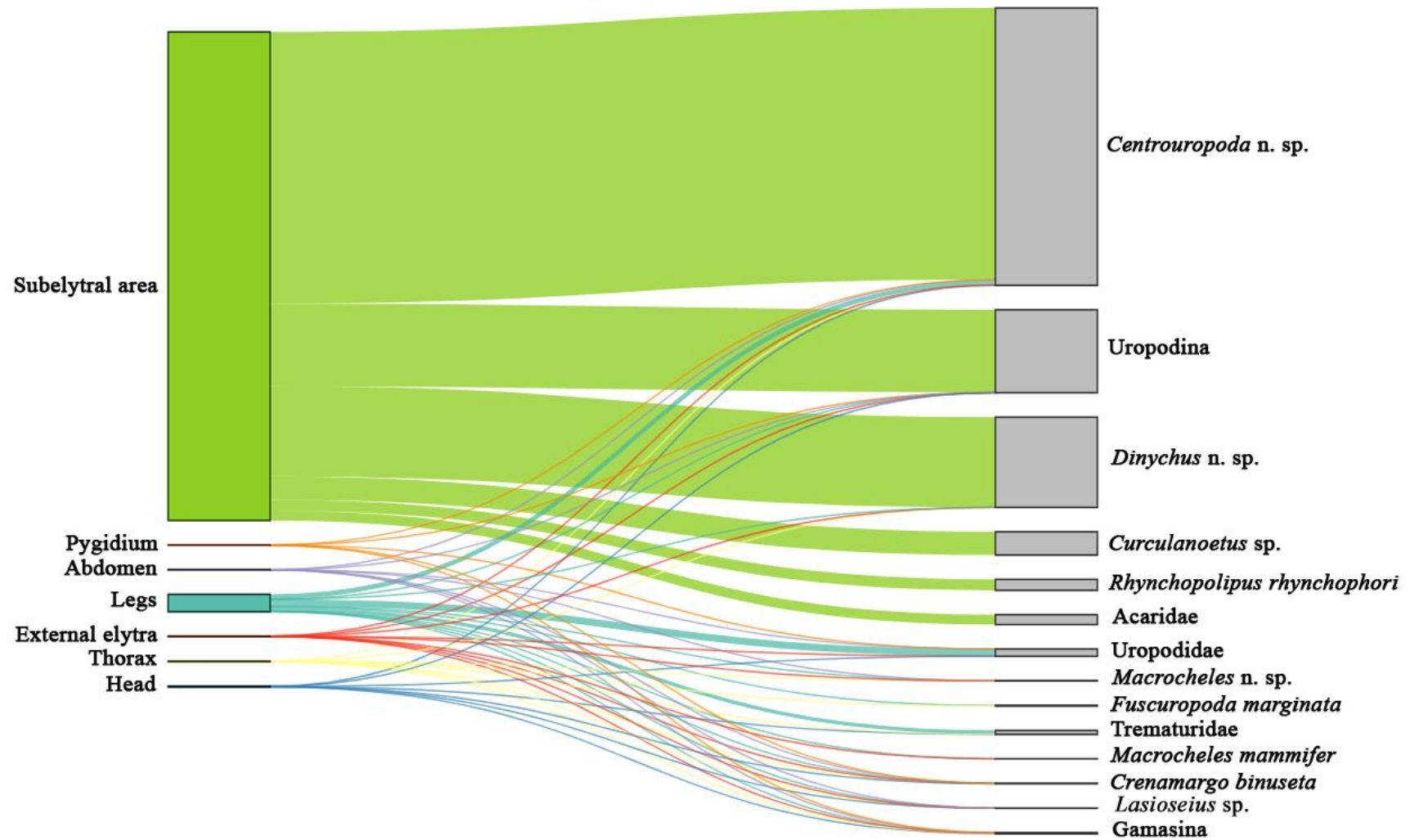


Figure 1. Bipartite network illustrating the associations between 14 mite taxa and the body regions of *Rhynchophorus palmarum*. Line thickness is proportional to the number of interactions, and colors represent different body regions.

The hierarchical clustering analysis revealed two major groups among the 14 mite species associated with *R. palmarum* (Figure 2). *Centrouropoda* sp. nov. stood out by forming an isolated group, highly divergent from all others, with strong statistical support (AU = 92), indicating a distinct ecological pattern of microhabitat occupation — possibly reflecting strong specialization in a specific host body region (the sub-elytral space). The second major group included the remaining 13 taxa, subdivided into subgroups with strong statistical support, reflecting similar patterns of association with body microhabitats. One of the most well-supported subgroups (AU = 97) comprised *Uropodina* sp. and *Dinychus* sp. nov., suggesting that both species may share similar patterns of host association. Another well-supported cluster (AU ≥ 97) grouped *F. marginata*, *Gamasina* sp., *Lasioseius* sp., *M. mammifer*, *Macrocheles* sp. nov., and *C. binuseta*. Although we lack detailed behavioral or morphological data to fully characterize the mechanisms underlying these associations, this pattern may indicate shared tendencies in microhabitat occupation or dispersal strategy. *Uropodidae* sp. and *Trematuridae* sp. formed another consistent subgroup (AU = 97), while *Curculanoetus* sp., *R. rhynchophori*, and *Acaridae* sp. formed a highly supported group (AU = 100), reinforcing the idea that these species share similar microhabitat preferences.

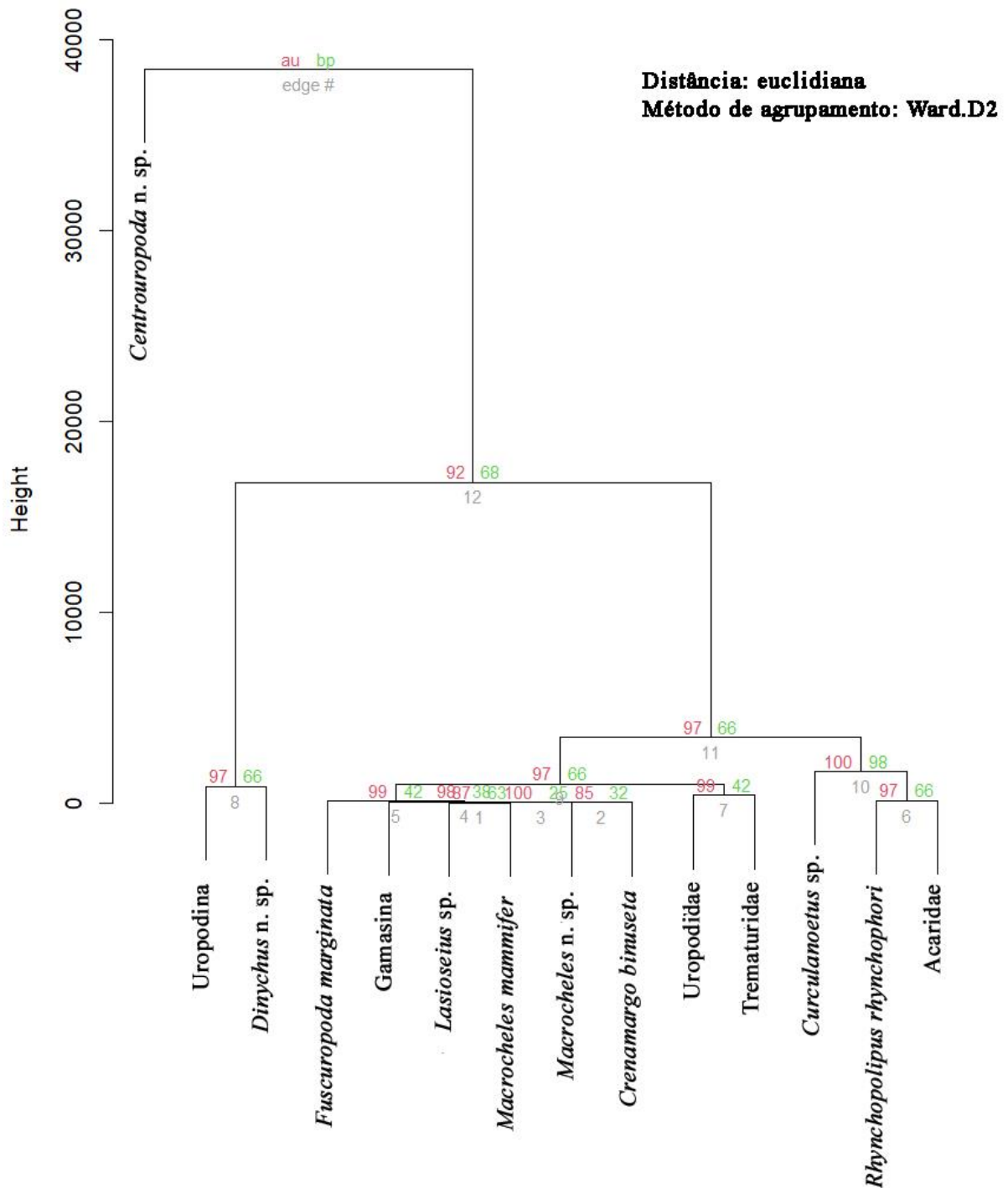


Figure 2. Hierarchical clustering dendrogram of mite taxa based on their distribution across *Rhynchophorus palmarum* body regions. Numbers on branches indicate approximately unbiased (AU) p-values (red, left) and bootstrap probabilities (BP) (green, right), both expressed as percentages. Clustering was performed using Ward's method and Euclidean distance.

Potential spatial niche overlap among co-occurring taxa was investigated using Pianka's index, complemented by null model analyses to infer whether resource use patterns were random or structured (Gotelli & Graves, 1996). The abundance of each taxon in the different microhabitats was used as a proxy for spatial resource use. The observed niche overlap index was 0.412, and simulations with two different null model algorithms — RA2 and RA3 — were performed (Figures 3 and 4). Under the RA2 algorithm — which relaxes niche breadth constraints but preserves the observed resource use totals — the observed Pianka index did not differ from the simulated mean (mean = 0.399; $p = 0.297$), suggesting that the overlap patterns could reflect random resource use under these assumptions (Figures 3 and 4). In contrast, the RA3 algorithm — which preserves niche breadth while randomizing resource use within each taxon — revealed an observed index significantly different from the null expectation (mean = 0.218; $p < 0.001$), with a standardized effect size (*SES*) of 5.99 (Figures 3 and 4). These results indicate that the observed distribution of taxa is not random, but potentially structured by ecological or biological interactions that promote coexistence within specific spatial niches. The contrast between models suggests that, although niche breadth varies among taxa, there is a consistent tendency for certain resources to be shared. Thus, the observed overlap patterns do not appear to be random, indicating a possible ecological structuring associated with the coexistence of taxa within similar microhabitats, potentially mediated by similar environmental tolerances or by the absence of direct competition.

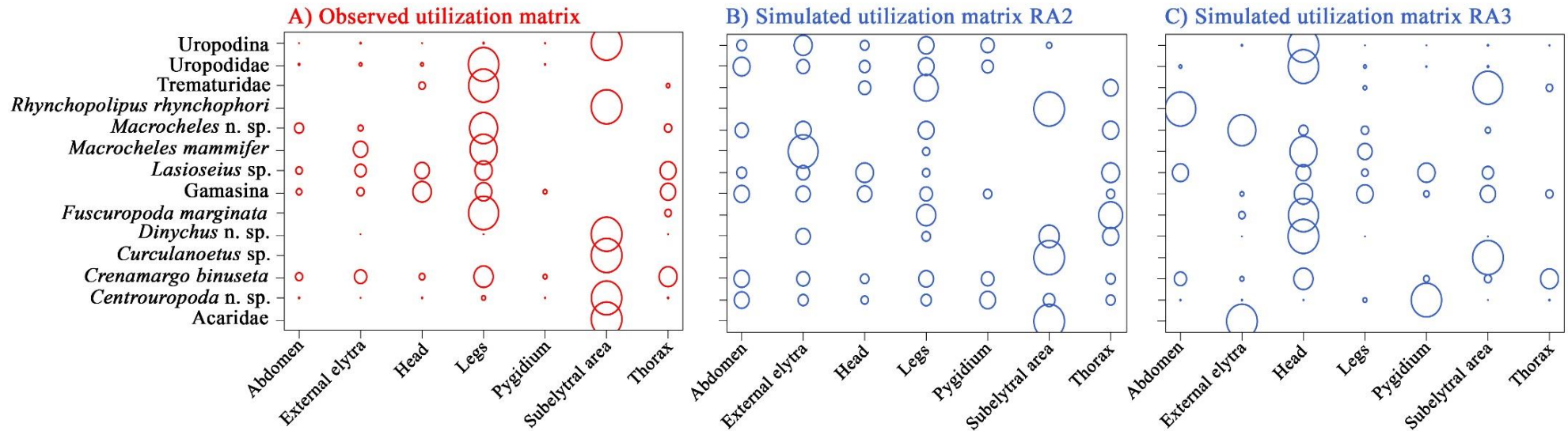


Figure 3. Niche utilization matrices illustrating observed (A) and simulated patterns generated by null models RA2 (B) and RA3 (C). Rows represent mite taxa and columns represent body regions (spatial resources). Circle size is proportional to the relative abundance of each taxon in each microhabitat.

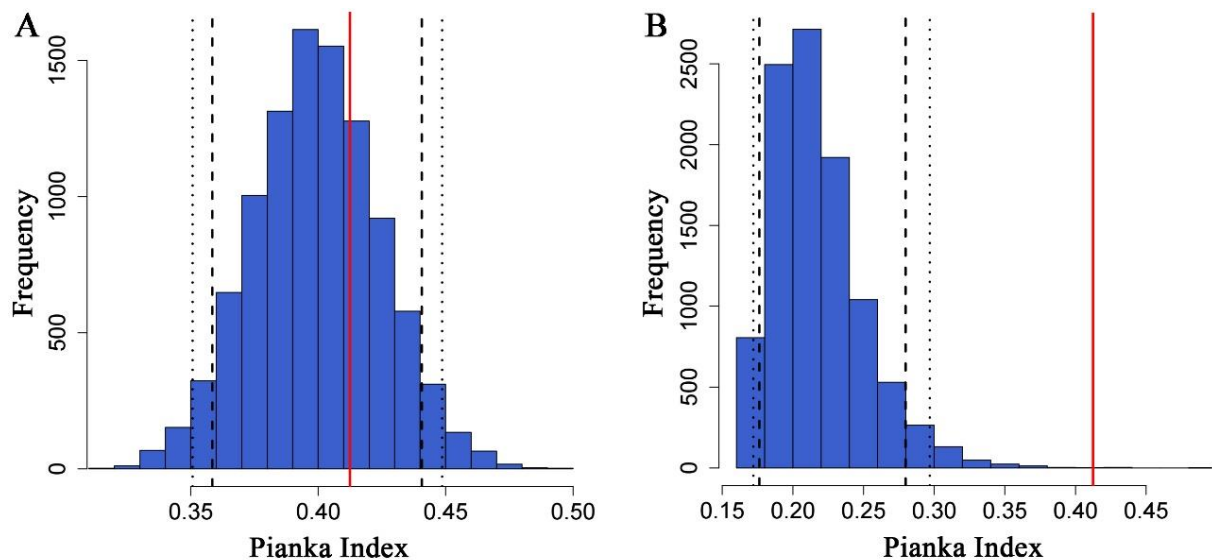


Figure 4. Frequency histograms of Pianka's niche overlap index from 10,000 null model simulations using RA2 (A) and RA3 (B) algorithms. The solid red vertical line represents the observed overlap index; long dashed lines indicate the 95% one-tailed confidence limits, and short dashed lines represent the 95% two-tailed confidence limits.

10 DISCUSSION

To the best of our knowledge, prior to this study, only two mite species had been reported in association with *R. palmarum* in the country — *R. rhynchophori* (Husband & Flechtmann, 1972; Di Palma & Porcelli, 2014) and *C. binuseta* (Flechtmann, 1981; Negrisoni Junior et al., 2011). However, these previous records were not the result of systematic faunistic surveys but rather incidental findings reported in taxonomic descriptions or isolated observations. Mites were found on 100% of the weevils examined, a prevalence comparable to that reported by Gómez-Marco et al. (2021), who observed a 99% infestation rate in *R. palmarum* populations in Southern California (USA) in 2018 — a region recently colonized by this weevil (Hoddle & Hoddle, 2017).

A remarkably high species richness of phoretic mites associated with *R. palmarum* was documented in this study. A total of 14 mite taxa were recorded, but only four could be identified to species level based on their original descriptions: *C. binuseta* (Hicks, 1958), *F. marginata* (Azevedo et al., 2017), *M. mammifer* (Dilipkumar et al., 2015; originally misidentified as *Glyptholaspis* sp. in Rodríguez-Morell et al., 2012), and *R. rhynchophori* (Di Palma & Porcelli, 2014). These species had been previously reported in association with *R. palmarum* — *F. marginata* in California (Gómez-Marco et al., 2021), *M. mammifer* in Panama

(Rodríguez-Morell et al., 2012), and *R. rhynchophori* in Brazil (Di Palma & Porcelli, 2014). Additionally, three taxa were determined to be undescribed species: *Dinychus* sp. nov., *Centrouropoda* sp. nov., and *Macrocheles* sp. nov. “It is worth noting that *Centrouropoda* sp. nov. closely resembles the known species *Centrouropoda almerodai* Hiramatsu e Hirschmann. However, as noted by Kontschán et al. (2014) and Gómez-Marco et al. (2021), the specimens recorded in this study lack key diagnostic features of *C. almerodai* – specifically, the presence of a fourth pair of setae on the ventrianal shield and the absence of a pair of long ventral setae in the caudal region (Kontschán et al., 2014). This observation reinforces the hypothesis proposed by Gómez-Marco et al. (2021) that *Centrouropoda* specimens associated with *R. palmarum* may indeed represent an undescribed species distributed throughout the Americas. Additionally, the species *Dinychus* sp. nov. corresponds to the same mite previously reported by Gómez-Marco et al. (2021). This species may represent a new genus. This finding further highlights the urgent need for detailed taxonomic revisions. It is also noteworthy that species within this genus are not commonly associated with beetles (Wisniewski & Hirschmann, 1993).

The high diversity of mite taxa associated with *R. palmarum* in Brazil stands in stark contrast to the relatively low diversity reported from the United States — where the weevil has been recently introduced — where only three taxa have been documented so far (Gómez-Marco et al., 2021). A likely explanation for this discrepancy is that *R. palmarum* is native to Central and South America (EPPO, 2025), where it has had a long evolutionary history that allowed the establishment of diverse and specialized associations with phoretic mites. In contrast, populations in recently invaded areas, such as the United States, may have undergone a process of biotic filtering, carrying only a subset of the original mite fauna. This pattern aligns with the Enemy Release Hypothesis (Williamson, 1996), which predicts that species introduced into new regions often lose part of their native symbionts, parasites, or natural enemies, potentially due to stochastic processes during introduction or because some associates are unable to establish in the new environment. Alternatively, the lower diversity observed in the United States may also reflect early-stage sampling gaps, as the mite fauna associated with *R. palmarum* in that region remains poorly studied. Furthermore,

differences in the sampling environment could also contribute to this pattern, since the present study was conducted in a coconut plantation (*C. nucifera*), whereas the survey by Gómez-Marco et al. (2021) was carried out in stands of *Phoenix canariensis* Hort. ex Chabaud, a non-native ornamental palm. Such differences in host plant species and habitat type may influence the availability of microhabitats or resources for mites, ultimately affecting the diversity and composition of mite assemblages associated with *R. palmarum*.

The high taxonomic diversity observed is paralleled by an equally remarkable diversity in life-history strategies, as revealed by the analysis of developmental stages involved in phoresy. The majority of the mites were found in the deutonymph stage, particularly among Uropodina e Astigmata. This is consistent with the general trend reported in the literature, where deutonymphs are the primary phoretic stage for many Uropodina and Astigmata (Athias-Binche, 1993; Walter & Proctor 1998; Gómez-Marco et al., 2021; Matos et al., 2023; Seeman & Walter, 2023). The deutonymph stage is considered highly specialized for dispersal due to its morphological adaptations, resilience to environmental stress, and the fact that it does not require immediate feeding or mating upon arrival at a new habitat (OConnor, 1994; Seeman & Walter, 2023). In contrast, members of Macrochelidae (*M. mammifer* and *Macrocheles* sp. nov.), *Lasioseius* sp. (Blattisociidae), and *C. binuseta* were predominantly found as adult females, with some males also observed in *C. binuseta*. Anecdotal observations during slide preparation, where internal structures were visible through cleared specimens, revealed that the majority of *C. binuseta* females, as well as females of *Lasioseius* sp., *M. mammifer*, and *Macrocheles* sp. nov., carried fully developed eggs inside their bodies. The occurrence of phoresy in already gravid females likely represents an adaptive strategy, allowing immediate establishment and reproduction in the destination habitat (Norton et al., 1993; Seeman & Walter, 2023). A noteworthy exception is *R. rhynchophori*, in which both males and females were present, along with larval females (L-F), reinforcing the functional role of larvae as dispersal stages—a trait characteristic of some Podapolipidae (Lindquist, 1986; Di Palma & Porcelli, 2014). Furthermore, *R. rhynchophori* exhibited an exceptionally high number of eggs (an average of 187 eggs per infested individual), which were consistently attached to the bodies of adult

females. The coexistence of both immature (deutonymph) and adult stages among the mite assemblage, along with the eggs in *R. rhynchophori*, reflects a remarkable diversity of life-history strategies. These strategies likely differ in their demands for feeding, timing of reproduction, and colonization dynamics. Such variation may have significant implications for the assembly processes, persistence, and ecological interactions of the phoretic mite community associated with *R. palmarum*.

Beyond documenting diversity and the phoretic stage, understanding the ecological roles of these mites is equally important. The functional roles of the mite assemblages associated with *R. palmarum* remain largely uncertain, as the ecological relationships between phoretic mites and their hosts are often poorly understood (Houck & Cohen, 1995; Walter & Proctor, 2013). While phoresy is typically regarded as a commensal interaction for dispersal, several studies indicate that some phoretic mites can exert neutral, beneficial, or even harmful effects on their hosts (Seeman & Walter, 2023). Among the taxa recorded in this study, most belong to groups whose feeding habits are highly variable. For example, uropodine mites such as *F. marginata* are typically mycophagous or coprophagous (Evans et al., 1961; Bowman, 2021), whereas macrochelids like *M. mammifer* are often coprophilous but may also prey on nematodes, insect eggs, or small arthropods (Mašán, 2003; Walter & Proctor, 2013). Notably, the *C. binuseta* found here have been hypothesized to prey on nematodes—including the red ring nematode *Bursaphelenchus cocophilus*, a major pest of palms transmitted by *R. palmarum*—or potentially affect weevil reproduction by feeding on eggs or larvae (Halliday et al., 2019). Similarly, *R. rhynchophori* has been reported as an obligate ectoparasite of palm weevil species and is considered a potential biological control agent (Lindquist, 1986; Abdullah, 2009; Di palma & Porcelli, 2014). As typical for Podapolipidae, adult females remain permanently attached to the host's body, where they feed, reproduce, and oviposit directly onto their own bodies or adjacent surfaces (Lindquist, 1986; Walter & Proctor, 2013). The exceptionally high reproductive output observed—187 eggs per infested individual—and the presence of numerous larval females (the dispersal stage) strongly support the interpretation that *R. rhynchophori* relies on *R. palmarum* not merely as a dispersal vector, but as both a habitat and a vital food source. This

represents a clear shift along the phoresy–parasitism continuum, where an association initially assumed to be predatory or commensal qualifies as obligate parasitism. Despite these insights, the overall impact of the mite fauna on *R. palmarum* beetle populations remains unclear. Some associations appear mutualistic or neutral, whereas others, such as that involving mite *R. rhynchophori*, clearly fall on the parasitic end of the spectrum. In some systems, high mite loads have been suggested to intensify negative impacts on the host (Houck & Cohen, 1995; Seeman, 2007), although such shifts likely depend on species-specific traits rather than reflecting a general continuum across unrelated mite lineages. This highlights the need for further studies, particularly experimental and behavioral assessments, to clarify whether these mites function primarily as harmless phoretic associates, beneficial mutualists, facultative parasites, or, in some cases like *R. rhynchophori*, obligate ectoparasites.

The distribution patterns of phoretic mites on *R. palmarum* revealed clear preferences for specific body regions, with the legs and the sub-elytral space emerging as key attachment sites. This pattern is consistent with previous studies suggesting that the sub-elytral space offers favorable microhabitat conditions, such as protection against desiccation, temperature fluctuations, and mechanical removal as the weevil moves through palm fibers (Al-Deeb et al., 2011; Dilipkumar et al., 2015; Gómez-Marco et al., 2021; Matos et al., 2023). In addition, the sub-elytral space may provide critical shelter during flight, when phoretic mites are exposed to intense air turbulence and the risk of dislodgment. Our results further demonstrate that, although several taxa displayed generalist patterns – especially those frequently associated with the legs – others, such as *Centrouropoda* sp. nov., *Dinychus* sp. nov., *Curculanoetus* sp., *R. rhynchophori*, Acaridae sp., and Uropodina sp., showed strong preference or specialization for the sub-elytral space. Similar patterns were observed by Gómez-Marco et al. (2021), who reported that *Centrouropoda* sp. nov. predominantly occupies the sub-elytral space but may "spill over" to external body parts when the preferred sites are saturated. This behavior suggests both site fidelity and a degree of plasticity in attachment when competition for space occurs. Additionally, the presence of mixed-species clusters within the same microhabitats, particularly under the elytra, raises questions about the mechanisms promoting coexistence.

As shown by our null model analyses, the distribution of mites was not random, echoing findings by Matos et al. (2023), who also detected structured patterns of spatial niche use in mite communities phoretic on *R. ferrugineus*. Their study, conducted on a different palm weevil species, further highlighted the importance of body size as a key factor shaping community assembly within the sub-elytral space. By analyzing idiosoma length, they found a strong negative correlation between body size difference (Δ size) and relative abundance difference (Δ abundance) relative to the dominant taxon (*Centrouropoda* sp.), suggesting that mites with similar sizes experience stronger competitive exclusion. In contrast, taxa with greater size differences were more likely to coexist under the elytra. Although our study focused on *R. palmarum*, the similarity in spatial structuring suggests that body size asymmetry, combined with the limited available space under the elytra, represents a general mechanism influencing phoretic mite community assembly in *Rhynchophorus* weevils. The contrasting results between the RA2 and RA3 algorithms suggest that, while some flexibility in site use exists, certain body regions impose ecological constraints that force taxa to aggregate in specific microhabitats, particularly the sub-elytral space. The moderate nestedness observed further indicates that specialist taxa tend to utilize subsets of the microhabitats occupied by generalists, a pattern that may reflect stabilizing mechanisms allowing the coexistence of diverse mite assemblages on the same host individual.

In conclusion, our study provides the first detailed account of phoretic mite diversity and fine-scale spatial organization on *R. palmarum* in its native Brazilian range, revealing nonrandom patterns of host-microhabitat use and varying degrees of specialization among taxa. However, this work also highlights significant gaps in our understanding of the ecological interactions and broader biogeographical drivers shaping these communities. Future studies should expand beyond microhabitat attachment to evaluate how macrohabitat characteristics (e.g., plantation vs. forest edge) influence mite assemblages, as well as investigate population dynamics of both host and mites over time. Comparative surveys across multiple Brazilian states and other neotropical countries would clarify geographic variation in mite fauna, while analyses of plant-host origin could test whether palms of different provenance harbor distinct

phoretic assemblages. Additionally, examining other coleopteran species that share the same palm hosts may reveal cross-taxon mite transmission and co-evolutionary patterns. Finally, integrative experimental approaches—combining behavioral assays, host-fitness measurements and molecular gut-content analyses—are needed to determine whether these mites act as commensals, mutualists, or parasites. Such multifaceted research will deepen our comprehension of this complex multisymbiont system and inform both ecological theory and pest-management strategies.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank all their colleagues who provided technical assistance in the field and laboratory: Maria I. de O. L. Gomes, João M. R. Costa, Bruna R. M. Campelo, Ana J. D. Monteiro, as well as the professors and professionals who actively contributed to the provision of materials. This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001.

REFERENCES

- Abdullah, M.A.R. (2009). Biological control of the red palm weevil, *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier) (Coleoptera: Curculionidae) by the parasitoid mite, *Rhynchopolipus rhynchophori* (Ewing) (Acarina: Podapolipidae). J Egypt Soc Parasitol. 39 (2): 679–686. PMID: 19795774.
- Al-Deeb, M.A., Muzaffar, S.B., Abuagla, A.M., & Sharif, E.M. (2011). Distribution and abundance of phoretic mites (Astigmata, Mesostigmata) on *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae). FI Entomol. 94 (4): 748–755. <https://doi.org/10.1653/024.094.0403>
- Allam, S.F., Hassan, M.F., Taha, H.A., & Mahmoud, R.A. (2013). Hyperphoresy of phoretic deutonymph of *Aegyptus rhynchophorus* (El-Bishlawi & Allam) (Acari: Uropodidae Trachyuropodidae) with the red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus* Olivier (coleoptera: Curculionidae) in Egypt. Acarines, 7, 3–6. <https://doi.org/10.21608/ajesa.2013.4916>
- Atakan, E., Çobanoğlu, S., Yüksel, O., & Bal, D.A. (2009). Ácaros uropodídeos foréticos (Acarina: Uropodidae) no gorgulho vermelho da palmeira [*Rhynchophorus ferrugineus* (Oliver, 1790) (Coleoptera: Curculionidae)]. Türk entomol derg 33 (2): 93-105.
- Athias-Binche, F. (1993). Dispersal in varying environments: The case of phoretic uropodid mites. Can J Zool. 71, 1793–1798. <https://doi.org/10.1139/z93-255>
- Bowman, C.E. (2021). Feeding design in free-living mesostigmatid chelicerae (Acari: Anactinotrichida). Exp Appl Acarol. 84, 1–119. <https://doi.org/10.1007/s10493-021-00612-8>

- Di Palma, A., & Porcelli, F. (2014). Illustration of some Morphological Features Important for Identification of *Rhynchopolipus rhynchophori* (Ewing) (Acari: Podapolipidae). *Acarina* 22 (2): 92–99.
- Dilipkumar, M., Ahadiyat, A., Maśán, P., & Chuah, T.S. (2015). Mites (Acari) associated with *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) in Malaysia, with a revised list of the mites found on this weevil. *J Asia-Pac Entomol.* 18, 169–174. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2014.12.010>
- Dormann, C.F. (2022). Using bipartite to describe and plot two-mode networks in R. <https://cran.r-project.org/web/packages/bipartite/vignettes/Intro2bipartite.pdf>
- EPPO – European and Mediterranean Plant Protection Organization. (2020). *Rhynchophorus palmarum*. EPPO datasheets on pests recommended for regulation. <https://gd.eppo.int/taxon/RHYCPA/datasheet> (last accessed 14 June 2025)
- Evans, G.O., Sheals, J.G., & MacFarlane, D. (1961). The Terrestrial Acari of the British Isles: 1. Introduction and Biology. The Terrestrial Acari of the British Isles, Vol 1, 219pp. British Museum (Natural History) 1.
- Ferreira, J.M.S., Araújo, R.P.C., & Sarro, F.B. (2002). Táticas de manejo das pragas. In: Ferreira JMS (Ed.). *Coco, fitossanidade*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. 136 p. p. 83-106. (Frutas do Brasil, 28).
- Flechtmann, C.H.W. (1981). New records of mites from Brasil, with description of two new species in the genus *Oligonychus* Berlese (Acari, Tetranychidae). *Rev Brasil Biol.*, 41(4): 861-866.
- Gómez-Marco, F., Klompen, H., & Hoddle, M.S. (2021). Phoretic mite infestations associated with *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae) in southern California. *Syst Appl Acarol.* 26 (10): 1913–1926. <https://doi.org/10.11158/saa.26.10.6>
- Gotelli, N.J., & Graves, G.R. (1996). *Null models in ecology*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C. 1-388 pp.
- Gotelli, N.J., Hart, E.M., & Ellison, A.M. (2015). EcoSimR: Null model analysis for ecological data. R package. <http://github.com/gotellilab/EcoSimR>
- Halliday, B. (2019). The enemy of my parasite is my friend: the possible role of predatory mites as biological control agents of pest beetles in soil. *Int J Acarol.* 45, 189–196. <https://doi.org/10.1080/01647954.2019.1574895>
- Hicks, E.A. (1958). A new genus and species of diplogyniid from Nicaragua (Order Acarina, Family Diplogyniidae). *Iowa State College Journal of Science*, 33, 103–110.
- Hoddle, M.S., & Hoddle, C.D. (2017). Palmageddon: the invasion of California by the South American palm weevil is underway. *CAPCA Adviser*, 20, 40–44.
- Holt, R.D. (2009). Bringing the Hutchinsonian niche into the 21st century: Ecological and evolutionary perspectives. *Proc Sci. USA* 106 (suplemento_2): 19659-19665. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905137106>

- Houck, M.A., & Cohen, A.C. (1995). The potential role of phoresy in the evolution of parasitism: radiolabelling (tritium) evidence from an astigmatid mite. *Exp Appl Acarol.* 19, 677–94. <https://doi.org/10.1007/BF00052079>
- Husband, R.W., & Flechtmann, C.H.W. (1972). A new genus of mite, *Rhynchopolipus*, associated with the palm weevil in Central and South America (Acarina, Podapolipodidae). *Rev Bras Biol.* 32 (4): 519–522.
- Kontschán, J., Mazza, G., Nannelli, R., & Roversi, P.F. (2014). The true identity of the red palm weevil associated Uropodina mite, *Centrouropoda almerodai* Hiramatsu & Hirschmann, 1992. *Redia-Giornale Di Zool.*, 97, 83–88. CABI Record Number: 20153013887
- Krantz, G.W., & Walter, D.E. (2009). Collecting, rearing and preparing specimens. *In*: Krantz, G.W. & Walter, D.E. (Eds.), *A manual of Acarology*, Third Edition. Lubbock, Texas Tech University Press, pp. 83–95.
- Lindquist, E.E. (1986). The world genera of Tarsonemidae (Acari: Heterostigmata): a morphological, phylogenetic and systematic revision, with a reclassification of family-group taxa in the Heterostigmata. *Mem Entomol Soc. Can.* 136: 1–517. <https://doi.org/10.4039/entm118136fv>
- Matos, I., Silva, D., Oliveira, J., Gonçalves, C., Alves, R., Pereira, N., Catarino, F., Ameixa, O.M.C.C., Souza, J.A., Rangel, L.F., Santos, M.J., & Ayra-Pardo, C. (2023). Body size-dependent effects on the distribution patterns of phoretic mite species assemblages on *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790). *Ecol Evol.* <https://doi.org/10.1002/ece3.10338>
- Mašán, P. (2003). Macrochelid mites of Slovakia (Acari, Mesostigmata, Macrochelidae). Institute of Zoology, Slovak Academy of Sciences, NOI Press, Bratislava, 149pp.
- Mazza, G., Cini, A., Cervo, R., & Longo, S. (2011). Just phoresy? Reduced lifespan in red palm weevils *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) infested by the mite *Centrouropoda almerodai* (Uroactiniinae: Uropodina). *Ital J Zool.* 78, 101–105. <https://doi.org/10.1080/11250003.2010.509135>
- Negrisol Junior, A.S., Silva, E.S., Negrisol, C.R.C.B., dos Santos, N.L., & Guzzo, E.C. (2011). Criação em laboratório da broca-do-olho-do-coqueiro *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae) visando pesquisas para o controle das suas larvas. Embrapa Tabuleiros Costeiros-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).
- Norton, R.A., Kethley, J.B., Johnston, D.E., & OConnor, B.M. (1993). Phylogenetic perspectives on genetic systems and reproductive modes of mites. *In* *Evolution and Diversity of Sex Ratio in Insects and Mites*, ed. D Wrensch, MA Ebbert, pp. 8–99. New York: Chapman e Hall.
- OConnor, B.M. (1994). Life-History Modifications in Astigmatid Mites. *In*: Houck, M.A. (eds) *Mites*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2389-5_6
- Oksanen, J., Simpson, G., Blanchet, F., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P., O'Hara, R., Solymos, P., Stevens, M., Szoecs, E., Wagner, H., Barbour, M.,

- Bedward, M., Bolker, B., Borcard, D., Borman, T., Carvalho, G., Chirico, M., De Caceres, M., Durand, S., Evangelista, H., FitzJohn, R., Friendly, M., Furneaux, B., Hannigan, G., Hill, M., Lahti, L., Martino, C., McGlinn, D., Ouellette, M., Ribeiro Cunha, E., Smith, T., Stier, A., Ter Braak, C., & Weedon, J. (2025). *vegan*: Pacote de Ecologia Comunitária. Pacote R versão 2.8-0, <https://vegandevs.github.io/vegan/> .
- Porcelli, F., Ragusa, E., D'Onghia, A.M., Mizzi, S., & Mifsud, D. (2009). Occurrence of *Centrouropoda almerodai* and *Uroobovella marginata* (Acari: Uropodina) phoretic on the red palm weevil in Malta. *Bull Entomol Soc Malta*, 2, 61–66.
- Rodríguez-Morell, H., Quirós-Mc Intire, E.I., Domingo-Quirós, A.E., Chico-Morejón, R., & Porcelli, F. (2012). Presencia de *Centrouropoda almerodai* y *Glyptholaspis* sp. (Acari: Uropodina, Macrochelidae) sobre el picudo negro del cocotero (*Rhynchophorus palmarum*) (Coleoptera: Curculionidae) en Panamá. *Métodos Ecol Sist.*, 7, 1–7.
- Rohde, K. (1984). Ecology of marine parasites. *Helgol Meeresunters.* 37, 5–33. <https://doi.org/10.1007/BF01989293>
- Seeman, O.D. (2007). A new species of *Paradiplogynium* (Acari: Diplogyniidae) from *Titanolabis colossea* (Dohrn) (Dermaptera: Anisolabididae), Australia's largest earwig. *Zootaxa*. 1386:31–38. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.1386.1.3>
- Seeman, O., & Walter, D.E. (2023). Phoresy and Mites: More than just a free ride. *Annu. Rev Entomol.* 68 (1): 69-88. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120220-013329>.
- Slimane-Kharrrat, S., & Ouali, O. (2019). Mites associated with the red palm weevil (*Rhynchophorus ferrugineus*) in Tunisia. *Tun J Plant Prot.* 14 (2): 29–38.
- Suzuki, R., & Shimodaira, H. (2006). Pvcust: An R package for assessing the uncertainty in hierarchical clustering. *Bioinformatics*, 22 (12): 1540–1542. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btl117>
- Walter, D.E., & Proctor, H.C. (1998). Feeding behavior and phylogeny: observations on early derivative Acari. *Exp Appl Acarol.* 22, 39–50. <https://doi.org/10.1023/A:1006033407957>
- Walter, D.E., & Proctor, H.C. (2013). *Mites: Ecology, Evolution and Behaviour*. Berlin: Springer. 2nd ed. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7164-2>
- Williamson, M. (1996). *Biological Invasions*. Chapman & Hall, London, 244 p.
- Wisniewski J., & Hirschmann W. (1993). Gangsystematik der Parasitiformes. Teil 548, Katalog der Ganggattungen, Untergattungen, Gruppen e Arten der Uropodiden der Erde (Taxonomie, Literatur, Grösse, Verbreitung, Vorkommen. *Acarologie*, 40: 1-220.

ARTIGO 3 - Além da forésia: padrões ecológicos, efeitos de atributos do hospedeiro e dinâmica populacional em ácaros associados a *Rhynchophorus palmarum* L.

Maria Beatriz Nunes de Souza¹, Maria E. B. Almeida², Erika L. S. Torres², Debora B. Lima¹, José W. S. Melo¹

¹Laboratório de Acarologia, Departamento de Zoologia, Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil

²Laboratório de Acarologia, Departamento de Zoologia, Graduação em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil

Resumo

A forésia, estratégia comum de dispersão entre artrópodes, envolve relações complexas entre hospedeiros e simbioses que influenciam dinâmicas ecológicas. A investigação da estrutura da comunidade e das flutuações populacionais de ácaros foréticos é particularmente relevante para pragas agrícolas de ampla distribuição, como para a broca-do-olho-do-coqueiro, *Rhynchophorus palmarum*. Este estudo investigou a comunidade de ácaros foréticos associados a *R. palmarum* em sua área de ocorrência nativa neotropical, visando caracterizar padrões populacionais, avaliar influências de atributos do hospedeiro e analisar dinâmicas interespecíficas. Foram registrados 14 táxons de ácaros, todos exibindo alta prevalência e forte agregação. O ácaro *Centrouropoda* sp. nov. destacou-se como a espécie dominante, com cargas individuais atingindo mais de 2.800 ácaros por besouro. Embora o sexo e o tamanho corporal do hospedeiro não tenham impactado a carga forética total, o tamanho influenciou seletivamente a abundância de certos táxons específicos (*Lasioseius* sp., *Macrocheles mammifer*, *Gamasina* sp., *Crenamargo binuseta*). A dinâmica populacional do ácaro *Centrouropoda* sp. nov. foi negativamente modulada pelos ácaros *C. binuseta* e *Rhynchopolipus rhynchophori*, sugerindo mecanismos de exclusão competitiva ou partição de microhabitat. Estes achados destacam uma comunidade complexa, onde interações bióticas desempenham um papel central na estruturação da acarofauna forética de *R. palmarum*, ressaltando a necessidade de futuras investigações sobre os efeitos funcionais dessas relações.

Palavras-chave: Comunidade; padrão de agregação; microhabitat; exclusão competitiva; partição de nicho.

Abstract

Phoresy, a common dispersal strategy among arthropods, involves complex relationships between hosts and symbionts that influence ecological dynamics. Investigating the community structure and population fluctuations of phoretic mites is particularly relevant for widely distributed agricultural pests, such as the South American palm weevil, *Rhynchophorus palmarum*. This study investigated the phoretic mite community associated with *R. palmarum* in its native Neotropical range, aiming to characterize population patterns, assess the influence of host traits, and analyze interspecific dynamics. A total of 14 mite taxa were recorded, all showing high prevalence and strong aggregation. *Centrouropoda* sp. nov. stood out as the dominant species, with individual loads reaching over 2,800 mites per beetle. Although host sex and body size did not affect total phoretic load, body size selectively influenced the abundance of certain specific taxa (*Lasioseius* sp., *Macrocheles mammifer*, *Gamasina* sp., *Crenamargo binuseta*). The population dynamics of *Centrouropoda* sp. nov. were negatively modulated by *C. binuseta* and *Rhynchopolipus rhynchophori*, suggesting mechanisms of competitive exclusion or microhabitat partitioning. These findings reveal a complex community in which biotic interactions play a central role in shaping the phoretic mite assemblage of *R. palmarum*, underscoring the need for further research on the functional effects of these relationships.

Keywords: Community; aggregation pattern; microhabitat; competitive exclusion; niche partitioning.

11 INTRODUÇÃO

A forésia é uma estratégia de dispersão amplamente empregada por organismos pequenos e ápteros, como os ácaros, que utilizam organismos maiores e com maior mobilidade para colonizar novos habitats, geralmente sem estabelecer uma relação parasitária (Athias-Binche e Morand, 1993; Krantz e Walter, 2009; Seeman e Walter, 2023). Essa interação é especialmente comum entre ácaros Mesostigmata e diversos grupos de insetos, como besouros, moscas e formigas (Schwarz et al., 1998; Seeman e Walter, 2023). Embora as adaptações morfológicas à forésia sejam bem documentadas, os fatores ecológicos que regulam a composição, prevalência e coexistência de espécies em comunidades foréticas permanecem pouco explorados, principalmente em ecossistemas tropicais, onde a diversidade desses ácaros ainda é subestimada.

Rhynchophorus palmarum L. (Coleoptera: Curculionidae) é um gorgulho de ampla distribuição neotropical, reconhecido por sua importância agrícola como principal vetor do nematoide *Bursaphelenchus cocophilus* (Cobb) Baujard, agente causal da doença do anel-vermelho em coqueiros (*Cocos nucifera* L.) e dendezeiros (*Elaeis guineensis* Jacq.) (Griffith, 1987; Giblin-Davis et al., 2003). Apesar de sua relevância econômica e de sua extensa distribuição na América Central e do Sul, os estudos sobre a acarofauna forética associada a *R. palmarum* permanecem escassos e fragmentados. A maioria das informações disponíveis restringe-se a registros taxonômicos isolados ou observações incidentais (Husband e Flechtmann, 1972; Flechtmann, 1981; Di Palma e Porcelli, 2014; Gómez-Marco et al., 2021), mesmo em sua área de origem (Rodríguez-Morell et al., 2012; Souza et al., capítulo I).

Considerando a alta diversidade de ácaros associados a insetos e os padrões de agregação frequentemente observados, é plausível que as comunidades foréticas sobre *R. palmarum* sejam estruturadas não apenas por atributos do hospedeiro, como sexo e tamanho corporal (Dilipkumar et al., 2015; Gómez-Marco et al., 2021), mas também por interações interespecíficas, como exclusão competitiva e partição espacial de microhabitats. A utilização diferenciada de regiões do corpo do hospedeiro pode facilitar a coexistência entre espécies, enquanto assimetrias em prevalência e abundância podem refletir hierarquias de dominância ou associações antagonistas (Matos et al., 2023). No entanto, são raros os estudos que investigam essas dinâmicas,

especialmente com foco em variações temporais nas abundâncias, o que limita nossa compreensão sobre os fatores que regulam a estabilidade e a coexistência em comunidades foréticas. Avaliar padrões temporais é essencial para detectar interações bióticas sutilmente moduladas por variações ambientais ou por flutuações na densidade de espécies coexistentes. Além disso, essas investigações permitem distinguir padrões consistentes de dominância, exclusão competitiva ou partição de recursos. Em um contexto em que os táxons foréticos podem incluir formas comensais, mutualistas ou mesmo parasitas facultativos (Houck e Cohen, 1995; Seeman e Walter, 2023), compreender sua dinâmica ao longo do tempo é crucial para elucidar o papel funcional dessas associações.

No presente estudo foi conduzido um levantamento de ácaros foréticos associados a *R. palmarum* em uma plantação comercial de coqueiro no Nordeste do Brasil, região de destacada importância agrícola e situada na área de distribuição natural do besouro. Este estudo teve como objetivos: (i) caracterizar a comunidade de ácaros foréticos avaliando padrões de prevalência, intensidade, abundância e agregação; (ii) investigar os efeitos do sexo e do tamanho corporal do hospedeiro sobre a carga forética total e específica; e (iii) investigar possíveis interações interespecíficas modulando a dinâmica populacional da espécie acarina mais dominante ao longo do tempo.

12 METODOLOGIA

12.1 Área de estudo e coleta de espécimes de *Rhynchophorus palmarum*

O estudo foi conduzido em um cultivo de coqueiro localizado em Igarassu, Pernambuco (7°50'38.8"S 34°56'28.3"W), entre dezembro de 2023 a dezembro de 2024. As coletas foram realizadas a cada três semanas (17 dias), totalizando 18 coletas. Os besouros *R. palmarum* foram capturados por meio de armadilhas, conforme descrito por Ferreira et al. (2002). Cada armadilha consistia em um balde de polietileno (1,5 L) com tampa perfurada para entrada dos insetos, contendo um microtubo com o feromônio sintético de agregação (rincoforol, 6-metil-2-(E)-hepten-4 ol, Interacta Química) e colmos de cana-de-açúcar semimacerados como atrativo alimentar. As armadilhas foram distribuídas aleatoriamente na área de cultivo, fixadas junto ao estipe dos coqueiros, ao nível do solo, e separadas por no mínimo 100 metros.

12.2 Morfometria dos insetos e extração dos espécimes acarinos

Os besouros capturados foram individualmente acondicionados em tubos Falcon (50 mL) e transportados ao Laboratório de Acarologia da UFPE, onde foram armazenados a -30 °C até o processamento. No laboratório, os indivíduos foram quantificados, sexados e mensurados em relação ao seu comprimento corporal (do pronoto ao pigídio, em vista dorsal - indicador de performance reprodutiva, como fecundidade e capacidade de acasalamento em coleópteros, de acordo com Huang et al., 2018) e largura do pronoto (no ponto mais largo, em vista dorsal - indicador de longevidade em coleópteros, de acordo com Damron et al., 2021). As medições foram realizadas com paquímetro digital (Digital Caliper Fractional e Decimal Display, Neiko Tools USA). Besouros danificados (com ausência de partes do corpo) foram descartados. Os ácaros aderidos foram removidos com pincel, pinça e escalpelo, contados, separados por morfoespécies e preservados em etanol 70% para posterior identificação.

12.3 Montagem e identificação dos espécimes acarinos

Espécimes esclerotizados foram submetidos à clarificação em solução Nesbit (Krantz e Walter, 2009) por sete dias. Espécimes pouco esclerotizados foram montados diretamente em lâminas com o meio de Hoyer, entre lâmina e lamínula, conforme Krantz e Walter (2009). As lâminas foram mantidas em estufa a 50 °C por sete dias e, após secagem, foram vedadas com verniz (Acrilex®). Os ácaros foram examinados sob microscópio com contraste de fase (Olympus® BX41) para identificação ao menor nível taxonômico possível, com auxílio de literatura existente (Krantz e Walter, 2009; Di palma e Porcelli, 2014), além de contribuição de especialistas em grupos específicos de ácaros. As lâminas foram depositadas na Coleção Acarológica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil.

12.4 Dinâmica populacional

A dinâmica populacional foi investigada apenas para as espécies de ácaros consideradas dominantes, classificadas com base no índice de importância relativa da espécie (IRE), calculado como: $IRE = \text{prevalência (\%)} \times \text{abundância média (\%)}$. As espécies foram categorizadas como dominantes ($IRE \geq 100$), comuns ($10 < IRE < 100$) ou raras ($IRE < 10$), conforme Song et al. (2019). A abundância média de ácaros por besouro (variável biótica) e os dados de

temperatura mínima, média e máxima (°C), bem como a precipitação média (mm) (variáveis abióticas) foram utilizados como preditores da dinâmica populacional das espécies dominantes. Os dados meteorológicos foram obtidos através do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO), estação TRMM.6729 (Igarassu–PE), considerando os valores médios dos cinco dias em que as armadilhas permaneceram no campo.

12.5 Análise de dados

Inicialmente, foram calculadas métricas descritivas para cada táxon de ácaro: prevalência (proporção de besouros infestados), média de intensidade (número médio de ácaros considerando apenas hospedeiros infestados), média de abundância (número médio de ácaros por besouro, considerando todos os indivíduos), grau de agregação (medida pelo índice D de Poulin) e intervalo de variação (número mínimo e máximo de ácaros por hospedeiro). Todas essas métricas, exceto o intervalo de variação, foram comparadas através do intervalo de confiança a 95%, para a prevalência estes foram estimados pelo método exato de Clopper–Pearson enquanto para as demais métricas estes foram obtidos por bootstrap (2.000 repetições; ajuste por bias-corrected and accelerated). Para avaliar a influência do sexo dos besouros sobre a carga forética total e específica (por táxon), foram aplicadas as mesmas abordagens descritas acima, no entanto restringindo-se, às métricas de prevalência, intensidade e abundância, calculadas separadamente para machos e fêmeas. Cada métrica fornece uma perspectiva distinta da interação ácaro-besouro: a prevalência indica se ambos os sexos são igualmente utilizados como hospedeiros, refletindo padrões de uso; a intensidade revela se, entre os indivíduos infestados, um dos sexos carrega maiores cargas foréticas; e a abundância permite verificar diferenças no número total de ácaros transportados entre os sexos, considerando tanto hospedeiros infestados quanto não infestados. A influência do tamanho corporal sobre a carga forética foi analisada por modelos lineares generalizados (GLMs) com distribuição quasi-Poisson, apropriada para dados de contagem com sobredispersão. Como medida de tamanho corporal, foi utilizada a área corporal estimada (comprimento $\times$ largura do pronoto), assumindo correlação com a superfície de aderência dos ácaros. As classificações das espécies por raridade foram demonstradas em gráficos de rank de espécies. A espécie acarina mais dominante teve sua dinâmica

populacional analisada através de uma regressão linear múltipla do tipo stepwise, utilizando variáveis bióticas e abióticas como preditores. Os pressupostos dos modelos (homogeneidade de variância, linearidade e normalidade dos resíduos, ausência de observações influentes e baixa colinearidade) foram avaliados graficamente e por meio do VIF (Variance Inflation Factor) (excluindo-se variáveis com $VIF > 5$). A seleção do modelo final considerou os valores de R^2 , F e P, e a contribuição relativa das variáveis (mantendo-se apenas aquelas com explicação $\geq 5\%$ do R^2). A importância relativa dos preditores foi estimada pelo método "lmg". Todas as análises foram realizadas na linguagem R.

13 RESULTADOS

Quatorze táxons de ácaros foram registrados associados a *R. palmarum*, a saber: *Fuscuropoda marginata* (Koch) (Urodinychidae), *Centrouropoda* sp. nov. (Uropodina s.l.), *Dinychus* sp. nov. (Dinychidae), *Macrocheles* sp. nov. (espécies novas ainda não descritas), *Macrocheles mammifer* Berlese (Macrochelidae), *Lasioseius* sp. Berlese (Blattisociidae), *Crenamargo binuseta* Hicks (Diplogyniidae), *Rhynchopolipus rhynchophori* (Ewing) (Podapolipidae), *Curculanoetus* sp. Fain (Histiostomatidae), Acaridae sp., Trematuridae sp., Uropodidae sp., Uropodina sp. e Gamasina sp., apresentando ampla variação em prevalência, intensidade, abundância e grau de agregação (Figura 1). A prevalência das espécies variou de 5% a 88%. *Centrouropoda* sp. nov. apresentou a maior prevalência (88%), seguida por Uropodidae sp. (71%) e Uropodina sp. (57%). Sete táxons exibiram prevalência intermediária (24–51%), enquanto Acaridae sp., *M. mammifer*, *Lasioseius* sp. e *F. marginata* foram os táxons com menor prevalência (inferior a 20%) (Figura 1A). A intensidade média de infestação variou amplamente entre os táxons. *Centrouropoda* sp. nov., *Curculanoetus* sp., *Dinychus* sp. nov., Uropodina sp. e Acaridae sp. apresentaram valores elevados (≥ 150 ácaros por besouro infestado), indicando infestações intensas quando presentes. Por outro lado, *R. rhynchophori*, Uropodidae sp. e Trematuridae sp. exibiram intensidades moderadas (10–40), enquanto os demais táxons apresentaram baixa intensidade (inferior a 10) (Figura 1B). Quanto à abundância média, *Centrouropoda* sp. nov. destacou-se com média de 258,64 indivíduos por besouro. *Dinychus* sp. nov. e Uropodina sp.

também apresentaram valores expressivos (> 85), ao passo que a maioria dos táxons que apresentaram baixa intensidade apresentaram abundância inferior a 1 (Figura 1C). Em relação ao grau de agregação, todos os táxons apresentaram valores elevados do índice de discrepância de Poulin ($D \geq 0,65$), com destaque para *Curculanoetus* sp. (0,86), *Dinychus* sp. nov. (0,83) e *Uropodina* sp. (0,84). Esses valores indicam forte agregação: a maioria dos besouros carrega poucos ou nenhum ácaro, enquanto uma minoria concentra grandes cargas foréticas (Figura 1D). A amplitude de infestação reforça esse padrão, variando de poucos indivíduos (nenhum ou um) a milhares por hospedeiro. *Centrouropoda* sp. nov. apresentou a maior variação, com até 2.834 indivíduos em um único besouro, enquanto *Acaridae* sp., táxon com menor prevalência, atingiu cargas máximas de até 980 ácaros por indivíduo (Figura 1E).

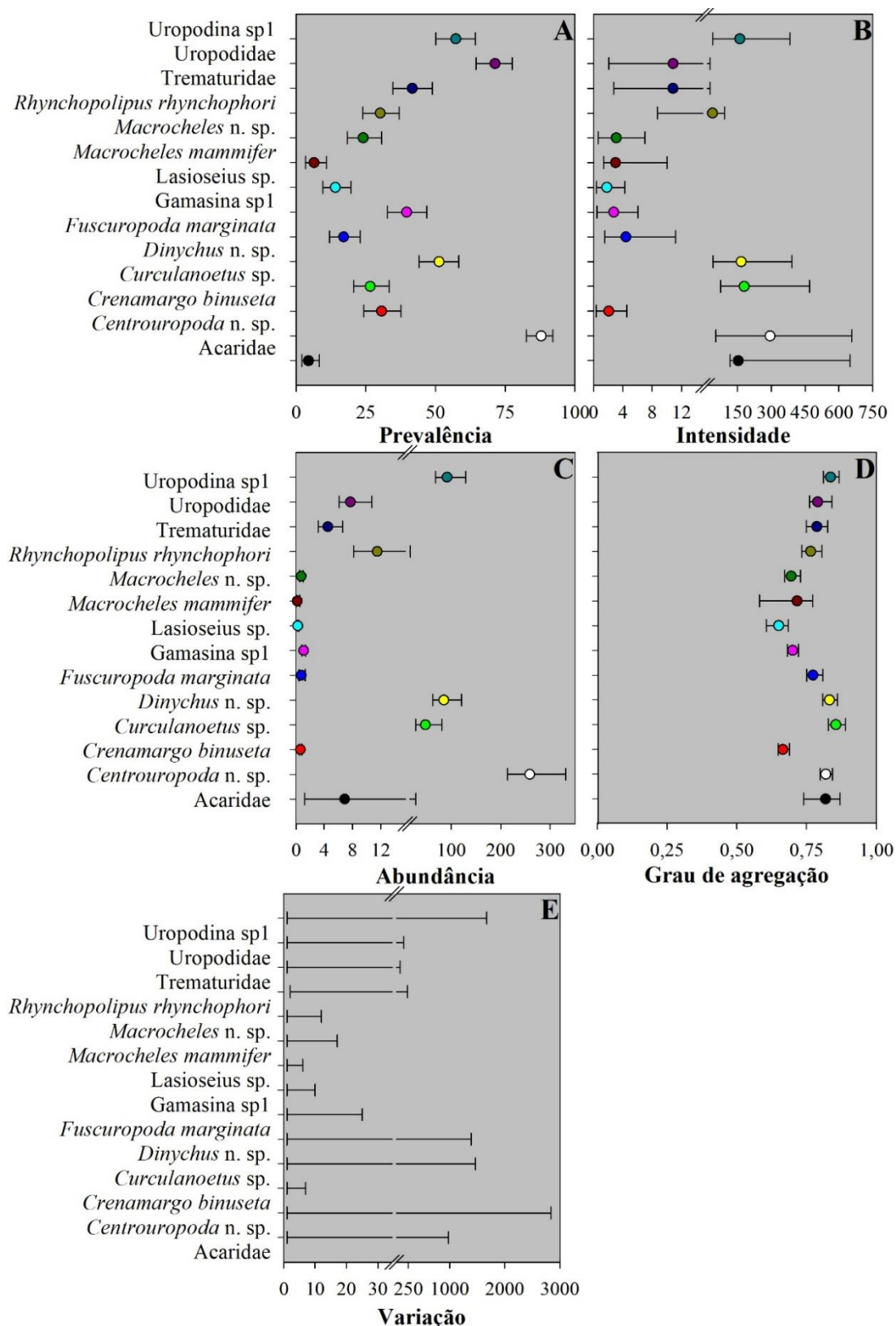


Figura 1. Métricas populacionais descritivas de ácaros associados a *Rhynchophorus palmarum*, incluindo prevalência (A), média de intensidade (B), média de abundância (C), grau de agregação (D) e amplitude de infestação (E) para cada táxon registrado. Pontos representam valores médios enquanto as barras correspondem ao intervalo de confiança a 95%, exceto para amplitude de infestação onde as barras correspondem aos valores máximo e mínimo.

Efeitos de atributos do hospedeiro sobre a carga forética

Não foram detectadas diferenças entre machos e fêmeas de *R. palmarum* em relação à carga forética, tanto de forma geral (considerando o total de todos os táxons combinados), quanto de forma específica para cada táxon. As três métricas avaliadas (prevalência, intensidade e abundância) apresentaram valores semelhantes entre os sexos, com intervalos de confiança sobrepostos. A prevalência foi de 99,1% em machos e 100% em fêmeas, a intensidade média foi de 476,5 e 575,2 ácaros por besouro infestado, respectivamente, e a abundância média foi de 472,2 e 575,2 ácaros por besouro, respectivamente. Esses resultados indicam que machos e fêmeas são utilizados de forma equivalente como hospedeiros foréticos pelos diferentes grupos de ácaros (Figura 2). Os dados detalhados para cada táxon encontram-se na Tabela Suplementar 1.

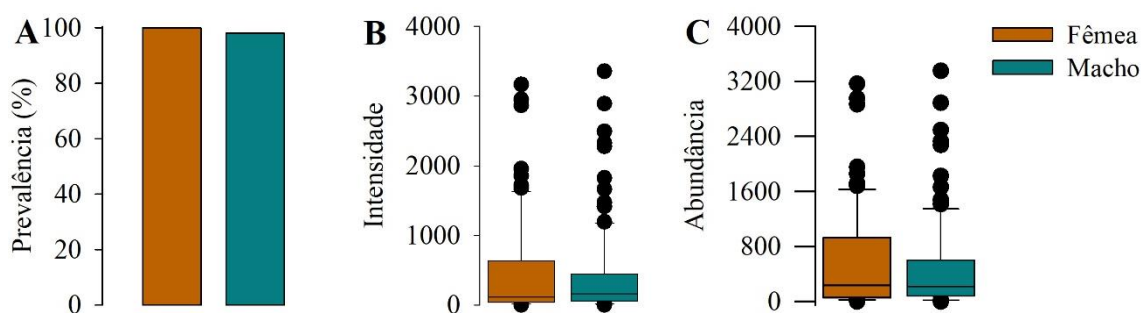


Figura 2. Boxplots comparando a prevalência (A), a intensidade (B) e a abundância (C) da carga forética total de ácaros associados a machos e fêmeas de *Rhynchophorus palmarum*. Cada ponto representa um indivíduo; as caixas indicam o intervalo interquartil (Q1–Q3), as linhas internas correspondem à mediana, extremos representam outliers. Não foram observadas diferenças significativas entre os sexos para nenhuma das métricas.

O comprimento corporal dos espécimes de *R. palmarum* coletados variaram de 27,40 a 45,60 mm ($35,6 \pm 0,33$ mm, média $\pm$ EP), enquanto a largura do pronoto variou de 8,80 a 16,70 mm ($12,7 \pm 0,11$ mm, média $\pm$ EP). As dimensões corporais dos insetos (comprimento x largura) não apresentaram relação significativa com a carga total de ácaros ($\beta = 3.2 \times 10^{-6}$; $p = 0.998$), indicando que besouros maiores não carregam, em média, mais ácaros que indivíduos menores (Tabela 1). Quando considerados separadamente, a maioria dos táxons também não apresentou associação significativa com o tamanho corporal. Apenas *Lasioseius* sp., *Gamasina* sp., *M. mammifer* e *C. binuseta* mostraram efeitos significativos ($p < 0.05$) (Figura 3). Entre os táxons com associação

significativa, *Lasioseius* sp. apresentou tendência de aumento exponencial na abundância média com o aumento da área corporal dos besouros, sugerindo preferência por hospedeiros maiores (Figura 3A). *M. mammifer* (Figura 3B), por outro lado, apresentou relação negativa, com indivíduos menores abrigando mais ácaros. Para *Gamasina* sp. (Figura 3C) e *C. binuseta* (Figura 3D), a abundância aumentou de forma moderada com o tamanho corporal.

Tabela 1. Relação entre área corporal do hospedeiro (proxy: comprimento × largura) e abundância de diferentes táxons de ácaros foréticos associados a *Rhynchophorus palmarum*.

Taxon	Coeficiente (β)	Erro padrão	Estatística t	p
<i>Lasioseius</i> sp.	0.00697	0.00214	3.26	0.001*
<i>Macrocheles mammifer</i>	-0.00957	0.00446	-2.14	0.033*
<i>Gamasina</i> sp.	0.00300	0.00145	2.08	0.039*
<i>Crenamargo binuseta</i>	0.00311	0.00157	1.97	0.049*
<i>Uropodina</i> sp.	-0.00332	0.00187	-1.77	0.077
<i>Fuscuropoda marginata</i>	0.00461	0.00278	1.66	0.098
<i>Uropodidae</i> sp.	-0.00174	0.00166	-1.05	0.295
<i>Trematuridae</i> sp.	-0.00226	0.00216	-1.05	0.296
<i>Centrouropoda</i> sp. nov.	0.00110	0.00124	0.885	0.377
<i>Macrocheles</i> sp. nov.	0.00169	0.00197	0.857	0.392
<i>Rhynchopolipus rhynchophori</i>	0.00115	0.00212	0.543	0.588
<i>Acaridae</i> sp.	-0.00168	0.00851	-0.198	0.843
<i>Curculanoetus</i> sp.	0.000533	0.00321	0.166	0.868
<i>Dinychus</i> sp. nov.	-0.0000935	0.00195	-0.0479	0.962

Os valores foram estimados a partir de modelos lineares generalizados (GLM) com distribuição quasi-Poisson. Coeficientes (β) representam a mudança na abundância esperada associada a um incremento unitário na área corporal (mm²) e estão expressos em log. Significância: $p < 0.05$ (*).

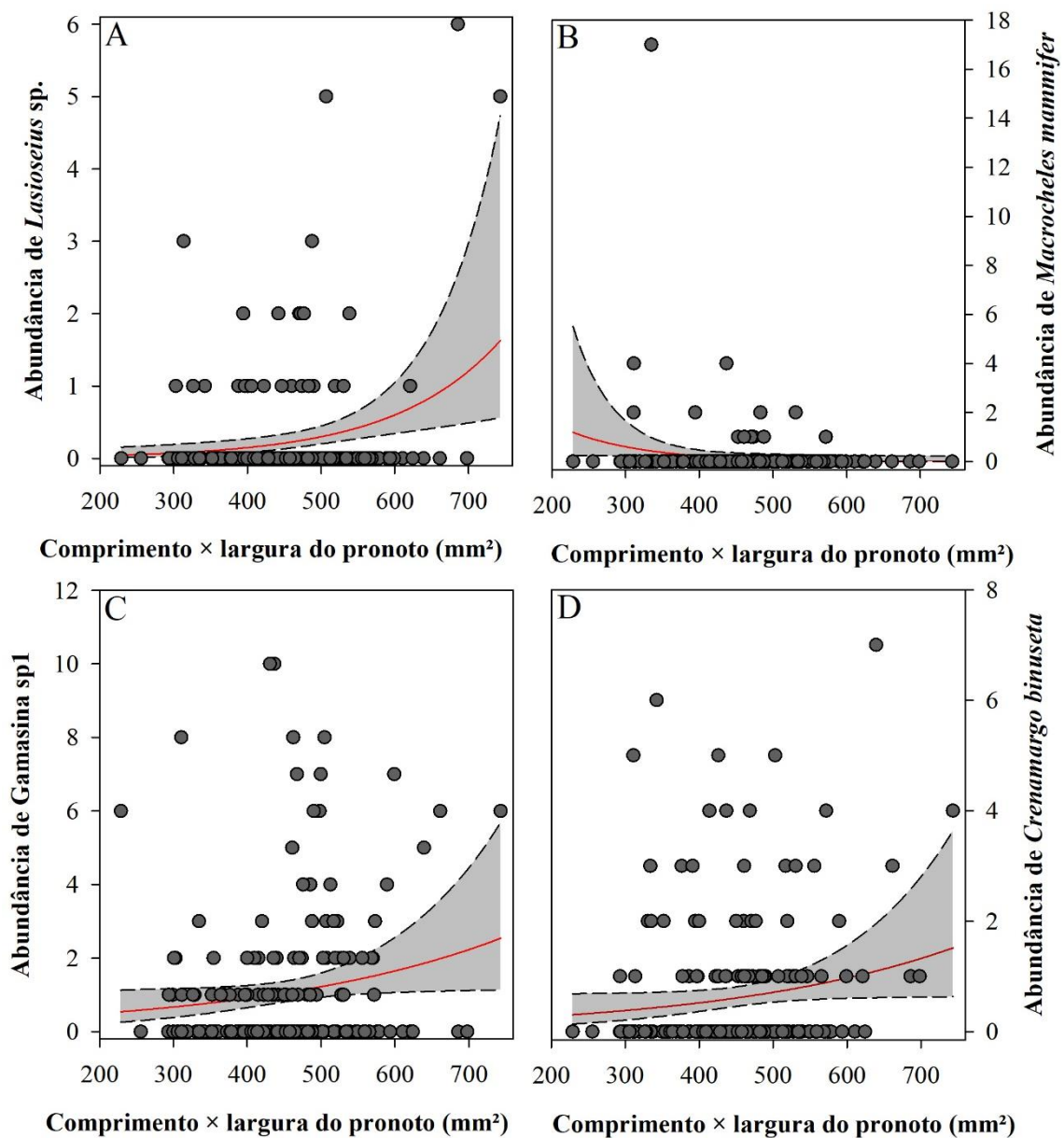


Figura 3. Relação entre um proxy da área corporal de *Rhynchophorus palmarum* (comprimento $\times$ largura do pronoto) e a abundância de diferentes táxons de ácaros foréticos. As linhas vermelhas representam as tendências centrais enquanto as áreas sombreadas delimitada pelas linhas tracejadas pretas indicam os intervalos de confiança de 95%. (A) *Lasioseius* sp.; (B) *Macrocheles mammifer*; (C) *Gamasina* sp.; (D) *Crenamargo binuseta*. n= 198 besouros.

Dinâmica populacional

Dentre os 14 táxons de ácaros registrados associados a *R. palmarum*, apenas cinco foram classificadas como dominantes ($IRE \geq 100$), sendo estas: *Centrouropoda* sp. nov., *Uropodina* sp., *Dinychus* sp. nov., *Curculanoetus* sp., *Uropodidae* sp. (Fig. 4). A espécie *Centrouropoda* sp. nov. por ser aquela mais dominante teve sua dinâmica populacional estudada. Aproximadamente 42% da

variação populacional de *Centrouropoda* sp. nov. pode ser explicada por sua interação (direta ou indireta) com as espécies *C. binuseta* (R^2 parcial= 19,4) e *R. rhynchophori* (R^2 parcial= 22,6) ($F_{2,15}$ = 5,46; R^2 = 0,423; P = 0,016). Ambos os preditores tiveram efeito negativos sobre a abundância média de *Centrouropoda* sp. nov. ($\beta_{\text{padronizado}}$ = -0,41 e -0,47, respectivamente) (Figura 5).

O número médio de espécimes de *Centrouropoda* sp. nov. apresentou considerável variação ao longo do ano, com valores médios por besouro variando de 12,4 a 1048 indivíduos. De um modo geral, os períodos de maior abundância de *Centrouropoda* sp. nov. (e.g., junho e dezembro de 2024) coincidiram com baixas densidades de *R. rhynchophori*. Em contrapartida, nas coletas em que *R. rhynchophori* apresentou valores elevados (e.g., 33,8; 43,0), a abundância de *Centrouropoda* sp. nov. foi consideravelmente reduzida (88,2 e 197,2, respectivamente). Um padrão semelhante, embora menos pronunciado, foi observado para *C. binuseta*, cuja presença em maiores densidades também esteve associada a uma redução na abundância de *Centrouropoda* sp. nov.

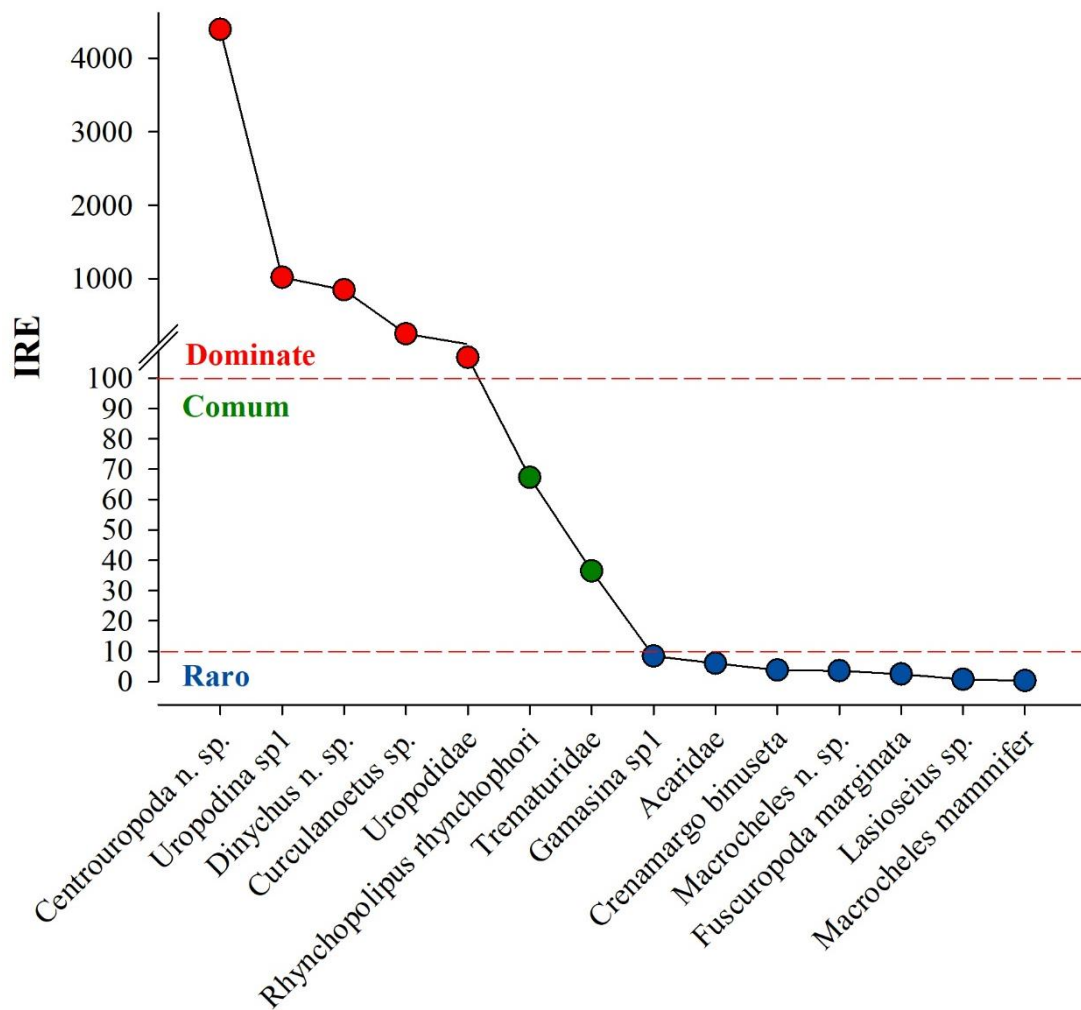


Figura 4. Distribuição das categorias taxonômicas de ácaros associadas a *Rhynchophorus palmarum* com base no índice de importância relativa da espécie (IRE). As espécies foram classificadas como dominantes (IRE ≥ 100, em vermelho), comuns (10 < IRE < 100, em verde) e raras (IRE < 10, em azul). As linhas tracejadas indicam os limiares utilizados para a categorização.

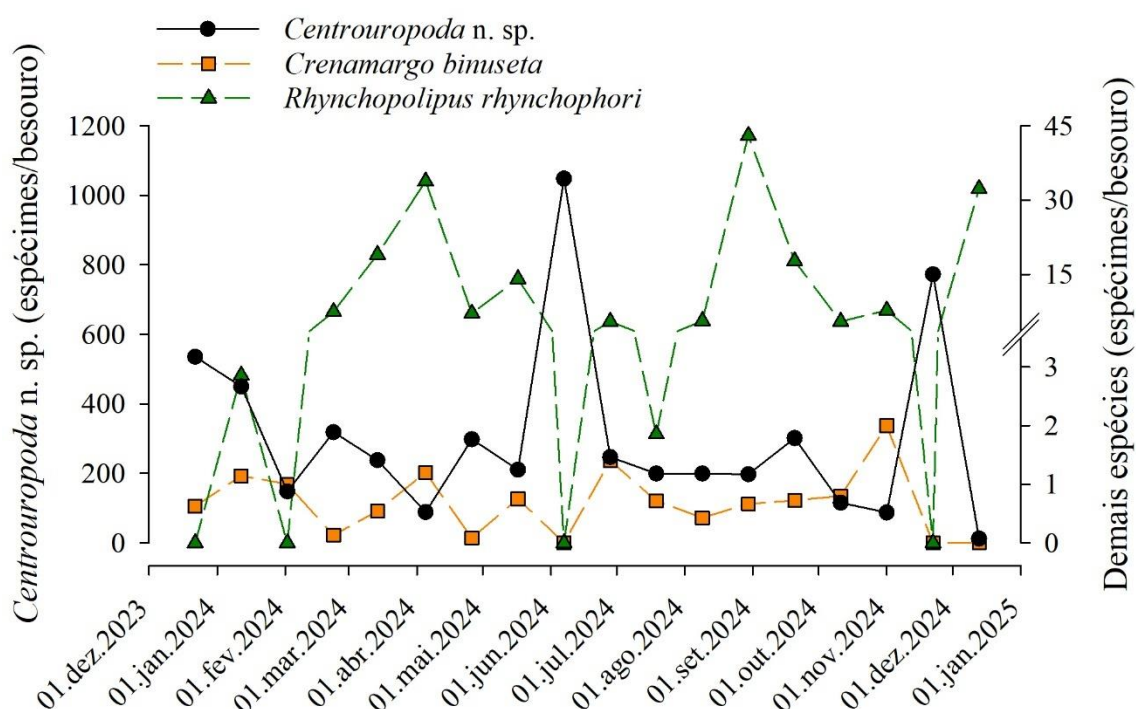


Figura 5. Dinâmica populacional de ácaros foréticos associados a *Rhynchophorus palmarum* em Igarassu, Pernambuco. A abundância de *Centrouropoda* sp. nov., espécie mais dominante, é apresentada em relação à de *Crenamargo binuseta* e *Rhynchopolipus rhynchophori*, utilizadas como variáveis preditoras para explicar sua flutuação populacional. Os dados representam a média de espécimes por besouro, coletados a cada 17 dias (intervalo de três semanas) ao longo de um ano.

14 DISCUSSÃO

Este estudo fornece uma visão abrangente da interação forética entre *R. palmarum* e sua comunidade acarina, revelando padrões consistentes de dominância, agregação e associação com características do hospedeiro. No presente estudo foi observado que: (1) os 14 táxons acarinos associados a *R. palmarum* apresentaram ampla variação em prevalência, intensidade e abundância, porém com elevado índice de agregação; (2) *Centrouropoda* sp. nov. foi a espécie mais prevalente e abundante, atingindo cargas superiores a 2.800 indivíduos por hospedeiro; (3) sexo e tamanho corporal do hospedeiro não influenciaram a carga forética total, no entanto, o tamanho corporal pode influenciar seletivamente a ocorrência de táxons específicos; (4) a flutuação populacional de *Centrouropoda* sp. nov. foi negativamente influenciada pelas abundâncias de *C. binuseta* e *R. rhynchophori*, sugerindo potenciais interações interespecíficas modulando sua flutuação populacional ao longo do tempo.

Este estudo confirma a elevada riqueza de táxons foréticos associados a *R. palmarum* no Brasil, conforme previamente relatado por Souza et al. (capítulo I), e traz evidências inéditas sobre a variação em prevalência, intensidade e abundância, além de demonstrar um padrão de agregação para esses táxons. Até o momento, o único levantamento sistemático de ácaros foréticos associados a *R. palmarum* foi realizado por Gómez-Marco et al. (2021), onde documentaram três táxons (*Centrouropoda* sp. nov., *Dinychus* sp. nov. (espécies novas e não descritas) e *F. marginata* em populações recentemente introduzidas no sul da Califórnia. Antes disso, os únicos registros disponíveis incluíam a presença de duas espécies (*Centrouropoda almerodai* Hiramatsu e Hirschmann e *Glyptholaspis* sp. Filipponi e Pegazzano (possível *Centrouropoda* sp. nov. e *M. mammifer*, segundo Gómez-Marco et al. (2021) e Dilipkumar et al. (2015), respectivamente) em coletas pontuais no Panamá (Rodríguez-Morell et al., 2012) e de *R. rhynchophori* e *C. binuseta* no Brasil, relatados em descrições taxonômicas ou observações isoladas (Husband e Flechtmann, 1972; Flechtmann, 1981; Di Palma e Porcelli, 2014; Negrisoli Junior et al., 2011). A maior riqueza observada neste estudo pode refletir a longa história de coocorrência entre *R. palmarum* e sua fauna simbiótica no Neotrópico, região de origem do besouro, conforme discutido por Souza et al. (capítulo I). Além disso, áreas recentemente colonizadas podem ter passado por processos de filtragem biótica, resultando na perda parcial da fauna acarológica associada, como previsto pela Hipótese de Liberação do Inimigo (Enemy Release Hypothesis) (Williamson, 1996). Todos os táxons registrados apresentaram distribuição fortemente agregada nos hospedeiros, com altos valores do índice de discrepância de Poulin. Padrões semelhantes foram relatados por Matos et al. (2023) em ácaros foréticos associados a *R. ferrugineus*, e podem resultar tanto da ocupação desigual dos microhabitats (i.e., regiões específicas do corpo do hospedeiro onde os ácaros se fixam, como sob os élitros ou nas pernas) quanto de mecanismos de exclusão competitiva por espécies dominantes, como *Centrouropoda* sp. nov. Alternativamente, a agregação pode refletir estratégias parasitárias latentes, dado que esse padrão também é característico de parasitas (Goater et al., 2014), e há registros de transições do comensalismo para interações de exploração ativa do hospedeiro entre ácaros foréticos (Houck e Cohen, 1995; Seeman e Walter, 2023).

O ácaro *Centrouropoda* sp. nov. destacou-se como o táxon mais prevalente e abundante da comunidade forética associada ao besouro *R. palmarum*, sendo registrado em todos os besouros amostrados e responsável por mais de 70% dos indivíduos contabilizados. As cargas individuais alcançaram números extremos, excedendo 2.800 ácaros por hospedeiro, o que representa, até onde se sabe, o maior registro já documentado para ácaros foréticos sobre *R. palmarum*. Padrões semelhantes de dominância foram observados por Gómez-Marco et al. (2021) e Souza et al. (capítulo II), onde *Centrouropoda* sp. nov. também se destacou em abundância, especialmente na região subelitoral. De modo mais amplo, espécies deste gênero têm demonstrado uma afinidade recorrente com besouros do gênero *Rhynchophorus* em diferentes regiões do mundo, tais como *C. almerodai* (Uropodidae) sobre *R. ferrugineus* em países do Mediterrâneo e Sudeste Asiático (Dilipkumar et al., 2015). Essa ampla distribuição, aliada à alta prevalência e abundância observadas em diferentes contextos geográficos, sugere uma forte associação ecológica entre *R. palmarum* e ácaros do gênero *Centrouropoda*. No entanto, os efeitos potenciais dessa associação sobre a biologia do hospedeiro permanecem pouco compreendidos, sendo necessário investigar se cargas elevadas, como as documentadas neste estudo, resultam em custos fisiológicos, como sugerido para outras espécies de *Rhynchophorus* infestadas por Uropodina (Mazza et al., 2011).

Neste estudo, nem o sexo nem o tamanho corporal do besouro *R. palmarum* influenciaram significativamente a carga forética total, sugerindo que, em escala populacional, esses fatores não modulam a intensidade da associação entre besouros e ácaros. No entanto, análises específicas revelaram que o tamanho corporal pode afetar seletivamente a abundância de determinados táxons, como *Lasioseius* sp., *Gamasina* sp., *C. binuseta* e *M. mammifer*. A prevalência desses grupos variou entre 6,5% e 39,7%, e os efeitos observados foram de baixa magnitude, o que indica que tais associações devem ser interpretadas com cautela. Esses resultados se alinham parcialmente aos obtidos por Matos et al. (2023), que também não encontraram diferenças na prevalência entre machos e fêmeas para sete táxons de ácaros foréticos associados a *R. ferrugineus*. Por outro lado, Dilipkumar et al. (2015) relataram associação preferencial com machos em *R. ferrugineus*, hipótese atribuída a seu

maior porte corporal e possível emissão de sinais químicos que favoreceriam a seleção do hospedeiro pelos ácaros. Embora o feromônio de agregação liberado pelos machos de *R. palmarum* seja bem conhecido (Oehlschlager et al., 1995), não há evidências de que ele funcione como kairomônio para ácaros foréticos. Curiosamente, Gómez-Marco et al. (2021) observaram que machos infestados apresentavam uma leve redução na largura do pronoto em relação aos não infestados ($\approx 3\%$), e sugeriram que a redução no tamanho do pronoto dos machos pode ter origem em estágios anteriores, no caso de os ácaros estarem associados à fase larval ou pupal do besouro. No presente estudo, os efeitos detectados foram ainda menos expressivos, indicando que, embora o tamanho do hospedeiro possa favorecer a colonização por alguns táxons específicos, sua importância como preditor da carga forética total parece limitada.

A flutuação populacional de *Centrouropoda* sp. nov. ao longo do tempo apresentou picos de abundância seguidos por quedas acentuadas. Os modelos estatísticos indicaram que sua abundância foi negativamente influenciada pelas de *C. binuseta* e *R. rhynchophori*, sugerindo que interações interespecíficas podem modular sua dinâmica. Embora não existam estudos anteriores que testem diretamente esse tipo de relação entre ácaros foréticos associados a *Rhynchophorus*, os padrões de agregação e dominância relatados por Matos et al. (2023) e Gómez-Marco et al. (2021) apontam para possíveis mecanismos de exclusão competitiva ou partição de microhabitats. Souza et al. (Capítulo II) mostram que essas três espécies ocupam regiões distintas no corpo do hospedeiro: *Centrouropoda* sp. nov. ocorre em todas as regiões, com predominância no subélitro; *R. rhynchophori* é restrita a essa mesma região; e *C. binuseta* ocorre em todas as regiões, exceto no subélitro. Essa segmentação espacial sugere que as interações observadas na flutuação populacional podem estar associadas à exclusão espacial por partição de microhabitat no caso de *C. binuseta*, e por sobreposição direta com *Centrouropoda* sp. nov. no caso de *R. rhynchophori*, o que poderia intensificar a competição por espaço ou recursos associados ao subélitro. Adicionalmente, embora os Diplogyniidae sejam geralmente considerados detritívoros ou microbívoros, há indícios de que *C. binuseta* possa apresentar comportamentos predadores facultativos. Halliday et al. (2019) propuseram que essa espécie poderia se alimentar de nematoides fitoparasitas, como *B. cocophilus*, ou até impactar a reprodução de *R. palmarum*

ao consumir ovos ou larvas, embora tais interações careçam de validação experimental. Isso reforça a possibilidade de que *C. binuseta* exerça interferência direta ou indireta sobre *Centrouropoda* sp. nov., seja por competição ou exploração facultativa de recursos associados ao hospedeiro. As diferenças nos hábitos alimentares presumidos entre os táxons também podem contribuir para sua segregação ecológica. Enquanto *Centrouropoda* sp. nov. é provavelmente detritívora ou fungívora (Uropodina), *C. binuseta* pode apresentar hábitos detritívoros ou predadores oportunistas (Diplogyniidae), e *R. rhynchophori* pertence a uma família (Podapolipidae) que inclui espécies com estágios larvais parasitas, o que reforça a possibilidade de interações assimétricas ou antagonistas. Embora fatores abióticos e variações na densidade do hospedeiro não possam ser descartados, os resultados obtidos fornecem evidências iniciais de que a composição da comunidade forética pode influenciar a trajetória populacional de táxons dominantes, revelando um nível adicional de complexidade nas interações entre ácaros e hospedeiros.

Os resultados deste estudo revelam uma comunidade de ácaros foréticos estruturalmente complexa associada a *R. palmarum*, marcada por elevada diversidade, forte agregação e padrões de dominância assimétricos. A ausência de influência significativa do sexo e do tamanho corporal do hospedeiro sobre a carga total sugere que a colonização por ácaros está mais relacionada à biologia das espécies foréticas do que a atributos morfológicos do besouro. No entanto, associações específicas entre certos táxons e o tamanho do hospedeiro, bem como a influência negativa de espécies coocorrentes sobre a flutuação de *Centrouropoda* sp. nov., indicam que interações bióticas sutis e espacialmente estruturadas contribuem para moldar a composição e a dinâmica da comunidade. Esses achados reforçam a importância de considerar tanto fatores internos ao hospedeiro quanto interações interespecíficas ao investigar associações simbióticas, e abrem caminho para estudos experimentais que avaliem os efeitos funcionais e evolutivos dessas relações.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a todos os colegas que prestaram assistência técnica no campo e no laboratório: Maria I. de O. L. Gomes, João M. R. Costa, Bruna R. M. Campelo, Ana J. D. Monteiro, assim como aos professores e profissionais que contribuíram ativamente com o fornecimento de materiais.

Este estudo foi financiado, em parte, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- Athias-Binche, F., & Morand, S. (1993). From phoresy to parasitism: the examples of mites and nematodes. *Res. Rev. Parasitol.* 53, 73-79.
- Damron, E.P., Smith, A.N., Jo, D., & Belk, M.C. (2021). No evidence for increased fitness of offspring from multigenerational effects of parental size or natal carcass size in the burying beetle *Nicrophorus marginatus*. *PLoS ONE* 16(7): e0253885. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253885>
- Di Palma, A., & Porcelli, F. (2014). Illustration of some Morphological Features Important for Identification of *Rhynchopolipus rhynchophori* (Ewing) (Acari: Podapolipidae). *Acarina* 22 (2): 92–99.
- Dilipkumar, M., Ahadiyat, A., Mašán, P., & Chuah, T.S. (2015). Mites (Acari) associated with *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) in Malaysia, with a revised list of the mites found on this weevil. *J Asia-Pac Entomol.* 18, 169–174. <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2014.12.010>
- Ferreira, J.M.S., Araújo, R.P.C., & Sarro, F.B. (2002). Táticas de manejo das pragas. In: Ferreira JMS (Ed.). *Coco, fitossanidade*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2002. 136, 83-106. (Frutas do Brasil, 28).
- Flechtmann, C.H.W. (1981). New records of mites from Brasil, with description of two new species in the genus *Oligonychus* Berlese (Acari, Tetranychidae). *Rev Brasil Biol.*, 41(4): 861-866.
- Giblin-Davis, R.M., Davies, K.A., Morris, K., & Thomas, W.K. (2003). Evolution of parasitism in insect-transmitted plant nematodes. *J. Nematol.* 35, 133–141.
- Goater, T.M., Goater, C.P., & Esch, G.W. (2014). *Parasitism: The diversity and ecology of animal parasites* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Gómez-Marco, F., Klompen, H., & Hoddle, M.S. (2021). Phoretic mite infestations associated with *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae) in southern California. *Syst Appl Acarol.* 26 (10): 1913–1926. <https://doi.org/10.11158/saa.26.10.6>
- Griffith, R. (1968). The relationship between the red ring nematode and the palm weevil. *J. Agric. Soc. Trinidad and Tobago* 68, 342-356.
- Halliday, B. (2019). The enemy of my parasite is my friend: the possible role of predatory mites as biological control agents of pest beetles in soil. *Int J Acarol.* 45, 189–196. <https://doi.org/10.1080/01647954.2019.1574895>
- Houck, M.A., & Cohen, A.C. (1995). The potential role of phoresy in the evolution of parasitism: radiolabelling (tritium) evidence from an astigmatid mite. *Exp Appl Acarol.* 19, 677–94. <https://doi.org/10.1007/BF00052079>
- Huang, Y., Ao, Y., Jiang, M., & Way, M.O. (2018). Variation of Body Size in Rice Water Weevil (Coleoptera: Curculionidae) and Its Associations with Population Biology. *J. Insect Sci.*, 18, 1-7. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iex099>

- Husband, R.W., & Flechtmann, C.H.W. (1972). A new genus of mite, *Rhynchopolipus*, associated with the palm weevil in Central and South America (Acarina, Podapolipodidae). *Rev Bras Biol.* 32 (4): 519–522.
- Krantz, G.W., & Walter, D.E. (2009). Collecting, rearing and preparing specimens. *In*: Krantz, G.W. & Walter, D.E. (Eds.), *A manual of Acarology*, Third Edition. Lubbock, Texas Tech University Press, pp. 83–95.
- Matos, I., Silva, D., Oliveira, J., Gonçalves, C., Alves, R., Pereira, N., Catarino, F., Ameixa, O.M.C.C., Souza, J.A., Rangel, L.F., Santos, M.J., & Ayra-Pardo, C. (2023). Body size-dependent effects on the distribution patterns of phoretic mite species assemblages on *Rhynchophorus ferrugineus* (Olivier, 1790). *Ecol Evol.* <https://doi.org/10.1002/ece3.10338>
- Mazza, G., Cini, A., Cervo, R., & Longo, S. (2011). Just phoresy? Reduced lifespan in red palm weevils *Rhynchophorus ferrugineus* (Coleoptera: Curculionidae) infested by the mite *Centrouropoda almerodai* (Uroactiniinae: Uropodina). *Ital J Zool.* 78, 101–105. <https://doi.org/10.1080/11250003.2010.509135>
- Negrisol Junior, A.S., Silva, E.S., Negrisol, C.R.C.B.; dos Santos, N.L., & Guzzo, E.C. (2011). Criação em laboratório da broca-do-olho-do-coqueiro *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae) visando pesquisas para o controle das suas larvas. Embrapa Tabuleiros Costeiros-Comunicado Técnico (INFOTECA-E).
- Oehlschlager, A.C., Prior, R.N.B., Perez, A.L., Gries, R., Gries, G., Pierce, H.D.J., & Laup, S. (1995). Structure, chirality, and field testing of a male-produced aggregation pheromone of Asian palm weevil *Rhynchophorus bilineatus* (Montr.) (Coleoptera: Curculionidae). *J. Chem. Ecol.* 21, 1619–1629. <https://doi.org/10.1007/BF02035156>
- Rodríguez-Morell, H., Quirós-Mc Intire, E.I., Domingo-Quirós, A.E., Chico-Morejón, R., & Porcelli, F. (2012). Presencia de *Centrouropoda almerodai* y *Glyptholaspis* sp. (Acari: Uropodina, Macrochelidae) sobre el picudo negro del cocotero (*Rhynchophorus palmarum*) (Coleoptera: Curculionidae) en Panamá. *Métodos Ecol Sist.*, 7, 1–7.
- Schwarz, H.H., Starrach, M., & Koulianos, S. (1998). Host specificity and permanence of associations between mesostigmatic mites (Acari: Anactinotrichida) and burying beetles (Coleoptera: Silphidae: *Nicrophorus*). *J. Nat. Hist.* 32(2): 159–172. <https://doi.org/10.1080/00222939800770101>
- Seeman, O., & Walter, D.E. (2023). Phoresy and Mites: More than just a free ride. *Annu. Rev Entomol.* 68 (1): 69-88. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120220-013329>.
- Song, M.H., Zong, N., Jiang, J., Shi, P.L., Zhang, X.Z., Gao, J.Q., Zhou, H.K., Li, Y.K., & Loreau, M. (2019). Nutrient-induced shifts of dominant species reduce ecosystem stability via increases in species synchrony and population variability. *Sci Total Environ.* 692, 441–449. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.266>

- Souza, M.B.N., Klompen, H., Silva, V.B., Castilho, R.C., Barbosa, M.F.C., & Melo, J.W.S. (Em andamento). Acarofauna associada a *Rhynchophorus palmarum* L. (Coleoptera: Curculionidae) em coqueiros no Brasil: Novos registros e uma lista revisada. Cap. I.
- Souza, M.B.N., Almeida, M.E.B., Torres, E.L.S., Klompen, H., Gondim-Junior, M.G.C., Lima, D.B., Melo, J.W.S. (Em andamento). Diversity, microhabitat use, and niche overlap of phoretic mites associated with *Rhynchophorus palmarum* L. in Brazil. Cap. II.
- Williamson, M. (1996). Biological Invasions. Chapman & Hall, London, 244 p.

Tabela suplementar 1. Prevalência, intensidade média de infestação (MI) e abundância média (MA) de ácaros foréticos associados a machos (M) e fêmeas (F) de *Rhynchophorus palmarum*.

Taxon	Sexo	P (n) ¹	Prev ² (CI 95%) ³	MI ⁴ (CI 95%) ⁵	MA ⁶ (CI 95%) ⁵
Acaridae sp.	M	8 (112)	0,071 (0.031-0.136)	148 (23-617.81)	10.57 (1.27-53.81)
	F	1(87)	0.011 (0-0.062)	191 (-)	2.2 (0-6.59)
Centrouropoda sp. nov.	M	101 (112)	0.902 (0.831-0.95)	257.2 (199.12-338.4)	231.94 (180.37-305.06)
	F	74 (87)	0.851 (0.758-0.918)	344.49 (251.55-479.77)	293.01 (206.08-416.72)
<i>Crenamargo binuseta</i>	M	41(112)	0.366 (0.277-0.462)	2.05 (1.63-2.52)	0.75 (0.54-1.04)
	F	20 (87)	0.23 (0.146-0.332)	2.1 (1.58-2.99)	0.48 (0.29-0.77)
<i>Curculanoetus</i> sp.	M	28 (112)	0.25 (0.173-0.341)	218.54 (119.8-404.9)	54.63 (28.5-106.46)
	F	25 (87)	0.287 (0.195-0.394)	134.88 (61.83-305.6)	38.76 (15.35-95.75)
<i>Dinychus</i> sp. nov.	M	55 (112)	0.491 (0.395-0.587)	158.02 (102.14-259.67)	77.6 (47.91-133.44)
	F	47 (87)	0.54 (0.43-0.648)	175.38 (119.84-248.03)	94.75 (64.31-142.8)
<i>Fuscuropoda marginata</i>	M	22 (112)	0.196 (0.127-0.282)	3.59 (2.05-5.95)	0.71 (0.36-1.35)
	F	12 (87)	0.138 (0.073-0.229)	5.92 (2.84-11.83)	0.82 (0.3-2.02)
Gamassina sp.	M	38 (112)	0.339 (0.253-0.435)	2.26 (1.79-3.06)	0.77 (0.53-1.11)
	F	41 (87)	0.471 (0.363-0.581)	3.2 (2.49-4.05)	1.51 (1.05-2.07)
<i>Lasioseius</i> sp.	M	17 (112)	0.152 (0.091-0.232)	1.59 (1.18-2.29)	0.24 (0.14-0.43)
	F	11 (87)	0.126 (0.065-0.215)	2.18 (1.36-3.36)	0.28 (0.13-0.54)
<i>Macrocheles mammifer</i>	M	10 (112)	0.089 (0.044-0.158)	2.0 (1.4-2.7)	0.18 (0.08-0.33)

	F	3 (87)	0.034 (0.007-0.097)	6.33 (1-11.67)	0.22 (0.01-1.15)
<i>Macrocheles</i> sp. nov.	M	29 (112)	0.259 (0.181-0.35)	3.03 (2.31-4.34)	0.79 (0.48-1.21)
	F	19 (87)	0.218 (0.137-0.32)	3.21 (2.21-4.47)	0.70 (0.39-1.18)
<i>Rhynchopolipus rhynchophori</i>	M	30 (112)	0.268 (0.189-0.36)	37.1 (26.9-54.09)	9.94 (6.12-16.18)
	F	30 (87)	0.345 (0.246-0.454)	39.33 (25.03-65.26)	13.56 (7.7-23.38)
Trematuridae sp.	M	46 (112)	0.411 (0.319-0.508)	10.13 (7.24-18.07)	4.16 (2.77-7.63)
	F	37 (87)	0.425 (0.32-0.536)	11.73 (7.22-19.94)	4.99 (2.99-9.16)
Uropodidae sp.	M	77 (112)	0.688 (0.593-0.772)	11.74 (8.74-20.17)	8.07 (5.94-14.18)
	F	65 (87)	0.747 (0.643-0.834)	9.8 (7.46-13.12)	7.32 (5.36-9.91)
Uropodina sp.	M	65 (112)	0.58 (0.483-0.673)	123.86 (92.86-170.58)	71.88 (50.82-104.58)
	F	49 (87)	0.563 (0.453-0.669)	207.08 (127.61-338.31)	116.63 (70.07-199.95)

¹Número de besouros infestados seguido do total de besouros examinados entre parênteses.

²Prevalência (fração de besouros infestados) com intervalo de confiança (IC) de 95%.

³ICs calculados com base em distribuição binomial exata.

⁴Intensidade média de infestação (número médio de ácaros entre os besouros infestados), com IC 95%.

⁵Intervalos de confiança de MI e MA obtidos via bootstrap (n = 2.000 repetições).

⁶Abundância média (número médio de ácaros considerando todos os hospedeiros examinados), com IC 95%.