



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E
CONSERVAÇÃO**



PERSONALIDADE COLONIAL MODULA A TOXICIDADE DE INSETICIDAS EM CUPINS

Ariele de Paiva São Pedro
Mestrado acadêmico

**São Cristóvão
Sergipe – Brasil
2026**

ARIELE DE PAIVA SÃO PEDRO

**PERSONALIDADE COLONIAL MODULA A
TOXICIDADE DE INSETICIDAS EM CUPINS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação da Universidade Federal de Sergipe, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Conservação

Orientadora: Dra.^a Ana Paula Araújo Albano

São Cristóvão

Sergipe – Brasil

2026

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por toda força que me concedeu, pelos aprendizados adquiridos e por todas as alegrias vividas ao longo desses dois anos de mestrado.

A meus pais, Valdenice e Nivaldo, minha irmã Amanda, e ao meu namorado Gleisson, agradeço o amor, companheirismo, carinho e apoio incondicional. Obrigado por acreditarem no meu potencial e por estarem ao meu lado nos momentos mais desafiadores dessa caminhada.

À minha orientadora, Prof^a. Dra. Ana Paula Albano Araujo, expresso minha mais profunda gratidão pela confiança, paciência, sinceridade, dedicação e amizade. Seus ensinamentos e orientações foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho e essenciais para minha formação acadêmica, profissional e pessoal. Muito obrigada por acreditar!

A meu coorientador, Prof. Dr. Leandro Bacci, agradeço a disponibilidade, dedicação, paciência e pelas valiosas contribuições em todas as etapas que enriqueceram MUITO e permitiram a realização deste trabalho. Suas ideias, análises, imagens e sugestões foram indispensáveis para a construção dessa dissertação.

Ao Prof. Dr. Vinicius, agradeço pelas importantes contribuições, pelos conselhos e pelo carinho e pela atenção dedicada desde a etapa da qualificação.

Aos meus colegas de LabIntera: Dani, James, Reinaldo, Jane e Guido, meu muito obrigada pela convivência e por todos os momentos compartilhados. Em especial, à Dani, que deixou de ser apenas uma colega de laboratório e se tornou uma grande amiga. Obrigada pelos conselhos, pela parceria, pelas fofocas, pelo

ombro amigo nos momentos de fraqueza e por dividir comigo tantos desafios ao longo desses dois anos. Sua ajuda (bota ajuda nisso) e seus ensinamentos foram essenciais para que eu concluísse esta etapa.

Ao James, agradeço por ter sido meu grande parceiro durante esta jornada. Obrigada por me acompanhar nas coletas de ninhos, fizesse chuva ou fizesse sol, e por toda a disposição em ajudar sempre que precisei. E por fim, mas não menos importante, Reinaldo e Guido por seu senso de humor e auxílio nessa fase experimental.

Aos meus colegas do Lab. MIP: Valfran, Sandy, Heloisa e Tainara, agradeço a disponibilidade, pelos ensinamentos e por toda a colaboração.

À Itamara, minha sincera gratidão por compartilhar seus conhecimentos sobre a extração de óleos essenciais com tanta dedicação, paciência e gentileza.

À minha amiga de infância, Lays Sena, por sempre escutar meus desabafos, me oferecer um ombro amigo e me apoiar em todos os momentos, mesmo estando tão longe. As minhas amigas Dálit Rebeca, Mariana Braga, Sara Pádua, Gabriel Hernandez, Maria Vitórino, Estefane e meus colegas de corredor que fiz nesse mestrado, Daniel, Thais, Diene, Juliano e Jeci, agradeço pelas conversas, pelas risadas e pelos momentos de descontração que tornaram essa caminhada mais leve. Em especial ao Juliano, pela enorme gentileza de disponibilizar transporte para trazer alguns ninhos de cupins ao laboratório.

À Valdelice, agradeço por autorizar e facilitar a realização de algumas coletas no Morro do Urubu, contribuindo para o desenvolvimento deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), agradeço a concessão da bolsa de mestrado, cujo apoio financeiro foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Cada palavra de incentivo, gesto de apoio e colaboração foi importante para que esta etapa da minha vida se tornasse possível. MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE FIGURAS	iii
INTRODUÇÃO GERAL	1
Quando a personalidade determina a mortalidade: atividade colonial, susceptibilidade e disseminação de inseticidas em cupins	4
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. METODOLOGIA	7
2.1 Coleta e local de estudo.....	7
2.2 Definição da personalidade colonial	8
2.3 Bioensaio de toxicidade	8
2.4 Bioensaios de transferência horizontal	9
2.4.1 <i>Mortalidade por transferência horizontal de inseticidas.</i>	10
2.4.2 <i>Comportamento das colônias contaminadas.</i>	10
2.5 Análises Estatísticas	11
3. RESULTADOS	14
3.1 Definição da personalidade colonial.	14
3.2 Classificação da personalidade das colônias utilizadas nos bioensaios com inseticidas.	15
3.3 Toxicidade do inseticida a colônias com diferentes perfis de personalidade.	15
3.4 Transferência horizontal de contaminantes em colônias com diferentes perfis de personalidade	16
3.4.1 <i>Comportamento de colônias contaminadas</i>	16
4. DISCUSSÃO	24
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
6. Utilização IA.....	28
7. REFERENCIAS	28

RESUMO.

A personalidade animal pode influenciar importantes processos ecológicos, incluindo a resposta aos riscos ambientais. Cupins são insetos sociais de grande relevância nos ambientes tropicais, devido ao seu papel na ciclagem de nutrientes e aos prejuízos econômicos causados por algumas espécies. Estudos sobre a personalidade de colônias de cupins são escassos e não existe nenhuma evidência sobre a influência da personalidade das colônias na eficiência de manejo. Aqui, investigamos se diferenças na atividade de colônias de *Nasutitermes corniger* estão associadas à suscetibilidade ao inseticida imidacloprido e à disseminação do contaminante entre os membros da colônia. Inicialmente, caracterizamos os perfis comportamentais de atividade das colônias por meio de Análise de Componentes Principais. Com base no eixo principal e em traços comportamentais complementares, seis colônias foram classificadas em perfis de baixa e alta atividade. Bioensaios de toxicidade e transferência horizontal foram conduzidos e avaliados por meio de modelos mistos. Foi avaliada a susceptibilidade ao inseticida imidacloprido assim como a transferência de contaminantes e o comportamento entre membros das colônias de baixa e alta atividade. Nossos resultados mostraram que colônias de baixa atividade apresentaram menor suscetibilidade ao imidacloprido, sendo necessária uma dose 1,84 vez maior de imidacloprido para produzir a mesma mortalidade observada nas colônias de alta atividade. Porém, colônias de baixa atividade apresentaram maior mortalidade por transferência horizontal do que aquelas de alta atividade. Estes resultados podem ser explicados pelo fato de que colônias com maior atividade realizaram mais vibrações e menor frequência de interações sociais após a exposição, o que pode ter limitado a transferência horizontal do inseticida. Em contraste, colônias de baixa atividade, realizaram maior agregação e maior frequência de contatos interindividuais, favorecendo a disseminação do inseticida entre os membros da colônia. Esse estudo revela que a personalidade colonial pode influenciar na exposição, susceptibilidade e transmissão de contaminantes em cupins; com possíveis implicações no sucesso adaptativo das colônias, assim como no manejo desses insetos.

PALAVRAS-CHAVE: Comportamento, *Nasutitermes*, Personalidade Animal, Toxicidade.

ABSTRACT

Animal personality can influence important ecological processes, including responses to environmental risks. Termites are social insects of great ecological importance in tropical ecosystems due to their role in nutrient cycling and the economic damage caused by some species. Studies investigating colony personality in termites are scarce, and there is currently no evidence regarding the influence of colony personality on pest management efficiency. Here, we investigated whether differences in the activity levels of *Nasutitermes corniger* colonies are associated with susceptibility to the insecticide imidacloprid and with contaminant transmission among colony members. Initially, colony activity profiles were characterized using Principal Component Analysis (PCA). Based on the first principal component and complementary behavioral traits, six colonies were classified as exhibiting either low- or high-activity profiles. Toxicity and horizontal transfer bioassays were subsequently conducted and analyzed using mixed-effects models. We evaluated susceptibility to imidacloprid, as well as contaminant transfer and behavioral responses among members of low- and high-activity colonies. Our results showed that low-activity colonies were less susceptible to imidacloprid, requiring a 1.84-fold higher dose to achieve the same mortality observed in high-activity colonies. However, low-activity colonies exhibited higher mortality resulting from horizontal transfer than high-activity colonies. These findings may be explained by the fact that high-activity colonies displayed more vibrational behavior and a lower frequency of social interactions following exposure, which may have limited the horizontal transfer of the insecticide. In contrast, low-activity colonies exhibited greater aggregation and a higher frequency of interindividual contacts, facilitating the spread of the insecticide among colony members. This study demonstrates that colony personality can influence contaminant exposure, susceptibility, and transmission in termites, with potential implications for colony fitness as well as for the management of these insects.

Keywords: Behavior; *Nasutitermes*; Animal Personality; Toxicity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comparação da atividade comportamental entre colônias de *Nasutitermes corniger*. **(A)** Análise de Componentes Principais (PCA) baseada em variáveis comportamentais padronizadas (Z-score), incluindo velocidade (cm/s), distância percorrida (cm), tempo médio em corrida (s), número de paradas (n) e tempo de repouso (s). As colônias foram mantidas em laboratório com temperatura de 25 ± 2 °C e umidade relativa de 80 ± 5 %. Os pontos coloridos representam indivíduos de cada colônia. Os números nos losangos indicam os centróides (média dos escores) de cada colônia. As setas representam as cargas das variáveis (loadings), indicando a direção e magnitude da contribuição de cada variável para os componentes principais. Elipses destacam agrupamentos de colônias com maior e menor atividade. **(B)** Distribuição dos escores de PC1 por colônia. As linhas no interior dos Boxplots representam a mediana, as extremidades dos boxplots os percentis 25 e 75 e as linhas verticais os percentis 10 e 90. Os losangos representam a média. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre colônias (teste de Tukey, $P < 0,05$)..... 18

Figura 2. Diferenças comportamentais entre colônias de *Nasutitermes corniger* com baixa (colônias 4–6) e alta (colônias 1–3) atividade: **(A)** velocidade (cm/s), **(B)** distância percorrida (cm), **(C)** tempo médio de corrida (s), **(D)** número de paradas, **(E)** tempo de repouso (s), **(F)** meandro (°/cm), **(G)** número de contatos e **(H)** densidade de rede (%). As colônias foram mantidas em laboratório com temperatura de 25 ± 2 °C e umidade relativa de 80 ± 5 %. As linhas no interior dos Boxplots representam a mediana, as extremidades dos boxplots os percentis 25 e 75 e as linhas verticais os percentis 10 e 90. Os losangos representam a média, enquanto os pontos representam cada indivíduo (N = 300 por grupo, a exceção da densidade de rede onde o N = 30. Asteriscos (***) indicam diferenças estatisticamente significativas entre os grupos ($P < 0,001$), pelo teste de Mann-Whitney. 19

Figura 3. Classificação funcional dos perfis de personalidade das colônias de *Nasutitermes corniger* em função no eixo de atividade (PC1) obtido por Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis velocidade, distância percorrida, corrida, paradas e repouso, corroborada por padrões consistentes nas variáveis meandro, contato e densidade de rede. O sistema de classificação foi construído a partir de colônias de referência previamente categorizadas como de baixa atividade (colônias 4-6) e alta atividade (colônias 1-3) (Fig. 1).....20

Figura 4. Suscetibilidade relativa ao inseticida imidacloprido de colônias de *Nasutitermes corniger* com baixa **(A)** e **(B)** alta atividade. As colônias foram mantidas em laboratório com temperatura de 25 ± 2 °C e umidade relativa de 80 ± 5 %. Os pontos representam as mortalidades observadas, as linhas contínuas os ajustes do modelo e as linhas tracejadas os respectivos intervalos de confiança de 95% de probabilidade. O painel central resume a hipótese biológica explicativa associada aos resultados. **(C)** Comparação das doses letais (DL_{30} , DL_{50} e DL_{90}) estimadas para colônias com baixa e alta atividade. Os círculos representam as doses letais médias e as barras horizontais os respectivos intervalos de confiança de 95% de probabilidade. Valores da razão de suscetibilidade superiores a 1 indicam maior suscetibilidade das colônias com alta atividade em relação às colônias com baixa atividade.21

Figura 5. Transferência horizontal do inseticida imidacloprido em colônias de *Nasutitermes corniger* com baixa e alta atividade. Curvas de sobrevivência dos indivíduos não tratados (dez operário e cinco soldados) mantidos em contato com cinco operários tratados topicamente com acetona (controle), DL_{50} ou DL_{90} de imidacloprido, em colônias de baixa **(A)** e alta **(B)** atividade. As colônias foram mantidas em laboratório com temperatura de 25 ± 2 °C e umidade relativa de 80 ± 5 %. Os valores percentuais representam a redução da sobrevivência em relação ao respectivo controle após 72 h de exposição. As curvas foram comparadas pelo teste de Holm–Sidak ($P < 0,001$). **(C)** Tempo letal mediano ($TL_{50} \pm IC_{95\%}$) dos indivíduos não tratados expostos aos cupins contaminados. Os círculos representam as TL_{50} e as barras horizontais os respectivos intervalos de confiança a 95% de probabilidade. **(D)** Mortalidade por casta após 72 h de exposição, expressa como a contribuição relativa de operários e soldados para a mortalidade total observada em cada tratamento. ...22

Figura 6. Respostas comportamentais de colônias de *Nasutitermes corniger* com baixa e alta atividade após exposição a indivíduos tratados com imidacloprido. **(A)** Frequência de antenação, **(B)** agregação e **(C)** vibração em colônias expostas a indivíduos não tratados (Controle) ou indivíduos tratados com DL₅₀ e DL₉₀ de imidacloprido. **(D)** Índice de Interação Social (IIS), calculado como a soma dos valores padronizados (Z-escores) de antenação e agregação menos os valores padronizados de vibração. As colônias foram mantidas em laboratório com temperatura de 25±2 °C e umidade relativa de 80±5 %. Valores negativos de IIS indicam redução nas interações de contato direto (antenação e agregação) e aumento na sinalização por vibração (comportamento de alarme). As linhas no interior dos Boxplots representam a mediana, as extremidades dos boxplots os percentis 25 e 75 e as linhas verticais os percentis 10 e 90. Os losangos representam a média. Os pontos representam cada indivíduo (n = 30 por grupo). Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos dentro de cada grupo de atividade, e asteriscos indicam diferenças entre colônias de baixa e alta atividade dentro de cada tratamento (P < 0,01, P < 0,001; n.s. = não significativo). As análises estatísticas foram realizadas utilizando modelos lineares mistos em dados de agregação e vibração transformados por log(x + 1).23

INTRODUÇÃO GERAL

Os cupins apresentam papel ecológico de extrema relevância em ambientes tropicais e subtropicais, devido à sua elevada abundância, distribuição e contribuição direta nos processos de ciclagem da matéria orgânica morta (Jouquet et al., 2006, 2011; Lavelle et al., 1997). O sucesso ecológico dos cupins pode estar relacionado, em parte, ao fato de alimentarem-se de celulose, recurso mais abundante na Terra (Šobotník e Dahlsjö, 2017). Estudos estimam que, em florestas tropicais, os cupins podem contribuir com até 50% da decomposição da matéria orgânica, evidenciando sua importância no funcionamento dos ecossistemas (Martius, 1994).

Por outro, destacam-se os prejuízos econômicos causados pelos cupins em decorrência do ataque a estruturas de madeira em ambientes urbanos e os danos que ocasionam em lavouras agrícolas (Cabrera e Scheffrahn, 2001; Evans, Theodore A., Forschler e Kenneth Grace, 2013; Ghaly e Edwards, 2011; Temesgen Kebede e Daba Urga, 2024). Aliado ao hábito alimentar, algumas espécies de cupins podem formar grandes colônias com elevada capacidade de dispersão (Evans, Theodore A, Forschler e Kenneth Grace, 2013; Myles, 1999), o que contribui ainda mais para seu status praga. Os prejuízos causados pelos cupins são tão relevantes que, em 2010, por exemplo, causaram um prejuízo global estimado em US\$ 40 bilhões (Rust e Su, 2012). Assim, mesmo considerando-se que apenas 3% das espécies apresentam potencial praga (Constantino, 2002) os cupins são reconhecidos popularmente como insetos vorazes e pragas indesejáveis.

Esses elevados prejuízos econômicos, exigem o uso de estratégias de manejo para minimizar tais custos, incluindo o uso de inseticidas (Graf, 1993; Nava e Botton, 2010) e controle microbiano, como fungos e nematódeos (Butt et al., 2016; Ortiz-Urquiza e Keyhani, 2013; Seo et al., 2012; Wilson-Rich, Stuart e Rosengaus, 2007). No entanto, tais estratégias nem sempre se mostram eficazes uma vez que o controle de cupins é dificultado por seus padrões comportamentais, como o hábito críptico e a eficiente organização social e comunicação entre os membros de suas colônias. Desta forma, estudos que visem o entendimento dos comportamentos dos cupins podem contribuir não somente para a compreensão da exploração dos habitats naturais por estes organismos, como também para estratégias de manejo mais eficientes.

Recentemente, estudos têm demonstrado a importância de traços comportamentais influenciando diferentes processos ecológicos (Sih, Bell e Johnson,

2004), como a eficiência de forrageio (Reznikova, 2021; Tremmel e Müller, 2013), a procura por recursos (Tremmel e Müller, 2013), a capacidade de aprendizagem (Udino *et al.*, 2017) e a resposta a riscos ambientais, incluindo predadores (Schuett *et al.*, 2011; Wright, Keiser e Pruitt, 2016) e parasitos (Stroeymeyt *et al.*, 2018). Além disso, múltiplos traços comportamentais podem estar correlacionados entre si, formando as chamadas síndromes comportamentais (Réale *et al.*, 2007; Sih, Bell e Johnson, 2004; Sih e Giudice, Del, 2012). Embora pouco investigadas, essas diferenças comportamentais podem impactar a eficácia de programas de controle químico e biológico. Indivíduos com diferentes perfis comportamentais podem apresentar, por exemplo, distintas capacidades de aprendizagem e retenção de informações. Em formigas, indivíduos menos ativos aprendem mais rapidamente do que indivíduos ousados, sugerindo que uma elevada velocidade exploratória pode comprometer o processamento de informações, enquanto indivíduos com menor atividade exploratória tendem a atualizar e reinterpretar sinais ambientais com maior eficiência (Sih e Giudice, Del, 2012; Udino *et al.*, 2017).

Tais variações comportamentais, quando consistentes e repetitivas ao longo do tempo e em diferentes contextos ecológicas são consideradas como personalidade (Dingemanse e Wright, 2020; Gosling, 2008; Réale *et al.*, 2007, 2010; Sih, Bell e Johnson, 2004). Essas diferenças podem ser influenciadas por diversos fatores, incluindo características genéticas (Dochtermann, Schwab e Sih, 2014), condições ambientais (Segev e Foitzik, 2019), experiências prévias e estressores (Delacoux e Guenther, 2023; Gandra *et al.*, 2021; Grunst e Grunst, 2024), resultando em variações individuais na expressão dos comportamentos (Réale *et al.*, 2010).

Entre os insetos eussociais, estudos sobre personalidade vêm sendo conduzidos principalmente em formigas (Blight *et al.*, 2016; Chapman *et al.*, 2011; Kolay *et al.*, 2025; Lima Vieira *et al.*, 2026; Menges, Späth e Menzel, 2023; Modlmeier *et al.*, 2014; Reznikova, 2021; Turner e Hughes, 2018; Udino *et al.*, 2017), abelhas (Lecocq *et al.*, 2016; Walton e Toth, 2016; Wray, Mattila e Seeley, 2011) e vespas (Wright, Keiser e Pruitt, 2016), enquanto em cupins esse campo ainda permanece pouco explorado.

Assim, nessa dissertação, objetivamos investigar como os traços de personalidade em cupins influencia na mortalidade por inseticida. Os resultados desse estudo podem fornecer novas perspectivas para o manejo integrado de pragas, além

de contribuir para o avanço do conhecimento sobre ecologia comportamental em insetos sociais.

Quando a personalidade determina a mortalidade: atividade colonial, susceptibilidade e disseminação de inseticidas em cupins

Ariele Paiva São-Pedro¹, Leandro Bacci², Daniela Lucio Santana¹, James Felipe Freire Santana³, Reinaldo Jaques Lima Filho¹ & Ana Paula Albano Araújo^{1,3}

¹ Pós-graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão- SE, Brasil. 49.100-000

² Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão- SE, Brasil. 49.100-000

³Laboratório de Interações Ecológicas, Departamento de Ecologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão- SE, Brasil. 49.100-000

1. INTRODUÇÃO

Animais diferem marcadamente em relação à expressão de traços comportamentais exibindo diferentes personalidades, as quais influenciam diretamente importantes processos ecológicos (Sih, Bell e Johnson, 2004), como a eficiência de forrageio (Reznikova, 2021; Tremmel e Müller, 2013), a resposta a riscos ambientais (Schuett et al., 2011; Wright, Keiser e Pruitt, 2016; Stroeymeyt et al., 2018), a capacidade de aprendizagem e de retenção de informações (Udino *et al.*, 2017). Apesar da personalidade ser inerente ao nível individual, existem evidências de que grupos podem apresentar padrões comportamentais consistentes, especialmente em insetos verdadeiramente sociais (ex.: abelhas, cupins, formigas e vespas) (Chapman et al., 2011; Wray, Mattila e Seeley, 2011; Wright et al., 2017). Para estes organismos coloniais, a predominância de traços comportamentais individuais pode determinar a personalidade do grupo (Pinter-Wollman, 2012), interferindo diretamente nas chances de sobrevivência frente a diferentes pressões ambientais.

Cupins apresentam alto sucesso adaptativo, principalmente nos ambientes tropicais, onde se destacam devido à sua elevada abundância, relevância na ciclagem de nutrientes e atuação como engenheiros dos ecossistemas (Black e Okwakol, 1997; Jouquet *et al.*, 2011; Salvucci *et al.*, 2023; Thant *et al.*, 2025; Traoré *et al.*, 2022). Porém, devido ao fato de alimentarem-se de celulose, estes insetos também causam consideráveis prejuízos econômicos em ambientes urbanos, agrícolas e florestais (Evans, Theodore A., Forschler e Kenneth Grace, 2013; Ghaly e Edwards, 2011; Junqueira, Gonçalves e Teixeira, 2015; Su, Ban e Scheffrahn, 2002; Temesgen Kebede e Daba Urga, 2024), exigindo estratégias de controle que se baseiam tanto no uso de inseticidas quanto de agentes patogênicos (Azmi *et al.*, 2016; Oi, 2022; Zeng *et al.*, 2023). Apesar de ser reconhecido que o hábito críptico e a eficiente organização social tornam o controle dos cupins um processo desafiador, pouco se sabe sobre como a personalidade das colônias pode interferir na eficiência do manejo.

Assim como outros insetos eussociais, os cupins apresentam interações envolvidas na defesa coletiva que possibilitam a detecção de ameaças específicas à saúde da colônia (Wilson-Rich, Stuart e Rosengaus, 2007) incluindo a transmissão de patógenos entre companheiros de ninho e a transferência de contaminantes (Shi, Merchant e Zhou, 2025; Zeng *et al.*, 2023). Enquanto o comportamento de antenação desempenha papel importante na detecção patógenos (Yanagawa e Shimizu, 2007) e

pistas químicas na superfície corporal de indivíduos; o comportamento de vibração atua como sinal de alerta, informando os companheiros de ninho sobre a presença de riscos (Rosengaus *et al.*, 1999). Em resposta, os cupins podem evitar tais pistas ou aumentar a frequência de contatos interindividuais por meio de allogrooming, trofalaxia oral (Lecocq *et al.*, 2016) e formação de agregações (Alexander, 1974; Otterstatter e Thomson, 2007). Dependendo do agente estressante, tais comportamentos podem ora promover a remoção de patógenos (Rosengaus *et al.*, 1998; Rosengaus e Traniello, 1993; Rosengaus, Traniello e Bulmer, 2011) e alívio do estresse (DeSouza *et al.*, 2001); ou mesmo aumentar a contaminação ou infecção entre os membros da colônia por meio da transferência horizontal (Fefferman *et al.*, 2007). Sendo assim, diferentes traços de personalidade (ex. nível de atividade, capacidade exploratória, grau de ousadia, agressividade e sociabilidade) podem determinar a susceptibilidade colonial ao risco de transmissão de contaminantes.

Neste estudo definimos o padrão de atividade comportamental de colônias de *Nasutitermes corniger*, espécie de cupim reconhecida como potencial inseto-praga. Colônias com baixa e alta atividade foram classificadas quanto aos seus atributos funcionais a fim de avaliar a susceptibilidade, a transferência horizontal e as respostas comportamentais quando expostas ao inseticida imidacloprido. Partindo do pressuposto de que colônias mais ativas gastam maior energia e têm maior chance de encontro interindividual, testamos as hipóteses que: (i) colônias com alta atividade terão maior susceptibilidade e (ii) maior taxa de transmissão horizontal de inseticida apresentando maiores taxas e mais rápida mortalidade do que colônias de baixa atividade.

2. METODOLOGIA

2.1 Coleta e local de estudo

Nasutitermes corniger (Blattodea: Isoptera) é uma espécie sinantrópica nativa da região Neotropical, com ampla distribuição na América Central e América do Sul, onde é considerada, nesta última região, uma importante praga urbana (Constantino, 2002), em razão de sua elevada capacidade de adaptação, facilidade de dispersão e alimentação a base de materiais celulósicos, características que favorecem seu estabelecimento e permanência em ambientes urbanos e rurais (Albuquerque *et al.*, 2012; Mello *et al.*, 2014; Thorne *et al.*, 2025).

Fragmentos de ninhos de *N. corniger* foram coletados no Campus Rural (11° 01'S e 37° 12'O) e no campus São Cristóvão da Universidade Federal de Sergipe (10° 55'S e 37°19'O), bem como no Parque da Cidade/Reserva Morro do Urubu (10° 53'S e 37° 03'O), localizados nos municípios de São Cristóvão e Aracaju, Sergipe, Brasil. As coletas foram realizadas em áreas antropizadas, sendo a Reserva do Morro do Urubu caracterizada como um remanescente de Mata Atlântica (Santos *et al.*, 2013). As coletas foram realizadas entre os meses de fevereiro a abril de 2026. A região apresenta variação sazonal de temperatura, oscilando entre aproximadamente 20 e 28°C durante o verão (dezembro a fevereiro) e entre 23,5 e 27,5°C no inverno (junho a agosto). A precipitação é sazonal, concentrando-se no período do inverno com maiores índices pluviométricos entre maio e julho (Santos, Barros e Ferreira, 2023).

Os fragmentos de ninhos coletados foram levados para o laboratório e mantidos em bandejas livres de bisfenol-a – BPA (8 x 28 x 44cm; capacidade de 8 litros; Plásticos Santana, Artur Nogueira/SP) sob condições ambientais (25 ± 2°C, umidade relativa 80 ± 5%) com fornecimento de água e toletes de cana-de-açúcar como recursos alimentares, durante 24h antes da execução dos bioensaios.

Foram coletados 16 fragmentos de *N. corniger* no total, sendo seis fragmentos usados para caracterização da personalidade e testes de toxicidade e outros seis fragmentos para os bioensaios de transferência horizontal e comportamento. Os outros 4 fragmentos foram descartados devido perfil comportamental.

2.2 Definição da personalidade colonial

Todos os bioensaios foram executados utilizando placas de Petri de vidro (5.5 Ø e 1,5cm de altura, Global Trade Technology, Monte Alto, SP, Brasil), forradas com papel filtro qualitativo (Qualy Ø 5,5cm, 80g m⁻², J.prolab, São José dos Pinhais, PR, Brasil).

A personalidade das colônias de *N. corniger* foi inicialmente categorizada considerando-se o padrão de atividade dos grupos de cupins provenientes de seis diferentes colônias de referência (Fig. 1 e 2).

Para isso, foram utilizados grupos de 10 indivíduos, formados por sete operários e três soldados. A distribuição entre as castas foi estabelecida com base na composição média de colônias naturais de *N. corniger* (Haverty, 1977). Os grupos foram adicionados em placas de Petri de vidro (Ø 5.5 e 1,5cm de altura), forradas com papel filtro. Após 30 min de aclimação, cada placa contendo os cupins foi filmada durante 2 min para determinação do padrão comportamental. Foram realizadas 10 repetições para cada colônia, totalizando 60 placas e 600 indivíduos analisados.

Os registros de filmagem foram feitos utilizando-se uma câmera digital Nikon D3200 equipada com lente Nikon DX AF-S NIKKOR 18-55mm f/3.5-5.6G VR. Posteriormente, os vídeos foram analisados no software Ethoflow para contabilizar o padrão de atividade: velocidade (cm/s), distância percorrida (cm), tempo médio em corrida (s), número de paradas e tempo de repouso (s); assim como outros atributos funcionais: meandro (°/cm), contato interindividual e densidade de rede. Com base nesses comportamentos, as colônias foram categorizadas em dois grupos (baixa atividade e alta atividade; ver item 2.5), contendo três colônias cada (Fig. 3).

2.3 Bioensaio de toxicidade

O bioensaio de toxicidade foi realizado com as seis colônias de referência previamente categorizadas como baixa e alta atividade, seguindo a metodologia descrita por Bacci et al. (2015).

Para a realização do bioensaio, cada unidade experimental consistiu em uma placa de Petri de vidro (Ø 5,5 x 1,5cm) contendo 15 indivíduos (10 operários e 5 soldados) de *N. corniger* tratados com o inseticida neonicotinoide imidacloprido. O fundo de cada placa foi coberto com papel filtro contendo uma pequena bola de

algodão (0,5cm Ø) embebida com 1,5ml de água destilada para manutenção da umidade.

O inseticida imidacloprido foi escolhido por ser um dos principais ingredientes ativos empregados no controle de cupins (Oi, 2022), além de induzir alterações comportamentais em *N. corniger* que podem influenciar sua disseminação entre indivíduos da colônia (Mendonça *et al.*, 2023). O imidacloprido (formulação granulada dispersível, 700 g de i.a./kg; Evidence® 700 WG, Bayer S.A., São Paulo – SP) foi aplicado topicamente no pronoto de cada indivíduo utilizando microseringa de 10 µL (Hamilton, Reno, NV, EUA). O tratamento consistiu no volume de 0,5 µL de solução, contendo diferentes doses expressas em µL de inseticida por mg de inseto. A massa média dos cupins foi obtida em balança analítica de precisão (AUW220D, Shimadzu) com sensibilidade de 0,01mg. Para isso, foi mensurada a massa individual de 100 indivíduos (50 operários e 50 soldados) de três colônias distintas, totalizando 300 insetos. No tratamento controle os indivíduos foram tratados com o solvente acetona (Panreac, UV-IR-HPLC-GPC PAI-ACS, 99.9%).

Inicialmente, quatro doses foram testadas para determinar a faixa que resultasse em mortalidade > 0% e <100%. Foram utilizadas 11 doses de inseticida (0.0001, 0.0003, 0.0005, 0.001, 0.003, 0.005, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.1 µL/ mg), com três repetições/dose para cada uma das colônias testadas.

As placas contendo os indivíduos tratados foram mantidas em condições ambiente. A mortalidade foi avaliada pela contagem de insetos mortos 48h após montagem do bioensaio. Indivíduos que permaneceram imóveis após tocados com um pincel foram considerados mortos.

A partir deste bioensaio foram determinadas as doses letais (DL₃₀, DL₅₀ e DL₉₀) para colônias de baixa e alta atividade.

2.4 Bioensaios de transferência horizontal

Para esse bioensaio foram selecionadas seis novas colônias classificadas de acordo com o padrão de atividade (baixa ou alta atividade) e classificação funcional pré-estabelecido inicialmente para as colônias de referência utilizadas no teste de toxicidade (Fig. 3). Para isso, os indivíduos das novas colônias foram coletados, filmados e seus comportamentos foram analisados no Ethoflow conforme descrito no tópico 2.2. A partir das análises estatísticas, a classificação da atividade das novas colônias foi realizada considerando-se o escore médio de PC1 e seu intervalo de

confiança de 95% (IC95%) das colônias de referência usadas para determinação do padrão de personalidade (ver item 2.5).

2.4.1 Mortalidade por transferência horizontal de inseticidas.

O bioensaio de transferência horizontal foi conduzido a fim de avaliar a transferência de contaminantes e os comportamentos executados entre indivíduos tratados e não-tratados por colônias de baixa e alta atividade.

Cada unidade experimental consistiu em uma placa de Petri de vidro (5,5cm x 1,5cm) contendo um total de 20 indivíduos de *N. corniger*, sendo 15 indivíduos não-tratados (10 operários e 5 soldados) e cinco operários tratados topicamente com imidacloprido. Os indivíduos tratados foram previamente marcados com esmalte branco (*Branco Neve*; Risqué, Coty Brasil Comércio S.A.). A escolha desse material foi baseada em ensaios preliminares, nos quais o esmalte apresentou rápida secagem e ocasionou pouca mortalidade dos insetos, sendo considerado a alternativa mais adequada para a marcação. Após a secagem do esmalte, foi feita a aplicação tópica de 0.5µl de solução contendo DL₅₀ ou a DL₉₀ do imidacloprido sobre cada um desses indivíduos, utilizando microseringa de 10 µL (Hamilton, Reno, NV, EUA). As doses letais aplicadas foram aquelas calculadas para as colônias de referência classificadas como grupos de baixa ou alta atividade, de acordo com os valores determinados no bioensaio de toxicidade (tópico 2.3). Nos controles foi aplicado apenas 0.5µl do solvente acetona.

O fundo de cada placa foi coberto com papel filtro contendo uma pequena bola de algodão (0,5cm Ø) embebida com 1,5ml de água destilada para manutenção da umidade.

Foram feitas dez repetições para cada tratamento/ personalidade, totalizando 180 placas analisadas (30 placas/ colônia).

A contagem do número de indivíduos mortos (tratados e não-tratados) em cada placa iniciou 1h após a montagem do bioensaio. Posteriormente as avaliações foram realizadas após 2h, 4h, 8h, 12h, 18h, 24h, 36h, 48h e 60h da montagem; seguidos por avaliações a cada 4h até completar 72 horas de avaliação.

2.4.2 Comportamento das colônias contaminadas.

O comportamento dos indivíduos foi contabilizado para cada placa dos grupos de baixa e alta atividade, 4h após a montagem do bioensaio. Para isso, cada placa foi

avaliada durante 2,5min por um observador, sendo registrados os números de antenação, allogrooming, trofalaxia bucal, agressão, vibração e de agregação realizados entre indivíduos tratados e não-tratados.

2.5 Análises Estatísticas

Para determinação do perfil comportamental das colônias de *N. corniger*, inicialmente os dados comportamentais de seis colônias foram submetidos à Análise de Componentes Principais (PCA), realizada sobre a matriz de correlação após padronização das variáveis (Z-scores). A partir desse teste, as colônias foram classificadas em grupos de baixa e alta atividade com base nos valores de PC1, considerando-se os comportamentos: (velocidade, distância percorrida, tempo em corrida, tempo de repouso e número de paradas). Variáveis comportamentais adicionais, incluindo meandro, número de contatos e densidade de rede, foram analisadas para complementar a caracterização desses perfis.

A adequação da estrutura de correlação da PCA foi avaliada por teste qui-quadrado de igualdade dos autovalores. Os componentes principais foram selecionados com base no critério de Kaiser (autovalores ≥ 1), e os *loadings* foram utilizados para interpretar a contribuição relativa de cada variável para os eixos comportamentais.

Os valores individuais de PC1 foram posteriormente utilizados como variável resposta. As diferenças dos comportamentos entre colônias foram avaliadas por Análise de Variância (ANOVA), após verificação dos pressupostos de normalidade (teste de Shapiro–Wilk) e homogeneidade das variâncias (teste de Levene). Comparações múltiplas foram realizadas pelo teste de Tukey HSD, considerando $\alpha = 0,05$. Adicionalmente, um modelo linear misto (LMM; $PC1 \sim 1 + (1|col\acute{o}nia)$) foi ajustado para estimar a contribuição da variação entre colônias para a variabilidade total dos dados. A partir desse modelo, foram estimadas as variâncias entre colônias e residual, bem como o coeficiente de correlação intraclasse (ICC), calculado como $ICC = \sigma^2_{col\acute{o}nia} / (\sigma^2_{col\acute{o}nia} + \sigma^2_{residual})$.

A classificação funcional das novas colônias utilizadas nos ensaios de toxicidade e comportamento foi baseada no escore médio de PC1 e em seu intervalo de confiança de 95% (IC95%), utilizando como referência os grupos previamente caracterizados. Colônias foram classificadas como de baixa atividade quando

apresentaram PC1 médio $< -0,917$, correspondente ao limite superior do IC95% do grupo de referência de baixa atividade, e limite superior do IC95% < 0 . Colônias foram classificadas como de alta atividade quando apresentaram PC1 médio $> 0,927$, correspondente ao limite inferior do IC95% do grupo de referência de alta atividade, e limite inferior do IC95% > 0 . Valores intermediários foram considerados pertencentes à zona intermediária e não foram atribuídos a nenhum dos grupos funcionais. A classificação foi considerada consistente quando pelo menos três das cinco variáveis comportamentais principais apresentaram padrões compatíveis com o grupo atribuído. Ao todo, três colônias foram classificadas como de baixa atividade e três como de alta atividade (Fig. 3), para as quais foram realizados os bioensaios de toxicidade e transferência horizontal.

Os dados de mortalidade das seis novas colônias de *N. corniger* provenientes do bioensaio de toxicidade ao imidacloprido foram previamente corrigidos pela fórmula de Abbott (Abbott, 1925) para isolar o efeito do inseticida e eliminar a mortalidade natural do controle. Posteriormente os dados foram submetidos à análise de Probit para a determinação das curvas de dose-resposta. O ajuste dos modelos foi avaliado pelo teste do qui-quadrado (χ^2), considerando-se o modelo adequado quando não houve diferença significativa entre os valores observados e estimados ($P > 0,05$). A partir das curvas ajustadas foram estimadas as doses letais capazes de ocasionar 30, 50 e 90% de mortalidade da população (DL₃₀, DL₅₀ e DL₉₀), juntamente com seus respectivos intervalos de confiança a 95% de probabilidade (IC_{95%}). A suscetibilidade relativa entre colônias de baixa e alta atividade foi expressa pela razão de suscetibilidade (DL baixa atividade/ DL alta atividade). As estimativas das doses letais entre os grupos foram comparadas pelo critério de não sobreposição dos intervalos de confiança com a origem.

A transferência horizontal do inseticida imidacloprido nas DL₅₀ e DL₉₀ em colônias de *N. corniger* com baixa e alta atividade foi analisada por meio de análises de sobrevivência utilizando o estimador de Kaplan-Meier, por meio do teste de Log-Rank. A partir dessas análises foram obtidas as curvas de sobrevivência e tempos letais medianos (TL₅₀), com seus respectivos intervalos de confiança a 95% (IC_{95%}). As comparações múltiplas entre as curvas de sobrevivência foram realizadas pelo método de Holm-Sidak a 5% de probabilidade.

Os valores de TL₅₀ foram comparados com base na sobreposição de seus respectivos intervalos de confiança de 95% (IC_{95%}), sendo a ausência de

sobreposição interpretada como evidência de diferença entre as estimativas. Adicionalmente, a contribuição relativa de operários e soldados para a mortalidade total foi quantificada em cada tratamento. Para isso, a mortalidade de cada casta foi calculada como a proporção de indivíduos mortos em relação ao número inicial de indivíduos daquela casta e posteriormente expressa como sua contribuição relativa para a mortalidade total observada no tratamento.

Os comportamentos de antenação, agregação e vibração foram analisados por modelos lineares mistos bifatoriais (LMM), considerando a personalidade da colônia (baixa ou alta atividade), a exposição ao imidacloprido (controle, DL₅₀ ou DL₉₀) e sua interação como efeitos fixos. Os dados de agregação e vibração foram transformados em $\log(x + 1)$. A normalidade dos resíduos e a homogeneidade das variâncias foram avaliadas pelos testes de Shapiro–Wilk e Levene, respectivamente. As comparações múltiplas foram realizadas pelo teste de Tukey, com $\alpha = 0,05$, entre DLs dentro de cada perfil de personalidade e entre perfis de personalidade dentro de cada DL.

Para sintetizar a resposta comportamental em um único índice, foi calculado um Índice de Interação Social (IIS) a partir da combinação dos valores padronizados (Z-scores) das três variáveis comportamentais significativas, conforme a equação: $IIS = Z(\text{antenação}) + Z(\text{agregação}) - Z(\text{vibração})$. Valores positivos indicaram maior frequência de interações por contato direto entre indivíduos, enquanto valores negativos refletiram a redução dessas interações concomitante ao aumento da sinalização vibracional associada ao comportamento de alarme. O IIS foi analisado utilizando o mesmo modelo bifatorial descrito anteriormente.

Todas as análises foram realizadas utilizando os softwares SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) (PROC MIXED, PROC GLM e PROC PROBIT) e SigmaPlot 14.0 (Systat Software Inc., San Jose, CA, USA).

3. RESULTADOS

3.1 Definição da personalidade colonial.

O primeiro componente principal (PC1) explicou 69,4% da variância total dos dados indicando um gradiente de atividade comportamental. Escores positivos nesse eixo associaram-se a maior velocidade, distância percorrida e tempo de corrida, ao passo que escores negativos corresponderam a maior tempo de repouso e maior número de paradas (Fig. 1A). As colônias 1, 2 e 3 apresentaram maiores escores de PC1, caracterizando um grupo com maior atividade locomotora, enquanto as colônias 4, 5 e 6 apresentaram menores escores, indicando um grupo de baixa atividade.

No modelo linear misto a variância entre colônias foi estimada em 1,615 e a variância residual em 2,123, resultando em um coeficiente de correlação intraclasse (ICC) de 0,432, ou seja, 43,2% da variação no comportamento de atividade foi atribuída às diferenças entre colônias ($F_{5,594} = 77,08$; $P < 0,001$). As comparações múltiplas evidenciaram que as colônias 1, 2 e 3 não diferiram entre si, formando um grupo de alta atividade, enquanto as colônias 4 e 5 também não diferiram entre si e apresentaram escores intermediários. A colônia 6 apresentou os menores valores de PC1, diferindo significativamente de todas as demais colônias (Fig. 1B). Com base nesses resultados, as colônias 1–3 foram classificadas como personalidade de alta atividade e as colônias 4–6 como personalidade de baixa atividade.

As colônias classificadas como de baixa atividade exibiram um perfil locomotor distinto das colônias de alta atividade (Fig. 2). Os indivíduos pertencentes às colônias de alta atividade apresentaram maior velocidade de deslocamento (Fig. 2A), maior distância percorrida (Fig. 2B) e maior tempo médio de corrida (Fig. 2C), com incrementos de 46, 46 e 26%, respectivamente, em relação às colônias de baixa atividade. Em contrapartida, as colônias de baixa atividade realizaram significativamente maior número de paradas (Fig. 2D) e permaneceram mais tempo em repouso (Fig. 2E) com valores 28 e 32% superiores aos observados nas colônias de alta atividade. As variáveis comportamentais complementares, também diferiram entre os grupos. O meandro (Fig. 2F), o número de contatos entre indivíduos (Fig. 2G) e a densidade da rede de interações (Fig. 2H) foram significativamente maiores nas colônias de baixa atividade. Essas variáveis foram cerca de 39, 41 e 41% maiores nas colônias de baixa atividade em relação às colônias de alta atividade.

3.2 Classificação da personalidade das colônias utilizadas nos bioensaios com inseticidas.

Com base nos resultados anteriores, foi estabelecido um critério funcional para classificação de novas colônias em dois perfis comportamentais contrastantes, aqui interpretados como perfis de personalidade da colônia (Fig. 3). O primeiro perfil corresponde às colônias de baixa atividade, caracterizadas por escores médios de PC1 inferiores a $-0,917$ e limite superior do IC_{95%} inferior a zero. O segundo perfil corresponde às colônias de alta atividade, definido por escores médios de PC1 superiores a $0,927$ e limite inferior do IC_{95%} acima de zero. Colônias com valores intermediários entre esses limiares foram consideradas de classificação inconclusiva e não foram incluídas em nenhum dos dois perfis (Fig. 3).

Além do critério baseado no PC1, a classificação funcional foi complementada por limiares. Assim, para colônias de baixa atividade foram adotados os limites superiores do IC_{95%} para velocidade, distância percorrida e tempo de corrida, e os limites inferiores para número de paradas e tempo de repouso. Para colônias de alta atividade, foi aplicado o critério inverso (Fig. 3).

3.3 Toxicidade do inseticida a colônias com diferentes perfis de personalidade

O imidacloprido apresentou toxicidade para ambos grupos de personalidade das colônias de *N. corniger*, porém com diferenças na suscetibilidade em função do perfil comportamental (Fig. 4). As doses letais capazes de causar mortalidade em 50% da população (DL₅₀) foram de $3,37 \mu\text{g/g}$ para colônias de baixa atividade (Fig. 4A) e $1,84 \mu\text{g/g}$ para colônias de alta atividade (Fig. 4B). Assim, foi necessária uma dose 1,84 vez maior de imidacloprido para produzir a mesma mortalidade nas colônias de baixa atividade em comparação às colônias de alta atividade. Esse padrão também foi observado para a DL₃₀ e, principalmente, para a DL₉₀, cuja razão entre as doses atingiu 4,51 vezes, indicando aumento da diferença de suscetibilidade à medida que a mortalidade esperada se aproximou de 90% (Fig. 4C). A resposta ao imidacloprido foi mais homogênea nas colônias de alta atividade (slope = $0,857 \pm 0,078$) do que nas colônias de baixa atividade (slope = $0,679 \pm 0,033$), contribuindo para ampliar a diferença entre as doses letais em níveis elevados de mortalidade (Fig 4A-B).

3.4 Transferência horizontal de contaminantes em colônias com diferentes perfis de personalidade

Os operários e soldados de *N. corniger* não tratados mantidos por 72 h em contato com operários previamente contaminados com às DL₅₀ e DL₉₀ do imidacloprido, apresentaram redução significativa na sobrevivência ao longo do tempo (colônias de baixa atividade: Teste de Log-rank: $\chi^2 = 174,1$; g.l = 2; $P < 0,001$; colônias de alta atividade: Teste de Log-rank: $\chi^2 = 191,0$; g.l = 2; $P < 0,001$).

A eficiência da transferência horizontal do imidacloprido diferiu entre os perfis comportamentais das colônias (Fig. 5 A-B). Nas colônias de baixa atividade, tanto a DL₅₀ quanto a DL₉₀ reduziram significativamente a sobrevivência dos indivíduos não tratados em relação ao controle, correspondendo a reduções de 26,4 e 41,8%, respectivamente (Fig. 5A). Em contraste, nas colônias de alta atividade, a exposição à DL₅₀ não alterou a sobrevivência dos indivíduos não tratados em comparação ao controle, enquanto a DL₉₀ promoveu redução de 28,2% na sobrevivência (Fig. 5B).

Os menores tempos letais necessários para matar 50% da população dos de *N. corniger* foram observados para as colônias com baixa atividade, com valores de 63,1 h (IC_{95%} = 61,5-64,6) para a DL₅₀ e 54,6 h (IC_{95%} = 52,5-56,8) para a DL₉₀ (Fig. 5C). Nas colônias de alta atividade, as TL₅₀ foram significativamente maiores, atingindo 69,8 h (IC_{95%} = 68,8–70,6 h) para a DL₅₀ e 59,5 h (IC_{95%} = 57,4–61,6 h) para a DL₉₀, indicando que a transferência horizontal do inseticida ocorreu de forma mais rápida nas colônias de baixa atividade.

Em ambos os grupos de personalidade colonial, os operários responderam pela maior parte da mortalidade observada após 72 h, independentemente do tratamento, enquanto a contribuição relativa dos soldados permaneceu reduzida em todas as condições avaliadas (Fig. 5D).

3.4.1 Comportamento de colônias contaminadas

Os comportamentos de trofalaxia bucal, allogrooming e agressão não foram significativos e por isso não foram analisados.

A antenação foi influenciada tanto pela personalidade da colônia ($F_{1,174} = 13,33$; $P < 0,001$) quanto pelo tratamento ($F_{2,174} = 9,85$; $P < 0,001$), sem interação significativa entre essas variáveis ($F_{2,174} = 2,55$; $P = 0,081$). Da mesma forma, agregação foi influenciada pela personalidade da colônia ($F_{1,174} = 29,88$; $P < 0,001$) e pelo tratamento

($F_{2,174} = 5,33$; $P = 0,006$), sem interação significativa entre os fatores ($F_{2,174} = 2,14$; $P = 0,121$). Houve redução no número de antenações e de agregações de *N. corniger* provenientes de colônias com alta atividade em relação a colônias com baixa atividade, quando expostas a DL_{90} de imidacloprido. Adicionalmente, colônias de alta atividade exibiram menor agregação do que colônias de alta atividade na dose letal necessária para matar 50% da população (Fig. 6A-B). Nas colônias de alta atividade, a frequência de antenação diminuiu significativamente na DL_{90} em comparação ao controle e à DL_{50} , enquanto nenhuma diferença foi detectada entre tratamentos nas colônias de baixa atividade (Fig. 6A). Em colônias de baixa atividade, a agregação aumentou significativamente na DL_{50} em relação ao controle. Em colônias de alta atividade, a agregação foi reduzida na DL_{90} em comparação à DL_{50} (Fig. 6B).

O comportamento de vibração foi influenciado tanto pela personalidade da colônia ($F_{1,174} = 21,95$; $P < 0,001$) quanto pelo tratamento ($F_{1,174} = 8,33$; $P < 0,001$), sem interação significativa entre os fatores ($F_{1,174} = 0,79$; $P = 0,455$). As colônias de alta atividade exibiram maior frequência de vibração do que colônias de baixa atividade nas doses DL_{50} e DL_{90} . Além disso, nas colônias de alta atividade, a frequência de vibração foi maior na DL_{50} do que na DL_{90} . Já nas colônias de baixa atividade, a vibração diminuiu na DL_{90} em comparação ao controle (Fig. 6C).

O IIS foi influenciado pela personalidade da colônia ($F_{1,174} = 40,97$; $P < 0,001$) e pela interação entre personalidade e tratamento ($F_{2,174} = 5,32$; $P = 0,0057$), enquanto o efeito isolado do tratamento não foi significativo ($F_{2,174} = 2,56$; $P = 0,0799$). O IIS foi superior em colônias com baixa atividade em relação as colônias com alta atividade quando expostas ao imidacloprido, independentemente da dose. Todos os tratamentos apresentaram valores positivos de IIS para colônias com baixa atividade, sendo o maior valor observado na DL_{50} , sem diferença significativa entre o controle e a DL_{90} . Em contraste, colônias com alta atividade apresentaram valores de IIS mais baixos sob a exposição à DL_{50} e DL_{90} do imidacloprido em relação ao controle, sem diferença significativa entre as doses (Fig. 6D).

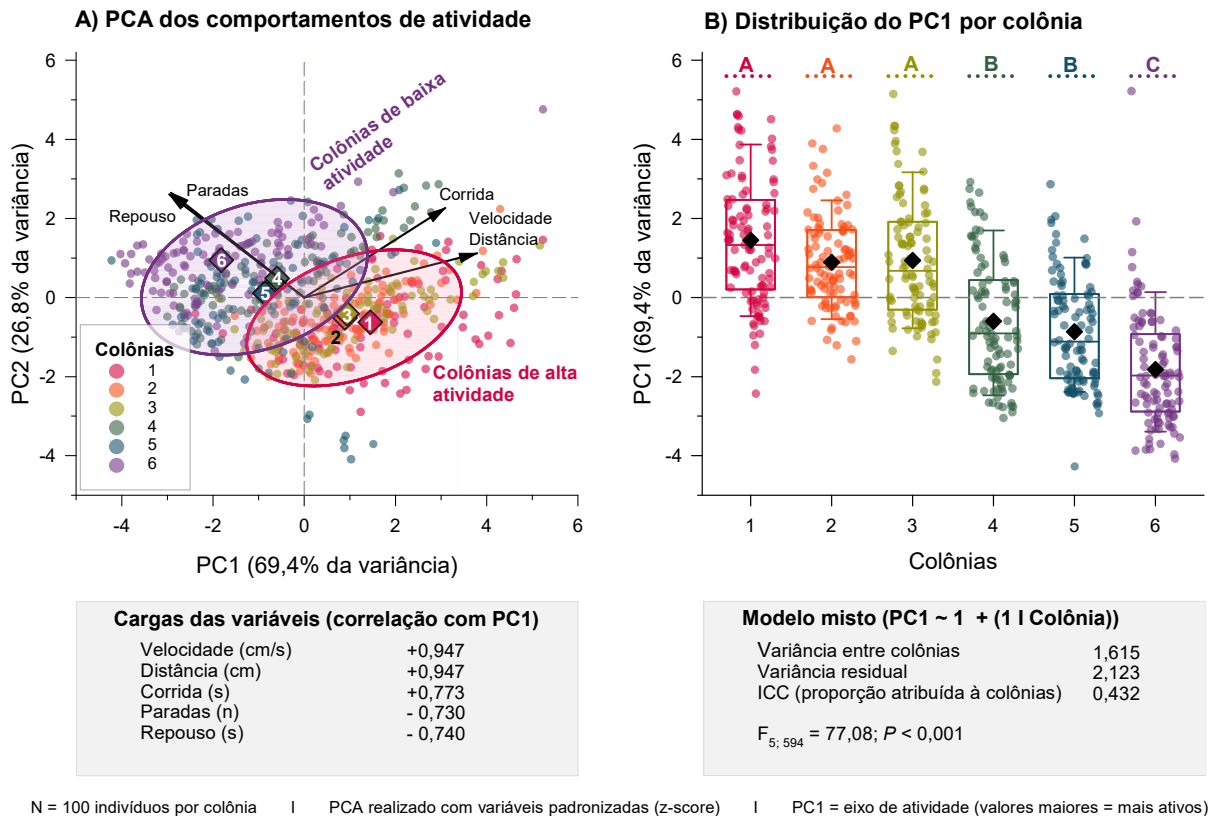


Figura 1. Comparação da atividade comportamental entre colônias de *Nasutitermes corniger*. **(A)** Análise de Componentes Principais (PCA) baseada em variáveis comportamentais padronizadas (Z-score), incluindo velocidade (cm/s), distância percorrida (cm), tempo médio em corrida (s), número de paradas (n) e tempo de repouso (s). As colônias foram mantidas em laboratório com temperatura de 25 ± 2 °C e umidade relativa de 80 ± 5 %. Os pontos coloridos representam indivíduos de cada colônia. Os números nos losangos indicam os centróides (média dos escores) de cada colônia. As setas representam as cargas das variáveis (loadings), indicando a direção e magnitude da contribuição de cada variável para os componentes principais. Elipses destacam agrupamentos de colônias com maior e menor atividade. **(B)** Distribuição dos escores de PC1 por colônia. As linhas no interior dos Boxplots representam a mediana, as extremidades dos boxplots os percentis 25 e 75 e as linhas verticais os percentis 10 e 90. Os losangos representam a média. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre colônias (teste de Tukey, $P < 0,05$).

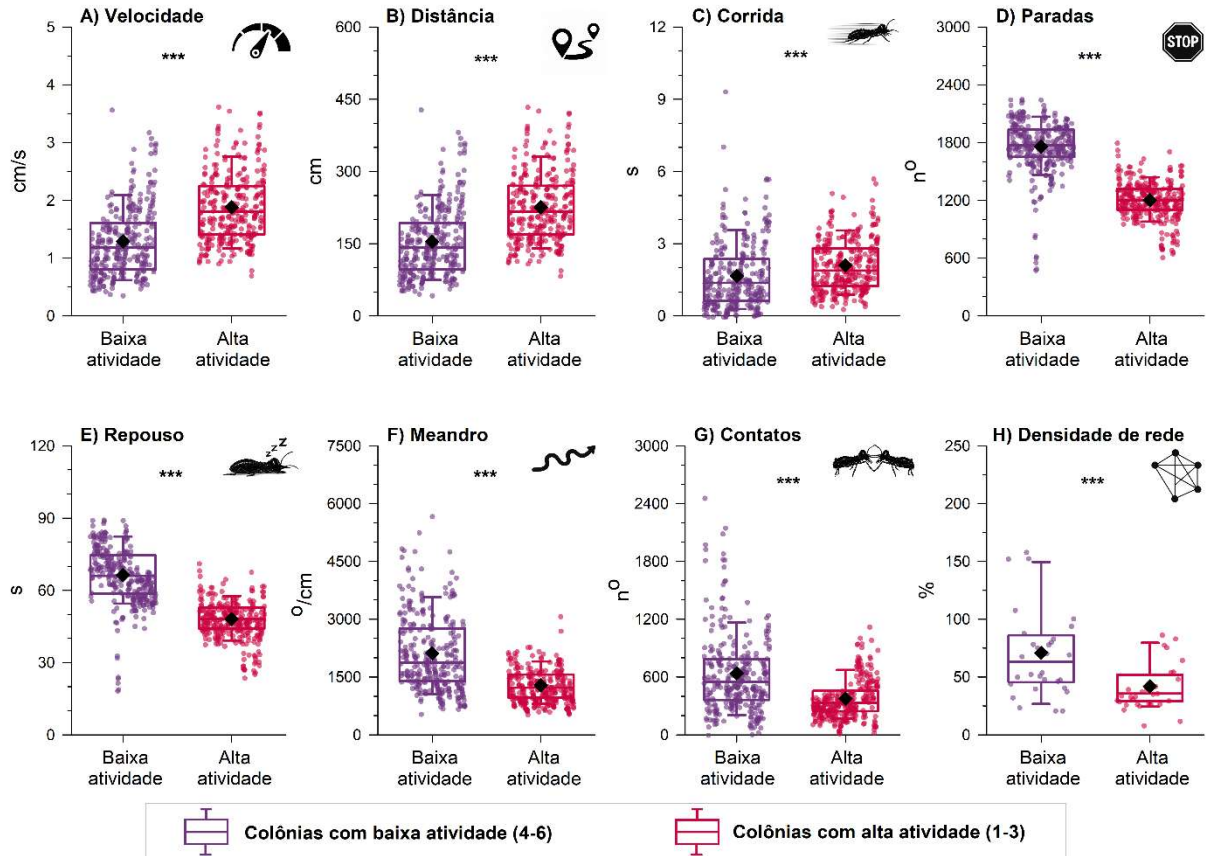


Figura 2. Diferenças comportamentais entre colônias de *Nasutitermes corniger* com baixa (colônias 4–6) e alta (colônias 1–3) atividade: **(A)** velocidade (cm/s), **(B)** distância percorrida (cm), **(C)** tempo médio de corrida (s), **(D)** número de paradas, **(E)** tempo de repouso (s), **(F)** meandro (°/cm), **(G)** número de contatos e **(H)** densidade de rede (%). As colônias foram mantidas em laboratório com temperatura de 25 ± 2 °C e umidade relativa de 80 ± 5 %. As linhas no interior dos Boxplots representam a mediana, as extremidades dos boxplots os percentis 25 e 75 e as linhas verticais os percentis 10 e 90. Os losangos representam a média, enquanto os pontos representam cada indivíduo (N = 300 por grupo, a exceção da densidade de rede onde o N = 30). Asteriscos (***) indicam diferenças estatisticamente significativas entre os grupos (P < 0,001), pelo teste de Mann-Whitney.

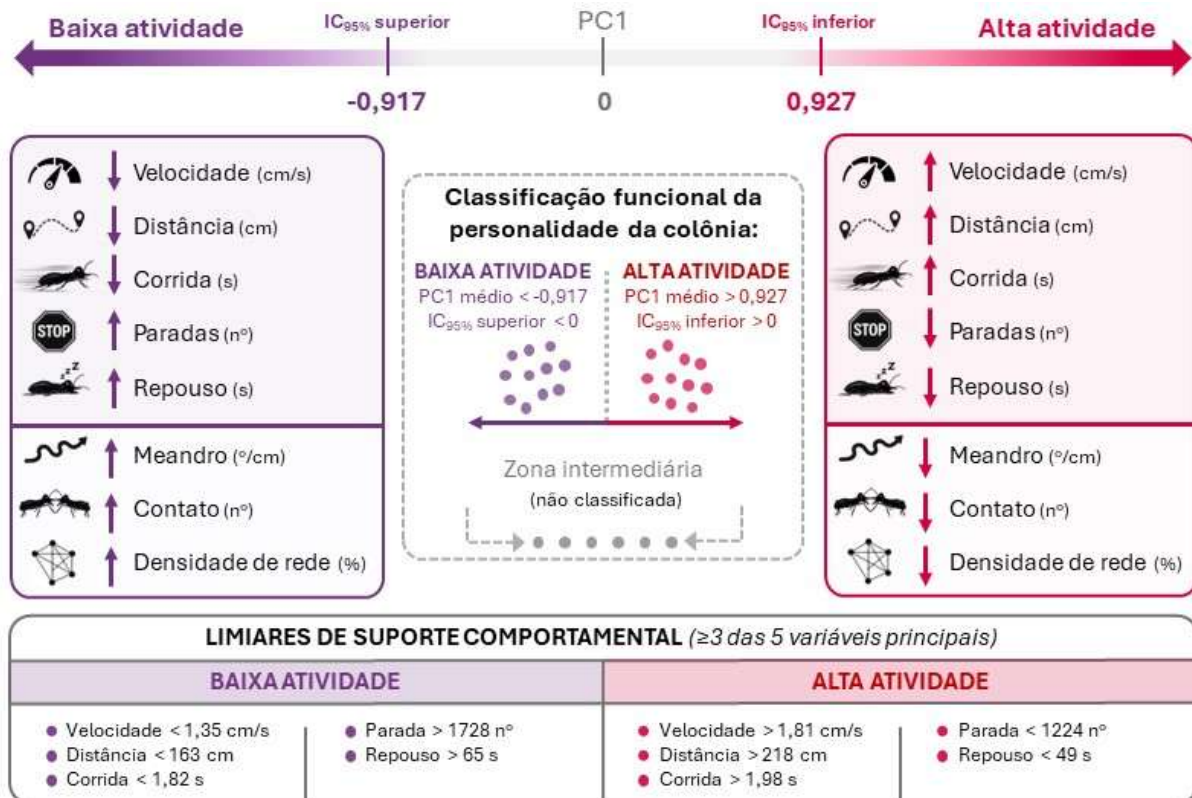


Figura 3 Classificação funcional dos perfis de personalidade das colônias de *Nasutitermes corniger* em função no eixo de atividade (PC1) obtido por Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis velocidade, distância percorrida, corrida, paradas e repouso, corroborada por padrões consistentes nas variáveis meandro, contato e densidade de rede. O sistema de classificação foi construído a partir de colônias de referência previamente categorizadas como de baixa atividade (colônias 4-6) e alta atividade (colônias 1-3) (Fig. 1).

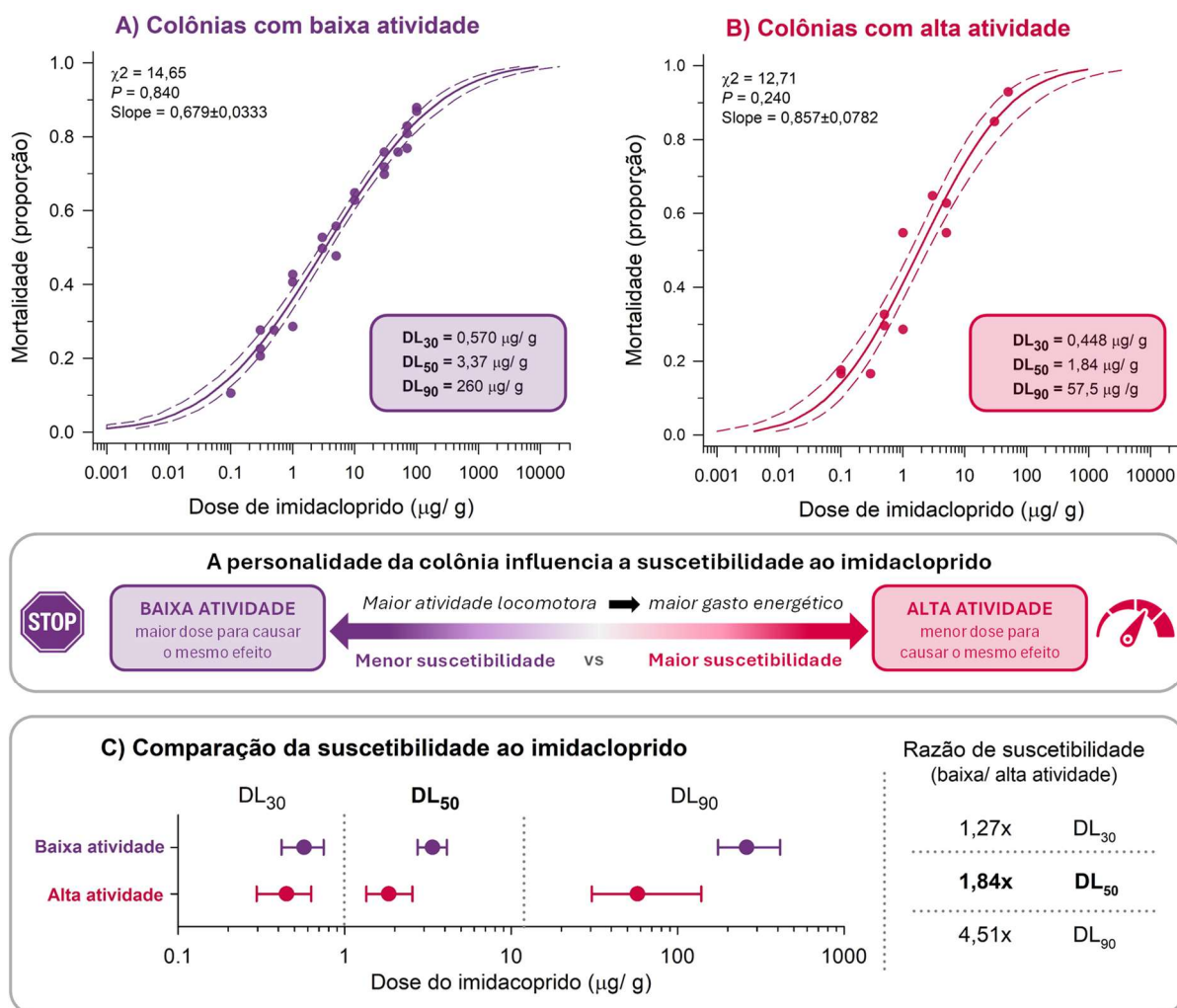


Figura 4 Suscetibilidade relativa ao inseticida imidacloprido de colônias de *Nasutitermes corniger* com baixa (A) e (B) alta atividade. As colônias foram mantidas em laboratório com temperatura de 25 ± 2 °C e umidade relativa de 80 ± 5 %. Os pontos representam as mortalidades observadas, as linhas contínuas os ajustes do modelo e as linhas tracejadas os respectivos intervalos de confiança de 95% de probabilidade. O painel central resume a hipótese biológica explicativa associada aos resultados. (C) Comparação das doses letais (DL₃₀, DL₅₀ e DL₉₀) estimadas para colônias com baixa e alta atividade. Os círculos representam as doses letais médias e as barras horizontais os respectivos intervalos de confiança de 95% de probabilidade. Valores da razão de suscetibilidade superiores a 1 indicam maior suscetibilidade das colônias com alta atividade em relação às colônias com baixa atividade.

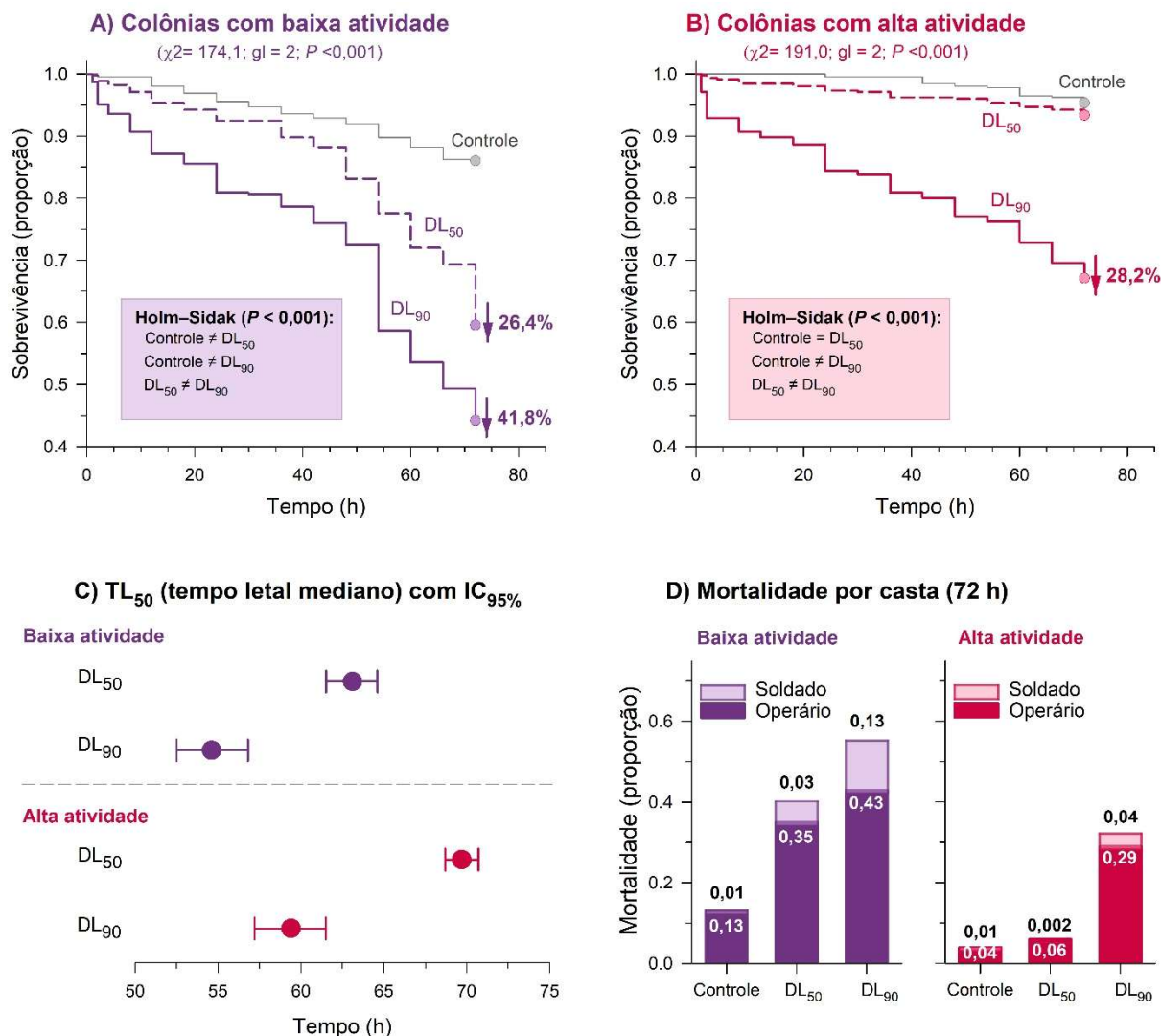


Figura 5 Transferência horizontal do inseticida imidacloprido em colônias de *Nasutitermes corniger* com baixa e alta atividade. Curvas de sobrevivência dos indivíduos não tratados (dez operário e cinco soldados) mantidos em contato com cinco operários tratados topicamente com acetona (controle), DL₅₀ ou DL₉₀ de imidacloprido, em colônias de baixa (A) e alta (B) atividade. As colônias foram mantidas em laboratório com temperatura de 25 ± 2 °C e umidade relativa de 80 ± 5 %. Os valores percentuais representam a redução da sobrevivência em relação ao respectivo controle após 72 h de exposição. As curvas foram comparadas pelo teste de Holm-Sidak ($P < 0,001$). (C) Tempo letal mediano (TL₅₀ $\pm$ IC_{95%}) dos indivíduos não tratados expostos aos cupins contaminados. Os círculos representam as TL₅₀ e as barras horizontais os respectivos intervalos de confiança a 95% de probabilidade. (D) Mortalidade por casta após 72 h de exposição, expressa como a contribuição relativa de operários e soldados para a mortalidade total observada em cada tratamento.

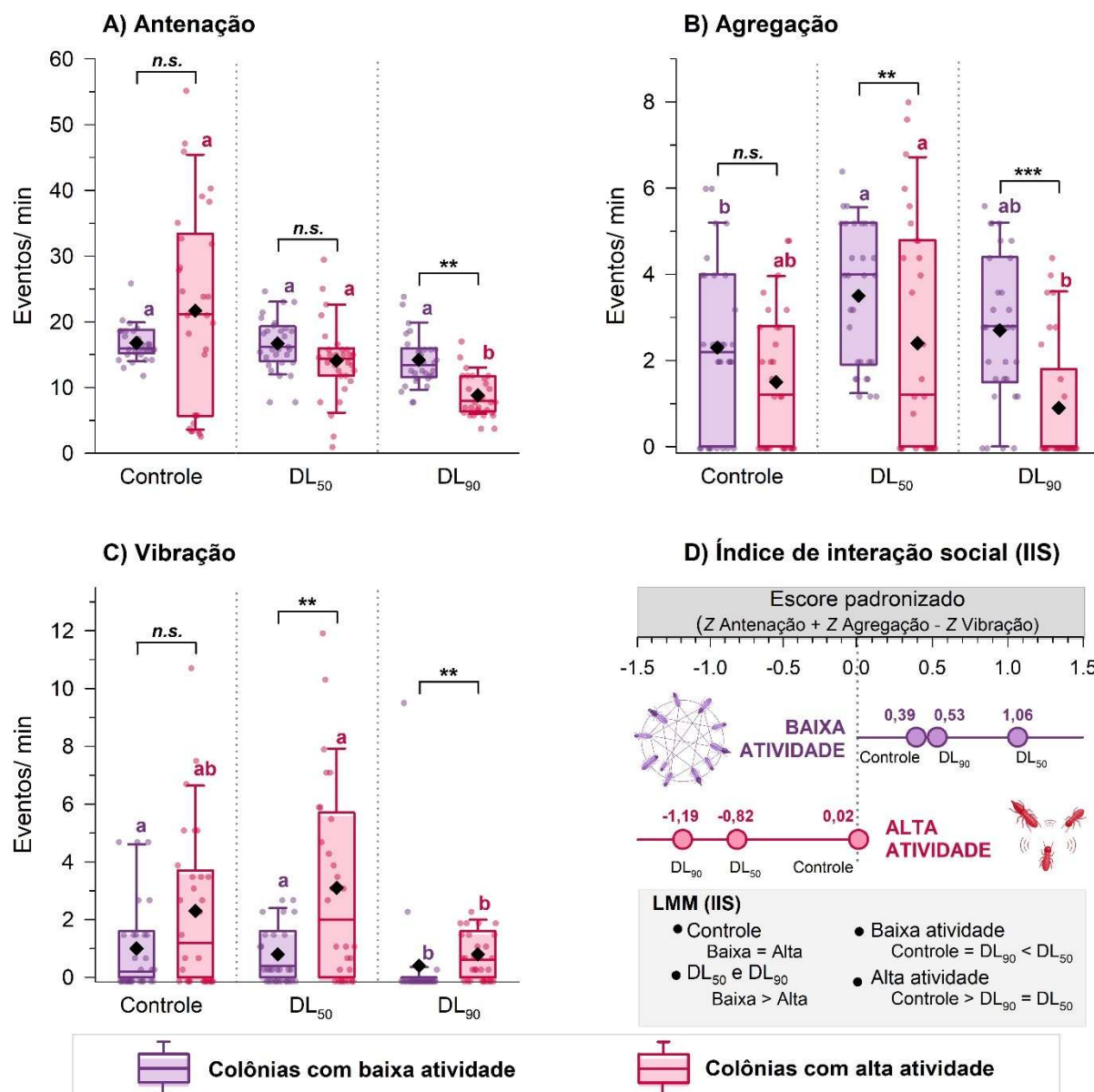


Figura 6 Respostas comportamentais de colônias de *Nasutitermes corniger* com baixa e alta atividade após exposição a indivíduos tratados com imidacloprido. **(A)** Frequência de antenação, **(B)** agregação e **(C)** vibração em colônias expostas a indivíduos não tratados (Controle) ou indivíduos tratados com DL₅₀ e DL₉₀ de imidacloprido. **(D)** Índice de Interação Social (IIS), calculado como a soma dos valores padronizados (Z-escores) de antenação e agregação menos os valores padronizados de vibração. As colônias foram mantidas em laboratório com temperatura de 25±2 °C e umidade relativa de 80±5 %. Valores negativos de IIS indicam redução nas interações de contato direto (antenação e agregação) e aumento na sinalização por vibração (comportamento de alarme). As linhas no interior dos Boxplots representam a mediana, as extremidades dos boxplots os percentis 25 e 75 e as linhas verticais os percentis 10 e 90. Os losangos representam a média. Os pontos representam cada indivíduo (n = 30 por grupo). Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos dentro de cada grupo de atividade, e asteriscos indicam diferenças entre colônias de baixa e alta atividade dentro de cada tratamento (P < 0,01, P < 0,001; n.s. = não significativo). As análises estatísticas foram realizadas utilizando modelos lineares mistos em dados de agregação e vibração transformados por log(x + 1).

4. DISCUSSÃO

Embora a resistência comportamental a inseticidas seja amplamente reconhecida (Hubbard, Gerry e Murillo, 2024; Hubbard e Murillo, 2022; Silverman e Bieman, 1993; Wang, Scharf e Bennett, 2004), as consequências da personalidade sobre a mortalidade de insetos por esses compostos são ainda pouco exploradas. Aqui demonstramos que colônias de *N. corniger* mostraram diferentes personalidades evidenciados por padrões de atividade (Fig. 1) e síndromes comportamentais (Fig. 2 e 3) que resultaram em padrões de resposta distintos ao inseticida imidacloprido (Fig. 4 e 5). Nossos resultados mostram que a combinação desses traços comportamentais (Fig. 3) pode influenciar nas probabilidades de acesso a contaminantes, na susceptibilidade ao inseticida, assim como na transferência horizontal do contaminante dentro da colônia.

Colônias de *N. corniger* mostraram personalidades distintas em relação ao nível de atividade (baixa e alta atividade) (Fig. 1), características que foram correlacionadas com comportamentos complementares como meandros, agregação e densidade de rede (Fig. 2 e 3). A correlação entre múltiplos traços comportamentais - denominada Síndrome Comportamental (Réale *et al.*, 2007; Sih, Bell e Johnson, 2004; Sih e Giudice, Del, 2012) - em alguns casos, pode impor restrições que resultam em *trade-offs*. Nesta perspectiva, estudos têm demonstrado que se grupos mais ativos e exploradores são mais ousados, ao mesmo tempo em que podem ter mais acesso a fontes alimentares, também estarão mais susceptíveis aos riscos ambientais (Blight *et al.*, 2016; Kolay *et al.*, 2025; Lima Vieira *et al.*, 2026; Reznikova, 2021).

Nossos resultados sugerem que colônias com personalidade de baixa e alta atividade podem apresentar *trade-offs* comportamentais. Grupos mais ativos caminharam maiores distâncias e mais rapidamente, exibindo poucos meandros e menores níveis de agregação. Isto sugere que colônias mais ativas possam ser mais exploradoras e talvez haja maior dispersão para localização e exploração de diferentes áreas de forrageio, o que aumentariam as chances de contato com inseticidas. Por outro lado, colônias de baixa atividade caminharam menos e mais devagar, realizando mais meandros, o que sugere que tais colônias exploram o ambiente de forma mais detalhada e cautelosa, com menores probabilidades de acesso a contaminantes. Outro estudo já havia demonstrado que a proporção de soldados pode interferir nas decisões de explorar recursos conhecidos ou buscar por novas fontes alimentares ("*trade-off exploration-exploitation*") (Eliassen *et al.*, 2007;

Sacramento, do *et al.*, 2020), porém nenhum estudo até o momento havia sugerido que diferenças na personalidade nas chances de exploração do habitat.

A susceptibilidade das colônias ao inseticida também foi diretamente influenciada pela personalidade. Considerando-se a contaminação de todo o grupo (ex. bioensaio de toxicidade), colônias de alta atividade mostraram maior susceptibilidade ao inseticida imidacloprido para todas as doses letais analisadas, exigindo doses mais baixas para mortalidade do que as colônias de baixa atividade (Fig. 4). Nesse caso, as chances de mortalidade podem ser explicadas pelo maior gasto energético *per si*, que promove menor capacidade das colônias de alta atividade para lidar com os contaminantes quando comparado às colônias de baixa atividade. Alguns estudos sugerem que diferenças de personalidade frequentemente estão associadas a diferenças na taxa metabólica, onde indivíduos mais ativos e exploratórios tendem a apresentar maior demanda energética, o que pode torná-los mais suscetíveis aos efeitos fisiológicos do inseticida (Biro and Stamps, 2010; Careau et al., 2008). Estudos realizados com *Sitophilus zeamais* também demonstraram que indivíduos com maior atividade tiveram maior susceptibilidade a inseticidas, com consequente aumento da toxicidade (Braga et al., 2011; Guedes et al., 2009). Resultado oposto foi verificado, porém o estudo relata o fato de que ao caminhar mais, o inseto teve maior possibilidade de fuga para superfícies não-tratadas ou de evitação comportamental induzida pelo próprio inseticida (Morales et al., 2013).

Outra possível explicação para maior toxicidade das colônias com alta atividade pode estar relacionada à tendência de redução das interações e densidade de rede observadas nestas colônias, quando comparado às colônias de baixa atividade (Fig. 2G-H). Em cupins, a facilitação social e as interações interindividuais (Miramontes e DeSouza, 1996) têm sido consideradas fatores que aumentam a sobrevivência ao reduzir os efeitos negativos de fatores estressores, favorecendo a tolerância à exposição a inseticidas (DeSouza et al., 2001; Santos, DeSouza e Narciso, 2004) e patógenos (Rosengaus et al., 1998).

Por outro lado, embora as colônias de alta atividade tenham se mostrado mais suscetíveis, elas podem disseminar menos os contaminantes dentro das colônias, uma vez que naturalmente realizam menos contatos interindividuais (Fig. 2G-H); ao contrário do hipotetizado inicialmente. O Índice de Interação Social mostrou claramente que as colônias de alta atividade reduziram as interações de contato direto, ao mesmo tempo em que aumentaram o comportamento de alarme (Fig. 6D).

Tais colônias perceberam mais rapidamente a presença de indivíduos contaminados aumentando o número de vibrações tanto quanto exposto a DL₅₀ e DL₉₀ (Fig. 6C), o que reduziu ainda mais os contatos como antenações na DL₉₀ (Fig. 6A) e agregações (em ambas as doses), evitando assim a transferência horizontal dentro da colônia. Estudos com inseticidas demonstraram que indivíduos mais ativos tendem a se contaminar menos em comparação aos indivíduos mais letárgicos, evidenciando uma tendência à evasão (Morales *et al.*, 2013). Estudos realizados com cupins, têm demonstrado que o inseticida imidacloprido pode induzir respostas de evitação comportamental, como observado em espécies da família Termitidae (Macrotermitinae) e Kalotermitidae (Hassan, Fitzgerald e Minett, 2023; Iqbal e Evans, 2018). No entanto, nosso estudo sugere que se esse efeito ocorreu, foi apenas em colônias ativas, uma vez que colônias de baixa atividade tenderam a permanecer mais agrupadas executando mais contatos interindividuais (Fig. 6). Este comportamento por si, já explica a alta mortalidade por transferência horizontal observada nas colônias pouco ativas. Sabe-se, que a transferência horizontal de inseticidas entre cupins é acelerada em grupos maiores (Wang *et al.*, 2013). De modo complementar, sintomas comportamentais induzidos por pesticidas, como moribundidade e ataxia, não apenas comprometem a mobilidade dos indivíduos, como também desencadeiam respostas de cuidado (grooming) por parte dos companheiros não expostos, ampliando a transferência do inseticida pela colônia (Aslam *et al.*, 2023). Assim, a menor frequência de comportamentos defensivos em colônias de baixa atividade, associadas à maior agregação, que favorece o contato físico e a transferência horizontal de contaminantes, cria uma combinação de fatores que intensifica a exposição ao inseticida e reduz a sobrevivência colonial.

A percepção de riscos é fundamental para a sobrevivência e sucesso adaptativo das colônias. Quando grupos de operários e soldados foram expostos a operários contaminados, houve proporcionalmente menor mortalidade destes últimos por transferência horizontal, para ambos os tipos de personalidade colonial (Fig. 5D). Esta maior sobrevivência pode estar relacionada tanto aos aspectos morfológicos relacionados à cutícula mais esclerotizada dos soldados que pode reduzir a ação dos inseticidas em comparação aos operários; como também à maior capacidade de percepção e tomada de decisão por parte dos soldados, que leva à uma maior evitação dos contaminantes. (Watanabe *et al.*, 2023) demonstrou que grupos com soldados tiveram maior tolerância ao imidacloprido do que grupos sem soldados.

Outros estudos anteriores também demonstraram o papel fundamental dos soldados nas decisões comportamentais durante o forrageio (Almeida *et al.*, 2016; Sacramento, do *et al.*, 2020). Assim, a maior sobrevivência proporcional de soldados observada aqui, pode refletir em maiores habilidades das colônias lidarem com o contaminante.

Em conjunto, nossos resultados demonstram que a personalidade da colônia constitui uma importante fonte de variação na resposta de *N. corniger* aos inseticidas. Colônias de alta atividade apresentaram maior suscetibilidade fisiológica ao imidacloprido, possivelmente associada à maior atividade locomotora e à menor frequência de interações sociais, mas também exibiram respostas comportamentais mais rápidas e maior redução dos contatos após a exposição, o que pode limitar a transferência horizontal do contaminante. Em contraste, colônias de baixa atividade, embora menos suscetíveis à toxicidade direta, mantiveram maior agregação e frequência de contatos interindividuais, favorecendo a disseminação do inseticida entre os membros da colônia e aumentando a mortalidade em nível grupal. Esses resultados evidenciam que a personalidade pode influenciar simultaneamente a exposição, a susceptibilidade e a transmissão de contaminantes, revelando que a resposta de sociedades de insetos aos pesticidas não pode ser compreendida exclusivamente a partir da toxicidade individual.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao demonstrar que diferenças consistentes na organização comportamental das colônias de *N. corniger* podem alterar tanto a vulnerabilidade ao inseticida quanto sua dinâmica de disseminação social, este estudo amplia a compreensão dos mecanismos comportamentais envolvidos na resposta aos pesticidas. Além disso, destaca a importância de incorporar a variação comportamental coletiva aos estudos de ecotoxicologia e manejo de pragas sociais, uma vez que essas diferenças podem contribuir para explicar as falhas na eficiência do controle.

6. Utilização IA

O ChatGPT-5.5 (OpenAI, 2026) foi utilizado como ferramenta auxiliar na criação de ícones ilustrativos de cupins empregados na composição gráfica, na identificação e correção de erros em scripts utilizados nas análises estatísticas e na revisão gramatical do manuscrito. Todo o conteúdo intelectual, incluindo a concepção do estudo, a redação, a análise dos dados e a interpretação dos resultados, é de autoria e responsabilidade exclusiva dos autores.

7. REFERENCIAS

- ALBUQUERQUE, A. C.; MATIAS, G. R. R. S.; COUTO, A. A. V. DE O.; VASCONCELLOS, A. Urban Termites of Recife, Northeast Brazil (Isoptera). **Sociobiology**, v. 59, n. 1, p. 183–188, 2012.
- ALEXANDER, R. D. The Evolution of Social Behavior. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 5, p. 325–383, 1974.
- ALMEIDA, C. S.; CRISTALDO, P. F.; FLORENCIO, D. F.; CRUZ, N. G.; SANTOS, A. A.; OLIVEIRA, A. P.; SANTANA, A. S.; RIBEIRO, E. J. M.; LIMA, A. P. S.; BACCI, L.; ARAÚJO, A. P. A. Combined foraging strategies and soldier behaviour in *Nasutitermes aff. coxipoensis* (Blattodea: Termitoidea: Termitidae). **Behavioural Processes**, v. 126, p. 76–81, 1 maio 2016.
- ASLAM, A.; CHI, D. F.; ABBASI, A.; ARSHAD, M.; HAFEEZ, F.; FAYYAZ, A.; HATAMLEH, A. A.; ABDULLAH AL-DOSARY, M. Time-dependent mortality and behavioral response of *Odontotermes obesus* (Blattodea: Termitidae) against different dose rates of pesticides for sustainable forest management. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 6, 2023.
- AZMI, W. A.; SULAIMAN, Z. A.; ISHAK, I.; KUAN KIN, P.; LEE, G.; LIN, E.; NOR, S.; ADDIS, K. B. Malaysian Journal of Microbiology Virulence evaluation of entomopathogenic fungi to subterranean termites, *Globitermes sulphureus* (INSECTA: ISOPTERA). **Malaysian Journal of Microbiology**, v. 12, n. 6, p. 492–497, 2016.
- BACCI, L.; LIMA, J. K. A.; ARAÚJO, A. P. A.; BLANK, A. F.; SILVA, I. M. A.; SANTOS, A. A.; SANTOS, A. C. C.; ALVES, P. B.; PICANÇO, M. C. Toxicity, behavior impairment, and repellence of essential oils from pepper-rosmarin and patchouli to termites. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 156, n. 1, p. 66–76, 2015.

- BIRO, P. A.; STAMPS, J. A. Do consistent individual differences in metabolic rate promote consistent individual differences in behavior? **Trends in Ecology and Evolution**, nov. 2010.
- BLACK, H. I. J.; OKWAKOL, M. J. N. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics: the role of térmites. **Applied Soil Ecology**, v. 6, n. 1, p. 37-53, 1997.
- BLIGHT, O.; ALBET DÍAZ-MARIBLANCA, G.; CERDÁ, X.; BOULAY, R. A proactive-reactive syndrome affects group success in an ant species. **Behavioral Ecology**, v. 27, n. 1, p. 118–125, 2016.
- BRAGA, L. S.; CORRÊA, A. S.; PEREIRA, E. J. G.; GUEDES, R. N. C. Face or flee? Fenitrothion resistance and behavioral response in populations of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*. **Journal of Stored Products Research**, v. 47, n. 3, p. 161–167, jul. 2011.
- BUTT, T. M.; COATES, C. J.; DUBOVSKIY, I. M.; RATCLIFFE, N. A. Entomopathogenic Fungi: New Insights into Host-Pathogen Interactions. **Advances in Genetics**, v. 94, p. 307–364, 2016.
- CABRERA, B. J.; SCHEFFRAHN, R. H. Western Drywood Termite, *Incisitermes minor* (Hagen) (Insecta: Isoptera: Kalotermitidae)¹. **UF| IFAS Extension - University of Florida**, p. 1–7, 2001.
- CAREAU, V.; THOMAS, D.; HUMPHRIES, M. M.; RÉALE, D. Energy metabolism and animal personality. **Oikos**, v. 117, p. 641–653, 2008.
- CHAPMAN, B. B.; THAIN, H.; COUGHLIN, J.; HUGHES, W. O. H. Behavioural syndromes at multiple scales in *Myrmica* ants. **Animal Behaviour**, v. 82, n. 2, p. 391–397, ago. 2011.
- CONSTANTINO, R. The pest termites of South America: taxonomy, distribution and status. **J. Appl. Ent.**, v. 126, p. 355–365, 2002.
- DELACOUX, M.; GUENTHER, A. Stressfulness of the design influences consistency of cognitive measures and their correlation with animal personality traits in wild mice (*Mus musculus*). **Animal Cognition**, v. 26, n. 3, p. 997–1009, 1 jun. 2023.
- DESOUZA, O.; MIRAMONTES, O.; SANTOS, C.; BERNARDO, D. L. Social facilitation affecting tolerance to poisoning in termites (Insecta, Isoptera). **Insectes Sociaux**, v. 48, n. 1, p. 21–24, mar. 2001.

- DINGEMANSE, N. J.; WRIGHT, J. Criteria for acceptable studies of animal personality and behavioural syndromes. **Ethology**, v. 126, n. 9, p. 865–869, 1 set. 2020.
- DOCHTERMANN, N. A.; SCHWAB, T.; SIH, A. The contribution of additive genetic variation to personality variation: Heritability of personality. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 282, n. 1798, 12 nov. 2014.
- ELIASSEN, SIGRUNN; JØRGENSEN, CHRISTIAN; MANGEL, M.; GISKE, JARL; ELIASSEN, S.; JØRGENSEN, C.; GISKE, J.; MANGEL, Á. M. Exploration or exploitation: life expectancy changes the value of learning in foraging strategies. **Oikos**, v. 116, p. 513, 2007.
- EVANS, THEODORE A.; FORSCHLER, B. T.; KENNETH GRACE, J. Biology of invasive termites: A worldwide review. **Annual Review of Entomology**, 7 jan. 2013.
- GANDRA, L. C.; AMARAL, K. D.; COUCEIRO, J. C.; GUEDES, R. N. C.; LUCIA, T. M. C. DELLA. Does resource-mediated stress affect colony personality in leaf-cutting ants? **Pest Management Science**, v. 77, n. 1, p. 96–103, 1 jan. 2021.
- GHALY, A.; EDWARDS, S. Termite Damage to Buildings: Nature of Attacks and Preventive Construction Methods. **American J. of Engineering and Applied Sciences**, v. 4, n. 2, p. 187–200, 2011.
- GOSLING, S. D. Personality in Non-human Animals. **Social and Personality Psychology Compass**, v. 2, n. 2, p. 985–1001, mar. 2008.
- GRAF, J. F. The Role of Insect Growth Regulators in Arthropod Control. **Parasitology Today**, v. 9, n. 12, p. 471–474, 1993.
- GRUNST, A. S.; GRUNST, M. L. Animal personality in multiple stressor environments: the evolutionary ecology of among-individual differences in responses to stressor suites. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 291, n. 2033, 23 out. 2024.
- GUEDES, N. M. P.; GUEDES, R. N. C.; FERREIRA, G. H.; SILVA, L. B. Flight take-off and walking behavior of insecticide-susceptible and resistant strains of *Sitophilus zeamais* exposed to deltamethrin. **Bulletin of Entomological Research**, v. 99, n. 4, p. 393–400, ago. 2009.
- HASSAN, B.; FITZGERALD, C.; MINETT, R. Toxicity, Repellency, and Horizontal Transfer of Foam Insecticides for Remedial Control of an Invasive Drywood Termite,

- Cryptotermes brevis* (Blattodea: Kalotermitidae). **BioResources**, v. 18, n. 2, p. 2589–2610, 2023.
- HAVERTY, M. I. The Proportion of Soldiers in Termite Colonies: a List and a Bibliography (Isoptera). **Sociobiology**, v. 2, n. 3, p. 199–216, 1977.
- HUBBARD, C. B.; GERRY, A. C.; MURILLO, A. C. Evaluation of the stability of physiological and behavioral resistance to imidacloprid in the house fly (*Musca domestica* L.) (Diptera: Muscidae). **Pest Management Science**, v. 80, n. 3, p. 1361–1366, 1 mar. 2024.
- HUBBARD, C. B.; MURILLO, A. C. Concentration Dependent Feeding on Imidacloprid by Behaviorally Resistant House Flies, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). **Journal of Medical Entomology**, v. 59, n. 6, p. 2066–2071, 1 nov. 2022.
- IQBAL, N.; EVANS, T. A. Evaluation of fipronil and imidacloprid as bait active ingredients against fungus-growing termites (Blattodea: Termitidae: Macrotermitinae). **Bulletin of Entomological Research**, v. 108, n. 1, p. 14–22, 3 fev. 2018.
- JOQUET, P.; DAUBER, J.; LAGERLÖF, J.; LAVELLE, P.; LEPAGE, M. Soil invertebrates as ecosystem engineers: Intended and accidental effects on soil and feedback loops. **Applied Soil Ecology**, jun. 2006.
- JOQUET, P.; TRAORÉ, S.; CHOOSAI, C.; HARTMANN, C.; BIGNELL, D. Influence of termites on ecosystem functioning. Ecosystem services provided by termites. **European Journal of Soil Biology**, v. 47, n. 4, p. 215–222, jul. 2011.
- JUNQUEIRA, L. K.; GONÇALVES, E. R.; TEIXEIRA, L. M. C. Termite Communities in Sugarcane Plantations in Southeastern Brazil: an Ecological Approach. **EntomoBrasilis**, v. 8, n. 2, p. 105–116, 23 ago. 2015.
- KOLAY, S.; ETIENNE, F.; BOULAY, R.; D'ETTORRE, P. Variation in foraging choice and influence of personality on foraging behaviour in a thermophilic ant. **Animal Behaviour**, v. 227, 1 set. 2025.
- LAVELLE DAVID; LEPAGE MICHEL; WOLTERS VOLKMAR; ROGER PIERRE; INESON PHILIP; HEAL O.W.; DHILLION SHIVECHARN, P. B. Soil function in a changing world: the role of invertebrate ecosystem engineers. **Env. J. Soil. Biol.**, v. 33, n. 4, p. 159–193, 1997.
- LECOCQ, A.; JENSEN, A. B.; KRYGER, P.; NIEH, J. C. Parasite infection accelerates age polyethism in young honey bees. **Scientific Reports**, v. 6, 25 fev. 2016.

- LIMA VIEIRA, M. E.; CHAMERON, S.; RÖDEL, H. G.; ARAÚJO, A.; CHÂLINE, N. Behavioural plasticity in a solitary foraging ant: Effect of experience and food distribution. **Behavioural Processes**, v. 234, 1 jan. 2026.
- MELLO, A. P.; COSTA, B. G.; SILVA, A. C.; SILVA, A. M. B.; BEZERRA-GUSMÃO, M. A. Termite infestation in historical buildings and residences in the semiarid region of Brazil. v. 61, n. 3, p. 318–323, set. 2014.
- MENDONÇA, T. H. C.; SILVA, C. R.; WATANABE, S. Y. M.; SILVA, A. N. F.; SANTOS, R. E. C.; CRISTALDO, P. F. How to perceive the insecticide? The Neotropical termite *Nasutitermes corniger* (Termitidae: Nasutitermitinae) triggers alert behavior after exposure to imidacloprid. **Behavioural Processes**, v. 209, 1 jun. 2023.
- MENGES, V.; SPÄTH, S.; MENZEL, F. Temporally consistent behavioural variation between wild ant colonies is robust to strong seasonal and thermal variation. **Animal Behaviour**, v. 196, p. 151–163, 1 fev. 2023.
- MIRAMONTES, O.; DESOUZA, O. The Nonlinear Dynamics of Survival and Social Facilitation in Termites. **Journal of Theoretical Biology**, v. 181, n. 4, p. 373–380, 1996.
- MODLMEIER, A. P.; KEISER, C. N.; SHEARER, T. A.; PRUITT, J. N. Species-specific influence of group composition on collective behaviors in ants. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 68, n. 12, p. 1929–1937, 1 dez. 2014.
- MORALES, J. A.; CARDOSO, D. G.; LUCIA, T. M. C. DELLA; GUEDES, R. N. C. Weevil x Insecticide: Does “Personality” Matter? **PLoS ONE**, v. 8, n. 6, 26 jun. 2013.
- MYLES, T. Review of secondary reproduction in termites (Insecta: Isoptera) with comments on its role in termite ecology and social evolution. **Sociobiology**, v. 33, n. 1, p. 1–24, 1999.
- NAVA, D. E.; BOTTON, M. Documento 315 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Clima Temperado Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2010.
- OI, F. A Review of the Evolution of Termite Control: A Continuum of Alternatives to Termiticides in the United States with Emphasis on Efficacy Testing Requirements for Product Registration. **Insects**, v. 13, n. 1, 1 jan. 2022.
- ORTIZ-URQUIZA, A.; KEYHANI, N. O. Action on the surface: Entomopathogenic fungi versus the insect cuticle. **Insects**, 2013.

- OTTERSTATTER, M. C.; THOMSON, J. D. Contact networks and transmission of an intestinal pathogen in bumble bee (*Bombus impatiens*) colonies. **Oecologia**, v. 154, n. 2, p. 411–421, nov. 2007.
- PINTER-WOLLMAN, N. Personality in social insects: How does worker personality determine colony personality? **Current Zoology**, v. 58, n. 4, p. 580–588, 2012.
- RÉALE, D.; DINGEMANSE, N. J.; KAZEM, A. J. N.; WRIGHT, J. Evolutionary and ecological approaches to the study of personality. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 365, n. 1560, p. 3937–3946, 27 dez. 2010.
- RÉALE, D.; READER, S. M.; SOL, D.; MCDOUGALL, P. T.; DINGEMANSE, N. J. Integrating animal temperament within ecology and evolution. **Biological Reviews**, v. 82, n. 2, p. 291–318, maio 2007.
- REZNIKOVA, Z. Ants' Personality and Its Dependence on Foraging Styles: Research Perspectives, **Frontiers in Ecology and Evolution**. Frontiers Media S.A. 24 maio 2021.
- ROSENGAUS, R. B.; JORDAN, C.; LEFEBVRE, M. L.; TRANIELLO, J. F. A. Pathogen Alarm Behavior in a Termite: A New Form of Communication in Social Insects. **Naturwissenschaften**, v. 86, n. 11, p. 544–548, out. 1999.
- ROSENGAUS, R. B.; MAXMEN, A. B.; COATES, L. E.; TRANIELLO, J. F. A. Disease resistance: a benefit of sociality in the dampwood termite *Zootermopsis angusticollis* (Isoptera: Termopsidae). **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 44, p. 125–134, 31 maio 1998.
- ROSENGAUS, R. B.; TRANIELLO, J. F. A. Disease risk as a cost of outbreeding in the termite *Zootermopsis angusticollis*. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 90, n. 14, p. 6641–6645, 15 jul. 1993.
- ROSENGAUS, R. B.; TRANIELLO, J. F. A.; BULMER, M. S. Ecology, Behavior and Evolution of Disease Resistance in Termites. *Em*: BIGNELL, D. E.; ROSIN, Y.; LO, N. (Eds.). **Biology of Termites: A Modern Synthesis**. [s.l.] Springer, 2011. p. 165–191.
- RUST, M. K.; SU, N. Y. Managing social insects of urban importance. **Annual Review of Entomology**, v. 57, p. 355–375, 2012.
- SACRAMENTO, J. J. M. DO; CRISTALDO, P. F.; SANTANA, D. L.; CRUZ, J. S.; SANTOS OLIVEIRA, B. V. DOS; TEIXEIRA DOS SANTOS, A.; ARAÚJO, A. P. A. Soldiers of the termite *Nasutitermes corniger* (Termitidae: Nasutitermitinae) increase the ability to exploit food resources. **Behavioural Processes**, v. 181, 1 dez. 2020.

- SALVUCCI, A.; RAFAEL, R. B. A.; COCCO, S.; CARDELLI, V.; CAMPONI, L.; SERRANI, D.; FENIASSE, D.; WEINDORF, D. C.; CORTI, G. Zoogenic soil horizons – termite ecosystem engineers in different agro-ecological regions of Mozambique. **Geoderma Regional**, v. 32, 1 mar. 2023.
- SANTOS, C. A.; DESOUZA, O.; NARCISO, R. C. G. Social Facilitation Attenuating Insecticide-Driven Stress in Termites (Isoptera: Nasutitermitinae). **Sociobiology**, v. 44, n. 3, p. 539–545, 2004.
- SANTOS, C. L. I.; GOMES, L. J.; Gomes S. H. M.; Santana L.L. Identificação das ações impactantes na Área de Proteção Ambiental Morro do Urubu, Aracaju-SE. **SCIENTIA PLENA**, v. 9, n. 10, p. 1–13, 2013.
- SANTOS, P. H. N.; BARROS, G. V. P.; FERREIRA, W. S. Perfil climático e cobertura do solo: o cenário do estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 01, p. 101–115, 2023.
- SCHUETT, W.; DALL, S. R. X.; BAEUMER, J.; KLOESENER, M. H.; NAKAGAWA, S.; BEINLICH, F.; EGGERS, T. Personality variation in a clonal insect: The pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. **Developmental Psychobiology**, v. 53, n. 6, p. 631–640, set. 2011.
- SEGEV, U.; FOITZIK, S. Ant personalities and behavioral plasticity along a climatic gradient. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 73, n. 6, 1 jun. 2019.
- SEO, S.; LEE, S.; HONG, Y.; KIM, Y. Phospholipase A2 inhibitors synthesized by two entomopathogenic bacteria, *Xenorhabdus nematophila* and *Photorhabdus temperata* subsp. *Temperata*. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 78, n. 11, p. 3816–3823, 2012.
- SHI, J.; MERCHANT, A.; ZHOU, X. The Impact of Termiticides on Termite Corpse Management. **Insects**, v. 16, n. 2, 1 fev. 2025.
- SIH, A.; BELL, A.; JOHNSON, J. C. Behavioral syndromes: An ecological and evolutionary overview. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 19, n. 7, p. 372–378, 1 jul. 2004.
- SIH, A.; GIUDICE, M. DEL. Linking behavioural syndromes and cognition: A behavioural ecology perspective. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 367, n. 1603, p. 2762–2772, 2012.
- SILVERMAN, J.; BIEMAN, D. N. Glucose Aversion in the German Cockroach, *Blattella germanica*. **J. Insect Physiol**, v. 39, n. 11, p. 925–933, 1993.

- ŠOBOTNÍK, J.; DAHLSJÖ, C. A. L. Isoptera ☆. *Em*: GIODARNO, A.; RANGANATHAN, S.; COTTER, D. P.; VITALE, I. (Eds.). **Reference Module in Life Sciences**. 1. ed. Czech Republic: Elsevier, 2017. p. 1–32.
- STROEYMEYT, N.; GRASSE, A. V; CRESPI, A.; MERSCH, D. P.; CREMER, S.; KELLER, L. Social network plasticity decreases disease transmission in a eusocial insect. **Epidemiology**, v. 362, p. 941–945, 23 out. 2018.
- SU, N.-Y.; BAN, P. M.; SCHEFFRAHN, R. H. Control of subterranean termite populations at San Cristóbal and El Morro, San Juan National Historic Site. **Journal of Cultural Heritage**, v. 3, n. 3, p. 217–225, 2002.
- TEMESGEN KEBEDE, M.; DABA URGU, S. Subterranean termite nests in residential and open crop fields in central Ethiopia: Knowledge and perception of farmers on causes and effects. **Journal of Arid Environments**, v. 224, 1 out. 2024.
- THANT, M.; NAKAMURA, A.; ASHTON, L. A.; LIU, S.; YANG, X. Assessing the impacts of forest conversion and seasonal dynamics on soil nutrient heterogeneity associated with termite mounds. **Forest Ecology and Management**, v. 589, 1 ago. 2025.
- THORNE, B. L.; TENN, K. E.; ALSPACH, S.; RODEN, M. N.; CLARK, M. S. Underground Nests and Foraging Activity of Invasive Conehead Termites (*Nasutitermes corniger*; Blattodea: Termitidae). **Insects**, v. 16, n. 12, p. 2, 1 dez. 2025.
- TRAORÉ, S.; GUÉBRÉ, D.; HIEN, E.; TRAORÉ, M.; LEE, N.; LORENZ, N.; DICK, R. P. Nutrient cycling and microbial responses to termite and earthworm activity in soils amended with woody residues in the Sudano-Sahel. **European Journal of Soil Biology**, v. 109, 1 mar. 2022.
- TREMMELE, M.; MÜLLER, C. Insect personality depends on environmental conditions. **Behavioral Ecology**, v. 24, n. 2, p. 386–392, mar. 2013.
- TURNER, J.; HUGHES, W. O. H. The effect of parasitism on personality in a social insect. **Behavioural Processes**, v. 157, p. 532–539, 1 dez. 2018.
- UDINO, E.; PEREZ, M.; CARERE, C.; D'ETTORRE, P. Active explorers show low learning performance in a social insect. **Current Zoology**, v. 63, n. 5, p. 555–560, 1 out. 2017.
- WALTON, A.; TOTH, A. L. Variation in individual worker honey bee behavior shows hallmarks of personality. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, v. 70, n. 7, p. 999–1010, 1 jul. 2016.

- WANG, C.; HENDERSON, G.; CHEN, X.; GAUTAM, B. K. Horizontal transfer of fipronil is enhanced with increased group size in *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 106, n. 6, p. 2630–2632, dez. 2013.
- WANG, C.; SCHARF, M. E.; BENNETT, G. W. INSECTICIDE RESISTANCE AND RESISTANCE MANAGEMENT Behavioral and Physiological Resistance of the German Cockroach to Gel Baits (Blattodea: Blattellidae). **J. Econ. Entomol**, v. 97, n. 6, p. 2067–2072, 2004.
- WATANABE, S. Y. M.; FERREIRA, L. F.; CRUZ, M. R. P.; ARAÚJO, A. P. A.; DESOUSA, O.; CRISTALDO, P. F. It is not only group size: Soldiers also modulate the tolerance to insecticide in termites (Blattodea: Isoptera). **Entomological Science**, v. 26, n. 2, 1 jun. 2023.
- WILSON-RICH, N.; STUART, R. J.; ROSENGAUS, R. B. Susceptibility and behavioral responses of the dampwood termite *Zootermopsis angusticollis* to the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae*. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 95, n. 1, p. 17–25, maio 2007.
- WRAY, M. K.; MATTILA, H. R.; SEELEY, T. D. Collective personalities in honeybee colonies are linked to colony fitness. **Animal Behaviour**, v. 81, n. 3, p. 559–568, mar. 2011.
- WRIGHT, C. M.; KEISER, C. N.; PRUITT, J. N. Colony personality composition alters colony-level plasticity and magnitude of defensive behaviour in a social spider. **Animal Behaviour**, v. 115, p. 175–183, 1 maio 2016.
- YANAGAWA, A.; SHIMIZU, S. Resistance of the termite, *Coptotermes formosanus* Shiraki to *Metarhizium anisopliae* due to grooming. **BioControl**, v. 52, n. 1, p. 75–85, fev. 2007.
- ZENG, W.; CHEN, T.; CHEN, Y.; YAN, X.; WU, W.; ZHANG, S.; LI, Z. α -Terpineol affects social immunity, increasing the pathogenicity of entomopathogenic nematodes to subterranean termites (Isoptera). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 196, 1 nov. 2023.