



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA**

DÉBORA MENEZES ALVES

Cupins sob alarme: grupos de *Nasutitermes corniger*
apresentam variações na personalidade e aprendizado?



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA**

DÉBORA MENEZES ALVES

Cupins sob alarme: grupos de *Nasutitermes corniger*
apresentam variações na personalidade e aprendizado?

Prof.^a Dr.^a Ana Paula Albano Araújo

Monografia apresentada ao Departamento de Ecologia da Universidade Federal de Sergipe como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Ecologia.

São Cristóvão
2025.1

Dedico este trabalho a minha avó Maria Delza (in memoriam) e a meu avô José, por todo o carinho, apoio e palavras de incentivo, mesmo nos momentos em que eu mesma duvidei de mim, obrigada vinhos!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder saúde, força e persistência para concluir mais esta etapa da minha vida, pois até aqui o Senhor me ajudou (1 Samuel 7:12). A Ele toda honra, glória e louvor.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Ana Paula, pela orientação, paciência, dedicação e apoio em todas as etapas deste trabalho.

Ao curso de Ecologia e a todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica.

Aos colegas do laboratório de Interações Ecológicas - LabIntera (Reinaldo, Ariele, James e Jane) pelo companheirismo, ajuda e risadas e em especial a Daniela, sem seu apoio esse trabalho não seria possível, obrigada!

À Clemildes, minha mãe, meu maior exemplo de perseverança e coragem, pelo amor incondicional e por sempre acreditar em mim. Obrigada por cada oração recitada.

À minha avó Maria Delza, meu maior exemplo de fé, tenho certeza que a pessoa mais feliz por essa conquista seria a senhora, levarei comigo sempre seus ensinamentos. Nenhuma palavra conseguiria descrever o quanto sinto sua falta.

Ao meu avô José, sinônimo de garra. O senhor provavelmente nem sabe, mas ao entrar no curso de ecologia, após desistir de um outro curso, cheia de dúvidas e incertezas, em uma conversa com o senhor suas palavras foram responsáveis por acalmar o meu coração. Obrigada por tudo!

À Talita, que a vida me deu como prima, mas o coração escolheu como irmã. Sua presença sempre foi um alicerce constante ao longo do caminho.

Ao meu fiel companheiro felino Teo, mesmo que dormindo em cima dos cadernos e tentando deitar-se no teclado do notebook, esteve ao meu lado durante os momentos de estudo, mesmo quando se tornavam longas madrugadas. Sua presença foi companhia em cada etapa desta caminhada.

A todos os amigos que fiz durante essa caminhada, em especial, Anny, Jenisson e Ruanny, pelas lágrimas e risadas compartilhadas, e por estarem ao meu lado durante os momentos mais difíceis. Minha sincera gratidão.

Por fim, estendo a minha sincera gratidão a todos os amigos e familiares que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esta etapa fosse concluída com sucesso, de todo coração obrigada.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Análise da personalidade das colônias considerando-se o padrão de atividade. Variação do número de movimentos e do tempo de movimentação (s) em função da colônia (col), do tempo (dia) e da interação entre esses fatores (col:dia). Modelos lineares generalizados mistos (GLMM). GL -= graus de liberdade. n.s. = não significativo; $p < 0.05 = *$; $p < 0.01 = **$; $p < 0.001 = ***$ **10**

Tabela 2 –Avaliação do aprendizado da colônia após contato com o indivíduo informante. Variação da distância percorrida (cm) e da velocidade de caminhada (cm/s) pelo grupo, após contato com o indivíduo informante, em função da colônia (col), do tempo (dia) e da interação entre esses fatores (col:dia). Modelos lineares generalizados mistos (GLMM) GL = graus de liberdade. n.s. = não significativo; $p < 0.05 = *$; $p < 0.01 = **$; $p < 0.001 = ***$ **11**

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Esquema dos bioensaios sobre percepção e transmissão do sinal de alarme em *Nasutitermes corniger*. (A) Resposta individual de operários expostos ao sinal de alarme (extrato da glândula frontal em papel) em comparação ao controle (papel tratado com solvente hexano). (B) Transmissão social da informação: inserção de indivíduos isolados previamente expostos ao sinal de alarme (informante) em contato com um grupo não exposto ao sinal.....6

Fig. 2. Percepção individual do sinal de alarme por operários de *Nasutitermes corniger*. O sinal de alarme causou aumento na (A) Variação média da velocidade e no (B) Número de movimentos rápidos executados por indivíduos de cupim de diferentes colônias quando comparado ao controle (solvente hexano). Col 1 – Col 6: colônias de *N. corniger*..... 8

Fig. 3. Respostas comportamentais dos grupos de *Nasutitermes corniger* de diferentes colônias, antes e após o primeiro contato com o indivíduo informado, que recebeu o sinal de alarme. Médias da (A) Distância percorrida (cm), (B) Velocidade de caminamento (cm/s), (C) Número de movimentos rápidos e (D) Número de antenações na placa. Col 1 – Col 6: colônias de *N. corniger*.....9

Fig. 4. Padrão da personalidade das colônias considerando-se a atividade. (A) Variação no número de movimentos e no (B) Tempo de movimentação de diferentes colônias de *Nasutitermes corniger* após o contato com um indivíduo informante ao longo dos dias. Col 1 – Col 6: colônias de *N. corniger*.....10

SUMÁRIO

RESUMO.....	1
INTRODUÇÃO.....	2
MATERIAL E MÉTODOS.....	4
<i>Coleta e manutenção dos ninhos.</i>	4
<i>Bioensaios</i>	4
<i>Percepção e resposta ao sinal de alarme pelos indivíduos</i>	4
<i>Resposta do grupo de indivíduos após contato com o indivíduo que recebeu o sinal de alarme</i>	5
<i>Análises Estatísticas</i>	7
RESULTADOS	8
<i>Percepção do sinal de alarme pelos indivíduos.</i>	8
<i>Resposta do grupo de indivíduos após contato com o indivíduo que recebeu o sinal de alarme.</i> ...	9
<i>Personalidade das colônias.</i>	10
<i>Aprendizado: resposta do grupo ao indivíduo informante ao longo do tempo.</i>	11
DISCUSSÃO	12
CONCLUSÃO.....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

Cupins sob alarme: grupos de *Nasutitermes corniger* apresentam variações na personalidade e aprendizado?

RESUMO.

Animais de uma mesma espécie demonstram personalidade e capacidade de aprendizado que podem determinar como reagem e exploram o ambiente. Em insetos sociais, diferenças consistentes no comportamento de indivíduos podem refletir em variação entre colônias inteiras, afetando tarefas coletivas como defesa, forrageamento e cuidado da prole. No entanto, poucos estudos têm analisado a ocorrência de personalidade e aprendizado em cupins, grupo de grande relevância econômica e ecológica. Neste estudo, avaliamos se indivíduos de diferentes colônias respondem pontualmente a um sinal de alarme (sem a presença de risco iminente) e como os grupos reagem à informação destes indivíduos. Posteriormente, analisamos se os grupos de diferentes colônias apresentam personalidade e se aprenderiam que o sinal não indicaria risco, alterando sua resposta ao longo do tempo. Os bioensaios foram realizados em laboratório utilizando sinal de alarme intracolônial e as respostas comportamentais foram analisadas após o primeiro contato com o sinal e ao longo do tempo, utilizando software Ethoflow. Os dados foram analisados através de modelos lineares generalizados e mistos, no software R. Os resultados mostraram que os indivíduos em contato com o sinal de alarme aumentaram a velocidade (cm/s) e o número de movimentos rápidos quando comparado a indivíduos do tratamento controle (solvente hexano). Após o primeiro contato com o indivíduo que recebeu o sinal de alarme, os grupos de cupins apresentaram reduções significativas na distância (cm) percorrida, na velocidade de caminamento (cm/s), no número de movimentos rápidos e um aumento significativo no número de antenações realizadas nas placas, quando comparado aos comportamentos executados antes do contato. As colônias mostraram personalidade com distinta variação no padrão de atividade, sendo as colônias de Col 1-Col 3 mais ativas e as colônias Col 4-Col 6 menos ativas. Ao longo dos dias, os grupos não alteraram a distância percorrida e a velocidade de caminamento após o contato com o indivíduo informante, demonstrando ausência de aprendizado. Os resultados deste estudo demonstram que colônias de *N. corniger* exibem respostas comportamentais consistentes e diferenciadas frente a estímulos de alarme. Isso reforça a importância de considerar a variação comportamental intraespecífica como um fator ecológico relevante, com implicações diretas na dinâmica social, adaptabilidade e sucesso das colônias em ambientes naturais.

Palavras-chave: aprendizado, comportamento coletivo, personalidade animal, sinal de alarme.

INTRODUÇÃO

Os insetos - grupo mais diversificado e amplamente distribuído da Terra - apresentam notável capacidade adaptativa de modificar seus comportamentos através do processamento sensorial integrado (Arif *et al.*, 2017), o que otimiza suas decisões relacionadas à alimentação, reprodução e defesa (Adam *et al.*, 2022; Giurfa, 2015). Tais respostas comportamentais podem variar entre indivíduos de uma mesma espécie, demonstrando que os insetos têm personalidade, ou seja, apresentam diferenças comportamentais e fisiológicas estáveis no tempo e em diferentes contextos (Réale *et al.*, 2007; Stamps & Groothuis, 2010; Carere & Maestriperi, 2013). Além disso, apesar de possuírem cérebros extremamente pequenos, tamanho corporal reduzido e ciclos de vida curtos, os insetos demonstram capacidades cognitivas que resultam em comportamentos complexos e sofisticados (Chiang, As *et al.*, 2011; Chittka; Rossi, 2022; Griffin; Guillette; Healy *et al.*, 2015). Sendo assim, a personalidade e a capacidade de aprendizado podem determinar como os indivíduos reagem e exploram o ambiente, tendo impactos que variam desde o fitness individual aos processos ecossistêmicos e estratégias de manejo.

Até mesmo insetos solitários, como moscas, apresentam aprendizagem social, como evitação de predadores ou seleção de parceiros com base na observação do comportamento de outros indivíduos (Giurfa, 2012). No entanto, o processo de aprendizagem pode ser ainda mais efetivo quando ocorre de forma coletiva. Nos insetos eussociais ou verdadeiramente sociais (ex. abelhas, vespas, formigas e cupins), a aprendizagem adquire funções coletivas essenciais (Leadbeater & Chittka, 2007; Giurfa, 2015). Estes insetos vivem em colônias organizadas pela divisão de trabalho, cuidado cooperativo com a prole e sobreposição de gerações. Uma vez que suas atividades são exercidas em grupo, a tomada de decisão depende das respostas coordenadas entre os indivíduos coloniais. Formigas e cupins, por exemplo, são capazes de aprender rotas e locais de forrageamento seguindo trilhas de feromônio (Giurfa, 2012). Já as abelhas e cupins demonstram modificações em suas preferências alimentares a partir de interações sociais com coespecíficos (Leadbeater & Chittka, 2007).

Diferenças consistentes no comportamento de indivíduos coloniais, como maior ou menor atividade, sociabilidade ou agressividade, podem refletir em variação entre colônias inteiras, afetando tarefas coletivas como defesa, forrageamento e cuidado da prole (Pinter-Wollman, 2012), determinando assim a “personalidade da colônia”. Além disso, pesquisas recentes destacam que a manutenção de diferentes tipos comportamentais dentro de uma colônia pode

trazer benefícios adaptativos, promovendo diversificação de funções e aumentando a resiliência frente a pressões ambientais (Réale *et al.*, 2007; Jandt *et al.*, 2013).

Dentre os insetos eussociais, poucos estudos têm abordado variações na personalidade e aprendizado em cupins (ver Koyama, 2023; Mizumoto *et al.*, 2024), a despeito de sua ampla importância ecológica e econômica. Os cupins pertencem à ordem Isoptera e são insetos sociais amplamente distribuídos, principalmente em regiões tropicais, onde dominam a macrofauna edáfica. A característica biológica mais notável dos cupins consiste em sua capacidade de digerir celulose, seja diretamente pela produção de celulase ou por relações simbióticas (Ahmad *et al.*, 2018). Essa habilidade faz com que os cupins contribuam significativamente para a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia em ecossistemas tropicais (Bunney *et al.*, 2024), onde são considerados os principais decompositores do solo (Eggleton, 2010). Além disso, suas atividades de escavação e construção de ninhos, modificam a estrutura física do solo, promovendo aeração, infiltração de água e redistribuição de matéria orgânica e minerais (Lima *et al.*, 2018). Dada essa ampla atuação ecológica, os cupins são frequentemente descritos como engenheiros do ecossistema, capazes de moldar e sustentar o ambiente ao seu redor (Dangerfield *et al.*, 1998; Jouquet *et al.*, 2011; Wijas *et al.*, 2022).

Por outro lado, o fato de consumirem celulose também confere aos cupins grande potencial para causar prejuízos econômicos tanto no ambiente agrícola quanto urbano. Embora somente cerca de 10% das espécies são consideradas pragas, estes insetos são conhecidos por seu potencial destrutivo (Lima, 2012; Costa-Leonardo, 2009). O gênero *Nasutitermes* (Termidae: *Nasutitermitinae*) consiste no mais diversificado e abundante grupo de cupins nos trópicos (Constantino, 2020), apresentando algumas espécies com potencial praga (Rouland-Lefèvre, 2010; Krishna *et al.*, 2013) que se alimentam principalmente de madeira em diferentes estágios de decomposição (Khan & Ahmad, 2018). Nestes cupins forrageadores de sítio-central - que apresentam uma completa separação entre ninho e recurso - uma série de adaptações evolutivas propiciou uma mais efetiva comunicação química, permitindo assim um forrageamento mais eficiente. Dentre estas adaptações destacam-se os feromônios de trilhas que facilitam a seleção de recursos; e os feromônios de alarme que promovem a defesa/ proteção da colônia contra riscos (Mitaka & Akino, 2021; Costa-Leonardo *et al.*, 2009),

Apesar dos avanços obtidos na última década relacionados à percepção de pistas de predadores e utilização de pistas sociais durante o forrageio de cupins (Cristaldo *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2021), pouco é conhecido sobre aspectos básicos relacionados às variações na personalidade e aprendizado em indivíduos e colônias. Esse conhecimento é o primeiro passo na busca por estudos mais aprofundados sobre como a personalidade e o aprendizado podem

interferir na exploração e na flexibilidade comportamental dos cupins frente a mudanças no ambiente, incluindo estratégias de manejo.

Assim, neste estudo, nosso objetivo foi avaliar aspectos relacionados à personalidade e ao aprendizado ao longo do tempo em grupos de diferentes colônias de *N. corniger*. Para isso, testamos como os indivíduos de diferentes colônias respondem pontualmente a um sinal de alarme (sem a presença de risco iminente) e como os grupos reagem à informação destes indivíduos. Posteriormente, analisamos se as colônias demonstram personalidade e aprendizado, ou seja, se diferem em seus níveis de atividade e se poderiam alterar a resposta ao sinal de alarme ao longo do tempo, respectivamente.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta e manutenção dos ninhos.

As coletas dos ninhos de *N. corniger* foram realizadas no campus São Cristóvão (10°55'34"S 37°06'11"W) e no campus Rural (10°55'28"S 37°11'57"W), da Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil. O clima da região é classificado como tropical úmido e subúmido (Am), de acordo com o Sistema Köppen (Koppen Brasil, 2025), com temperatura média de 25,8°C e precipitação média anual de 1.473mm.

As coletas foram realizadas durante o período chuvoso, de abril a julho de 2025. Um total de 12 ninhos foram completamente removidos do campo com o uso de pás e picaretas e mantidos em bandejas de plástico no laboratório de interações ecológicas, localizado no departamento de ecologia, sob condições ambiente por 48h antes do início dos experimentos.

Bioensaios

O bioensaio inicial consistiu em avaliar se indivíduos de seis diferentes colônias respondem de forma similar ao sinal de alarme. Posteriormente, em um segundo bioensaio, outras seis colônias foram utilizadas para testar se um único indivíduo com acesso ao sinal de alarme poderia modificar o comportamento de um grupo; e se grupos de diferentes colônias modificariam o padrão de respostas ao alarme ao longo do tempo.

Percepção e resposta ao sinal de alarme pelos indivíduos

Neste bioensaio verificamos se os operários percebem e respondem ao sinal de alarme e se há variação na resposta entre colônias de *N. corniger* (Fig 1A).

O sinal de alarme de cada colônia foi obtido por meio dos extratos das cabeças de soldados de *N. corniger*, onde está localizada a glândula frontal que produz a substância de alarme (Silva et al., 2024). Para cada bioensaio, foram preparados extratos independentes, nos quais dez cabeças de soldados foram maceradas em 100 µL de hexano (10 µL/cabeça) e mantidas submersas por 24 h. Após esse período, as cabeças foram removidas e o extrato foi armazenado em freezer até a sua utilização.

As unidades experimentais consistiram em placas de Petri (5 cm²) forradas com papel filtro. Em cada placa foi inserido um micro alfinete para fixar um pequeno pedaço (1 cm²) de papel filtro, que foi tratado com 10 µl do sinal de alarme ou com 10 µl do solvente hexano (controle), utilizando-se uma micro seringa Hamilton (10µl) (Fig. 1A). Logo após a aplicação dos tratamentos, um operário de *N. corniger* foi inserido na placa e as filmagens iniciaram após dois minutos.

Cada arena contendo os indivíduos foi filmada durante 2,5 minutos, utilizando-se câmera fotográfica Nikon D3200. As gravações foram posteriormente analisadas no software Ethoflow a fim de quantificar: a velocidade de caminamento (cm/s), a distância percorrida (cm), o ângulo de mudança de direção (meandros), o número de movimentos rápidos e o número de movimentos realizados por cada indivíduo em contato com o sinal de alarme ou hexano (controle).

O bioensaio foi conduzido utilizando-se seis colônias de *N. corniger*, sendo feitas cinco repetições para cada tratamento/colônia, totalizando 60 placas analisadas.

Resposta do grupo de indivíduos após contato com o indivíduo que recebeu o sinal de alarme

Neste bioensaio cada unidade experimental consistiu em um indivíduo em contato com o sinal de alarme, que posteriormente foi inserido em um grupo de indivíduos sem informação prévia do sinal de alarme (Fig. 1B). A partir daí, avaliamos a mudança no comportamento do grupo após o primeiro contato com o indivíduo informado e se esta resposta se manteve ao longo do tempo dentro de cada colônia.

Cada unidade experimental foi composta por 10 indivíduos (7 operários: 3 soldados) de *N. corniger*. Desse grupo, um único indivíduo foi aleatoriamente escolhido para receber o sinal de alarme isoladamente. Para isso, em cada grupo o indivíduo foi separado e previamente marcado no abdômen com esmalte hipoalergênico (bianco puríssimo, marca Risqué). Testes preliminares mostraram que indivíduos marcados ou não-marcados com este esmalte não apresentaram diferenças na sobrevivência ($p=0.5882$). Cada indivíduo marcado foi inserido em uma placa de Petri (5 cm²) contendo um pedaço de algodão tratado com 10µl do sinal de alarme,

preso em um alfinete. A obtenção e aplicação do sinal de alarme foi realizada como descrita no bioensaio anterior. Já o grupo de indivíduos foi mantido em placas de Petri (5 cm²) forradas com papel filtro, contendo um pequeno fragmento do ninho (3g) e um pedaço de algodão embebido em 1mL de água destilada, renovada diariamente para manutenção da umidade.

Cada indivíduo marcado permaneceu por 4 minutos em contato com o sinal de alarme, e em seguida, foi transferido para as placas contendo o grupo de cupins sem contato prévio com o sinal de alarme (Fig. 1B). Este procedimento foi repetido diariamente às 8:00 da manhã, durante cinco dias consecutivos. No primeiro dia, as placas contendo os grupos de indivíduos foram filmadas antes e logo após o primeiro contato com o indivíduo informado, que recebeu o sinal de alarme. Nos dias subsequentes, as placas contendo os grupos foram filmadas somente após o contato com o indivíduo informante. As filmagens e suas análises para determinação dos comportamentos ocorreram conforme descrito no experimento anterior.

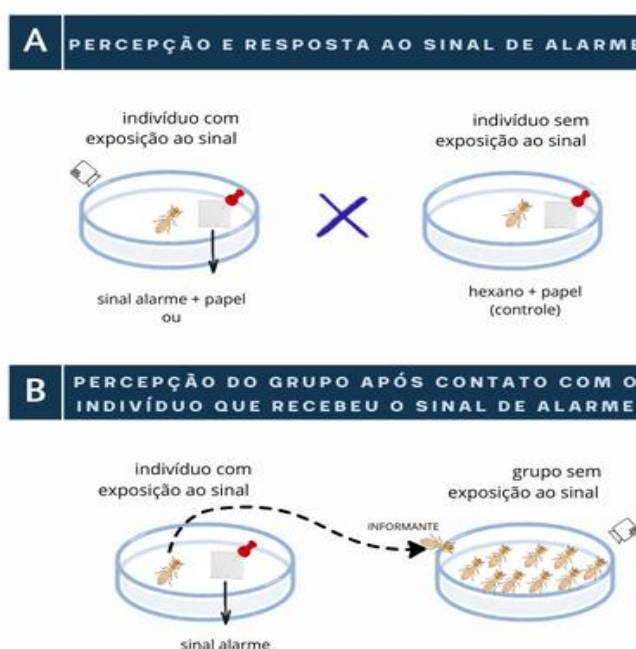


Fig. 1. Esquema dos bioensaios sobre percepção e transmissão do sinal de alarme em *Nasutitermes corniger*. (A) Resposta individual de operários expostos ao sinal de alarme (extrato da glândula frontal em papel) em comparação ao controle (papel tratado com solvente hexano). **(B)** Transmissão social da informação: inserção de indivíduos isolados previamente expostos ao sinal de alarme (informante) em contato com um grupo não exposto ao sinal.

Análises estatísticas

As análises foram realizadas no software R (R development core team, 2024), seguido por análises de resíduos para verificar a adequação dos modelos e a distribuição utilizada.

As respostas individuais ao sinal de alarme e a resposta do grupo à presença do informante foram testadas considerando-se o primeiro dia do experimento, ou seja, o primeiro contato com estas informações. A capacidade de percepção dos indivíduos ao sinal de alarme foi testada analisando-se comportamentos que poderiam indicar as tentativas dos indivíduos de fugir ou permanecer para lutar, sendo considerados: a distância percorrida (cm), velocidade (cm/s), número de movimentos rápidos e mudança de direção (meandros). Estas medidas comportamentais foram utilizadas como variável resposta em função do estímulo recebido pelo grupo (hexano ou sinal de alarme), utilizando-se modelos independentes. As análises foram realizadas utilizando-se modelos lineares generalizados (GLM), com distribuição quasipoisson.

Análises similares foram feitas para verificar se o comportamento do grupo antes e após o contato com o indivíduo que teve contato prévio com sinal de alarme e se este comportamento varia entre colônias (variáveis explicativas). As variáveis respostas foram as mesmas utilizadas no teste anterior, incluindo também o número de antenações na placa, como um indicativo da tentativa de exploração do espaço pelo grupo.

Para avaliar se os grupos de diferentes colônias apresentaram aprendizado e diferentes personalidades foram utilizados modelos lineares generalizados mistos (GLMM). As repetições, dentro cada colônia, foram usadas como fatores aleatórios, enquanto o tempo, colônia e suas interações foram considerados como efeitos fixos. Para avaliar se houve aprendizado dos cupins em relação à percepção de risco, foi testada a variação na distância (cm) e velocidade percorrida (cm/s) pelo grupo (variáveis resposta) após contato com o indivíduo informado ao longo do tempo e entre colônias (variáveis explicativas). Essas variáveis foram escolhidas por representarem indicadores diretos do nível de atividade dos indivíduos frente ao sinal de alarme. Caso houvesse aprendizado de que o sinal não representava risco iminente, seria esperado que essas medidas diminuíssem ou se aproximassem do padrão do controle ao longo do tempo. Já para avaliar se as colônias apresentam personalidades distintas, ou seja, se mostram padrões de respostas constantes no tempo, foi considerada a atividade das colônias. Para isso consideramos se o número de movimentos e o tempo de movimentação (s) (variáveis respostas) variam ao longo do tempo entre as colônias (variáveis explicativas).

RESULTADOS

Percepção do sinal de alarme pelos indivíduos.

A velocidade de caminhada ($F_{1,58} = 4,66$; $p = 0,032$) e o número de movimentos rápidos executados pelos indivíduos ($F_{1,58} = 6,25$; $p = 0,015$) foram significativamente aumentados quando os indivíduos estavam em contato com o sinal de alarme quando comparado ao controle (hexano) (Fig. 2).

Por outro lado, não houve variação na distância percorrida ($F_{1,58} = 1,17$; $p = 0,20$), no ângulo de mudança de direção ($F_{1,58} = 0,97$; $p = 0,32$) e no número de movimentos realizados ($F_{1,58} = 2,38$; $p = 0,12$) por indivíduos de *N. corniger* quando em contato com o sinal de alarme ou hexano (controle).

Em todos os casos não foi observada diferença na resposta ao sinal de alarme entre os indivíduos de diferentes colônias de *N. corniger* ($p > 0,05$).

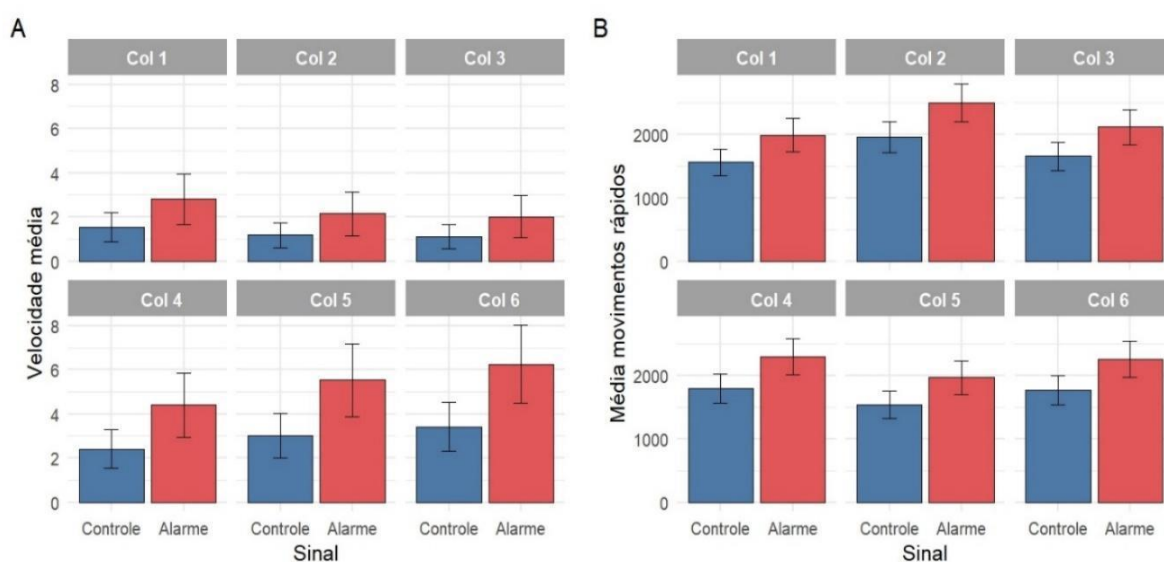


Fig. 2. Percepção individual do sinal de alarme por operários de *Nasutitermes corniger*. O sinal de alarme causou aumento na (A) Variação média da velocidade e no (B) Número de movimentos rápidos executados por indivíduos de cupim de diferentes colônias quando comparado ao controle (solvente hexano). Col 1 – Col 6: colônias de *N. corniger*.

Resposta do grupo de indivíduos após contato com o indivíduo que recebeu o sinal de alarme.

No primeiro dia de avaliação, após o primeiro contato com o indivíduo que recebeu sinal, os grupos de cupins apresentaram reduções significativas na distância percorrida (cm) ($F_{1,58} = 7,50$; $p = 0,008$), na velocidade de caminamento (cm/s) ($F_{1,58} = 7,19$; $p = 0,004$), no número de movimentos rápidos ($F_{1,58} = 7,63$; $p = 0,004$) e um aumento significativo no número de antenações realizadas nas placas ($F_{1,58} = 9,74$; $p = 0,002$), quando comparado aos comportamentos executados antes do contato (Fig. 3 A-D). Em todos os casos, as colônias mostraram a mesma tendência de variação, porém diferiram entre si na intensidade de resposta após contato com o indivíduo informante, que recebeu o sinal de alarme ($p > 0,05$) (Fig. 3 A-D).

No entanto, não houve variação no ângulo de mudança de direção ($F_{1,58} = 0,24$; $p = 0,62$) e no número de movimentos realizados ($F_{1,58} = 1,66$; $p = 0,20$) pelo grupo antes e após a inserção do indivíduo que recebeu o sinal.

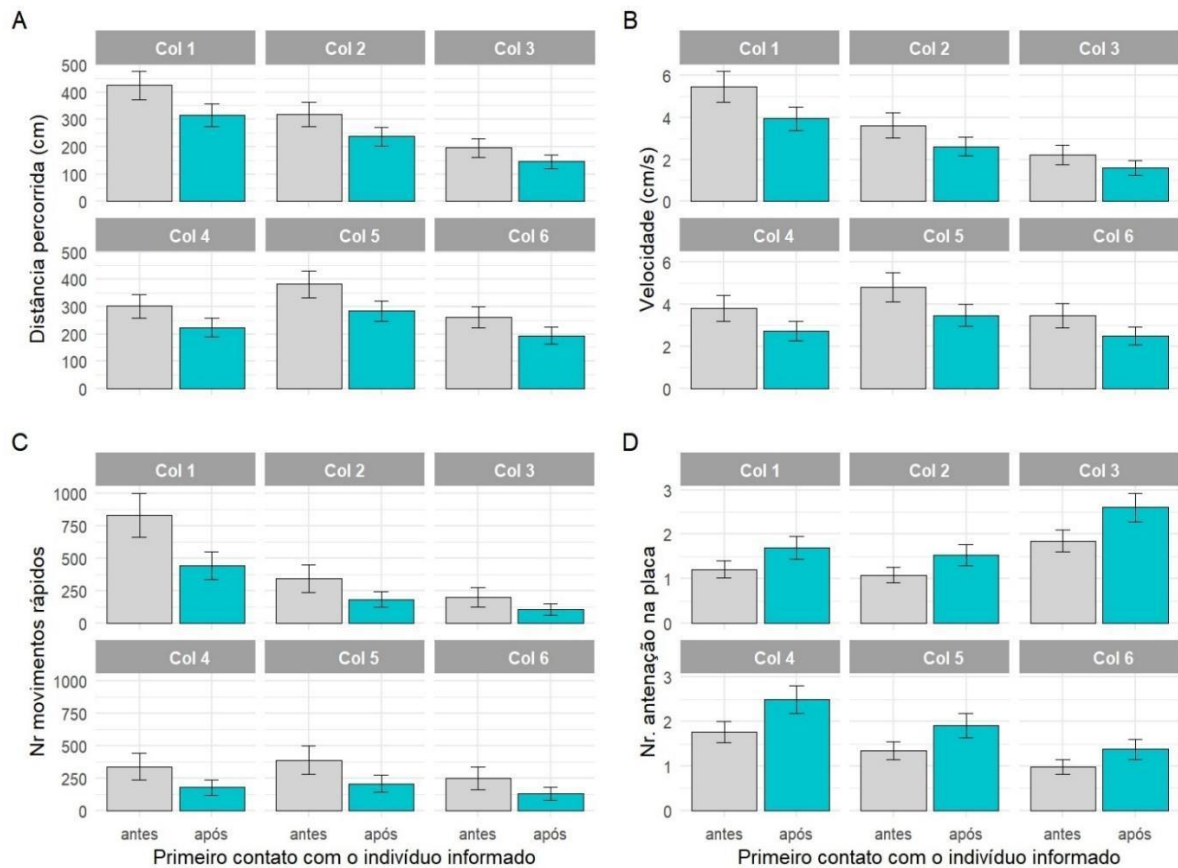


Fig. 3. Respostas comportamentais dos grupos de *Nasutitermes corniger* de diferentes colônias, antes e após o primeiro contato com o indivíduo informado, que recebeu o sinal de alarme. Médias da (A) Distância percorrida (cm), (B) Velocidade de caminamento (cm/s), (C) Número de movimentos rápidos e (D) Número de antenações na placa. Col 1 – Col 6: colônias de *N. corniger*.

Personalidade das colônias.

O número de movimentos rápidos e o tempo de movimentação (Fig. 4) mostraram variação significativa entre as colônias ao longo dos dias e com a interação entre esses fatores (Tabela 1). As colônias mostraram personalidades distintas considerando-se suas atividades de movimentação, sendo as colônias de Col 1-Col 3 mais ativas e as colônias Col 4-Col 6 menos ativas (Fig. 4).

Tabela. 1. Análise da personalidade das colônias considerando-se o padrão de atividade. Variação do número de movimentos e do tempo de movimentação (s) em função da colônia (col), do tempo (dia) e da interação entre esses fatores (col:dia). Modelos lineares generalizados mistos (GLMM). GL -= graus de liberdade. n.s. = não significativo; $p < 0.05 = *$; $p < 0.01 = **$; $p < 0.001 = ***$.

Comportamento	Efeito	G.L.	Chisq	p	Significância
Número de movimentos	col	5	2,84	$< 0,001$	***
	dia	4	14,12	$< 0,001$	***
	col:dia	20	29,54	0,014	**
Tempo de movimentação (s)	col	5	170,73	$< 0,001$	***
	dia	4	31,87	$< 0,001$	***
	col:dia	20	44,47	0,013	**

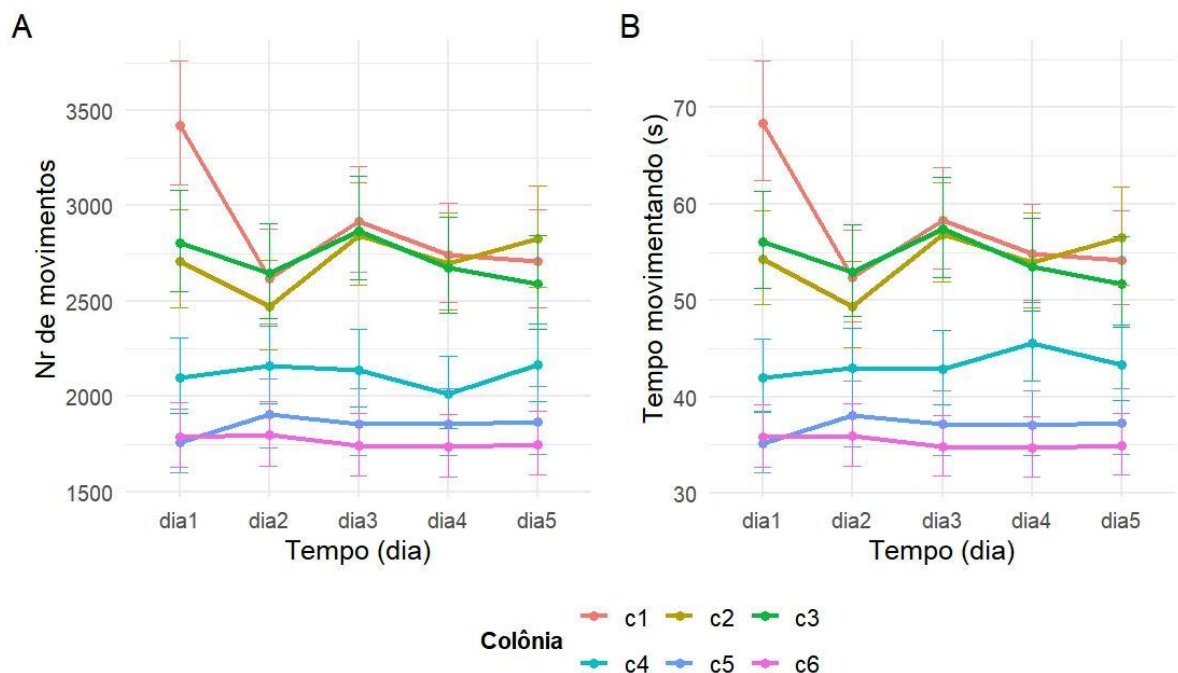


Fig. 4. Padrão da personalidade das colônias considerando-se a atividade. (A) Variação no número de movimentos e no (B) tempo de movimentação de diferentes colônias de *Nasutitermes corniger* após o contato com um indivíduo informante o longo dos dias. Col 1 – Col 6: colônias de *N. corniger*.

Aprendizado: resposta do grupo ao indivíduo informante ao longo do tempo.

Após o contato com o indivíduo informante, ao longo dos dias, foi observada constância na distância percorrida e na velocidade de caminhada das colônias ao longo do tempo (Tabela 2).

Tabela. 2. Avaliação do aprendizado da colônia após contato com o indivíduo informante. Variação da distância percorrida (cm) e da velocidade de caminhada (cm/s) pelo grupo, após contato com o indivíduo informante, em função da colônia (*col*), do tempo (*dia*) e da interação entre esses fatores (*col:dia*). Modelos lineares generalizados mistos (GLMM) GL = graus de liberdade. *n.s.* = não significativo; $p < 0.05 = *$; $p < 0.01 = **$; $p < 0.001 = ***$.

Comportamento	Efeito	G.L.	Chisq	<i>p</i>	Significância
Distância percorrida (cm)	col	5	2,88	0,71	<i>n.s.</i>
	dia	4	5,56	0,23	<i>n.s.</i>
	col:dia	20	21,56	0,36	<i>n.s.</i>
Velocidade de caminhada (cm/s)	col	5	4,01	0,54	<i>n.s.</i>
	dia	4	11,42	0,22	<i>n.s.</i>
	col:dia	20	30,70	0,05	<i>n.s.</i>

DISCUSSÃO

A personalidade animal pode ser definida como as diferenças comportamentais e fisiológicas entre indivíduos da mesma espécie que são estáveis ao longo do tempo e em diferentes contextos (Réale *et al.*, 2007; Stamps & Groothuis, 2010; Carere, 2013). Os comportamentos observados neste estudo indicam a presença de traços de personalidade em *N. corniger* tanto em nível individual quanto coletivo. Por outro lado, de forma geral, os grupos não mostraram uma alteração consistente da resposta após contato com o indivíduo informado, indicando que não houve aprendizado de que a informação não indicava risco iminente.

Quando expostos ao feromônio de alarme, os indivíduos isolados aumentaram significativamente sua velocidade de caminhada e o número de movimentos rápidos (corrida), refletindo o reconhecimento do sinal químico e a ativação de estratégias adaptativas diante de potencial ameaça (Fig. 2). Sabe-se que os feromônios de alarme provocam, de modo geral, duas reações principais: uma resposta de pânico (fuga ou dispersão) ou uma resposta agressiva (ataque à fonte da ameaça), moduladas por fatores como concentração do feromônio de alarme, composição química, tamanho da colônia e contexto espacial (Wilson & Reagnier, 1971; Verheggen *et al.*, 2010; Hughes & Goulson, 2001; Vander Meer & Alonso, 1998). A estratégia observada pelos indivíduos neste estudo, pode também refletir o fato de estarem isolados ao receber o sinal de alarme, o que pode refletir tanto a baixa capacidade de defesa ou baixa capacidade de decisão individual frente ao sinal de risco. Além disso, a tentativa de fuga pode ter refletido o contexto ambiental, uma vez que os indivíduos além de isolados estavam fora de seus ninhos, não tendo o que defender. Estudos recentes em formigas reforçam a ideia de que os feromônios de alarme não têm um efeito fixo, mas sim respostas moduladas pelo contexto (Sasaki *et al.*, 2014). Diversas espécies sociais também exibem respostas aos sinais de alarme. Em *Constrictotermes cyphergaster*, indivíduos caminham em zigue-zague, tocam vigorosamente companheiros de ninho e varrem o espaço com as antenas após exposição ao feromônio de alarme (Cristaldo *et al.*, 2015). Em *Triatoma pallidipennis*, observam-se fuga agitada e comportamentos de autolimpeza (Albores-Flores, 2025), enquanto em *Hodotermes*, ambas as castas cessam momentaneamente os movimentos após uma perturbação (Sillam-Dussés *et al.*, 2023), evidenciando a diversidade de estratégias frente a sinais de alarme.

O grupo de cupins também foi capaz de perceber a informação repassada pelo indivíduo que entrou em contato com o sinal de alarme, indicando que um único indivíduo pode modificar o comportamento do grupo (Fig. 3). Essa comunicação coordenada é uma característica central da eussocialidade e essencial para a execução coletiva de tarefas (Jeanson & Weidenmüller,

2014; Sumpter, 2006). Porém, a resposta do grupo foi inversa à observada para os indivíduos isolados quando em contato direto com o sinal de alarme. A velocidade e o número de movimentos rápidos executados pelo grupo foram reduzidos após o contato com o informante (Fig. 3). Esta resposta do grupo pode ter ocorrido por diferentes mecanismos: *i)* o próprio indivíduo informado processou o sinal de alarme, não informando uma situação de risco ao grupo; ou *ii)* o grupo não interpretou a informação como um perigo iminente por não estarem em contato direto com o alarme; e/ou *iii)* porque o grupo decidiu não fugir, uma vez que, coletivamente, teria mais potencial para defesa. Por outro lado, apesar de não demonstrarem comportamento de fuga, os grupos aumentaram o número de antenações na placa (Fig. 2), comportamento que pode ser entendido como uma forma de avaliação do ambiente por contato tátil (Grüter & Farina, 2009; Mizumoto & Reid, 2024). Estudos sugerem que as decisões em grupos sociais podem ser processadas melhor coletivamente (Santos *et al.*, 2017).

Notavelmente, embora os grupos tenham compartilhado a mesma tendência geral de menor deslocamento frente ao estímulo recebido pelo indivíduo informante, houve variação significativa na intensidade de resposta, reforçando a presença de personalidade coletiva. As colônias 1 e 5, por exemplo, assemelharam-se em relação à maior distância e velocidade de caminamento em relação à colônia 3 (Fig. 3AB); por outro lado o número de antenações nas placas mostra uma tendência inversa entre estas colônias (Fig. 3D). Esta variação comportamental pode refletir diferentes estratégias de exploração do ambiente. Por exemplo, enquanto algumas colônias ampliam suas buscas otimizando o encontro de novos recursos, outras podem focar em explorar melhor os recursos encontrados. Esse resultado reforça a ideia de que as colônias funcionam como unidades comportamentais integradas, com perfis próprios, sendo cada vez mais documentado em insetos sociais (Jandt *et al.*, 2014; Modlmeier *et al.*, 2014; Wright *et al.*, 2019).

Quando consideramos os comportamentos em sua totalidade, as colônias mostraram variação marcante no padrão de atividade ao longo do tempo, sendo Col 1-Col 3 mais ativas e Col 4 – Col 6 menos ativas (Fig. 4). Tais diferenças na personalidade podem se manifestar em traços como agressividade, reatividade, exploração e vigilância, influenciando diretamente a organização social e o desempenho coletivo (Wray *et al.*, 2011). Estudos com abelhas demonstram padrões semelhantes: colônias diferem consistentemente quanto à defensividade (Collins *et al.*, 1982; Gizmán-Novoa *et al.*, 2002) e, comportamento higiênico (Rothenbihler, 1964; Arathi & Spivak, 2001). Do ponto de vista ecológico, a presença de traços de personalidade em colônias de cupins pode ter consequências diretas para a eficiência de tarefas como defesa, forrageio e resposta a distúrbios ambientais (Bengston & Jandt, 2014). Estratégias

divergentes, em que colônias mais ativas versus mais cautelosas, podem representar modos distintos de lidar com o risco, influenciando a sobrevivência e o sucesso reprodutivo, e contribuindo para a manutenção da diversidade comportamental intraespecífica (Pruitt & Riechert, 2009).

Por outro lado, as colônias não mostraram um padrão consistente de variação na resposta ao sinal de alarme ao longo do tempo. Desta forma, pode-se supor que não houve aprendizado em relação a este estímulo. Embora o sinal de alarme não representasse nenhum risco iminente, todas as colônias continuaram agindo de forma similar ao primeiro contato com o indivíduo informado, considerando-se a distância e velocidade de caminamento. Pode-se supor que as colônias mantenham constância na resposta a estímulos básicos e essenciais como é o caso de reação frente a um sinal de alarme; ou alternativamente, que o tempo de exposição não tenha sido suficiente para o aprendizado. Estudos futuros poderiam investigar se com maior tempo de exposição haveria mudança na resposta caracterizando um aprendizado.

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo demonstram que colônias de *N. corniger* exibem respostas comportamentais consistentes e diferenciadas frente a estímulos de alarme, tanto em nível individual quanto coletivo. A presença de variação intercolonial na intensidade das respostas, associada à estabilidade temporal de determinados comportamentos, aponta para a existência de personalidade coletiva em cupins. No entanto, no presente estudo não observamos aprendizado nas respostas frente ao sinal de alarme.

Esses achados contribuem para a crescente evidência de que a personalidade animal não se restringe a organismos individuais ou vertebrados, estando também presente em insetos eussociais. Isso reforça a importância de considerar a variação comportamental intraespecífica como um fator ecológico relevante, com implicações diretas na dinâmica social, adaptabilidade e sucesso das colônias em ambientes naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, E.; HANSSON, B. S.; KNADEN, M. Fast learners: one trial olfactory learning in insects. *Frontiers in Ecology and Evolution*, v. 10, p. 876596, 2022.
- AHMAD, S. K.; DAWAH, H. A.; KHAN, M. A. Ecology of termites. In: *Termites and Sustainable Management: Volume 1 – Biology, Social Behaviour and Economic Importance*. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 47-68.
- ALBORES-FLORES, C. I. et al. Effects of the alarm pheromone on *Triatoma pallidipennis* behaviour. *Physiological Entomology*, 2025.
- ARATHI, H. S.; SPIVAK, M. Influence of colony genotypic composition on the performance of hygienic behaviour in the honeybee, *Apis mellifera* L. *Animal Behaviour*, v. 62, n. 1, p. 57–66, 2001.
- ARIF, M. J. et al. Principles of insect pests management. *Sustainable Insect Pest Management*, p. 17–47, 2017.
- BENGSTON, S. E.; JANDT, J. M. The development of collective personality: the ontogenetic drivers of behavioral variation across groups. *Frontiers in Ecology and Evolution*, v. 2, p. 81, 2014.
- BUNNEY, K. et al. Quantifying the role of termite decomposition in a mesic savanna. *Biotropica*, v. 56, n. 4, p. e13333, 2024.
- CARERE, C., & MAESTRIPIERI, D. (2013). *Animal Personalities*. University of Chicago Press.
- CHIANG, A. S. et al. Three-dimensional reconstruction of brain-wide wiring networks in *Drosophila* at single-cell resolution. *Current Biology*, v. 21, n. 1, p. 1–11, 2011.
- CHITTKA, L.; ROSSI, N. Social cognition in insects. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 26, n. 7, p. 578–592, 2022.
- COLLINS, A. M. et al. Colony defense by Africanized and European honey bees. *Science*, v. 1, n. 2, p. 72–74, 1982.
- CONSTANTINO, R. Termite Database. Brasília: Universidade de Brasília, 2020.
- COSTA-LEONARDO, A. M.; CASARIN, F. E.; LIMA, J. T. Chemical communication in Isoptera. *Neotropical Entomology*, v. 38, p. 1–6, 2009.
- CRISTALDO, P. F. et al. Resource availability influences aggression and response to chemical cues in the Neotropical termite *Nasutitermes* aff. *coxipoensis* (Termitidae: Nasutitermitinae). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, v. 70, n. 8, p. 1257–1265, 2016.

- CRISTALDO, P. F. et al. The nature of alarm communication in *Constrictotermes cyphergaster* (Blattodea: Termitoidea: Termitidae): the integration of chemical and vibroacoustic signals. *Biology Open*, v. 4, n. 12, p. 1649–1659, 2015.
- DANGERFIELD, J. M.; MCCARTHY, T. S.; ELLERY, W. N. The mound-building termite *Macrotermes michaelseni* as an ecosystem engineer. *Journal of Tropical Ecology*, v. 14, n. 4, p. 507–520, 1998.
- EGGLETON, P. An introduction to termites: biology, taxonomy and functional morphology. In: *Biology of termites: a modern synthesis*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. p. 1–26.
- GIURFA, M. Learning and cognition in insects. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, v. 6, n. 4, p. 383–395, 2015.
- GIURFA, M. Social learning in insects: a higher-order capacity?. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, v. 6, p. 57, 2012.
- GRIFFIN, A. S.; GUILLETTE, L. M.; HEALY, S. D. Cognition and personality: an analysis of an emerging field. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 30, n. 4, p. 207–214, 2015.
- GRÜTER, C.; FARINA, W. M. The honeybee waggle dance: can we follow the steps? *Trends in Ecology and Evolution*, v. 24, n. 5, p. 242–247, 2009.
- GUZMÁN-NOVOA, E. et al. Confirmation of QTL effects and evidence of genetic dominance of honeybee defensive behavior: results of colony and individual behavioral assays. *Behavior Genetics*, v. 32, n. 2, 2002.
- HUGHES, W. O. H.; GOULSON, D. Polyethism and the importance of context in the alarm reaction of the grass-cutting ant, *Atta capiguara*. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, v. 49, n. 6, p. 503–508, 2001.
- JANDT, J. M. et al. Behavioural syndromes and social insects: personality at multiple levels. *Biological Reviews*, v. 89, n. 1, p. 48–67, 2014.
- JEANSON, R.; WEIDENMÜLLER, A. Interindividual variability in social insects – proximate causes and ultimate consequences. *Biological Reviews*, v. 89, n. 3, p. 671–687, 2014.
- JOUQUET, P. et al. Influence of termites on ecosystem functioning: ecosystem services provided by termites. *European Journal of Soil Biology*, v. 47, n. 4, p. 215–222, 2011.
- KHAN, M. A.; AHMAD, W. Termites: an overview. In: *Termites and Sustainable Management: Volume 1 – Biology, Social Behaviour and Economic Importance*. Cham: Springer International Publishing, 2018. p. 1–25.

KÖPPEN BRASIL. Classificação climática de Köppen para os municípios brasileiros.

KOYAMA, Y. et al. Context-dependent expression of variation in defensive behaviour in the lower termite *Zootermopsis nevadensis*. *Ethology*, v. 129, n. 11, p. 585–591, 2023.

KRISHNA, K. et al. *Treatise on the Isoptera of the world*. 2013.

LEADBEATER, E.; CHITTKA, L. Social learning in insects—from miniature brains to consensus building. *Current biology*, v. 17, n. 16, p. R703-R713, 2007.

LIMA, L. S.; BIANCHI, C. A. O papel ecológico dos cupins (Insecta: Isoptera), 2012.

LIMA, S. S. et al. Termite mounds effects on soil properties in the Atlantic forest biome. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 42, p. e0160564, 2018.

MITAKA, Y.; AKINO, T. A review of termite pheromones: multifaceted, context-dependent, and rational chemical communications. *Frontiers in Ecology and Evolution*, v. 8, p. 595614, 2021.

MIZUMOTO, N.; REID, C. R. Ant and termite collective behavior: group-level similarity arising from individual-level diversity. *Ecological Research*, v. 39, n. 5, p. 646–658, 2024.

MODLMEIER, A. P. et al. The keystone individual concept: an ecological and evolutionary overview. *Animal Behaviour*, v. 89, p. 53–62, 2014.

PINTER-WOLLMAN, N. Personality in social insects: how does worker personality determine colony personality? *Current Zoology*, v. 58, n. 4, p. 580–588, 2012.

PRUITT, J. N.; RIECHERT, S. E. Frequency-dependent success of cheaters during foraging bouts might limit their spread within colonies of a socially polymorphic spider. *Evolution*, v. 63, n. 11, p. 2966–2973, 2009.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024.

REALE, D. et al. Integrating animal temperament within ecology and evolution. *Biological Reviews*, v. 82, n. 2, p. 291–318, 2007.

ROTHENBUHLER, W. C. Behaviour genetics of nest cleaning in honey bees. I. Responses of four inbred lines to disease-killed brood. *Animal Behaviour*, 1964.

ROULAND-LEFÈVRE, C. Termites as pests of agriculture. In: *Biology of termites: a modern synthesis*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2010. p. 499–517.

- SANTOS, A. A. et al. Sub-lethal effects of essential oil of *Lippia sidoides* on drywood termite *Cryptotermes brevis* (Blattodea: Termitoidea). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 145, p. 436–441, 2017.
- SASAKI, T. et al. A context-dependent alarm signal in the ant *Temnothorax rugatulus*. *Journal of Experimental Biology*, v. 217, n. 18, p. 3229–3236, 2014.
- SILLAM-DUSSEÈS, D. et al. Alarm communication predates eusociality in termites. *Communications Biology*, v. 6, n. 1, 2023.
- SILVA, A. N. F. et al. Resource selection in nasute termite: the role of social information. *Ethology*, v. 127, n. 3, p. 278–285, 2021.
- SILVA, A. N. F. et al. Food quantity and the intensity of the alarm signal combine to modulate the resource selection in a termite species. *Behavioral Ecology*, v. 35, n. 1, 2024.
- STAMP, J.; GROOTHUIS, T. G. G. The development of animal personality: relevance, concepts and perspectives. *Biological Reviews*, v. 85, n. 2, p. 301–325, 2010.
- SILL, D. J. T. The principles of collective animal behaviour. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 361, n. 1465, p. 5–22, 2006.
- VANDER MEER, R. K.; ALONSO, L. E. Pheromone directed behavior in ants. In: VANDER MEER, R. K. et al. (Eds.). *Pheromone Communication in Social Insects*. Boulder: Westview Press, 1998. p. 159–192.
- VERHEGGEN, F. J.; HAUBRUGE, E.; MESCHER, M. C. Alarm pheromones – chemical signaling in response to danger. In: *Vitamins and Hormones*. v. 83. Amsterdam: Elsevier, 2010.
- WIJAS, B. J.; LIM, S.; CORNWELL, W. K. Continental-scale shifts in termite diversity and nesting and feeding strategies. *Ecography*, v. 2022, n. 1, 2022.
- WILSON, E. O.; REGNIER, F. E. The evolution of the alarm-defense system in the formicine ants. *The American Naturalist*, v. 105, n. 943, 1971.
- 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, 2011.
- WRIGHT, C. M. et al. Collective personalities: present knowledge and new frontiers. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, v. 73, n. 3, 2019.