

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE BIOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA, CONSERVAÇÃO E
BIODIVERSIDADE

RESPOSTA DE ROEDORES À PERCEPÇÃO DO RISCO DE PREDACÃO

MARIA LUISA ALVES DAMASCENO

UBERLÂNDIA, MG

JULHO de 2024

RESPOSTA DE ROEDORES À PERCEPÇÃO DO RISCO DE PREDACÃO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências à defesa de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Biodiversidade.

ORIENTADOR(a):

NATÁLIA OLIVEIRA LEINER

UBERLÂNDIA, MG

JULHO de 2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

D155r Damasceno, Maria Luisa Alves, 1996-
2024 Resposta de roedores à percepção do risco de predação [recurso eletrônico] / Maria Luisa Alves Damasceno. - 2024.

Orientadora: Natália Oliveira Leiner.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Biodiversidade.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.5164>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Ecologia. I. Leiner, Natália Oliveira, 1979-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Biodiversidade. III. Título.

CDU: 574

André Carlos Francisco
Bibliotecário Documentalista - CRB-6/3408

Maria Luisa Alves Damasceno

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências à defesa de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Ecologia, Conservação e Biodiversidade.

Claire Pauline Röpke Ferrando

Universidade Federal de Uberlândia (Efetivo)

Prof. Dr. André Mendonça

Universidade Federal de Brasília - UNB(Efetivo)

Profa. Dra. Celine de Melo

Universidade Federal de Uberlândia (Suplente)

Profa. Dra. Natália Oliveira Leiner

Universidade Federal de Uberlândia (Orientadora)

UBERLÂNDIA, MG

JULHO de 2024

*No romance Capitães de Areia, o autor Jorge Amado fala
da existência de homens com uma estrela no lugar do coração.
E que estes, quando morrem, o coração fica no céu.
Dedico este trabalho ao meu pai, que certamente era um destes homens,
e hoje é estrela que abrilhanta o céu e meu olhar.*

UBERLÂNDIA, MG

JULHO de 2024

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço á minha orientadora, Natália Leiner, pela oportunidade de trabalhar com um grupo tão incrível e pela paciência e suporte constantes diante das minhas (muitas) dificuldades neste processo. Me sinto honrada em trabalhar com você!

Aos demais integrantes do Laboratório de Ecologia de Mamíferos: Claire, Ingrid, Domingas, Suzanne, Júlia, Déborah e Lucas. Obrigada por, de maneira espontânea, ultrapassarem a relação de colegas de laboratório e se tornarem amizades pessoais.

Aos meus amigos de turma, em especial Phill e Nathan, pela companhia durante os momentos difíceis da jornada acadêmica até aqui, meu muito obrigada. Vocês, com alguma piada ou beat inesperado, deixaram esse caminho mais leve!

Aos meus queridos (e das aranhas) Will e Alisson, pela companhia constante. Sou grata pela amizade que construímos ao longo desse tempo. Ao Rafael, pela companhia e suporte indiscutíveis, sempre acompanhado de um bom café e uma piada ruim.

Às minhas amigas de infância Marla, Bianca, Ianka e Juliana, por acreditarem em mim e me apoiarem constantemente, independente da distância. Nossa amizade é um dos meus tesouros nesta vida.

À toda minha família, em especial ao meu núcleo familiar: minha mãe, Aparecida, e meu irmão, Luis Fernando. Agradeço a parceria constante, mesmo diante de tantas adversidades que cruzaram nosso caminho. Não teria chegado até aqui sem o apoio de vocês. Ao meu pai, Manoel, que mesmo no pouco tempo em que estivemos juntos, semeou em mim o apreço pelo conhecimento e a coragem de seguir atrás do que se sonha. Esta conquista e todas as que virão são nossas!

À CAPES e ao PELD, pelo apoio financeiro e material para execução deste trabalho.

ÍNDICE

Introdução	13
Material e Métodos	18
Resultados.....	21
Discussão	22
Tabelas.....	27
Figuras.....	28
Referências	31

Resumo: A predação desempenha um papel crucial na estruturação e funcionamento dos ecossistemas, influenciando a composição de espécies, dinâmica populacional e biodiversidade. Não só pela mortalidade, mas também pelos seus efeitos não letais, com respostas comportamentais que alteram aspectos como o uso de habitat, reprodução e forrageamento para as presas. A percepção do risco de predação é feita através de pistas diretas (sinais físicos deixados por um predador em potencial) ou por condições do ambiente que afetem a avaliação adequada de perigo. Entre essas características, o nível de luminosidade lunar é frequentemente considerado um fator que aumenta o risco de predação para a maioria dos mamíferos noturnos que não utilizam a visão como principal sentido, como os roedores. Também a pluviosidade, ao promover o aumento na vegetação, produção de sementes, frutos e maior atividade de invertebrados, afeta o forrageamento, a reprodução e a sobrevivência dos animais. No presente trabalho, conduzido de junho de 2023 à abril de 2024, investigamos como o padrão de forrageamento dos roedores responde a pistas diretas e indiretas associadas ao risco de predação, testando três hipóteses: (1) os roedores apresentam fobia lunar, alterando o padrão de forrageamento em noites de lua cheia; (2) os roedores evitam forragear quando há pistas diretas de predadores; (3) a estação do ano influencia o padrão de forrageamento dos roedores. Utilizando o método de *Giving-up density* (GUD), avaliamos experimentalmente taxas de remoção de sementes de girassol em períodos de lua cheia e nova em campanhas feitas na estação seca e chuvosa em uma área de Cerrado denso, utilizando fezes de *Canis lupus familiaris* como indicativo. A fase lunar mostrou-se o fator mais significativo associado às taxas de consumo, que durante a lua nova foram 2.2 vezes maiores que durante a lua cheia. A presença de pista direta não mostrou efeito significativo para determinar o consumo ou não das iscas. Considerando que grande parte dos predadores do grupo são noturnos e visualmente orientados, a menor luminosidade durante a lua nova pode representar um ambiente percebido como mais seguro. Junto com o resultado obtido em relação à estação, podemos inferir que roedores priorizam

informações ambientais amplas, como a luminosidade e a variação sazonal da disponibilidade de recursos sobre sinais diretos de predadores ao avaliar os custos sobre a necessidade de forrageamento, destacando a importância da percepção de risco de predação em moldar o comportamento de forrageamento e a ecologia dos roedores, considerando múltiplos fatores ambientais ao estudar as interações predador-presa.

Palavras-chave: risco de predação, fobia lunar, forrageamento, “ecologia do medo”, “cenário do medo”, "densidade de abandono”

Abstract: Predation plays a crucial role in structuring and functioning ecosystems, influencing species composition, population dynamics and biodiversity. Beyond mortality, non-lethal effects of predation alter prey behavior, affecting habitat use, reproduction, and foraging. Risk perception is mediated through direct cues (physical signs left by potential predators) or environmental conditions that affect accurate danger assessment. Lunar luminosity is often considered a predation risk factor for nocturnal mammals, like rodents, which rely less on vision. Rainfall, promoting vegetation growth, seed and fruit production, and increased invertebrate activity, also impacts foraging, reproduction, and survival. From June 2023 to April 2024, we investigated how rodent foraging patterns respond to direct and indirect predation risk cues, testing three hypotheses: (1) rodents exhibit lunar phobia, altering foraging during full moon nights; (2) rodents avoid foraging in the presence of direct predator cues; (3) seasonal variation influences rodent foraging patterns. Using the Giving-up Density (GUD) method, we experimentally assessed sunflower seed removal rates during Full and New Moon phases in both dry and wet seasons in a dense Cerrado area, using *Canis lupus familiaris* scat as an indicator. Lunar phase was the most significant factor influencing consumption rates, which were 2.2 times higher during New Moon compared to Full Moon. Given that many predators are nocturnal and visually oriented, lower luminosity during New Moon may signal a safer environment. Combined with seasonal findings, rodents appear to prioritize broad environmental cues, such as luminosity and seasonal resource availability, over direct predator signals when assessing foraging costs versus needs, underscoring the importance of predation risk perception in shaping rodent foraging behavior and ecology. This highlights the role of multiple

environmental factors in predator-prey interactions and underscores their impact on ecosystem dynamics.

Key-words: Predation risk, moonlight avoidance, foraging, “ecology of fear”, “landscape of fear”, “giving up density”

Efeitos da presença de predadores sobre padrões de forrageio de roedores

Introdução

A teoria do forrageamento ótimo (Mac Arthur e Pianka, 1966) é um dos principais modelos ecológicos utilizados para explicar o comportamento de forrageio de animais. A teoria afirma que as estratégias de forrageamento são o resultado de decisões comportamentais de cada indivíduo para maximizar sua aptidão e aumentar os ganhos energéticos enquanto reduzem os gastos associados à captura, manuseio e detecção de alimentos. O balanço entre os custos e benefícios associados à aquisição de alimento é diretamente modulado por riscos de predação, que podem alterar decisões comportamentais associadas à escolha, local de consumo e tempo de manuseio de um alimento. (Lima and Dill 1990). Dentro desse contexto, o risco de predação induz mudanças comportamentais e fisiológicas nas presas (Peacor et al. 2020), alterando a aptidão individual e, consequentemente, a dinâmica de comunidades em ecossistemas (Sheriff et al, 2020).

A predação é uma interação biótica que tem fortes impactos sobre a distribuição, a abundância e o comportamento das espécies em diferentes níveis tróficos (Begon, Townsend e Harper, 2005). Além dos efeitos letais, ou seja, da mortalidade de presas, existem os efeitos não letais, que apesar de não resultarem na remoção imediata destes organismos do ambiente, incitam respostas comportamentais nas presas para maximizar sua sobrevivência, como a mudança no padrão de atividade (Apfelbach et al., 2005), redução de movimentação, de forrageamento (Beckmann et al., 2022) e supressão da reprodução (Dulude-de Broin et al. 2020). Os comportamentos defensivos são induzidos por sinais diretos e indiretos da presença de predadores no ambiente. As pistas diretas

são os sinais químicos ou físicos produzidos pelos predadores, como resíduos corporais e rastros. As pistas indiretas, no entanto, são fatores ambientais (e.g., luminosidade, estrutura da vegetação e presença de refúgios) que podem favorecer a atividade de captura dos predadores ou dificultar a correta avaliação dos riscos existentes pelas presas, tornando-as mais expostas ou suscetíveis (Orrock et al., 2004).

A partir da percepção destas pistas, as presas adotam uma resposta comportamental, que pode ser ativa (de enfrentamento), ou passiva para diminuir sua detecção. A variação espacial na percepção do risco de predação por parte da presa é conhecida como “cenário do medo”, conceito proposto por (Laundré et al. 2001) como um modelo visual para explicar variações nas respostas comportamentais e na alocação de tempo e uso do espaço por parte dos animais em razão da percepção do risco de predação. O entendimento de como os animais respondem a percepção do risco de predação e à diferentes pistas envolvidas é essencial para investigar como os predadores afetam o comportamento e a dinâmica populacional de suas presas.

Entre as pistas indiretas, a luminosidade lunar é uma das mais importantes para determinar os padrões de forrageamento em mamíferos. O grupo, que é composto majoritariamente por espécies noturnas, têm seus padrões de atividade fortemente influenciados por ciclos lunares (Bennie et al., 2014). Entretanto, os efeitos da luminosidade lunar sob o risco de predação ainda não são completamente compreendidos, podendo variar entre espécies e fisionomias (Upham, 2008). Para algumas espécies, o maior nível de luminosidade lunar influencia o nível de atividade de maneira positiva, possibilitando a detecção antecipada de predadores por presas no ambiente, relação conhecida como

lunarfilia (de Matos Dias, 2017). Por outro lado, para outras espécies, a maior luminosidade eleva à exposição aos predadores, levando à diminuição de movimentação e outras atividades cruciais para sobrevivência, como o forrageamento; configurando assim uma relação de fobia lunar (Taylor et al., 2023).

Além da luminosidade lunar, a estrutura da vegetação é um importante determinante das respostas à percepção de risco de predação por parte das presas, que muitas vezes evitam forragear em ambientes mais abertos por estarem mais expostas a predadores (Powell e Banks, 2004), ou preferem tais ambientes pela oportunidade de visualizar os predadores com antecedência e maximizar as chances de fuga (Spencer et al. 2014). De fato, de maneira geral, estudos sugerem que o efeito de pistas indiretas (luminosidade e vegetação) sobre as respostas comportamentais das presas são mais fortes do que os efeitos de pistas diretas, como estímulos visuais e olfativos da presença de predadores (Orrock et al. 2004; Verdolin 2006). Enquanto estudos em laboratório demonstram que a presença de pistas olfativas, como urina e fezes de predadores, afetam negativamente a atividade e forrageamento de suas presas (Ylonen, 2001), em situações de vida livre, tais respostas são mais fracas e os resultados ambíguos (Verdolin 2006; Beckman et al. 2022; Powell e Banks 2004).

Pequenos mamíferos não voadores, definidos como espécies menores que 2kg (Eisenberg e Redford, 1999) são excelentes modelos de estudo para investigar respostas de vertebrados ao risco de predação, devido à alta abundância e diversidade nos ecossistemas terrestres e ao ciclo de vida rápido (Hanski et al., 2001), que possibilita observar mudanças comportamentais em períodos curtos. Os roedores, grupo integrante desta classificação, são potenciais presas de uma grande variedade de predadores com estratégias distintas, incluindo serpentes, aves e outros mamíferos, o que implica em possuir também respostas comportamentais distintas diante de cada uma. Os roedores usam estímulos olfativos, como pistas diretas, para identificar a presença e o tipo de predador

(Ferrero et al., 2011), e suas respostas neurais aos sinais olfativos de predadores variam de acordo com o nível de contato com o cheiro percebido (Beckman, Avila e Farrel, 2022). De fato, até o momento, há evidências de que a magnitude do efeito de pistas olfativas sobre respostas comportamentais de roedores é extremamente dependente de contexto, dependendo da espécie de predador, características do ambiente onde as espécies estão inseridas e o frescor do estímulo olfativo (tempo em que o mesmo está presente no ambiente) (Bytheway et al. 2013; Amaral 2019; Beckman et al. 2022).

Uma vez que o padrão de forrageamento representa estratégias combinadas para maximizar retorno energético, reduzir custos e diminuir riscos de predação, pode ser influenciado por uma gama de fatores abióticos e intrínsecos das espécies. Diversos estudos já demonstraram que as taxas de forrageamento podem variar estacionalmente, de acordo com qualidade e quantidade de alimentos disponíveis no ambiente, custos de termoregulação, densidade de predadores e das presas (Kelt et al. 2004; Kotler et al. 2004). De fato, tais podem interagir com as pistas diretas e indiretas encontradas por roedores, determinando o padrão de forrageamento dos mesmos frente aos riscos de predação. Gerbos apresentaram menor forrageamento em geral durante o inverno, devido aos altos custos de termoregulação, independente das pistas indiretas (Kotler et al. 2004), enquanto *Dipodomys merriani* reduz o forrageamento de acordo com a presença de estímulos olfativos de predadores apenas no inverno (Herman & Valone, 2000). Ao mesmo tempo, em períodos de escassez de alimento (como a estação seca), o efeito das pistas diretas e indiretas de riscos de predação sobre as respostas comportamentais de forrageamento em roedores podem ser mais fracos (Sheriff et al. 2020), em virtude das demandas energéticas.

Uma vez que as respostas comportamentais são moduladas por mecanismos de compensação entre maximizar o sucesso de forrageamento e de

reprodução e minimizar o risco de predação, é importante considerar as implicações das diferentes respostas sobre sobrevivência, fecundidade e consequentemente dinâmica populacional das presas (Laundre et al. 2010). Tradicionalmente, muitos estudos sobre forrageamento de roedores e suas respostas a percepção de risco de predação são feitos com espécies de deserto, que tendem a forragear mais ativamente nos períodos de menor escassez de outros recursos (Manlick, Maldonado e Newsome, 2021). Para espécies de roedores da América do Sul, inseridas em habitats com oferta de recursos alimentares variados, como o Cerrado, faltam informações detalhadas sobre seus padrões de forrageamento. Estudos que avaliam os mecanismos de compensação entre forrageamento e risco de predação comumente utilizam o método de “giving up density” (GUD) para obter uma medida quantitativa do risco percebido, quantificando a taxa de abandono de sementes (Bedoya-Perez et al., 2013). O método GUD descreve a matriz de custos e benefícios avaliados pelo animal durante o forrageamento, usando a taxa de remoção de alimentos presentes em uma determinada área. Sendo assim, o método GUD assume que a maior quantidade de alimentos sobrando em um determinado local é o resultado do menor tempo ou da redução da atividade de forrageando, devido à percepção de um maior risco de predação no ambiente.

Com este trabalho, nosso objetivo é investigar como o padrão de forrageamento dos roedores responde a pistas diretas e indiretas associadas ao risco de predação, testando três hipóteses: (1) os roedores apresentam fobia lunar, alterando o padrão de forrageamento em noites de lua cheia; (2) os roedores reduzem o forrageamento quando há pistas diretas olfativas de predadores; (3) a estação do ano influencia o padrão de forrageamento dos roedores, de maneira que os animais devem apresentar maior consumo de sementes na seca, independente das pistas diretas ou indiretas. Diante do cenário em que respostas diversas foram documentadas em relação a percepção de

sinais diretos e indiretos, analisar a interação entre os sinais, e investigar como a luminosidade lunar, a sazonalidade e a presença de predadores influenciam a percepção do risco de predação pela comunidade de roedores pode esclarecer como mudanças nos padrões de forrageamento podem afetar a remoção de sementes e a dinâmica do ecossistema.

Material e Métodos

Área de estudo

O trabalho foi realizado na Reserva Ecológica do Panga (Figura 1), localizada na cidade de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil (19°09'20"- 19°11'10"S, 48°23'20"- 48°24'35" W). A Reserva possui 409,5 ha e apresenta diversas fitofisionomias do Cerrado, incluindo formações savânicas, como o cerrado ralo e o cerrado sentido restrito, formações florestais, como o cerradão e as matas de galeria, e formações campestres (Cardoso et al. 2009). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, com chuvas concentradas no período de outubro a março e precipitação média anual de 1650 mm (Alvares et al. 2013). Os experimentos foram conduzidos em área de cerrado denso, que ocupa 3,5% da Reserva e é caracterizada pela vegetação predominantemente arbórea, formando uma cobertura densa. As camadas arbustivas e herbáceas são menos espessas, provavelmente devido ao sombreamento. (Gonçalves et al., 2021).

Desenho amostral

Os experimentos foram conduzidos de junho de 2023 a abril de 2024, com 4 amostragens por estação, contemplando dois testes em lua nova e dois em lua cheia. Para a realização dos testes de GUD, foram dispostas 24 estações de forrageamento em um grid retangular com 5 transectos equidistantes 20 metros e 8 pontos de amostragem distantes 20 metros em si. As estações de forrageamento foram dispostas em pontos alternados, com padronização de 60 metros de distância entre elas.

Cada estação de forrageamento era composta por uma armadilha de exclusão com estrutura de ferro e malha de arame galvanizado (1cm) para impedir a entrada de aves e mamíferos de maior porte, enterrada ao nível do solo (ver Figura 2). Para garantir o acesso aos roedores, as armadilhas de exclusão continham uma abertura (12 cm x 3 cm) em uma das laterais da base, onde foi colocada uma fita adesiva para coleta dos pêlos de roedores e posterior identificação por análise tricológica (conforme protocolo em 2.3). A cada início de experimento, as armadilhas eram abastecidas com 20 sementes de girassol depositadas em uma placa de petri (12 cm x 12 cm) preenchida com areia, a qual era posicionada sobre uma plataforma de madeira (15 cm x 15 cm) cercada de cola entomológica nas laterais, a fim de evitar que as sementes fossem consumidas por formigas. Sempre que possível, armadilhas fotográficas (modelo) foram dispostas em frente às estações de forrageamento para visualização de comportamento de forrageio dos espécimes e para auxiliar na identificação dos roedores participando dos eventos de predação de sementes. As armadilhas fotográficas foram utilizadas em modo vídeo, com duração de 50 segundos.

Para testar o efeito de pistas diretas sobre o forrageamento dos roedores, dispomos fezes frescas de *Canis lupus familiaris* a 60 cm de distância da armadilha de exclusão em pontos intercalados do grid, de forma a garantir que não houvesse interferência da pista sobre as outras estações de forrageamento, totalizando 12 pontos com pista olfativa/visual direta de predador e 12 pontos sem pistas diretas. Utilizamos fezes de cães domésticos pela facilidade em obtê-las, mas também pela presença e abundância desses predadores na área de estudo. Após duas noites, registramos a quantidade de sementes restantes em cada estação de forrageamento, e coletamos os pêlos de roedores aderidos às armadilhas e para testar o efeito da estação climática sobre os padrões de forrageamento.

Análise tricológica

Ao fim de cada experimento, coletamos as amostras de pêlos das fitas adesivas posicionadas nas aberturas das armadilhas. O material foi acondicionado em tubos devidamente rotulados com informações sobre a data e local de origem para análise em laboratório, seguindo o protocolo descrito por Quadros & Monteiro-Filho (2006) de análise da microestrutura de pêlos-guarda. Seguindo o protocolo, os pêlos foram triados, lavados com álcool etílico e, quando necessário, descoloridos com água oxigenada volume 30 para visualização da estrutura cuticular e medular. A partir dessa análise, foi possível identificar as espécies de roedores visitando as estações de forrageamento.

Análise estatística

Após avaliar a distribuição dos dados e variância dos resíduos, analisamos os dados usando um Modelo Linear Misto Generalizado, com distribuição binomial negativa e link logarítmico. Os modelos foram construídos utilizando a função 'glm' no pacote 'lme4' (Bates et al. 2014), considerando as fases lunares (nova e cheia), estações (seca e chuvosa) e pistas diretas (presença e ausência) como variáveis preditoras, e a quantidade de sementes consumidas como variável resposta. Comparamos o ajuste dos modelos alternativos e do modelo de efeito nulo usando o critério de informação de Akaike, tendo 2 como valor de corte do Delta AICc para a escolha do modelo para amostras pequenas (Burnham e Anderson, 2002), utilizando a função 'dredge' no pacote 'MuMIn' (Barton, 2022). Fizemos gráficos usando a função 'ggplot' no pacote 'ggplot2' (Wickham, 2009). Todas as análises foram realizadas no R, versão 4.4.0 (R Core Team, 2024).

Resultados

Todas as 24 estações de forrageamento foram visitadas ao menos uma vez durante o experimento, seja na estação seca ou chuvosa. Os X registros obtidos nas câmeras-traps permitiram visualizar a visitação das estações e consumo das sementes por *Rhipidomys macrurus*, enquanto as amostras de pêlos coletados ($n = 30$) permitiram identificar 3 espécies diferentes de roedores, sendo elas *Oligoryzomys nigripes*, *Rhipidomys macrurus* e *Necromys lasiurus*. Deste total, a espécie mais abundante foi *Rhipidomys macrurus* ($n=18$), seguido de *Oligoryzomys nigripes* ($n=7$) e *Necromys lasiurus* ($n=5$).

O melhor e único modelo selecionado no processo de seleção de modelos foi aquele incluindo apenas a lua como variável preditora da taxa de consumo de sementes (Tabela 1). Nesse modelo foi possível observar que o consumo de sementes foi significativamente maior durante a lua nova ($M=14.31 \pm 7.60$) do que durante a lua cheia ($M=6.41 \pm 8.33$) ($z = 4.372$, $P < 0.0001$ – Figura 4). Por outro lado, não houve diferença significativa na taxa de consumo de sementes entre estações seca ($M=11.66 \pm 7.63$) e chuvosa ($M=9.06 \pm 8.39$) ou de acordo com a presença ($M=10.40 \pm 8.98$) ou ausência ($M=10.72 \pm 8.82$) de estímulos olfativos de predadores (ver Tabela 1).

Discussão

Nossos resultados indicaram maior consumo de sementes durante a lua nova, o que corrobora nossa hipótese de que os roedores da comunidade estudada apresentam fobia lunar, diminuindo sua atividade de forrageamento nas noites de maior luminosidade, em função do risco que representa estar exposto a predadores noturnos visualmente orientados. Entretanto, não encontramos resultados corroborando as demais hipóteses. Os roedores não alteraram seu comportamento em relação à presença das pistas diretas olfativas. Além disso, apesar de existir diferença entre as taxas de consumo entre as estações seca e chuvosa, essa diferença não foi estatisticamente significativa para explicar uma alteração do padrão comportamental em função das estações climáticas.

Diversos estudos mostram que o maior nível de luminosidade aumenta o risco de predação para roedores noturnos e, conseqüentemente, induz à redução em seus padrões de atividade e taxas de consumo de alimentos (Brown et al., 2023). Esse comportamento é definido como fobia lunar, e em roedores pode ser encarado como uma adaptação evolutiva importante para minimizar o risco de predação por animais noturnos visualmente orientados. A fobia lunar pode influenciar diretamente os padrões de forrageamento dos roedores, através da redução na atividade de forrageamento e aumento na vigilância durante as noites de lua cheia (Gaynor et al. 2022). O comportamento de fobia lunar reduz a visibilidade das espécies de presas para seus predadores locais, uma vez que a maioria dos predadores noturnos é principalmente ativo sob a luz da lua, quando a visibilidade é maior (Brown et al., 2023).

Na área estudada, os seguintes predadores de roedores já foram registrados: os felinos *Leopardus pardalis*, *Puma concolor*, e *Herpailurus yagouaroundi*, os canídeos

Cerdocyon thous e *Chrysocyon brachyurus* (Bruna et al., 2016) e as aves rapinantes noturnas *Megascops choliba*, *Glaucidium brasilianum* e *Bubo virginianus* (Marçal-Júnior et al., 2009). Todos estes predadores, embora com a semelhança de serem visualmente orientados, possuem o padrão de atividade e estratégias de predação distintas entre si (Edut e Eilam, 2003; Verplancke et al., 2010). Diante deste cenário de ameaças múltiplas, dicas indiretas podem ser mais eficazes para a tomada de decisões comportamentais dos roedores, pois permitem a avaliação de vários riscos possíveis de forma simultânea (Orrock et al., 2004). Entre essas estratégias para minimizar o risco de múltiplos predadores, as mais documentadas na literatura são a seleção de habitats com maior cobertura vegetal, já que podem oferecer abrigo contra a visibilidade direta de predadores (Fischer et al. 2015), e a redução de atividade durante noites com maior luminosidade lunar (Oliveira-Santos et al. 2004), como observada no nosso estudo. Tais adaptações comportamentais para sobrevivência podem afetar a dispersão de sementes, a disponibilidade de recursos para outras espécies, a dinâmica da comunidade vegetal local e a regeneração de vegetação nativa (Hanley et al. 2014).

A falta de respostas claras às pistas diretas encontrada em nosso experimento pode ser explicada por diferentes fatores. Como já mencionado, a presença de múltiplos predadores com estratégias distintas pode tornar as pistas indiretas mais confiáveis do que as pistas diretas com relação à percepção do risco de predação. De fato, a presença de estímulos olfativos ou visuais (como fezes) não informam claramente à presa sobre a localização real do predador naquele momento, podendo levar a uma resposta exagerada que não é vantajosa em termos de ganhos energéticos associados ao forrageamento. Ao mesmo tempo, os estímulos olfativos informam muitas vezes sobre a presença de apenas um predador, enquanto as pistas indiretas podem garantir a minimização do risco de predação por diversos predadores quando as presas optam por forragear em noites

com menor visibilidade (lua nova) ou em locais com vegetação mais fechada (Loggins et al., 2019).

Outro cenário que pode explicar as respostas inconsistentes com relação a presença de estímulos olfativos está relacionada à qualidade de tais pistas como sinal principal para avaliação de risco. A identificação de odores, uma atividade essencial para orientação nos roedores, tem baixo custo energético e temporal (Knaapila e Hietanen 2020), permitindo que estes animais identifiquem rapidamente o cheiro quando presente. Os odores, enquanto pistas da presença de predadores, incluem aspectos qualitativos para avaliação. Sua natureza volátil, com mudanças de intensidade do odor em virtude do tempo em que foi produzida, influencia fortemente a resposta dos roedores. Estudos como o de (Bytheway et al., 2013) mostram essa característica temporal de pistas olfativas, com maiores taxas de abandono de sementes diante de fezes frescas de predadores. No entanto, com o envelhecimento das pistas (após 24 horas) os roedores deixaram de perceber tais pistas como risco suficiente para perder os benefícios do forrageamento (Bytheway et al. 2013). Além da volatilidade das substâncias odoríferas, a interação destas substâncias com fatores como a umidade e a direção do vento, alteram fortemente a dissipação de suas moléculas, de forma que dificultam a identificação da origem do cheiro (Peck et al. 2020).

Assim, os sinais diretos podem apresentar muitas limitações na eficácia para percepção de risco de predação, e a utilização de pistas indiretas pode ser mais vantajosa para a sobrevivência dos roedores do que a dependência exclusiva de sinais olfativos voláteis e potencialmente enganosos. De fato, a maioria dos estudos com roedores apontam a maior importância de pistas indiretas do que diretas na determinação de comportamentos de forrageamento de roedores para reduzir seu risco de predação (Orrock et al. 2004; Powell & Banks 2004; Verdolin 2006).

Apesar de existir diversas evidências de que a sazonalidade pode influenciar as respostas comportamentais relacionadas à percepção de risco de predação e taxas de forrageamento em roedores (Yakel et al., 2020), também há evidências indicando consistência nas respostas a pistas diretas e indiretas ao longo das estações (Sih et al. 2002; Suraci et al. 2019). Esta consistência de respostas pode estar relacionada à constância na presença de predadores (Suraci et al., 2019), à eficácia das estratégias de termorregulação (Sih et al., 2002) ou à disponibilidade constante de abrigos (Turner et al., 2005). De fato, mesmo com variações na densidade populacional de predadores ao longo do ano, (Brown et al. 2003) mostraram que as respostas comportamentais dos roedores não variaram significativamente entre as estações, o que sugere que outros fatores além da densidade predatória podem modular as respostas anti predatórias destes animais. Essa estabilidade comportamental pode indicar uma adaptação dos roedores, com padrões de atividade anti-predatória que otimizam o uso de recursos alimentares e reduzem a necessidade de ajustes sazonais nas estratégias anti-predatórias. Um dos aspectos que pode relacionar-se à essa constância das respostas de roedores ao risco de predação independente das variações sazonais é a disponibilidade de abrigos. Alguns trabalhos já mostraram a importância da disponibilidade de refúgios para os roedores, independente das flutuações sazonais (Sih et al., 2002, Lima et al., 2005). Ambientes heterogêneos e complexos, como o Cerrado, fornecem uma abundância de refúgios naturais para espécies de presas. Além disso, os custos energéticos para a termorregulação de roedores em ambientes de savana são relativamente baixos e constantes devido às condições ambientais estáveis, o que pode contribuir para uma resposta comportamental consistente ao risco de predação ao longo do ano (McNabb, 2002), conforme encontrado no sistema estudado.

Nossos resultados somam com demais trabalhos feitos na região neotropical que mostram que a luminosidade lunar exerce uma influência significativa sobre o padrão de forrageamento de roedores (Bueno e Motta Junior, 2015). Especificamente, corroboramos a hipótese de fobia lunar para os roedores da área estudada pelo aumento no consumo de sementes durante a fase de lua nova, indicando que sob menor luminosidade há redução da visibilidade para predadores visualmente orientados, proporcionando um ambiente percebido como mais seguro para as presas se alimentarem. Estes resultados dão suporte também ao papel dos sinais indiretos de predação como pistas mais complexas e efetivas que as diretas para avaliação do risco de predação percebido por roedores, permitindo avaliar simultaneamente os riscos enfrentados diante de uma variedade de predadores. Em relação às pistas diretas de predação e à influência da estação, nossos resultados não deram suporte às hipóteses propostas, sugerindo complexidades adicionais no comportamento de forrageamento desses animais que merecem investigação mais detalhada. Roedores desempenham um papel importante na estruturação de vegetação, através do consumo de brotos, folhas e sementes, e pela dispersão deste último recurso (Muñoz e Bonal, 2008). Esta interação tem consequências ecológicas amplas, afetando ciclos de nutrientes, sucessão ecológica e a resiliência do ecossistema, além de modular a dinâmica populacional das espécies envolvidas. Compreender os padrões de forrageamento de roedores traz informações importantes sobre os serviços ecossistêmicos que as espécies do grupo oferecem, e seu papel fundamental no equilíbrio dos ecossistemas em que estão inseridos.

Tabelas

Tabela 1. Conjunto de modelos candidatos para taxa de remoção de sementes como variável dependente, e as seguintes variáveis preditoras: fase lunar (LUA; cheia ou nova), estação (ESTAÇÃO; seca ou chuvosa), pista (PISTA; com ou sem) a interação entre elas. Os modelos são exibidos de acordo com a classificação de modelo melhor ajustado. O símbolo '+' indica os fatores que foram incluídos em cada modelo. SD = (Desvio Padrão): Desvio padrão dos coeficientes dos modelos; Mean (Média): Média dos coeficientes dos modelos. AIC: Critério de Informação de Akaike, indicando o ajuste do modelo. Δ AIC: Diferença entre o AIC do modelo e o AIC do modelo com o menor AIC na seleção.

Modelo	LUA A	PIST A	ESTAÇÃO O	LUA:PIST A	TEST:LU A	EST:PI S	EST:PI PIS	LUA: Desvio Padrão	Média	AICc	Δ AICc
Lua	+							0.747	1.330	1267.4	0.00
Lua_pista	+	+		+				0.952	0.692	1269.5	2.10
Lua_estacao	+		+		+			0.774	0.701	1269.9	2.49
Lua_pista_estacao	+	+	+	+				0.809	0.575	1270.1	2.66
Lua_estacao_pista	+	+	+		+			0.749	0.559	1272.0	4.61
Pista_estacao_lua	+	+	+			+		0.794	0.554	1272.3	4.83
Completo	+	+	+	+	+	+	+	0.794	0.362	1276.1	8.70
Nulo										1386.8	119.37
Estação			+					1.379	1.228	2499.7	1232.2
Pista_estacao		+	+			+		1.039	0.624	2501.3	1233.8
Pista		+						1.578	1.186	2528.7	1261.3

Figuras

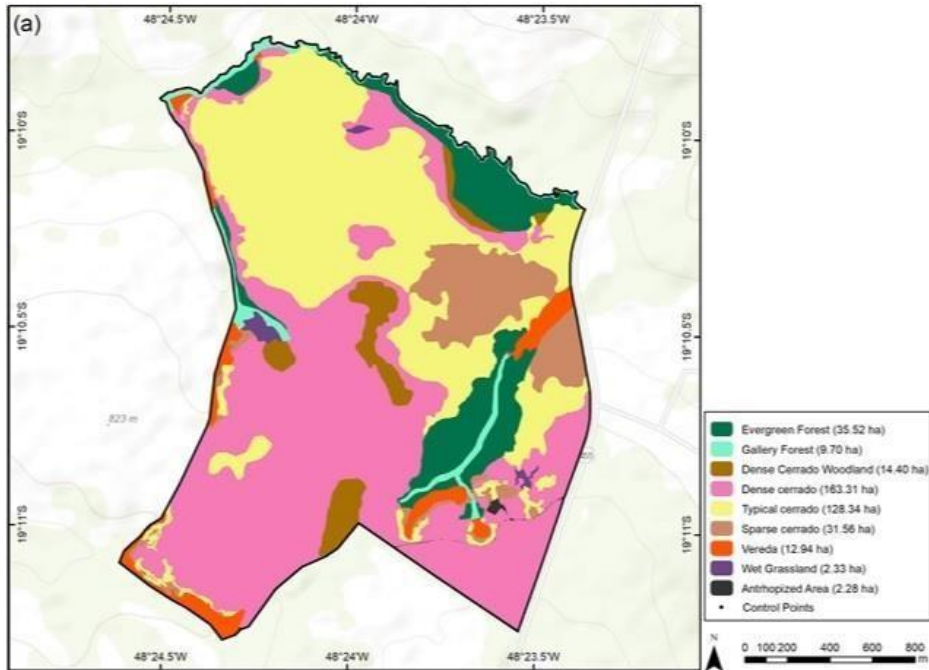


Figura 1 - Mapa das Fitofisionomias de Cerrado na Reserva Ecológica do Panga. (Gonçalves et al., 2021).



Figura 2. Estrutura das estações de forrageamento utilizadas no experimento.



Figura 3. Disposição das cameras *trap* e pistas diretas nos pontos amostrais.

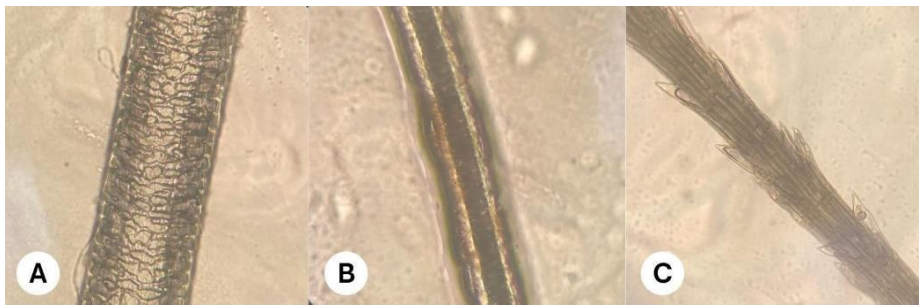


Figura 4. Microestrutura de pelos-guarda de espécies de pequenos mamíferos não voadores registrados na Reserva Ecológica do Panga, Uberlândia, Minas Gerais. A= *Oligorizomys nigripes*; B= *Necromys lasiurus*; C= *Rhipidomys macrurus*.

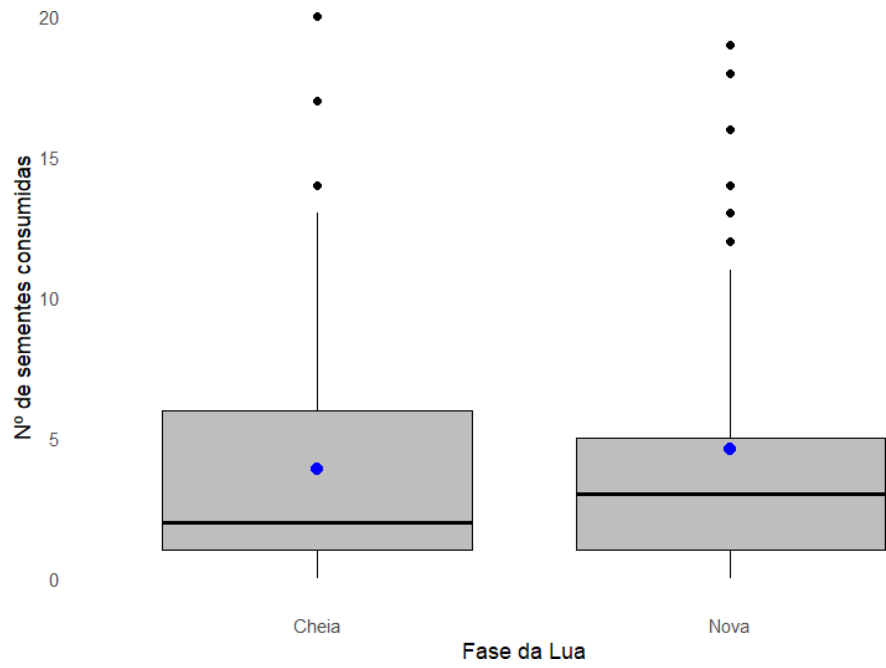


Figura 5. Boxplot das médias de consumo de sementes por roedores em diferentes fases da lua.

Referências

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941- 2948/2013/0507.

APFELBACH, R. et al. The effects of predator odors in mammalian prey species: A review of field and laboratory studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, v. 29, n. 8, p. 1123-1144, 2005. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2005.05.005.

BECKMANN, S.; AVILA, P.; FARRELL, T. Effect of native and non-native snake scents on foraging activity of native rodents in Florida. *Journal of Mammalogy*, v. 103, p. 136-145, 2022. DOI: 10.1093/jmammal/gyab124.

BEDOYA-PEREZ, M. A. et al. Giving-up density: an index for patch assessment in time-limited foragers. *Animal Behaviour*, v. 85, p. 1379-1386, 2013. DOI: 10.1016/j.anbehav.2013.03.033.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. *Ecology: From Individuals to Ecosystems*. 4th ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005.

BLAKE, J. E. et al. Lunar condition and food consumption by small mammals. *Journal of Mammalogy*, 2012.

BROWN, J. S.; KOTLER, B. P. Hazardous duty pay and the foraging cost of predation. *Ecology Letters*, v. 7, n. 10, p. 999-1014, 2004. DOI: 10.1111/j.1461- 0248.2004.00656.x.

BRUNA, E. M. et al. *Mammalia, Estação Ecológica do Panga, a Cerrado protected area in Minas Gerais state, Brazil*. Check List, 2010. DOI: 10.15560/6.3.511.

BUENO, Adriana de Arruda; MOTTA JUNIOR, José Carlos. Behavioural and morphological strategies by small savannah rodents to avoid predation. *Mammalian Biology - Zeitschrift für Säugetierkunde*, v. 80, n. 5, p. 401–408, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2015.05.005>.

BYTHEWAY, J. P.; CARTHEY, A. J. R.; BANKS, P. B. Risk vs. reward: how predators and prey respond to aging olfactory cues. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, v. 67, p. 715-725, 2013. DOI: 10.1007/s00265-013-1494-9.

EDUT, Shahaf; EILAM, David. Rodents in open space adjust their behavioral response to the different risk levels during barn-owl attack. *BMC Ecology*, v. 3, n. 10, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1186/1472-6785-3-10>.

FISCHER, J. et al. Moonlight and the relative effectiveness of indirect and direct cues of predation risk. *Behavioral Ecology*, v. 26, n. 4, p. 1057-1064, 2015. DOI: 10.1093/beheco/arv050.

GAYNOR, K. M. et al. Moonlight-mediated changes in predator–prey interactions. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 289, 2022. DOI: 10.1098/rspb.2022.0248.

GONÇALVES, R. V. S. et al. Changes in the Cerrado vegetation structure: insights from more than three decades of ecological succession. *Web Ecology*, v. 21, p. 55-64, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/we-21-55-2021>.

HANLEY, M. E.; LAMONT, B. B.; MATHER, K.; RAIMONDI, T. Seed dispersal and seed predation by rodents: integrating the effects of substrate and vegetation. *Journal of Ecology*, 2014. DOI: 10.1111/1365-2745.12290.

JÚNIOR, O. M. et al. Levantamento da avifauna na Reserva Ecológica Panga (Uberlândia, MG, Brasil). *Revista de Biociências, Uberlândia*, v. 25, n. 6, 2009. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7145>. DOI: 10.1590/S0034-71082009000600008.

KELT, D. A. et al. Foraging ecology of small mammals in semiarid Chile: the interplay of biotic and abiotic effects. *Ecology*, v. 85, p. 383-397, 2004. DOI: 10.1890/02-4065.

KNAAPILA, A.; HIETANEN, H. Efficiency of olfactory discrimination in rodents. *Journal of Experimental Biology*, v. 223, 2020. DOI: 10.1242/jeb.223214.

KOTLER, B. P. et al. Foraging games between gerbils and their predators: seasonal changes in schedules of activity and apprehension. *Israel Journal of Zoology*, v. 50, p. 255-271, 2004. DOI: 10.1560/9qeg-cm0q-5u3u-2wft.

LAUNDRE, J. et al. The landscape of fear: ecological implications of being afraid. *The Open Ecology Journal*, v. 3, p. 1-7, 2010. DOI: 10.2174/1874213001003030001.

LIMA, S. L.; DILL, L. M. Behavioral decisions made under the risk of predation: a review and prospectus. *Canadian Journal of Zoology*, v. 68, n. 4, p. 619-640, 1990. DOI: 10.1139/z90-092.

LOGGINS, A. A.; SHRADER, A. M.; MONADJEM, A.; et al. Shrub cover homogenizes small mammals' activity and perceived predation risk. *Scientific Reports*, v. 9, p. 16857, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53071-y>.

MACARTHUR, R. H.; PIANKA, E. R. On optimal use of a patchy environment. *American Naturalist*, v. 100, n. 916, p. 603-609, 1966.

MANLICK, P. J.; MALDONADO, K.; NEWSOME, S. D. Competition shapes individual foraging and survival in a desert rodent ensemble. *Journal of Animal Ecology*, v. 90, p. 2806-2818, 2021. DOI: 10.1111/1365-2656.13583.

MCNAB, B. K. *The Physiological Ecology of Vertebrates: A View from Energetics*. Ithaca: Cornell University Press, 2002. DOI: 10.7591/9781501719469.

MUÑOZ, A.; BONAL, R. Seed choice by rodents: learning or inheritance?. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, v. 62, p. 913–922, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00265-007-0515-y>.

ORROCK, J. L.; DANIELSON, B. J.; BRINKERHOFF, R. J. Rodent foraging is affected by indirect, but not by direct, cues of predation risk. *Behavioral Ecology*, v. 15, p. 433-437, 2004. DOI: 10.1093/beheco/arh031.

PEACOR, S. D. et al. Integrating eco-physiological and behavioral responses of prey to predation risk: a prospectus. *Oecologia*, v. 193, n. 3, p. 513-523, 2020. DOI: 10.1007/s00442-020-04704-2.

SHERIFF, M. J.; KREBS, C. J.; BOONSTRA, R. The role of predation risk in the behavioural, physiological and life-history adjustments of prey. *Ecology Letters*, 2020. DOI: 10.1111/ele.13400.

SIH, A. et al. To hide or not to hide? Refuge use in a fluctuating environment. *Ecology*, v. 83, n. 4, p. 1314-1321, 2002. DOI: 10.1038/ncomms10698.

SPENCER, E. E.; CROWTHER, M. S.; DICKMAN, C. R. Risky Business: Do Native Rodents Use Habitat and Odor Cues to Manage Predation Risk in Australian Deserts? PLOS ONE, v. 9, n. 2, e90566, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090566>.

SURACI, J. P.; CLINCHY, M.; DILL, L. M.; ROBERTS, D.; ZANETTE, L. Y. Fear of large carnivores causes a trophic cascade. *Nature Communications*, v. 10, n. 1, 2406, 2019. DOI: 10.1038/ncomms10698.

VERPLANCKE, G.; LE BOULENGÉ, É.; DIEDERICH, C. Differential foraging in presence of predator and conspecific odors in bank voles: a field enclosure study. *Ecological Research*, v. 25, p. 973–981, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11284-010-0721-3>.

TURNER, R. W. et al. Shelter availability and predation risk influence escape behavior in deer mice. *Ecology*, 2005. DOI: 10.1890/04-1839.

UPHAM, N. S. Efeitos da luminosidade lunar na atividade de mamíferos. 2008. 120 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. DOI: 10.1590/1234567890

YEAKE, J. D.; BHAT, U.; NEWSOME, S. D. Caching in or falling back at the Sevilleta: the effects of body size and seasonal uncertainty on desert rodent foraging. *The American Naturalist*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1086/709019>

YLÖNEN, H. Predator odours and behavioural responses of small rodents: an evolutionary perspective. In: PELZ, H. J.; COWAN, P. D.; FEARE, C. J. (Eds.). *Advances in Vertebrate Pest Management II*. Filander, Fuerth, 2001. p. 123-138.