

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

MIRIAN PAULA RAMOS

**EFEITO DA QUALIDADE DE RECURSOS LÍQUIDOS
ENERGÉTICOS SOBRE A ATRATIVIDADE E
AGRESSIVIDADE DAS FORMIGAS DO CERRADO**

Uberlândia
2021

MIRIAN PAULA RAMOS

**EFEITO DA QUALIDADE DE RECURSOS LÍQUIDOS
ENERGÉTICOS SOBRE A ATRATIVIDADE E
AGRESSIVIDADE DAS FORMIGAS DO CERRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia, como
requisito parcial para a obtenção do título de
graduado em Ciências Biológicas.

Orientador: Kleber Del Claro

Coorientador: Renan F. Moura

MIRIAN PAULA RAMOS

**EFEITO DA QUALIDADE DE RECURSOS LÍQUIDOS ENERGÉTICOS
SOBRE A ATRATIVIDADE E AGRESSIVIDADE DAS FORMIGAS DO
CERRADO**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovada para a obtenção do título de graduado em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Uberlândia (MG) pela banca examinadora formada por:

Uberlândia, 28 de Maio de 2021

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Kleber Del Claro

UFU/MG

Ms. C. Isamara Mendes da Silva

USP/SP

Ms. C. Drielly Queiroga

USP/SP

Dedico este trabalho em memória de
minha mãe Abadia, a minha avó Regina,
e aos meus demais familiares.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família em especial a minha avó, que sempre me incentivou a ser uma pessoa estudiosa, me deu apoio para correr atrás dos meus objetivos, e sempre me deu suporte para estudar e seguir meus sonhos.

Gostaria de agradecer imensamente ao apoio do meu coorientador Renan Moura, que me ajudou em todos os meus desafios, assim como ao meu orientador Kleber Del Claro que sempre me incentivou e confiou no meu potencial, com suas orientações sempre claras e objetivas.

Agradeço aos meus amigos que sempre estiveram comigo, me ajudando e apoiando na minha caminhada acadêmica.

Agradeço aos meus professores por toda dedicação e ensino que me propuseram, demonstrando uma competência e carinho pelos alunos.

Por fim não menos importante, gostaria de deixar meus agradecimentos ao meu namorado, que sempre me apoio, me incentivou, me mostrou o caminho, me ajudou em todos os obstáculos e sempre esteve comigo nos piores e melhores momentos. Sem o apoio de todos vocês não chegaria aonde cheguei, meus sinceros agradecimentos.

Ramos, Mirian Paula. **Efeito da qualidade de recursos líquidos energéticos sobre a atratividade e agressividade das formigas do Cerrado**. 2021. 33. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

RESUMO

Na natureza, existem interações mutualísticas entre formigas e plantas mediadas por estruturas vegetais conhecidas como nectários extraflorais. Essas estruturas produzem néctares que são utilizados como alimento por formigas, e a presença das mesmas representa um mecanismo biótico de proteção para a planta. Neste estudo, realizamos experimentos controlados a fim de testar os efeitos da qualidade de recursos líquidos energéticos sobre a atratividade e agressividade das formigas do Cerrado, por meio da instalação de nectários artificiais em uma espécie vegetal. Dividimos 45 plantas em três grupos, onde cada um recebeu nectários artificiais contendo as seguintes composições: controle (apenas água), nectários de média qualidade (20% de sacarose, sem aminoácidos) e alta qualidade (20% de sacarose + 3% de solução de aminoácidos). Esperávamos que os nectários de alta qualidade seriam capazes de atrair formigas em maior quantidade e agressividade suficiente, para proteger a planta de seus potenciais predadores. Nossos resultados demonstraram uma maior abundância e agressividade das formigas nos tratamentos com NEFs de alta qualidade, o que ocasionava a planta uma maior defesa biótica. Concluímos, através dos dados obtidos que o néctar extrafloral é uma importante fonte de recurso, e fator determinante para o recrutamento e proteção fornecida às plantas. Portanto, os nectários de alta qualidade foram os mais eficientes na atratividade de formigas devido à adição de aminoácidos, recursos valiosos, porém de difícil acesso às formigas onívoras.

Palavras-chave: Mutualismo. Proteção. Nectários Extraflorais. Plantas. Benefícios.

RAMOS, Mirian Paula. Effect of the quality of liquid energetic resources on the attractiveness and aggressiveness of Cerrado ants. 2021. 33. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2021.

ABSTRACT

In nature, there are mutualistic interactions between ants and plants mediated by plant structures known as extrafloral nectaries. These structures produce nectars that are used as food by ants, and their presence indicate a biotic protective mechanism for the plant. In this study, we carried out controlled experiments in order to test the effects of the quality of liquid energy resources on the attractiveness and aggressiveness of ants from the Cerrado, through the installation of artificial nectaries on a plant species. We divided 45 plants into three groups, each receiving artificial nectaries containing the following compositions: control (water only), medium quality (20% sucrose, no amino acids), and high quality (20% sucrose + 3% of aminoacids). We expected that the high-quality nectaries would be able to attract aggressive ants in greater numbers enough to protect the plant from their pollinating potential. Our results showed a greater recruitment of ants in treatments with high quality EFNs, which resulted in a greater biotic defense. We conclude that extrafloral nectar is an important food resource and a determining factor for the recruitment and protection provided to plants. High quality nectaries were the most efficient in attracting ants due to the addition of amino acids, valuable resources, but difficult to access for omnivorous ants.

Keywords: Mutualism. Protection. Extrafloral Nectaries. Plants. Benefits.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Imagem aérea de um fragmento de Cerrado da reserva do Clube Caça & Pesca Itororó (CCPIU) em Uberlândia/MG. A área marcada em amarelo, indica o local de coleta dos espécimes *Byrsonima intermedia* A. Juss. (Malpighiaceae).....15
- Figura 2** –Espécies de *Byrsonima intermedia* A. Juss. (Malpighiaceae), utilizadas no estudo.....17
- Figura 3** – Adição dos conteúdos de cada tratamento envolvendo nectários artificiais confeccionados a partir de microtúbulos laboratoriais (volume de 1 ml)..... 19
- Figura 4** – Manipulação do tratamento envolvendo nectários artificiais de alta qualidade: 20% de sacarose + 3% de solução de aminoácidos (1% de glutamina, 1% de prolina e 1% de treonina) 20
- Figura 5** -Formigas alimentando-se do néctar proveniente de nectários artificiais.....23
- Figura 6** – (A) Média de formigas observadas sobre indivíduos de *Byrsonima intermedia* A. Juss. (Malpighiaceae), após instalação dos nectários artificiais: controle (apenas água), média qualidade (sacarose 20%) e alta qualidade (sacarose 20% + aminoácidos 3%). (B) Média do número de formigas atraídas em relação ao número observado antes da instalação dos nectários.....24
- Figura 7** –(A) Frequência relativa dos testes que resultaram, ou não, em ataques aos cupins. (B) Proporção relacionada à remoção ou não dos cupins observados sobre indivíduos de *Byrsonima intermedia* A. Juss. (Malpighiaceae) que não possuíam inflorescências. O tempo médio de ataque foi menor no tratamento com nectários artificiais de alta qualidade... 25
- Figura 8** – Gráfico demonstrando a média de tempo em segundos até o primeiro ataque das formigas aos cupins colocado sobre as plantas de *B. intermedia*..... 26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Recrutamento médio de formigas antes e depois da instalação dos nectários artificiais.....	23
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

NEF Nectário Extrafloral

CCPIU Clube Caça e Pesca Itororó de Uberlândia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 MATERIAL E MÉTODOS	15
2.1 LOCAL DE ESTUDO	15
2.2 OBJETO DE ESTUDO.....	16
2.3 MANIPULAÇÕES EXPERIMENTAIS.....	18
<i>2.3.1 OBSERVAÇÕES PRELIMINARES DE PLANTAS EM CAMPO</i>	18
<i>2.3.2 TESTES E EXPERIMENTAÇÕES COM NECTÁRIOS ARTIFICIAIS</i>	18
<i>2.3.3 TESTES COM CUPINS</i>	20
2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	21
3 RESULTADOS	22
3.1 ESTABELECIMENTO DOS TRATAMENTOS EXPERIMENTAIS E OBSERVAÇÃO DE FORMIGAS	22
3.2 AVALIAÇÃO DA AGRESSIVIDADE DE FORMIGAS	25
4 DISCUSSÃO	27
5 CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

As interações entre organismos vem chamando cada vez mais a atenção de pesquisadores. É fato que a maioria das espécies hoje viventes, se associam em pelo menos uma interação interespecífica ao longo de seu ciclo de vida (Bronstein et al. 2006). Espécies diferentes podem se associar para aumentar suas chances de sobrevivência, ambas provendo e recebendo benefícios, em uma relação denominada mutualismo. Essa é uma das relações ecológicas mais comuns, conspícuas e geograficamente difundidas em todos os ecossistemas terrestres (Dáttilo et al. 2009).

O mutualismo é uma relação ecológica harmônica onde ambas as espécies envolvidas obtêm benefícios. Nessa relação, o mutualismo pode ser obrigatório caso as espécies envolvidas necessitem uma da outra para sobreviver, ou facultativo, quando as espécies se beneficiam uma da outra, mas caso separadas, ainda podem sobreviver. O mutualismo é classificado em três categorias: mutualismo trófico, mutualismo defensivo (de proteção), e mutualismo dispersivo (de transporte) (Begon et al. 2007).

O mutualismo defensivo, é representado pela relação estabelecida entre espécies que recebem alimento ou abrigo de seus parceiros em troca de defendê-los contra inimigos naturais. Um exemplo dessa relação são associações entre formigas e plantas (Calixto et al. 2018).

As plantas podem apresentar diversas estruturas que beneficiam os insetos, especialmente as formigas, como um substrato para forrageio, domáceas (Benson 1985), triquílias (Gonsales et al 2002) e mais comumente os nectários extraflorais (NEFs). Os NEFs são corpúsculos que tem a capacidade de atrair formigas por meio da produção de um néctar extrafloral rico em carboidratos, aminoácidos, vitaminas, água e outros compostos orgânicos (Del-Claro et al. 2016).

As formigas precisam de uma dieta balanceada de açúcares e aminoácidos, e espécies de formigas que normalmente coletam néctar rico em carboidratos, podem exibir uma forte preferência por nectários ricos em proteínas ou aminoácidos (Kay, 2002). Evidências sugerem que o uso dos recursos nos nectários extraflorais pelas formigas, altera o seu equilíbrio ideal de proteínas e

carboidratos na dieta, o que gera uma adição maior de proteínas na alimentação. O que supre esse déficit de proteínas é proveniente do consumo de visitantes das plantas, que são possíveis predadores naturais, sendo assim aumenta a defesa biótica (Pacelhe et al. 2019).

A concentração de nutrientes dos nectários extraflorais interfere diretamente na atração e ataque das formigas diante de predadores naturais das plantas (Alves-Silva e Del-Claro 2013; Calixto et al 2020). Além disso, alguns estudos demonstram que NEFs com taxas balanceadas de nutrientes (especialmente aminoácidos e açúcares) atraem mais formigas agressivas do que aqueles contendo apenas açúcar ou apenas aminoácidos (Pacelhe et al. 2019).

De acordo com a teoria da defesa ótima, as plantas investem na proteção de estruturas, dependendo com sua importância para a mesma (Rhoades 1979). No caso de plantas com NEFs, a mesma tende a oferecer néctares que otimizem a defesa oferecida por formigas investindo em concentrações adequadas de nutrientes, especialmente sacarose (González-Teuber & Heil, 2009; Calixto et al 2020). Assim, néctares de alta qualidade são mais disputados e acabam sendo dominados por espécies de formigas mais agressivas (Dáttilo et al. 2014). Isso permite uma melhor capacidade das plantas para se protegerem da ação de herbívoros, geralmente artrópodes, reduzindo os danos causados e aumentando seu sucesso reprodutivo (Rosumek et al. 2009; Del-Claro et al 2016).

Todavia, as interações entre formigas e plantas com NEFs são dependentes de um contexto, pois nem todas as espécies vegetais com Nectários Extraflorais são beneficiadas pelas interações com formigas (Baker-Méio e Marquis 2012). Alguns estudos demonstram que a atração de espécies extremamente agressivas podem sim causar danos às plantas, pois as mesmas podem atacar ou preda potenciais polinizadores (Melati e Leal. 2018).

Visto que a qualidade do recurso afeta tanto as espécies de formigas atraídas (Pacelhe et al. 2019) que naturalmente variam em termos de agressividade, quanto seu comportamento individual (Sakata e Katayama 2001). É necessário que haja um equilíbrio na oferta de recursos, para que as plantas otimizem sua proteção, sem abrir mão da sua performance reprodutiva.

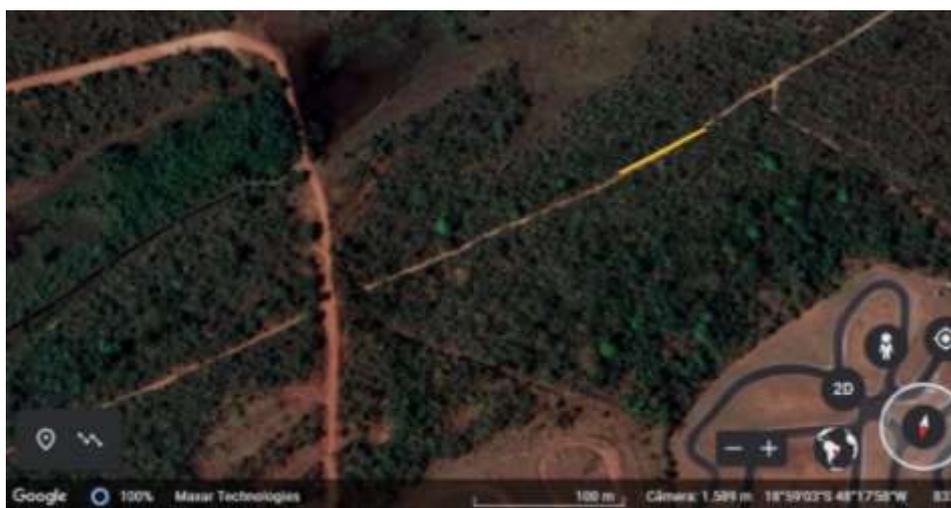
O presente estudo visou testar as interações mutualísticas entre formigas e plantas, avaliamos se os recursos alimentares energeticamente mais ricos são capazes de atrair formigas de maior agressividade. Realizamos experimentos controlados a fim de testar os efeitos da qualidade do néctar por meio da instalação de nectários artificiais em uma espécie vegetal do Cerrado. Portanto, hipotetizamos que nectários artificiais ricos em açúcares e aminoácidos seriam capazes de atrair maior quantidade de formigas agressivas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado entre agosto de 2019 e julho de 2020 e a coleta de dados em campo foi feita na reserva natural do Clube Caça e Pesca Itororó de Uberlândia (CCPIU), em Uberlândia, Minas Gerais (18° 59' S, 48° 18' W), (Figura 1). A reserva apresenta uma fitofisionomia típica de cerrado stricto sensu, com um sub-bosque predominantemente composto por arbustos, gramíneas e plantas herbáceas perenes, além de árvores entre dois e oito metros de altura.

O clima da região é dividido em duas estações predominantes: a estação chuvosa, que vigora entre outubro a março, e a estação seca, que ocorre entre abril a setembro (Alvares, Stape, Sentelhas, De Moraes Gonçalves, & Sparovek, 2013).



Fonte: Google Earth (2020).

Figura 1: Imagem aérea de um fragmento de Cerrado da reserva do Clube Caça & Pesca Itororó (CCPIU) em Uberlândia/MG. A área marcada em amarelo indica o local de coleta dos espécimes de *Byrsonima intermedia* A. Juss. (Malpighiaceae).

2.2 OBJETO DE ESTUDO

Durante o período de coleta utilizamos a planta *Byrsonima intermedia* A. Juss. (Malpighiaceae) como modelo de estudo. *Byrsonima intermedia* (Figura 2), é uma espécie comumente encontrada em ambientes semiáridos, que são caracterizados por altas temperaturas, baixa precipitação e elevadas taxas de transpiração, e também em áreas úmidas, como as florestas ripárias.

Selecionamos essa planta devido sua grande abundância, fácil manipulação e principalmente por não possuir nectários extraflorais e nem produzir néctar extrafloral, pois o intuito do nosso trabalho foi manipular as formigas por meio de nectários artificiais. Contudo *Byrsonima* apresenta elaióforos (estruturas produtoras de óleo) capazes de atrair abelhas (Villas-Boas et al. 2013).

A espécie é um arbusto de 1,4 m de altura, com flores zigomórficas, hermafroditas, pentâmeras, diurnas e sem odor perceptível (Oliveira et al., 2007). A morfologia floral é análogo às Malpighiaceae em geral: cinco sépalas com elaióforos, cinco pétalas, dez estames e três carpelos (Oliveira et al., 2007).

Produz inflorescências compostas por algumas dezenas flores amarelas, pequenas, e pode permanecer florida de agosto a março. Sua antese ocorre no início da manhã, por volta das 6h30 e pode continuar até cerca de 10h30 (Torezan-Silingardi, 2007).

A planta é herbivorada por diversos tipos de insetos como lepidópteros e coleópteros (Torezan-Silingardi 2007). Seus frutos são do tipo drupa, produzidos abundantemente durante o período chuvoso (Torezan-Silingardi 2007, Boas et al. 2013). E produzem poucas sementes, máximo de três (Souto e Oliveira 2005).



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 2: Espécies de *Byrsonima intermedia* A. Juss. (Malpighiaceae), utilizadas no estudo.

2.3 MANIPULAÇÕES EXPERIMENTAIS

2.3.1 OBSERVAÇÕES PRELIMINARES DE PLANTAS EM CAMPO

Inicialmente, observamos 45 plantas em condições naturais, sem adição de qualquer nectário artificial, das 7:40 até 11:30 h ao longo de uma semana. Durante as observações, fizemos anotações a respeito do recrutamento e riqueza de formigas visitantes e ao menos um indivíduo de cada espécie foi coletado para posterior identificação em laboratório.

2.3.2 TESTES E EXPERIMENTAÇÕES COM NECTÁRIOS ARTIFICIAIS

Após a observação das plantas em condições naturais, realizamos um teste com os nectários artificiais ao longo de mais uma semana. O intuito foi verificar a eficiência inicial dos nectários utilizados na atração de formigas e fornecer um período de tempo suficiente para que as formigas se acostumem à nova oferta de recurso, visto que *B. intermedia* não apresenta nectários extraflorais (veja Pacelhe et al. 2019). Cada uma das 45 plantas marcadas recebeu três nectários artificiais com distintas concentrações, feitos a partir de microtubos laboratoriais (volume de 1ml) (Figura 3).

A parte inferior dos microtubos foi perfurada com um alfinete, permitindo a lenta liberação de seu conteúdo. Cada planta recebeu 3 microtubos, presos a planta com auxílio de um fio de barbante, que foram colocamos arbitrariamente em cada planta, um no ramo principal (tronco) e os demais na parte medial de diferentes ramos secundários. Após instalarmos os nectários artificiais, dividimos as plantas em três tratamentos (15 plantas por tratamento) chamados de controle, média qualidade e alta qualidade.

As soluções utilizadas em cada tratamento foram baseadas nos artigos de Blüthgen et al. (2004) e Pacelhe et al. (2019). A composição química dos nectários naturais não é conhecida para plantas do Cerrado. Contudo, Blüthgen et al. (2004) oferece uma descrição detalhada da caracterização e concentração proteica dos NEFs de plantas Australianas, as quais utilizamos como base para definir as concentrações dos tratamentos.

Apesar da concentração de aminoácidos ser proporcionalmente baixa em néctares extraflorais naturais (em torno de 0,1%), utilizamos uma dosagem superior (3%) para aumentar nossas chances de detectar possíveis variações na visitação e no comportamento das formigas. Para os açúcares, utilizamos uma concentração padrão de sacarose 20%, visto que a mesma é suficiente para atrair uma quantidade satisfatória de formigas (Pacelhe et al. 2019).

Em seguida, preenchemos os nectários das plantas, estabelecemos os nectários de alta qualidade, com 20% de sacarose + 3% de solução de aminoácidos (1% de glutamina, 1% de prolina e 1% de treonina) (Figura 4), os nectários de média qualidade, com 20% de solução de sacarose (sem aminoácidos), e o controle (apenas água).

Após essa semana de testes com os nectários artificiais, utilizamos as mesmas plantas e o mesmo procedimento metodológico. Para avaliar a eficácia dos nectários artificiais sobre a atração e recrutamento de formigas, ao longo de 4 meses, de setembro a dezembro de 2019. Semanalmente, reabastecemos os nectários com suas respectivas soluções e avaliamos a presença das formigas antes e depois de cada tratamento.



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 3 – Adição dos conteúdos de cada tratamento envolvendo nectários artificiais confeccionados a partir de microtubos laboratoriais (volume de 1 ml).



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 4- Manipulação do tratamento envolvendo nectários artificiais de alta qualidade: 20% de sacarose + 3% de solução de aminoácidos (1% de glutamina, 1% de prolina e 1% de treonina).

2.3.3 TESTES COM CUPINS

Também testamos a eficiência dos tipos de nectários sobre a agressividade, observando o comportamento das formigas frente a introdução de um cupim sobre a planta. Cada planta recebeu um cupim, da espécie *Nasutitermes coxipoensis* que foi colocado na base das folhas e/ou galho a uma distância de aproximadamente 15 cm dos NEFs artificiais. Após a sua introdução, observamos o número de agressões e potenciais eventos de predação ou remoção, efetuados pelas formigas, durante um período de 10 minutos por planta estudada (veja Fagundes et al. 2017).

2.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Utilizamos análises descritivas para verificar possíveis relações entre os grupos experimentais e diversas variáveis como: o número de agressões sofridas pelos cupins, o número eventos de predação efetuados por formigas e o tempo até a remoção dos cupins sobre as plantas. Utilizamos análises de variância (ANOVA) para testar diferenças, entre os tratamentos, no recrutamento de formigas e no tempo de reação que as mesmas levaram para atacar os cupins.

3 RESULTADOS

3.1 ESTABELECIMENTO DOS TRATAMENTOS EXPERIMENTAIS E OBSERVAÇÃO DE FORMIGAS

Em condições naturais observamos poucas formigas no forrageamento das plantas. Ocasionalmente observamos formigas das espécies *Camponotus crassus* e *Ectatomma tuberculatum*. Houve um aumento na ocorrência de formigas após a instalação dos nectários, sendo *Camponotus crassus* a espécie mais observada em *B. intermedia*. (Figura 5). O número total de formigas observadas diferiu entre os tratamentos, onde foi superior no tratamento com aminoácidos, seguido pelos tratamentos açúcar e controle ($F = 105,94$, $p < 0,001$, $n = 45$; Figura 6a).

Além disso, observamos um maior número de formigas atraídas (número inicial menos final de formigas) após a instalação dos tratamentos de alta e média qualidade ($F = 113,25$, $p < 0,001$, $n = 45$; Figura 6b). Após adicionarmos os nectários de alta qualidade (20% de sacarose e 3% de aminoácidos), observamos um aumento de 197.6% na abundância de formigas em relação às plantas em condições naturais. Nos experimentos com néctares de qualidade média (20% de sacarose, mas sem aminoácidos), observamos um aumento de 59.52% na abundância de formigas após o estabelecimento dos nectários de qualidade média. Nos experimentos controle (nectários contendo apenas água) houve uma redução no número de formigas de 44.196% entre os tratamentos (Tabela 1).



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 5- Formigas alimentando-se do néctar proveniente de nectários artificiais.

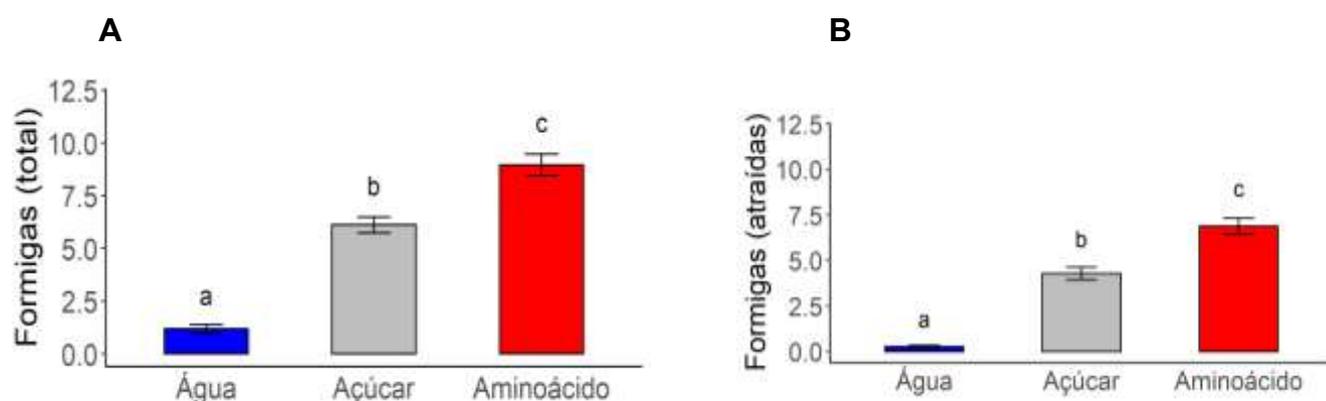


Figura 6- (A) Média de formigas observadas sobre indivíduos de *Byrsonima intermedia* A. Juss. (Malpighiaceae), após instalação dos nectários artificiais: controle (apenas água), média qualidade (sacarose 20%) e alta qualidade (sacarose 20% + aminoácidos 3%). (B) Média do número de formigas atraídas em relação ao número observado antes da instalação dos nectários. As linhas em cada barra representam o erro padrão da média

Tabela 1- Recrutamento médio de formigas antes e depois da instalação dos nectários artificiais.

TRATAMENTO	ANTES DA INSTALAÇÃO	APÓS A INSTALAÇÃO
ALTA QUALIDADE	2,94	8,75
MÉDIA QUALIDADE	3,72	6,25
CONTROLE	2,24	1,25

3.2 AVALIAÇÃO DA AGRESSIVIDADE DE FORMIGAS

Nossos testes demonstraram uma defesa das formigas em relação a presença dos cupins, e uma agressividade maior das formigas em plantas com NEFs de alta qualidade (sacarose 20% + aminoácidos 3%). Houve maior frequência relativa de ataques em plantas nos nectários de alta qualidade, onde aproximadamente 75% dos testes resultaram em ataques aos cupins (Figura 7a). Além disso, os ataques aos cupins em plantas com nectários de alta e média qualidade foram similares e resultaram, em mais de 35% dos casos, na remoção do cupim. Nas plantas controle, a remoção ocorreu em menos de 5% dos casos (Figura 7b). A média de tempo até o primeiro ataque ao cupim foi a menor nos tratamentos de alta qualidade, seguida pelos tratamentos de média qualidade e controle ($F = 44,42$, $p < 0,001$, $n = 45$; Figura 8).

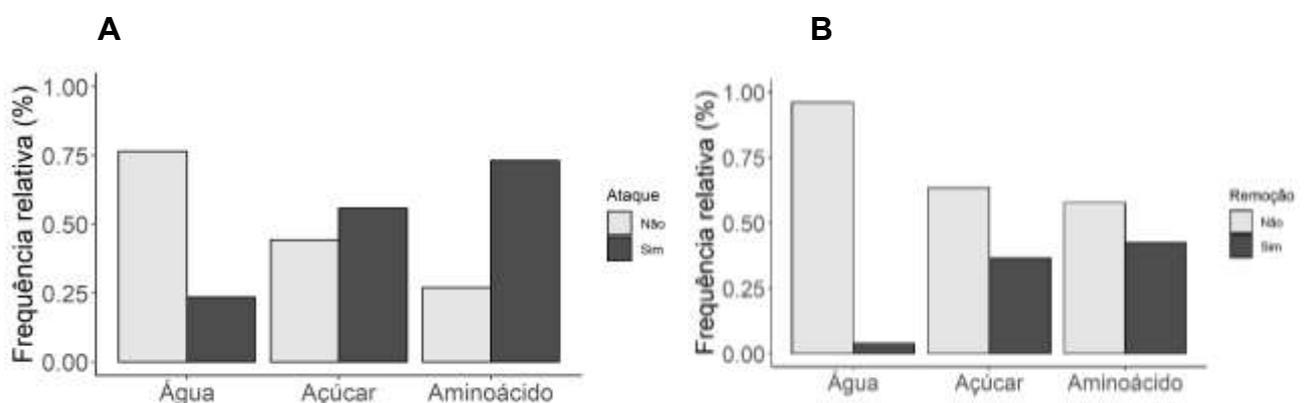


Figura 7- (A) Frequência relativa dos testes que resultaram, ou não, em ataques aos cupins. (B) Proporção relacionada à remoção ou não dos cupins observados sobre indivíduos de *Byrsonima intermedia* A. Juss. (Malpighiaceae).

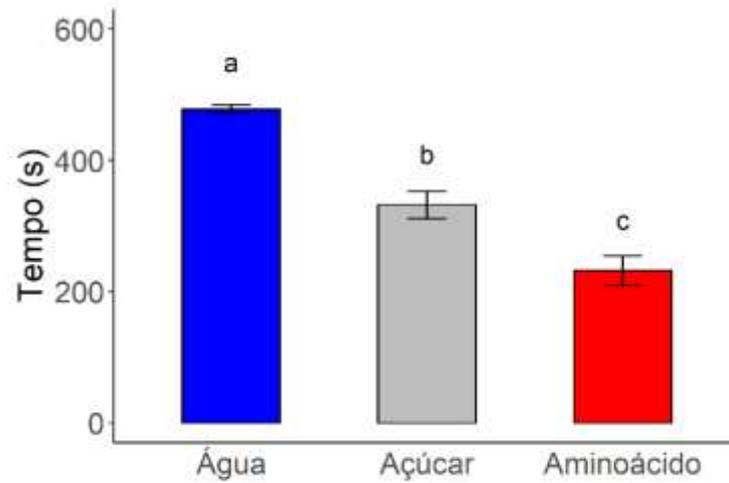


Figura 8- Média de tempo, em segundos, até o primeiro ataque das formigas aos cupins colocado sobre as plantas de *B. intermedia*. As linhas em cada barra representam o erro padrão da média.

4 DISCUSSÃO

Neste estudo corroboramos a hipótese de que néctares ricos em açúcares e aminoácidos atraem maior quantidade de formigas para plantas. Além disso, néctares de maior qualidade elevaram a defesa das plantas contra ação de herbívoros, o que foi verificado pela maior remoção de cupins nessas plantas.

A mudança no recrutamento de formigas em *B. intermedia* após a instalação dos nectários foi evidente dada a qualidade do recurso: os nectários de alta qualidade (20% sacarose + 3% aminoácidos) apresentaram um aumento na visitação de 203,06%, seguido pelos nectários de média qualidade (sacarose 20%) que apresentou 81,26% de aumento na visitação e o controle (apenas água) que demonstrou uma diminuição de visitação de 16,74%. Byk e Del-Claro (2011) demonstraram que o néctar extrafloral é uma importante fonte de recurso e aumenta expressivamente o fitness de colônias inteiras de formigas. Além disso, acreditamos que os nectários de alta qualidade foram os mais eficientes na atração de formigas devido à adição de aminoácidos, recursos valiosos porém de difícil acesso às formigas onívoras (Ness et al. 2009). Apesar de néctares ricos em aminoácidos serem energeticamente custosos para as plantas, eles podem gerar uma melhor defesa biótica.

Nos testes de avaliação da agressividade de formigas, observamos que as formigas removeram os cupins de forma mais rápida e agressiva nas plantas que possuíam nectários de alta qualidade, em comparação aos demais tratamentos. Assim como houve maior frequência relativa de ataques em plantas nos nectários de alta qualidade, onde aproximadamente 75% dos testes resultaram em ataques aos cupins. Além disso, os ataques aos cupins em plantas com nectários de alta e média qualidade resultaram, em mais de 35% dos casos, na remoção do cupim, enquanto que nas plantas controle, a remoção ocorreu em menos de 5% dos casos. Propomos que esses resultados se dão pela qualidade do néctar oferecido, capaz de aumentar o recrutamento de formigas na planta. O trabalho de Fagundes et al. (2017) demonstra como diferentes espécies de formigas atuam na proteção da planta contra herbívoros invasores, e como um maior recrutamento de formigas desempenha um melhor papel mutualístico. Aqui observamos que os cupins, de modo geral, foram

atacados por mais de uma formiga, mas elas não se alimentavam dos cupins, apenas os eliminavam da planta. Por outro lado, o baixo investimento em defesas simulado pelos grupos controle pode acarretar em altos níveis de herbivoria (Fagundes et al. 2017) e na redução do fitness vegetal. Portanto, o investimento em defesas é essencial à vida útil das plantas.

A agressividade das formigas, avaliada por meio da introdução de cupins, relacionou-se diretamente com a qualidade do recurso ofertado, onde observamos o menor tempo de remoção dos cupins nos tratamentos com nectários de alta qualidade. No trabalho de Pacelhe et al. (2019) eles realizaram testes com a introdução de cupins para averiguar, como a qualidade do néctar afeta a agressividade das formigas e a defesa biótica fornecida às plantas. Seus resultados demonstraram, que a defesa depende da qualidade da recompensa oferecida pelas plantas.

Visto que a qualidade do recurso afeta tanto as espécies de formigas atraídas (Pacelhe et al. 2019), que naturalmente variam em termos de agressividade (Sakata e Katayama 2001), é necessário que haja um equilíbrio na oferta de recursos para que as plantas otimizem sua proteção, sem abrir mão da sua performance reprodutiva. Para uma defesa ideal a qualidade do recurso deve ser intermediária: se for baixa demais, não atrairá formigas o suficiente (nem agressivas o suficiente) e, conseqüentemente, não haverá proteção efetiva. Se for alta demais, as formigas atrairão espécies excessivamente agressivas que atacarão os polinizadores da planta (Alves-Silva 2013, Fagundes et al. 2017).

O mutualismo entre insetos e plantas estão entre as interações mais estudadas pois são importantes para a compreensão da evolução das plantas. As plantas e os insetos coabitam a milhões de anos e evoluíram para uma rede de interações benéficas e malélicas, acarretando as plantas uma grande pressão evolutiva. Causada principalmente por herbívoros, que são seus predadores naturais. Devido a tal pressão as plantas evoluíram por milhões de anos para gerar mecanismos de defesa, como defesas químicas, físicas e biótica (Calixto et al, 2015).

Plantas envolvidas em relações formiga-planta estão sob seleção para evoluir também estruturas que beneficiam essa interação. Como por exemplo

pré-locais de nidificação (domáceas) formados em caules ocos, pecíolos, substrato para forrageio, pistas olfativas que são estímulos químicos (odores). E em alguns casos, a planta gera a perda de suas defesas alternativas, como produtos químicos defensivos. Portanto, os benefícios causados pela associação entre plantas produtoras de NEFs e formigas podem nos ajudar a entender sucesso evolutivo desses organismos na natureza (Del-Claro et al. 1996).

5 CONCLUSÃO

Nossos resultados demonstram o efeito da qualidade de recursos líquidos energéticos sobre a atratividade e agressividade das formigas. Nectários artificiais com componentes valiosos atuam melhor no recrutamento de formigas na planta e conseqüentemente geram uma melhor defesa contra seus predadores. Portanto, o investimento em néctar de alta qualidade pode aumentar as chances de resultados positivos na interação com as formigas e elevar as chances de sobrevivência das espécies envolvidas.

Sendo assim tornam-se necessários mais estudos para que o conhecimento acerca das relações mutualísticas seja aprofundado. A avaliação de potenciais *trade-offs* envolvendo as relações entre formigas e plantas com NEFs, por exemplo, é um interessante tema a ser explorado.

O próximo passo deste projeto é identificar as espécies de formigas coletadas e verificar suas relações com potenciais polinizadores de *B. intermedia*. Por fim, coletaremos os frutos e sementes produzidos por *B. intermedia* a fim de avaliar como as formigas atraídas por nectários de diferentes qualidades interferem em sua performance reprodutiva.

REFERÊNCIAS

- Alvares, CA, Stape, JL, Sentelhas, PC, De Moraes Gonçalves, JL, & Sparovek, G. (2013). **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, 22 (6), 711–728. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Alves-Silva, E., & Del-Claro, K. (2013). **Effect of post-fire resprouting on leaf fluctuating asymmetry, extrafloral nectar quality, and ant-plant-herbivore interactions**. Naturwissenschaften, 100(6), 525-532. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00114-013-1048-z>
- Baker-Méio, B., & Marquis, R. J. (2012). **Context-dependent benefits from ant-plant mutualism in three sympatric varieties of *Chamaecrista desvauxii***. Journal of Ecology, 100(1), 242-252. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2011.01892.x>
- Benson, W.W., 1985. **Amazon ant-plants**. In: Prance, G.T.; Lovejoy, T.E. Amazonia. Pergamon Press, Oxford, 442p.
- Begon, M., Harper, J. L., & Townsend, C.R. (2007). **Ecologia - De indivíduos a ecossistemas**. Artmed Editora. Porto Alegre, RS. 752p.
- Boas, J. C., Fava, W. S., Laroca, S., & Sigrist, M. R. (2013). **Two sympatric *Byrsonima* species (Malpighiaceae) differ in phenological and reproductive patterns**. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 208(5-6), 360-369. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2013.05.003>
- Blüthgen, N., Gottsberger, G., & Fiedler, K. (2004). **Sugar and amino acid composition of ant-attended nectar and honeydew sources from an Australian rainforest**. Austral Ecology, 29(4) 418-42. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2004.01380.x>
- Bronstein, J.L.; R. ALARCÓN & M. Geber, (2006). **The evolution of plant insect mutualisms**. New Phytologist, 172: 412-428. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01864.x>
- Byk, J; Del-Claro (2011). **Interação formiga-planta na savana neotropical: efeitos benéficos diretos do néctar extrafloral na aptidão da colônia de formigas**. Ecol, 53: 327-332. DOI: <https://doi.org/10.11606/d.59.2015.tde-15092015-223749>
- Calixto, E.S. **Interação formiga-planta: impacto da variação na oferta de nectar extrafloral sobre o forrageamento de formigas**. São Paulo, 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/d.59.2015.tde-15092015-223749>

Calixto *et al.* (2018). **An overview of ant-plant protection mutualismo.** *Oecol. Aust.* 22(4): 410–425. DOI: <https://doi.org/10.11606/d.59.2015.tde-15092015-223749>

Calixto *et al.* (2020). **Climate seasonality drives ant–plant–herbivore interactions via plant phenology in an extrafloral nectary-bearing plant Community.** *Journal of Ecology.* 2021;109:167–178. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13492/v1/review2>

Dáttilo, W., Marques, E. C., Falcão, J. C. F., & Moreira, D. D. O. (2009). **Interações mutualísticas entre formigas e plantas.** *EntomoBrasilis*, 2(2), 32-33. DOI: <https://doi.org/10.12741/ebrasilis.v2i2.44>

Dáttilo, W., Díaz-Castelazo, C., & Rico-Gray, V. (2014). **Ant dominance hierarchy determines the nested pattern in ant–plant networks.** *Biological Journal of the Linnean Society*, 113(2), 405-414. DOI: <https://doi.org/10.1111/bij.12350>

Del-Claro, K *et al.* (2016). **Loss and gains in ant–plant interactions mediated by extrafloral nectar: fidelity, cheats, and lies.** *Insectes Sociaux*, 63(2), 207-221. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00040-016-0466-2>

Del-Claro, K., Berto, V., Réu, W. (1996) **Effect of herbivore deterrence by ants on the fruit set of an extrafloral nectary plant *Qualea multiflora* (Vochysiaceae).** *Journal of Tropical Ecology*, 12,887-892. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0266467400010142>

Fagundes, R. *et al.* (2017). **Differences among ant species in plant protection are related to production of extrafloral nectar and degree of leaf herbivory.** *Biological Journal of the Linnean Society*, 122(1), 71-83. DOI: <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blx059>

Gonsales, E.M.L; Melo, F.P.L; Romero, G.Q; Mokross, K.& Menezes, S.(2002). **Controle da estrutura de colônias de formigas *Azteca alfari* (Hymenoptera, Formicidae) pela mirmecófita *Cecropia purpurascens* (Cecropiaceae),** pp. 12-24. In: *Ecologia da Floresta Amazônica 2002* (Venticinque, E.M.& Zuanon, J;org) PDBFF, Manaus. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-43922002321140>

González-Teuber, M., & Heil, M. (2009). **Nectar chemistry is tailored for both attraction of mutualists and protection from exploiters.** *Plant signaling & behavior*, 4(9), 809-813. DOI: <https://doi.org/10.4161/psb.4.9.9393>

Kay, A. (2002). **Applying optimal foraging theory to assess nutrient availability ratios for ants.** *Ecology* 83: 1935–1944. DOI: [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2002\)083\[1935:aoffta\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2002)083[1935:aoffta]2.0.co;2)

Melati, B. G., & Leal, L. C. (2018). **Aggressive bodyguards are not always the best: Preferential interaction with more aggressive ant species reduces reproductive success of plant bearing extrafloral nectaries.** *PloS one*, 13(6), e0199764. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199764>

Ness, J. H., Morris, W. F., & Bronstein, J. L. (2009). **For ant-protected plants, the best defense is a hungry offense.** *Ecology*, 90(10), 2823-2831. DOI: <https://doi.org/10.1890/08-1580.1>

Oliveira, P.S., & Marquis, R.J. (2002) **The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna.** Columbia University Press, New York. DOI: <https://doi.org/10.7312/oliv12042>

Oliveira, M.I.B.; Polido, C.A.; Costa, L.C.; Fava, W.S. (2007). **Sistema reprodutivo e polinização de *Byrsonima intermedia* A. Juss. (Malpighiaceae) em Mato Grosso do Sul, Brasil.** *Revista Brasileira de Biociências*, 5(1): 756-758. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-84042008000200002>

Pacelhe, F. T., Costa, F. V., Neves, F. S., Bronstein, J., & Mello, M. A. (2019). **Nectar quality affects ant aggressiveness and biotic defense provided to plants.** *Biotropica*, 51(2), 196-204. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.12625>

Rhoades, D. F. (1979). **Evolution of plant chemical defense against herbivores.** *Herbivores: their interaction with secondary plant metabolites*, 3-54. DOI: <https://doi.org/10.5772/67346>

Rosumek, F. B. et al. (2009). **Ants on plants: a meta-analysis of the role of ants as plant biotic defenses.** *Oecologia*, 160(3), 537-549. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00442-009-1309-x>

Sakata, H; Katayama, N. (2001). **Ant defence system: a mechanism organizing individual responses into efficient collective behavior.** *Ecological Research*, 16(3),395-403. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1440-1703.2001.00404.x>

Souto, L. S., & Oliveira, D. M. T. (2005). **Morfoanatomia e ontogênese do fruto e semente de *Byrsonima intermedia* A. Juss.(Malpighiaceae).** *Brazilian Journal of Botany*, 28(4), 697-712. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-84042005000400005>

Torezan-Silingardi, H. M. (2007). **A influência dos herbívoros florais, dos polinizadores e das características fenológicas sobre a frutificação de espécies da família Malpighiaceae em um cerrado de Minas Gerais.** Tese (Doutorado em Entomologia). Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto, 182 p.