

IMPORTÂNCIA DAS CACTÁCEAS NA MANUTENÇÃO DA FAUNA EM AMBIENTES SEMIÁRIDOS: REVISÃO

Bruno Gomes de Oliveira¹, Williany Gomes Leal², Vênia Camelo de Souza³

¹ Universidade Federal da Paraíba, Bananeiras, Brasil (bg050418@gmail.com)

² Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil

³ Universidade Federal da Paraíba, DCBS/CCHSA, Bananeiras, Brasil

Resumo: Esta revisão avaliou o papel das cactáceas na manutenção da fauna em ambientes semiáridos. Devido ao metabolismo CAM e parênquima aquífero, essas plantas atuam como engenheiras de ecossistemas e espécies-chave, mitigando a escassez estacional. Promovem subsídio trófico contínuo, estruturam micro-habitats térmicos e coordenam redes mutualísticas de dispersão por endozocoria e mirmecocoria. Conclui-se que sua conservação é estratégica para a resiliência biótica frente às pressões antrópicas.

Palavras-chave: Biologia da conservação; Engenharia de ecossistemas; Mutualismo; Redes tróficas.

INTRODUÇÃO

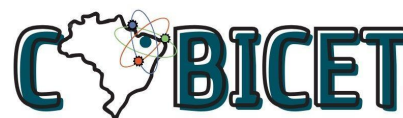
Os ambientes semiáridos constituem ecossistemas de singular relevância ecológica, caracterizados por precipitações irregulares, elevadas temperaturas e déficit hídrico pronunciado. Nessas condições de extrema restrição ambiental, a família Cactaceae se destaca como um dos grupos taxonômicos de maior expressividade estrutural e funcional. As cactáceas, junto a agaves e outros xerófitos, representam espécies-chave em ecossistemas áridos e semiáridos do continente americano, distribuindo-se desde o sudoeste do Canadá até o sul da Argentina. A diversidade morfológica e ecológica do grupo é notável: a família compreende aproximadamente 1.400 a 1.800 espécies descritas no mundo, sendo o México o país com maior diversidade, com 52 gêneros e 850 espécies, das quais cerca de 84% são endêmicas (Fonseca-García *et al.*, 2016).

No contexto do Semiárido brasileiro, representado sobretudo pela Caatinga, único bioma exclusivamente nacional, as cactáceas assumem papel ecológico multifacetado que extrapola sua mera presença como elemento fitofisionômico. As cactáceas são consideradas recursos-chave para os vertebrados frugívoros da Caatinga, funcionando simultaneamente como fonte de alimento, abrigo, sítio reprodutivo e recurso hídrico para vertebrados e invertebrados ao longo de todo o ciclo anual, inclusive durante os períodos críticos de estiagem. Evidências recentes reforçam essa centralidade ecológica: em estudo que monitorou a frugivoria em cinco espécies de cactáceas na Caatinga ao longo de 2.929 câmara-dias, foram registradas 23 espécies de vertebrados se alimentando de frutos de cactos, todas

determinadas como dispersoras primárias de sementes, demonstrando a amplitude e a estruturação das redes de interação mediadas por essas plantas (Santos *et al.*, 2019; Paixão *et al.*, 2023).

Do ponto de vista funcional, as cactáceas atuam como verdadeiros engenheiros de ecossistemas, modulando a disponibilidade de recursos bióticos e abióticos em seu entorno imediato. Os resultados de estudos recentes corroboram a proposição de que as cactáceas são espécies-chave em ecossistemas semiáridos, onde produzem frutos carnosos com sementes pequenas ao longo de todo o ano. A altura das plantas, por exemplo, determina a estrutura modular das interações: as espécies de menor porte formam módulos dominados por interações com répteis e mamíferos não voadores, enquanto as espécies de maior porte são dominadas pela frugivoria de aves. No campo das interações mutualísticas com polinizadores, uma melhor compreensão das interações ecológicas de polinização poderia subsidiar medidas de manejo para fortalecer a biodiversidade e a sustentabilidade agrícola em terras áridas e marginais (Tenorio-Escandón *et al.*, 2022).

A urgência científica e conservacionista em torno das cactáceas intensificou-se diante das pressões antrópicas crescentes sobre esses organismos. A primeira avaliação global abrangente da família Cactaceae demonstrou que 31% das 1.478 espécies avaliadas estão ameaçadas de extinção, colocando as cactáceas entre os grupos taxonômicos mais ameaçados já avaliados pela IUCN, situação mais crítica do que a registrada para mamíferos e aves. As pressões se diversificam e se intensificam com as



mudanças climáticas globais: superimpostas às condições já estressantes em que muitas cactáceas prosperam, estão ameaças decorrentes do comércio ilegal de plantas e sementes, do desmatamento intensivo, da introdução de espécies exóticas invasoras, da maior exposição a incêndios e das mudanças climáticas, com impactos potencialmente dramáticos sobre diversas espécies. As cactáceas são amplamente reconhecidas por seu valor cultural, econômico e ecológico, mas também figuram como um dos grupos taxonômicos mais ameaçados e em perigo do planeta (Goettsch *et al.*, 2015; Hultine *et al.*, 2023).

A perda dessas espécies-chave pode desencadear efeitos em cascata sobre as redes tróficas e sobre as populações faunísticas que delas dependem diretamente, comprometendo serviços ecossistêmicos essenciais em biomas semiáridos. A perda das cactáceas poderia ter consequências de longo alcance para a diversidade e a ecologia das terras áridas, bem como para as comunidades locais que dependem de frutos e caules coletados da natureza. Apesar da crescente produção científica sobre a ecologia dessas regiões, os estudos que abordam de forma integrada o papel das cactáceas na manutenção da fauna ainda se apresentam de maneira fragmentada na literatura, com lacunas notórias no que concerne às interações interespecíficas mediadas por essas plantas em distintos grupos taxonômicos faunísticos (Gomes *et al.*, 2017).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo sistematizar e analisar as interações entre cactáceas e fauna em ambientes semiáridos, contribuindo para a compreensão dos mecanismos que sustentam a biodiversidade e subsidiando estratégias de conservação fundamentadas em abordagens ecossistêmicas.

METODOLOGIA

A metodologia adotada para este estudo consistiu em uma revisão abrangente da literatura científica publicada entre os anos de 2015 e 2025, com foco no papel das cactáceas na manutenção da fauna em ambientes semiáridos. O recorte temporal foi definido em razão do aumento significativo das pesquisas ecológicas e da relevância crescente das discussões sobre conservação da biodiversidade em regiões semiáridas no período considerado.

Foram realizadas buscas sistemáticas nas principais bases de dados internacionais e nacionais, incluindo Google Scholar, *Science Direct*, *Web of Science* (WoS), *Elsevier*, *Scopus* e periódicos acessados por meio da plataforma da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). A seleção dessas fontes se justifica pela ampla cobertura de publicações científicas e pela

relevância para pesquisas multidisciplinares envolvendo ecologia, botânica e zoologia.

A estratégia de busca foi estruturada a partir de descritores e palavras-chave em português e inglês, combinados com operadores booleanos, de modo a ampliar a abrangência dos resultados. Em português, os termos empregados foram: *Cactaceae*, cactáceas, semiárido, fauna, interações ecológicas, recursos alimentares, conservação e ecossistemas áridos. Em inglês, foram utilizados os equivalentes: *Cactaceae*, cacti, semiarid, fauna, ecological interactions, food resources, conservation e arid ecosystems. Essa abordagem, aplicada de maneira rigorosa, possibilitou a inclusão de estudos publicados em diferentes contextos acadêmicos e ampliou a representatividade da revisão, garantindo maior robustez e consistência na análise crítica da produção científica sobre o papel das cactáceas na manutenção da fauna em ambientes semiáridos.

Os critérios de inclusão contemplaram estudos que abordassem direta ou indiretamente a relação entre cactáceas e fauna em ambientes semiáridos, especialmente no que se refere a aspectos de alimentação, abrigo, dispersão de sementes e manutenção da biodiversidade. Foram excluídos trabalhos fora do recorte temporal, pesquisas realizadas em ambientes não semiáridos e publicações sem relevância ecológica para o tema.

O processo de análise envolveu três etapas principais: (i) triagem inicial de títulos e resumos, (ii) leitura completa dos artigos selecionados e extração sistemática de dados, (iii) registrando informações como autor, ano, local do estudo, espécies de cactáceas investigadas, grupos faunísticos associados e (iv) principais interações ecológicas descritas. Posteriormente, os resultados foram organizados em categorias temáticas, alimentação, abrigo, dispersão e conservação, permitindo uma síntese crítica e comparativa entre diferentes regiões semiáridas.

Para assegurar transparência metodológica, foram contabilizados os números de artigos em cada etapa do processo. Inicialmente, foram identificadas 152 produções científicas nas bases consultadas. Após a aplicação dos critérios de elegibilidade, 42 estudos cumpriram integralmente os requisitos e foram incorporados à análise qualitativa final. Esse detalhamento quantitativo reforça a consistência e a confiabilidade da revisão, evitando lacunas metodológicas e garantindo maior robustez às conclusões apresentadas.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

FUNÇÃO TRÓFICA DAS CACTÁCEAS NA SUSTENTAÇÃO DA FAUNA SEMIÁRIDA

A dinâmica trófica de ambientes semiáridos é intrinsecamente governada pela severa



estacionalidade climática e pela ocorrência de secas prolongadas, fatores que limitam severamente a produtividade primária líquida da vegetação caducifólia. Nesse cenário de extrema restrição ecológica, as espécies da família Cactaceae emergem como componentes vitais para a sobrevivência da fauna local, atuando como verdadeiros oásis de recursos nutricionais e hídricos. O metabolismo Ácido Crassuláceo (CAM), compartilhado por esse grupo vegetal, confere-lhes uma notável eficiência no uso da água, permitindo a manutenção de tecidos túrgidos e altamente hidratados mesmo quando o solo atinge o ponto de murcha permanente. Dessa forma, a biomassa vegetal das cactáceas atua como um subsídio contínuo que amortece os impactos da escassez estacional sobre as teias alimentares (Lina; Eloisa, 2018).

O parênquima aquífero presente nos cladódios e caules colunares representa a principal, e muitas vezes a única, reserva de água facilmente acessível para uma ampla gama de vertebrados durante o auge do período de estiagem. Estudos cinéticos e nutricionais publicados na última década demonstram que esses tecidos vegetativos oferecem não apenas hidratação, mas também carboidratos estruturais e minerais essenciais, como cálcio e magnésio, indispensáveis para o metabolismo animal. Ruminantes silvestres, roedores xerofílicos e lagartos omnívoros desenvolveram adaptações comportamentais complexas para superar as defesas mecânicas dessas plantas, tais como espinhos e gloquídeos densos, conseguindo perfurar o córtex lignificado para acessar o miolo macio e úmido. Esse consumo herbívoro direcionado funciona como um mecanismo regulador crucial que impede o colapso demográfico de várias populações animais durante secas plurianuais (Li *et al.*, 2025).

Além do papel vital dos tecidos vegetativos, os recursos reprodutivos das cactáceas exercem uma atração desproporcional sobre as guildas de polinizadores e frugívoros devido à sua sincronia fenológica adaptativa. Enquanto a maior parte das angiospermas arbóreas do semiárido cessa a atividade reprodutiva e perde suas folhas na estação seca, muitas cactáceas colunares e globosas exibem picos de floração e frutificação justamente nos meses mais áridos. Essa assincronia estratégica em relação à floração da paisagem circundante cria uma janela de oportunidade trófica previsível no tempo e no espaço. Consequentemente, animais de alta mobilidade espacial dependem criticamente desse fluxo de energia estável para manter suas atividades metabólicas e reprodutivas básicas ao longo do ano (Martins *et al.*, 2022).

O néctar produzido pelas flores de Cactaceae é reconhecido na literatura recente como um recurso energético de altíssima qualidade, caracterizado por

elevados volumes e concentrações ótimas de açúcares solúveis, como a frutose e a glicose. Esta recompensa floral sustenta uma guilda especializada de polinizadores noturnos e diurnos, com destaque para os morcegos nectarívoros da subfamília Glossophaginae e mariposas da família Sphingidae. Esses polinizadores dependem criticamente do néctar de cactáceas colunares para suprir as demandas energéticas proibitivas associadas ao voo batido contínuo (Martins *et al.*, 2019). Paralelamente, durante o dia, o pólen proteico remanescente e o néctar residual são intensamente explorados por uma rica diversidade de abelhas nativas solitárias e sociais, que utilizam esse insumo para garantir o recrutamento e a estabilidade de suas colônias.

No que tange à frutificação, as cactáceas geram bagas carnosas cujas polpas são ricas em água, glicídios de fácil assimilação e compostos bioativos, como betalainas e polifenóis de ação antioxidante. Esse perfil nutricional atua diretamente na osmorregulação e na mitigação do estresse oxidativo de vertebrados que sofrem com a radiação solar intensa das regiões semiáridas. A avifauna, representada por passeriformes de pequeno porte e columbiformes, adota os frutos de cactáceas como o pilar central de sua dieta estival, convertendo esses recursos em gordura metabólica necessária para a manutenção de suas funções vitais. A constância e a abundância da produção desses frutos transformam as agregações de cactáceas em pontos focais de forrageamento, onde a competição interespecífica é frequentemente mediada pela fatura do recurso (Santos *et al.*, 2019).

A importância dos frutos estende-se igualmente aos mamíferos de médio e pequeno porte, incluindo primatas endêmicos do semiárido, como os saguis, e carnívoros oportunistas que expandem seu nicho trófico em direção à frugivoria na ausência de presas habituais. Lagartos de diversas famílias também convergem para a base das cactáceas para consumir os frutos que caem naturalmente ou que são derrubados pela atividade de aves e mamíferos arbóreos. Essa transferência de energia vertical do dossel reprodutivo da planta para o solo, cria uma teia secundária de decompositores e predadores terrestres, incluindo formigas e pequenos artrópodes, que se beneficiam dos restos de polpa. Desse modo, o fruto funciona como um integrador trófico multiespacial, conectando a fauna aérea, arbórea e de solo (Werneck *et al.*, 2015).

As formigas desempenham um papel secundário, porém altamente significativo, na ecologia trófica das cactáceas através da exploração de nectários extraflorais presentes em algumas espécies, estabelecendo uma linha contínua de defesa e nutrição. Esses nectários secretam gotas ricas em aminoácidos que atraem colônias inteiras de formigas agressivas, as quais patrulham a superfície da planta



em busca de herbivoridade por invertebrados para alimentar suas larvas. Essa interação remove lagartas e besouros fitófagos que poderiam comprometer a integridade do cladódio, demonstrando como os recursos tróficos das cactáceas são estrategicamente distribuídos para regular a própria comunidade biótica ao redor. O fluxo energético gerado por essa secreção constante sustenta populações densas de insetos sociais que, de outro modo, sofreriam severo declínio populacional (Dáttilo *et al.*, 2015).

Análises isotópicas e de redes complexas de interações realizadas entre 2015 e 2025 confirmam que a remoção experimental ou a perda local de populações de cactáceas resulta em uma simplificação drástica das teias alimentares no semiárido. Sem a presença desse componente vegetal, as taxas de conectância e a resiliência das redes tróficas despenham, evidenciando o caráter insubstituível dos recursos providos por esse grupo taxonômico. A estabilidade das comunidades de vertebrados e invertebrados superiores em anos de seca extrema está diretamente atrelada à robustez demográfica das cactáceas, que funcionam como verdadeiras redes de segurança ecológica contra a inanição e a desidratação em massa (Siyum, 2020).

Desta maneira, cabe ressaltar que a função trófica das cactáceas não se limita à porção viva da planta; os detritos e a matéria orgânica em decomposição oriundos de cladódios senescentes enriquecem o solo subjacente de forma substancial. Esse aporte de matéria orgânica estruturada atrai uma macrofauna de detritívoros, como isópodes e larvas de coleópteros, que iniciam a ciclagem de nutrientes em microhabitats sombreados. A quebra dessa matéria vegetal libera umidade e compostos nitrogenados no substrato, alimentando microrganismos e pequenos invertebrados fossoriais que sustentam anfíbios fossoriais e pequenos lagartos. Assim, o ciclo trófico da cactácea se fecha perpetuando o fluxo de energia nos níveis mais basais da fauna edáfica do ambiente semiárido (Lopes *et al.*, 2018).

ESTRUTURAÇÃO DE MICRO-HABITATS E OFERTA DE REFÚGIO

A arquitetura morfológica singular das cactáceas, marcada por caules colunares ramificados, texturas costeladas, coroas globosas e densas malhas de espinhos, confere a essas plantas uma capacidade excepcional de engenharia de ecossistemas. No ambiente semiárido, caracterizado por temperaturas de solo que frequentemente ultrapassam os 50°C e por uma radiação solar direta implacável, a estrutura física de uma cactácea atua como um modificador microclimático severo. Ao interceptar a luz solar e reduzir a velocidade do vento local, essas plantas geram micro-habitats caracterizados por temperaturas significativamente mais amenas e taxas de umidade

relativa do ar mais elevadas em comparação com a matriz de solo exposto. Esse fenômeno cria refúgios térmicos essenciais para a homeostase e a sobrevivência da fauna ectotérmica e endotérmica (Aguirre *et al.*, 2020).

A complexidade estrutural fornecida pelos espinhos e gloquídeos funciona como uma barreira física quase intransponível contra predadores de grande porte, transformando o interior das cactáceas em zonas de exclusão e refúgio seguro. Pequenos pássaros, lagartos, roedores e uma infinidade de invertebrados utilizam ativamente o espaço entre os espinhos para escapar de perseguições aéreas ou terrestres, aproveitando a proteção mecânica da planta hospedeira. Esse espaço protegido reduz consideravelmente o risco de predação percebido pela fauna, alterando positivamente o chamado "cenário de medo" no ecossistema e permitindo que espécies vulneráveis realizem atividades de descanso, termorregulação e cuidados parentais com menor dispêndio energético. A densidade e o arranjo dos espinhos determinam diretamente o tamanho do corpo dos animais que podem ocupar esses refúgios, promovendo uma segregação de nicho baseada na morfometria faunística (Crofts; Anderson, 2018).

Além da proteção perimetral, as cactáceas de grande porte, especialmente as espécies colunares, oferecem substratos verticais indispensáveis para a construção de ninhos por uma vasta guilda de aves da fauna semiárida. Espécies das famílias Troglodytidae, Furnariidae e Columbiformes aproveitam as bifurcações dos ramos ou a proteção espinhosa do topo dos cladódios para ancorar suas estruturas reprodutivas, isolando seus ovos e filhotes de predadores escansoriais como serpentes e pequenos mamíferos. A estabilidade mecânica dos caules colunares garante que os ninhos resistam às fortes rajadas de vento comuns nas tardes dos ambientes semiáridos. A escolha preferencial por cactáceas como sítios de nidificação está diretamente correlacionada com o aumento substancial do sucesso de reprodução e recrutamento dessas aves (Buhler *et al.*, 2023).

Um dos aspectos mais fascinantes da oferta de refúgio em cactáceas é a criação de cavidades internas nos caules de indivíduos senescentes ou maduros, frequentemente iniciadas por aves piciformes (pica-paus) e expandidas por processos naturais de decomposição controlada. Essas cavidades funcionam como habitats críticos de nidificação secundária e abrigos diurnos ou noturnos para uma diversidade impressionante de espécies que carecem da capacidade de escavar seus próprios abrigos. Pequenos mamíferos, incluindo marsupiais endêmicos, roedores e uma rica assembléia de morcegos insetívoros e nectarívoros, colonizam essas fendas internas para escapar do estresse térmico



diurno e para parir suas ninhadas em ambientes protegidos. Microanálises climáticas revelam que o interior dessas cavidades mantém uma estabilidade térmica impressionante, amortecendo as flutuações extremas de temperatura externa entre o dia e a noite (Lindow -López *et al.*, 2018).

Para a fauna de répteis ectotérmicos, como lagartos das famílias Tropiduridae e Teiidae, as cactáceas funcionam como estações de termorregulação de alta precisão. Durante as primeiras horas da manhã, esses animais escalam os cladódios orientados a leste para maximizar o ganho de calor solar e atingir rapidamente a temperatura corporal ideal para a atividade de forrageio. À medida que a radiação se intensifica ao meio-dia, os mesmos lagartos migram para as fendas sombreadas formadas pelas costelas do caule ou se refugiam na projeção de sombra na base da planta, onde a perda de água por evapotranspiração é minimizada. Essa alternância comportamental microscópica, facilitada pela geometria tridimensional da cactácea, permite que os répteis estendam consideravelmente seu período diário de atividade sem atingir limiares térmicos letais (Strangas *et al.*, 2018).

A base das cactáceas, caracterizada pelo acúmulo de serapilheira protegida e pela deposição de umidade condensada que escorre pelos caules (escoamento caulinar ou *stemflow*), abriga uma comunidade edáfica altamente especializada e vulnerável à dessecação. Anfíbios anuros de hábitos semi fossoriais utilizam a terra fofa e sombreada sob as cactáceas para se enterrarem durante os meses de seca extrema, entrando em estiva biológica em microambientes onde a umidade residual do solo persiste por semanas a mais do que nas áreas abertas. Esse bolsa de umidade subsuperficial é mantido pela redução drástica da evaporação direta do solo sob a copa da planta, consolidando a cactácea como uma guardiã da umidade edáfica indispensável para a persistência da fauna de pele permeável no semiárido (Sun *et al.*, 2023).

No nível dos invertebrados, a complexidade estrutural das cactáceas sustenta comunidades hiperdiversas de aracnídeos, insetos e gastrópodes que exploram nichos específicos ao longo do gradiente vertical da planta. Aranhas tecelãs utilizam os espinhos adjacentes como pontos de ancoragem ideais para suas teias tridimensionais, maximizando a captura de insetos voadores que são atraídos pelas flores ou frutos da planta. Cochonilhas, besouros fitófagos e percevejos habitam as depressões das costelas, alimentando-se da seiva ou do tecido epidérmico e servindo, por sua vez, de base alimentar para uma guilda de predadores invertebrados que patrulham a planta. Esse arranjo espacial hierarquizado demonstra que a cactácea atua como um arquipélago biótico em miniatura, onde cada

microfenda suporta uma assembléia ecológica distinta (Mendes *et al.*, 2018).

Durante os episódios ocasionais de incêndios florestais ou queimadas de manejo agrícola que assolam os ambientes semiáridos, as cactáceas suculentas, devido ao seu altíssimo teor de água interno, demonstram uma resistência notável ao fogo e raramente queimam por completo. Essa propriedade física transforma essas plantas em "refúgios contra o fogo" de curto prazo para animais lentos ou de baixa mobilidade, que encontram na base ou no topo dessas plantas um escudo temporário contra as frentes de chama e o calor radiante extremo. A sobrevivência imediata desses pequenos vertebrados e invertebrados permite a rápida recolonização da matriz queimada adjacente após a passagem do fogo, acelerando os processos de sucessão ecológica e a restauração da integridade faunística da paisagem afetada (Souza-Alonso *et al.*, 2022).

Em suma, a estruturação de micro-habitats exercida pelas cactáceas atua como um mecanismo contracíclico fundamental que estabiliza a heterogeneidade ambiental em macroescala. Ao quebrar a homogeneidade térmica e hídrica do semiárido, essas plantas garantem a coexistência de espécies com diferentes tolerâncias fisiológicas, expandindo significativamente a capacidade de suporte de carga do ecossistema. A perda dessas estruturas arquitetônicas complexas, seja por desmatamento ou sobrepastoreio, resulta na homogeneização biótica da paisagem, eliminando os refúgios vitais e precipitando a extinção local de espécies faunísticas dependentes desse zoneamento microclimático protetivo (Mugnai *et al.*, 2023).

INTERAÇÕES MUTUALÍSTICAS E DINÂMICA DA DISPERSÃO DE SEMENTES

As interações mutualísticas estabelecidas entre as cactáceas e a fauna do Semiárido constituem um dos pilares mais sofisticados da coevolução ecológica em ecossistemas de estresse hídrico, estruturando redes de dispersão de sementes cruciais para a regeneração da paisagem. O processo de dispersão por endozoocoria, onde os animais consomem os frutos carnosos e eliminam as sementes viáveis nas fezes, representa o principal mecanismo de propagação a longa distância para a maioria das espécies da família Cactaceae. Essa relação de troca mútua garante à fauna o acesso a um recurso nutricional denso e altamente hidratado, enquanto confere à planta a oportunidade de colonizar novos habitats e escapar da competição intraespecífica severa que ocorre sob a planta-mãe (Granzow-de La Cerda *et al.*, 2016).

As aves frugívoras destacam-se como os principais vetores de dispersão biótica de Cactaceae, operando em escalas espaciais amplas devido à sua capacidade



de vôo e padrões de movimentação diária entre fragmentos vegetais. Ao ingerirem os pequenos frutos, o trato digestivo dessas aves realiza uma escarificação química suave no tegumento das sementes, um processo que quebra a dormência fisiológica sem danificar o embrião interno. Estudos experimentais recentes comprovam que sementes de cactáceas que passaram pelo trato gastrointestinal de passeriformes exibem taxas de germinação significativamente mais velozes e maiores porcentagens de sucesso do que aquelas extraídas manualmente de frutos maduros. Esse incremento na velocidade de germinação é vital no semiárido, onde as janelas de umidade no solo após as chuvas são curtas e altamente efêmeras (Jarrar *et al.*, 2023).

A deposição espacial das sementes pelas aves não ocorre de forma aleatória na paisagem, mas segue um padrão direcionado que beneficia crucialmente o estabelecimento das plântulas de cactáceas. Aves frequentemente defecam enquanto estão pousadas em galhos de arbustos ou árvores lenhosas perenifólias, locais que utilizam como sítios de descanso, vigilância contra predadores ou digestão. Arbustos e árvores lenhosas atuam como plantas-enfermeiras, gerando um microambiente sombreado, com maior retenção de umidade no solo e enriquecido pelo aporte de nutrientes da queda de suas próprias folhas. A deposição de sementes de cactáceas especificamente nesses microhabitats protegidos eleva exponencialmente as chances de sobrevivência da plântula nas fases iniciais de desenvolvimento, as quais são extremamente vulneráveis ao estresse térmico e à dessecação solar (Londei *et al.*, 2021).

Em paralelo ao papel das aves, a mastofauna xerofítica, incluindo pequenos roedores, marsupiais e carnívoros omnívoros (como a raposa-do-campo), desempenha uma função complementar e igualmente vital na dinâmica de dispersão. Embora alguns roedores atuem inicialmente como predadores de sementes ao triturá-las com seus dentes incisivos, muitos realizam o comportamento de discoria (*scatterhoarding*), que consiste em enterrar pequenos estoques de sementes em locais dispersos como reserva para períodos de extrema escassez. Muitas dessas sementes enterradas terminam sendo esquecidas ou os animais predados antes do consumo, deixando as sementes plantadas em profundidades ideais no solo, prontas para germinar com as primeiras chuvas sazonais. Esse mutualismo condicional ilustra a sutil fronteira entre a predação e a dispersão efetiva de sementes (Bogdziewicz *et al.*, 2019).

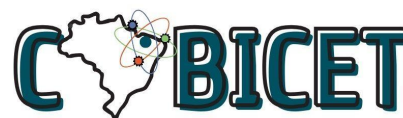
Os lagartos frugívoros, pertencentes à guilda de répteis terrestres e semiarbóreos, configuram outra classe essencial de dispersores, operando em uma escala espacial mais restrita, porém altamente refinada. Esses répteis consomem intensamente os

frutos de cactáceas globosas de pequeno porte (como as do gênero *Melocactus*), cujos frutos são expostos gradualmente em uma estrutura especializada chamada cefálio. Ao defecarem ao longo de suas trilhas de forrageio terrestres, muitas vezes em fendas de rochas ou lajedos de pedra onde outras plantas não conseguem se fixar, os lagartos depositam as sementes em nichos de colonização primária ideais para o desenvolvimento de cactáceas rupícolas. A passagem das sementes pelo sistema digestivo do réptil também remove substâncias inibidoras de germinação presentes na polpa do fruto, otimizando o vigor da futura plântula (Gomes *et al.*, 2021).

Após a dispersão primária realizada por vertebrados, ocorre frequentemente um processo essencial de dispersão secundária mediada por formigas (mirmecocoria). Muitas sementes de cactáceas possuem apêndices ricos em lipídeos ou mantêm restos de polpa açucarada aderidos ao seu tegumento após a ejeção nas fezes dos vertebrados. Formigas granívoras e omnívoras detectam esses sinais químicos e transportam as sementes para o interior de seus ninhos subterrâneos para alimentar suas larvas com as porções nutritivas periféricas, mantendo o embrião intacto. Uma vez consumidas as partes de interesse, as formigas descartam as sementes limpas em suas câmaras de lixo internas ou nos montes de rejeito na entrada do formigueiro, ambientes extremamente ricos em nitrogênio e matéria orgânica decomposta, que funcionam como berçários de alta fertilidade (Suetsugu, 2015).

As redes de dispersão de sementes envolvendo cactáceas são caracterizadas por um elevado grau de aninhamento e redundância funcional, propriedades estruturais que conferem alta estabilidade e resiliência à comunidade biótica do semiárido. Isso significa que mesmo que uma espécie específica de ave ou mamífero sofra um declínio populacional acentuado devido a perturbações antrópicas, outras espécies parceiras na rede continuam a dispersar as sementes das cactáceas, evitando o colapso do mutualismo e garantindo o fluxo gênico entre populações vegetais isoladas. Essa resiliência estrutural é uma salvaguarda evolutiva crucial em ambientes propensos a flutuações climáticas drásticas e imprevisíveis (Wang *et al.*, 2023).

Contudo, pesquisas recentes indicam que as taxas de eficiência desse mutualismo são fortemente influenciadas pela fragmentação de habitats e pela perda de cobertura da vegetação nativa. Quando as plantas-enfermeiras são removidas para dar lugar a pastagens ou monoculturas, a eficácia do processo de dispersão direcionada cai severamente, pois as sementes passam a ser depositadas em solos expostos e degradados, onde a radiação solar direta inviabiliza a germinação ou provoca a morte térmica precoce das plântulas. A interrupção desse ciclo de facilitação



biótica e mutualismo compromete a dinâmica de regeneração natural a longo prazo, evidenciando que a conservação das cactáceas não pode ser dissociada da manutenção de seus parceiros animais (Verwijmeren *et al.*, 2019).

Desta forma, as interações mutualísticas ligadas à dispersão de sementes estabelecem uma intrincada engrenagem de retroalimentação positiva que sustenta a resiliência ecológica do semiárido. As cactáceas financiam o deslocamento e a sobrevivência da fauna por meio de recompensas calóricas e hídricas insuperáveis, enquanto a fauna atua como a força motriz que redesenha a distribuição espacial dessas plantas na paisagem. Compreender a complexidade e os limiares de ruptura dessas redes mutualísticas tem se consolidado como uma das linhas de pesquisa mais críticas e urgentes para o delineamento de estratégias eficazes de restauração ecológica e conservação da biodiversidade nos trópicos secos (Cai *et al.*, 2020).

CACTÁCEAS COMO ESPÉCIES-CHAVE NA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE SEMIÁRIDA

O conceito de espécie-chave (*keystone species*) aplica-se com precisão rigorosa à família Cactaceae dentro do contexto dos biomas semiáridos mundiais, uma vez que a influência ecológica desse grupo vegetal sobre a estrutura da comunidade biótica é desproporcionalmente maior do que a sua abundância relativa ou biomassa total na paisagem. As cactáceas operam como nós de alta centralidade em redes complexas de interações ecológicas, interconectando múltiplos níveis tróficos, desde polinizadores microscópicos até grandes predadores que dependem indiretamente da fauna herbívora sustentada por essas plantas. A presença sustentada de populações viáveis de cactáceas funciona como um amortecedor ecológico universal, estabilizando os processos ecossistêmicos essenciais diante das severas flutuações e estresses climáticos inerentes às regiões semiáridas (Cenci *et al.*, 2018).

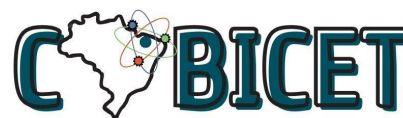
A literatura científica consolidou o entendimento de que a perda ou a exclusão de cactáceas provoca cascatas de extinção secundária em múltiplos grupos taxonômicos associados. Devido à sua natureza insubstituível como provedoras de água metabólica e abrigo térmico no auge das secas, a remoção experimental ou o declínio demográfico dessas plantas desencadeia um efeito dominó *bottom-up*, desestabilizando primeiro as guildas de frugívoros e polinizadores obrigatórios ou facultativos. O colapso dessas populações animais propaga-se rapidamente para os níveis tróficos superiores, afetando aves de rapina, répteis carnívoros e mamíferos predadores que enfrentam a escassez de suas presas habituais. Assim, a integridade de toda a fauna semiárida está

umbilicalmente vinculada à persistência dessas plantas suculentas (Sanders *et al.*, 2018).

Sob a ótica da biologia da conservação moderna, as cactáceas preenchem com perfeição os critérios para serem classificadas simultaneamente como espécies-guarda-chuva (*umbrella species*) e espécies-bandeira (*flagship species*). Ao desenhar e implementar unidades de conservação focadas na proteção de áreas com alta densidade e diversidade de cactáceas, os gestores ambientais conseguem, por extensão automática, salvaguardar os habitats críticos de centenas de espécies de aves, répteis, pequenos mamíferos e insetos que coabitam ou dependem dessas plantas para sobreviver. A beleza cênica singular e o forte apelo visual de gêneros como *Pilosocereus* e *Melocactus* conferem-lhes um enorme potencial para engajar o público e tomadores de decisão em campanhas de valorização e conservação do patrimônio biológico dos biomas áridos (Tabarelli *et al.*, 2024).

A resiliência das cactáceas frente às projeções severas de mudanças climáticas globais torna-as componentes ainda mais estratégicas para os planos de mitigação ambiental a longo prazo no semiárido. Modelagens ecológicas preditivas apontam que, enquanto muitas espécies de árvores e arbustos lenhosos de florestas tropicais secas podem sofrer contrações drásticas de distribuição geográfica ou extinção local devido ao aumento da aridez e da temperatura média global, as cactáceas exibem plasticidade fisiológica e tolerância térmica superiores para persistir nessas novas condições extremas. Manter e restaurar populações dessas plantas garante que a paisagem futura, mesmo sob regimes climáticos severamente alterados, retenha uma estrutura mínima de suporte de vida capaz de abrigar a fauna remanescente e evitar o avanço irreversível da desertificação (Kim *et al.*, 2023).

O papel das cactáceas como engenheiras de ecossistemas estende-se também à conservação e recuperação física dos solos degradados do semiárido, um recurso crítico para o restabelecimento da fauna edáfica e subterrânea. O sistema radicular dessas plantas, embora predominantemente superficial para capturar rapidamente as chuvas leves, desenvolve uma rede densa que ancora o substrato arenoso ou pedregoso, mitigando os efeitos erosivos causados por enxurradas torrenciais pós-seca. A retenção do solo e a deposição contínua de matéria orgânica sob as copas das cactáceas promovem a formação de microrganismos simbiotes, como fungos micorrízicos arbusculares e bactérias fixadoras de nitrogênio, que enriquecem o perfil químico do solo. Esse incremento na fertilidade edáfica favorece o estabelecimento de outras espécies vegetais pioneiras, acelerando a restauração de



habitats faunísticos complexos (Farghaly *et al.*, 2022).

O sobrepastoreio por rebanhos domésticos exóticos (como caprinos e ovinos) e o desmatamento ilegal para a expansão da fronteira agrícola e produção de carvão vegetal emergem na literatura recente como as ameaças antrópicas mais severas à integridade das cactáceas no semiárido. Cabras e ovelhas, sob condições de pastagem famélica na seca, consomem destrutivamente até mesmo as cactáceas mais espinhosas, devorando as plântulas jovens antes que estas atinjam a maturidade reprodutiva ou danificando o córtex de espécimes adultos a ponto de induzir infecções fúngicas e morte. A perda crônica do recrutamento de novas plântulas envelhece artificialmente as populações de cactáceas, criando um hiato demográfico perigoso que ameaça a oferta futura de recursos tróficos e refúgio para a fauna silvestre (Nunes *et al.*, 2024).

Adicionalmente, o tráfico internacional de plantas silvestres voltado para colecionadores e o mercado de paisagismo exótico exerce uma pressão extrativista devastadora sobre espécies de cactáceas endêmicas de distribuição restrita, especialmente as de hábito globoso e tamanho reduzido. A remoção criminosa desses indivíduos de seus habitats naturais desorganiza as redes locais de interações mutualísticas, privando lagartos e formigas de recursos ecológicos insubstituíveis e extinguindo linhagens genéticas únicas antes mesmo que seu papel ecológico pleno seja compreendido pela ciência. O fortalecimento de políticas públicas de fiscalização, aliado ao desenvolvimento de biotecnologias de propagação *in vitro* para suprir a demanda comercial de forma sustentável, desponta como uma prioridade conservacionista inadiável (Margulies *et al.*, 2022).

Programas de restauração ecológica e reflorestamento em zonas degradadas ou em processo de desertificação têm demonstrado maior taxa de sucesso quando incorporam as cactáceas como espécies pioneiras e facilitadoras. Ao serem plantadas em núcleos de adensamento primário, as cactáceas funcionam como catalisadoras de biodiversidade, atraindo rapidamente aves e mamíferos frugívoros que trazem em seus tratos digestivos sementes de outras espécies arbóreas e arbustivas lenhosas da flora nativa. Esse processo de nucleação biótica acelera a sucessão ecológica natural, convertendo terrenos estéreis e compactados em mosaicos vegetacionais complexos e funcionais capazes de reabrigar a fauna nativa em prazos significativamente menores (Zinchenko *et al.*, 2022).

Assim, elevar as cactáceas ao status de prioridade máxima nas agendas de conservação ambiental dos semiáridos não é meramente uma escolha botânica,

mas uma estratégia ecossistêmica integrada para a salvaguarda de toda a biosfera desses ambientes. Proteger esse grupo taxonômico singular significa blindar a arquitetura física, os fluxos tróficos e as teias de interações mutualísticas que conferem identidade, beleza e resiliência à vida nos ecossistemas de clima seco. No limiar dos desafios ambientais do século XXI, a preservação das cactáceas consolida-se como o passaporte definitivo para a sustentabilidade ecológica e a sobrevivência da fauna dos semiáridos globais (Zarzosa *et al.*, 2023).

CONCLUSÃO

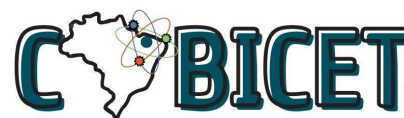
A presente revisão evidencia que as cactáceas desempenham papel central na manutenção da fauna em ambientes semiáridos, atuando como espécies-chave na sustentação das redes tróficas, na oferta de refúgio e na dinâmica de dispersão de sementes. Sua capacidade de fornecer recursos hídricos, nutricionais e estruturais em períodos críticos de estiagem as torna verdadeiros pilares ecológicos, garantindo a sobrevivência de múltiplos grupos faunísticos e a estabilidade das comunidades locais.

Além de funcionarem como engenheiras de ecossistemas, modulando micro-habitats e ampliando a heterogeneidade ambiental, as cactáceas estabelecem interações mutualísticas sofisticadas que asseguram a regeneração da paisagem e a resiliência das teias alimentares. A perda dessas espécies, fortemente ameaçadas por pressões antrópicas e mudanças climáticas, implicaria em efeitos cascata sobre a biodiversidade e sobre os serviços ecossistêmicos essenciais do semiárido.

Portanto, a conservação das cactáceas deve ser considerada prioridade estratégica, não apenas pela sua relevância ecológica, mas também pelo impacto direto sobre a fauna e sobre as comunidades humanas que dependem desses recursos. O fortalecimento de políticas públicas, pesquisas integradas e práticas de manejo sustentável é indispensável para assegurar a persistência desses organismos e, consequentemente, a manutenção da funcionalidade ecológica dos ecossistemas semiáridos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Federal da Paraíba (UFPB) pelo suporte institucional e pelas condições oferecidas para o desenvolvimento deste trabalho. O ambiente acadêmico proporcionado pela UFPB, somado ao compromisso compartilhado por seu corpo docente e técnico com a excelência científica, constituiu o alicerce indispensável não apenas para a viabilização deste estudo, e para o enriquecimento de nossa trajetória científica.



REFERÊNCIAS

AGUIRRE, B. A. *et al.* The experimental manipulation of atmospheric drought: Teasing out the role of microclimate in biodiversity experiments.

Journal of Ecology, 2021. Disponível em:

<https://doi.org/10.1111/1365-2745.13595>.

BOGDZIEWICZ, M. *et al.* Do benefits of seed dispersal and caching by scatterhoarders outweigh the costs of predation? An example with oaks and yellow-necked mice. **Journal of Ecology**, 2019.

Disponível em:

<https://doi.org/10.1111/1365-2745.13307>.

BUHLER, R. *et al.* Influence of prey availability on habitat selection during the non-breeding period in a resident bird of prey. **Movement Ecology**, v. 11, n. 14, 2023. Disponível em:

<https://doi.org/10.1186/s40462-023-00376-3>.

CAI, W. *et al.* Mutualistic networks emerging from adaptive niche-based interactions. **Nature Communications**, v. 11, 2020. Disponível em:

<https://doi.org/10.1038/s41467-020-19154-5>.

CENCI, S. *et al.* Rethinking the importance of the structure of ecological networks under an environment-dependent framework. **Ecology and Evolution**, v. 8, n. 11, p. 5649–5660, 2018.

Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ece3.4252>.

CROFTS, S. B.; ANDERSON, P. S. L. The influence of cactus spine surface structure on puncture performance and anchoring ability is tuned for ecology. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 285, 2018. Disponível em:

<https://doi.org/10.1098/rspb.2018.2280>.

DÁTTILO, W. *et al.* Secretory activity of extrafloral nectaries shaping multitrophic ant-plant-herbivore interactions in an arid environment. **Journal of Arid Environments**, v. 114, 2015. Disponível em:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.12.001>.

FARGHALY, F. A. *et al.* The efficiency of arbuscular mycorrhiza in increasing tolerance of *Triticum aestivum* L. to alkaline stress. **BMC Plant Biology**, v. 22, 2022. Disponível em:

<https://doi.org/10.1186/s12870-022-03790-8>.

FONSECA-GARCÍA, C. *et al.* The Cacti Microbiome: Interplay between Habitat-Filtering and Host-Specificity. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, n. 150, 2016. Disponível em:

<https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00150>.

GOETTSCHE, B. *et al.* High proportion of cactus species threatened with extinction. **Nature Plants**, v.

1, n. 15142, 2015. Disponível em:

<https://doi.org/10.1038/nplants.2015.142>.

GOMES, V. G. N.; MEIADO, M. V.; QUIRINO, Z. G. M.; ARAUJO, H. F. P.; MACHADO, I. C.

Synchronous fruiting and common seed dispersers of two endemic columnar cacti in the Caatinga, a dry forest in Brazil. **Plant Ecology**, v. 218, n. 11–12, p. 1325–1338, 2017. Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/s11258-017-0771-5>.

GOMES, V. N. *et al.* O cacto globoso ameaçado de extinção *Melocactus lanssensianus* PJ Braun depende de lagartos para a dispersão eficaz de suas sementes na Caatinga brasileira. **Plant Ecology**, set. 2021.

Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/s11258-021-01185-7>.

GRANZOW-DE LA CERDA, I. *et al.* The role of distance and habitat specificity in bryophyte and perennial seed plant metacommunities in arid scrubland fragments. **Journal of Vegetation Science**, v. 27, p. 414–426, 2016. Disponível em:

<https://doi.org/10.1111/jvs.12364>.

HULTINE, K. R. *et al.* Global change impacts on cacti (Cactaceae): current threats, challenges and conservation solutions. **Annals of Botany**, v. 132, n. 4, p. 671–683, 2023. Disponível em:

<https://doi.org/10.1093/aob/mcad040>.

JARRAR, H. *et al.* Seed enhancement technologies for sustainable dryland restoration: coating and scarification. **Science of the Total Environment**, v. 907, p. 166150, 2023. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166150>.

KIM, Jeong-Bae. *et al.* The impacts of global warming on arid climate and drought features.

Theoretical and Applied Climatology, v. 152, 2023.

Disponível em:

<https://doi.org/10.1007/s00704-022-04348-2>.

LI, J. *et al.* Drought-induced plant microbiome and metabolic enrichments improve drought resistance.

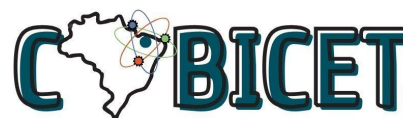
Cell Host & Microbe, v. 33, 2025. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.chom.2025.05.002>.

LINA, A.; ELOISA, L. How do young cacti (seeds and seedlings) from tropical xeric environments cope with extended drought periods? **Journal of Arid Environments**, v. 154, p. 1–7, 2018. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.03.009>.

LINDOW-LÓPEZ, L. *et al.* Do cacti form soil seed banks? An evaluation using species from the Southern Central Andes. **Plant Ecology**, v. 224, n. 2,



p. 123–136, 2023. Disponível em:
<https://doi.org/10.1007/s11258-023-01345-9>.

LONDEI, T. Birds as seed dispersers in deserts: suggestions from the ground-jays. **Avian Research**, v. 12, 2021. Disponível em:
<https://doi.org/10.1186/s40657-021-00248-7>.

LOPES, M. N. *et al.* Accumulation and export of nutrients in cactus pear cladodes (*Opuntia ficus-indica*) under different managements in the Brazilian Semiarid. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47, e20170077, 2018. Disponível em:
<https://doi.org/10.1590/rbz4720170077>.

MARGULIES, J. D. *et al.* Prevalence and perspectives of illegal trade in cacti and succulent plants in the collector community. **Conservation Biology**, 2022. Disponível em:
<https://doi.org/10.1111/cobi.14030>.

MARTINS, C. *et al.* Phylogenetic conservation and shifts of pollination niche in generalist epiphytic cacti. Perspectives in Plant Ecology, **Evolution and Systematics**, v. 54, 2022. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.ppees.2021.125650>.

MARTINS, C. *et al.* Pollination biology of the endangered columnar cactus *Cipocereus crassisepalus*: a case of close relationship between plant and pollinator. **Acta Botanica Brasilica**, v. 34, n. 1, p. 177–184, jan./mar. 2020. Disponível em:
<https://doi.org/10.1590/0102-33062019abb0219>.

MENDES, Z. R. *et al.* Spider communities in two plant architectures of epiphytic cacti in the Brazilian Atlantic forest. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 53, n. 2, p. 123–132, 2018. Disponível em:
<https://doi.org/10.1080/01650521.2018.1456312>.

MUGNAI, M. *et al.* Site dependence of local variations in taxonomic and functional diversity of plant communities in semi-natural dry grasslands. **Plant Ecology**, v. 224, p. 95–111, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11258-022-01282-1>.

NUNES, J. P. de A. *et al.* The impact of grazing on biodiversity and forest succession in the Brazilian dry forest region is constrained by non-equilibrium dynamics. **Science of the Total Environment**, 2024. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174549>.

PAIXÃO, V. H. F. *et al.* Cactus height increases the modularity of a plant–frugivore network in the Caatinga dry forest. **Biotropica**, v. 55, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/btp.13239>.

SANDERS, D. *et al.* Trophic redundancy reduces vulnerability to extinction cascades. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)**, v. 115, n. 1, p. 241–246, 2018. Disponível em:
<https://doi.org/10.1073/pnas.1716825115>.

SANTOS, L. *et al.* Frugivoria por aves em quatro espécies de Cactaceae na Caatinga, uma floresta seca no Brasil. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 109, e2019034, 2019. Disponível em:
<https://doi.org/10.1590/1678-4766e2019034>.

SIYUM, Z. G. Tropical dry forest dynamics in the context of climate change: syntheses of drivers, gaps, and management perspectives. **Ecological Processes**, v. 9, n. 25, 2020. Disponível em:
<https://doi.org/10.1186/s13717-020-00229-6>.

SOUZA-ALONSO, P. *et al.* Post-fire ecological restoration in Latin American forest ecosystems: insights and lessons from the last two decades. **Florest Ecology and management**, v. 196, p. 107785, 2024. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120083>.

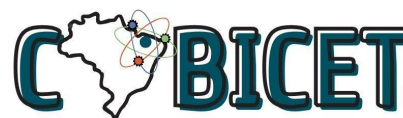
STRANGAS, M. L. *et al.* Thermophysiology, microclimates, and species distributions of lizards in the mountains of the Brazilian Atlantic Forest. **Ecography**, v. 42, p. 1–11, 2018. Disponível em:
<https://doi.org/10.1111/ecog.03330>.

SUETSUGU, K. Seed dispersal of the hemiparasitic plant *Thesium chinense* by *Tetramorium tsushimae* and *Pristomyrmex punctatus*. **Entomological Science**, v. 18, p. 523–526, 2015. Disponível em:
<https://doi.org/10.1111/ens.12148>.

SUN, F. *et al.* Towards the effects of moss-dominated biocrusts on surface soil aeration in drylands: Air permeability analysis and modeling. **Catena**, 2023. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.106942>.

TABARELLI, M. L. *et al.* Changing the paradigm for the development of the Caatinga dry forest region to rescue threatened biodiversity and improve sustainability. **Conservation Biology**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/cobi.70030>.

TENORIO-ESCANDÓN, P. *et al.* Uma revisão sistemática sobre insetos visitantes de flores *Opuntia* (Cactaceae; Opuntioideae) no mundo, com ênfase no México: implicações para a conservação da biodiversidade. **Plantas**, 11 (1), 131, 2022. Disponível em:
<https://doi.org/10.3390/plants11010131>.



WANG, L. *et al.* Uma relação positiva entre complexidade e estabilidade emerge em redes tripartidas polinizador-planta-consumidor perturbadas pela invasão de plantas. **Ecological Modelling**, v. 157, p. 111397, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111397>.

WERNECK, F. P. *et al.* Biogeographic history and cryptic diversity of saxicolous Tropiduridae lizards endemic to the semiarid Caatinga. **Evolutionary Biology**, v. 15, n. 94, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12862-015-0368-3>.

ZARZOSA, P. S. *et al.* Biomass estimation models for four priority *Prosopis* species: Tools required for forestry management in overexploited arid ecosystems. **Journal of Arid Environments**, v. 209, p. 104904, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104904>.

ZINCHENKO, A. *et al.* Efficient stabilization of soil, sand, and clay by a polymer network of biomass-derived chitosan and carboxymethyl cellulose. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 10, p. 107084, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.107084>.