



FACILITAÇÃO ENTRE PLANTAS E O USO DE ESPÉCIES FACILITADORAS COMO ESTRATÉGIA DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

ARTIGO DE REVISÃO

RIBEIRO, Izabela Ferreira¹, MENEZES, Luis Fernando Tavares de², NASCIMENTO, Marcelo Trindade³

RIBEIRO, Izabela Ferreira. MENEZES, Luis Fernando Tavares de. NASCIMENTO, Marcelo Trindade. **Facilitação entre plantas e o uso de espécies facilitadoras como estratégia de restauração ecológica.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 08, Ed. 03, Vol. 01, pp. 151-169. Março de 2023.

ISSN: 2448-0959, Link de acesso:

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/biologia/restauracao-ecologica>, DOI:

10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/biologia/restauracao-ecologica

RESUMO

Ecossistemas sujeitos a fatores abióticos extremos são locais privilegiados para estudos de interações positivas entre plantas, como os mecanismos de facilitação, que, a partir de modificações bióticas ou abióticas, geram benefícios ao meio. Devido ao aumento do número de artigos sobre facilitação nas últimas décadas e a indicação do uso de espécies facilitadoras em projetos de recuperação e restauração ecológica, o presente estudo apresenta uma revisão da literatura sobre facilitação entre planta-planta e sua aplicabilidade entre os anos de 2011 e 2020. Foram considerados um total de 64 estudos que englobam o tema facilitação, e o texto foi composto por uma introdução e duas seções: i) estudos sobre o mecanismo de facilitação – avanços na última década e ii) facilitação como estratégia para restauração ecológica. Esta revisão indica que a melhor compreensão dos mecanismos de facilitação ocorre a partir da junção de conhecimentos em diferentes níveis, como conhecimento das espécies, organização ecológica, filogenética e condições ambientais. Assim, esta abordagem possibilita um melhor entendimento da dinâmica da comunidade e demonstra como o uso de espécies facilitadoras em áreas de restauração, principalmente em regiões com condições ambientais severas e/ou mais vulneráveis às mudanças climáticas, tem sido considerada uma estratégia eficaz no processo de restauração ecológica.



Palavras-chaves: Ambientes extremos, Mecanismo de facilitação, Interações positivas.

1. INTRODUÇÃO

Mecanismos de facilitação definidos por interações positivas entre plantas permitem que, em uma escala de tempo, ocorram benefícios para uma ou ambas as espécies associadas (BRUNO; STACHOWICZ; BERTNESS, 2003; BROOKER *et al.*, 2008; O'BRIEN *et al.*, 2019). Estas interações podem ocorrer devido a modificações ambientais, que favorecem o estabelecimento ou desenvolvimento de espécies (CALLAWAY, 1995; NAVARRO-CANO *et al.*, 2015; ABIYU *et al.*, 2017; LUCAS *et al.*, 2022), como por outros organismos, levando ao aumento da polinização (LOSAPIO *et al.*, 2021). A presença de uma espécie facilitadora permite a colonização de ambientes com baixa regeneração e com condições ambientais extremas, modificando positivamente a dinâmica e a estrutura da comunidade, a partir da formação de microambientes (PUGNAIRE; HAASE; PUIGDEFABREGAS, 1996; PUGNAIRE; ARMAS; MAESTRE, 2011; VALIENTE-BANUET; VERDÚ, 2013; MCINTIRE; FAJARDO, 2014; CAVIERES *et al.*, 2016; LIANCOURT; DOLEZAL, 2021).

Os estudos de interações positivas entre planta-planta começaram a ter destaques na literatura a partir das revisões de Bertness e Callaway (1994) e de Callaway (1995), nas quais o tema passou a ser discutido e integrado em modelos gerais de dinâmica e organização da comunidade. O estudo de Bertness e Callaway (1994) permitiu esclarecer como as interações positivas afetam o recrutamento, a distribuição espacial das espécies, reduz o estresse físico e a pressão do consumidor, controlando, assim, o processo de sucessão ecológica. Os autores formularam a hipótese do gradiente de estresse (SGH), na qual consideraram que as ações das espécies facilitadoras são intensificadas com o aumento do nível de estresse. Já a revisão de Callaway (1995) tornou-se um marco no tema da facilitação, pois apresentou uma tabela que reuniu diversos estudos produzidos



desde os primeiros anos de 1900, ampliando o conhecimento sobre o significado dos mecanismos de facilitação e seu papel nas comunidades. Com estas pesquisas, estudos anteriores à década de noventa ganharam visibilidade. Niering, Whittaker e Lowe (1963), por exemplo, em um ambiente desértico no Arizona, mencionaram que espécies de diferentes arbustos, principalmente indivíduos de “palo-verde”, abrigavam juvenis de saguaros “cactos-gigantes” sob seus dosséis, agindo efetivamente para a sobrevivência e desenvolvimento dos cactos. Neste estudo, o termo “*nurse plant*” (plantas facilitadoras) foi citado pela primeira vez na literatura, designado para as espécies perenes que abrigavam os cactos sob seu dossel. Outras pesquisas realizadas no mesmo ambiente confirmaram a importância da sombra dos arbustos para a sobrevivência de indivíduos de cactos, e afirmaram o termo “*nurse plant*” para os arbustos de “palo-verde”, pela capacidade de melhorar o desenvolvimento dos cactos (HASTINGS; TURNER, 1965; TURNER *et al.*, 1966). Já Connell e Slatyer (1977) expandiram o conhecimento sobre as interações positivas, apresentando um conjunto de dados sobre a dinâmica da comunidade, levantando questões sobre os processos de mudanças da dinâmica e sucessão ecológica. Esses autores sugeriram três modelos de sucessão: tolerância, inibição e facilitação, explicando como ocorrem as formações das comunidades e como estas são modificadas ao longo do tempo.

Estudos que contemplam essa temática continuaram sendo publicados, principalmente a partir da década de 2000, conforme citado por Brooker *et al.* (2008). Devido à presença de um indivíduo facilitador amenizar condições ambientais severas (BANNISTER *et al.*, 2020), permitindo a compreensão da dinâmica de comunidades (VEGA-ÁLVAREZ; GARCÍA-RODRÍGUEZ; CAYUELA, 2018; NAVARRO-CANO *et al.*, 2019; LIANCOURT; DOLEZAL, 2021), o uso de espécies facilitadoras em projetos de restauração ecológica ganhou maior visibilidade, sendo considerado uma técnica eficaz, por reduzir custos onde as intervenções humanas, ao longo dos projetos, são reduzidas pelos benefícios gerados pela planta facilitadora (HE; BERTNESS; ALTIERI, 2013; GÓMEZ-RUIZ;



LINDIG-CISNEROS; VARGAS-RÍOS, 2013; SILLIMAN *et al.*, 2015; SOLIVERES; SMIT; MAESTRE, 2015; ALDAY *et al.*, 2016; FEDRIANI *et al.*, 2019).

Assim, com foco na maior compreensão das relações das espécies facilitadoras com a dinâmica das comunidades, onde esses processos ocorrem, e a aplicação destas espécies em projetos de restauração ambiental nos últimos anos, realizou-se uma revisão da literatura sobre esses temas entre 2011 e 2020.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa das publicações foi realizada, no mês de dezembro de 2020, em quatro bases bibliográficas: Web of Science, Scielo, ScienceDirect, Scopus e em uma base de dados pessoal. Para cada seção, foram pesquisadas diferentes palavras, presentes no título e/ou nas palavras-chave e/ou no resumo, as quais foram redefinidas entre 2011 e 2020. Para a primeira seção, foram utilizadas as palavras-chave: “*facilitation mechanism*” (mecanismos de facilitação) e “*vegetation*” (vegetação) ou “*plant*” (planta), e na segunda seção, foram utilizadas as palavras-chave “*facilitation*” (facilitação), “*restoration*” (restauração) ou “*restored*” (restaurado) e “*vegetation*” (vegetação) ou “*plant*” (planta).

Foi realizada uma triagem dos artigos, na qual foram excluídos artigos repetidos e selecionados artigos direcionados aos temas, a partir da leitura destes.

3. RESULTADOS

De um total de 1.811 publicações, 64 publicações foram selecionadas para análise. Após a triagem e exclusão de artigos repetidos, fica evidente o baixo número de artigos que englobam as propostas deste estudo. No tópico Estudos sobre mecanismos de facilitação – avanços na última década, foram utilizados 28 de 708 artigos, e no tópico Facilitação, como estratégia para restauração ecológica, foram utilizados 36 de 592.



3.1 ESTUDOS SOBRE MECANISMOS DE FACILITAÇÃO – AVANÇOS NA ÚLTIMA DÉCADA

Artigos de revisão que avaliaram estudos sobre o mecanismo de facilitação nos últimos anos confirmam que as interações positivas, como a facilitação entre plantas, podem beneficiar a biodiversidade da comunidade ao mitigar estresses abióticos, formando micro-habitats e gerando heterogeneidade no ambiente, especialmente em locais sob condições ambientais extremas (PUGNAIRE; ARMAS; MAESTRE, 2011; VALIENTE-BANUET; VERDÚ, 2013; CAVIERES *et al.*, 2014; MCINTIRE; FAJARDO, 2014; CAVIERES *et al.*, 2016; LIANCOURT; DOLEZAL, 2021). Vale ressaltar que as interações positivas também permitem auxiliar no entendimento da biodiversidade e no funcionamento do ecossistema, levando a compreensão de como a diversidade afeta funções em um determinado ambiente (WRIGHT *et al.*, 2017).

Nos últimos anos, as publicações que abordaram o tema facilitação entre espécies vegetais foram divididas em revisões bibliográficas e avaliações em campo. As revisões bibliográficas têm como foco a avaliação de uma determinada espécie ou um conjunto destas, permitindo o entendimento global da dinâmica de uma determinada área e/ou comunidade, como visto no artigo de Pugnaire, Armas e Maestre (2011). Os autores reuniram 15 anos de estudos realizados em áreas desérticas do sudeste da Espanha, explanando o tema das interações positivas e a relação destas com a comunidade. Já as avaliações em campo são realizadas por levantamentos florísticos e experimentos. Com foco em quantificar a abundância e a riqueza de espécies com e/ou sem a presença de um possível facilitador, os levantamentos florísticos visam verificar a ocorrência de possíveis mecanismos de facilitação, como funcionam e quais são as implicações destes para as espécies e para o meio ambiente (VAN ZONNEVELD; GUTIÉRREZ; HOLMGREN, 2012; BADANO *et al.*, 2016; LYU *et al.*, 2016; TSUDA; CASTELLANI, 2016; AL-NAMAZI; EL-BANA; BONSER, 2017; DALOTTO *et al.*, 2018; FILAZZOLA *et al.*, 2018; VEGA-



ÁLVAREZ; GARCÍA-RODRÍGUEZ; CAYUELA, 2018; O'Brien *et al.*, 2019; PELÁEZ *et al.*, 2019). A segunda abordagem são os experimentos, realizados por metodologias de plantios. Nessa abordagem, são utilizadas diferentes técnicas, como o uso de sementes (LIANCOURT; TIELBÖRGER, 2011; QUON; BOBICH; QUESTAD, 2019) e/ou de mudas, com a inclusão de espécies facilitadoras e/ou facilitadas, com a finalidade de avaliar os mecanismos de facilitação de formas isoladas (AVENDAÑO-YÁÑEZ *et al.*, 2014; VAN ZONNEVELD; GUTIÉRREZ; HOLMGREN, 2012; BADANO *et al.*, 2016). Deve ser considerado que, quando os estudos citados acima são quantificados, destaca-se a predominância de estudos observacionais. Essa preferência dificulta a identificação dos processos de facilitação e de espécies facilitadoras, devido às atividades de campo serem consideradas metodologias mais eficazes para identificar os mecanismos de facilitação, devido à capacidade de avaliar e testar (CASTANHO; OLIVEIRA; PRADO, 2015; CHAIEB *et al.*, 2021).

Independente da técnica utilizada para descrever os processos de facilitação e as espécies facilitadoras, estudos indicam que os efeitos positivos vão além de facilitar e beneficiar outros indivíduos. A avaliação destes efeitos permite respostas sobre como ocorre a dinâmica da comunidade (VALIENTE-BANUET; VERDÚ, 2013; MCINTIRE; FAJARDO, 2014; WRIGHT *et al.*, 2017; LIANCOURT; DOLEZAL, 2021) e o quanto a diversidade é alterada, incluindo a diversidade funcional (LOSAPIO *et al.*, 2021) e filogenética (VALIENTE-BANUET; VERDÚ, 2013; VEGA-ÁLVAREZ; GARCÍA-RODRÍGUEZ; CAYUELA, 2018; DUARTE *et al.*, 2021). Losapio *et al.* (2021) mencionam que as plantas facilitadoras aumentam a diversidade filogenética e funcional dos visitantes florais, indicando que os mecanismos de facilitação entre as plantas podem apoiar o funcionamento do ecossistema, tanto diretamente (melhoria do micro-habitat) quanto indiretamente (efeitos da diversidade). Para a diversidade filogenética de plantas, Valiente-Banuet e Verdú (2013) citam que a manutenção da diversidade filogenética pode ocorrer quando as espécies, em um determinado ambiente, apresentam linhagens com diferentes histórias evolutivas.



Devido ao ambiente ótimo, ocorre uma redução no processo de competição e um aumento na facilitação. Dados citados por Duarte *et al.* (2021), em um experimento que buscava testar a SGH, onde os autores descrevem uma relação positiva entre a facilitação e a elevação, principalmente para interações de espécies com linhagens evolutivas distantes.

Além de verificar a ocorrência de facilitação em determinada comunidade, os cientistas buscam entender como esse processo é desencadeado e onde é mais acentuado. Vários autores utilizam a SGH proposta por Bertness e Callaway (1994) como base para avaliar os mecanismos de facilitação (KIKVIDZE *et al.*, 2011; BEDUSCHI; CASTELLANI, 2013; CAVIERES *et al.*, 2014; MICHALET *et al.*, 2014; LYU *et al.*, 2016; AL-NAMAZI; EL-BANA; BONSER, 2017; O'BRIEN *et al.*, 2019). Com relação a ambientes com condições climáticas severas, diferentes autores concluem que os mecanismos de facilitação e competição variam com as mudanças climáticas, e que ambientes com condições ambientais severas estão relacionados positivamente aos mecanismos de facilitação (KIKVIDZE *et al.*, 2011; CAVIERES *et al.*, 2014; AL-NAMAZI; EL-BANA; BONSER, 2017; O'BRIEN *et al.*, 2019). A presença de um indivíduo facilitador, nesses ambientes, apresenta um efeito importante na manutenção da diversidade da comunidade, na qual espécies facilitadoras podem alterar filtros climáticos, permitindo o estabelecimento e recrutamento de espécies, aumentando a diversidade e contribuindo para a distribuição dessas ao longo desses gradientes, porém, Michalet *et al.* (2014) alertam que a avaliação da composição de espécies relacionada ao processo de facilitação e testada pela abordagem SGH pode se tornar complexa. Estes autores citam que, em determinado limiar de mudanças climáticas, processos como o colapso da facilitação, a mudança da facilitação para a competição e mecanismos nulos de interações podem ocorrer. O colapso da facilitação pode ocorrer devido ao efeito decrescente da facilitação de espécies, enquanto a mudança da facilitação para a competição pode ser impulsionada pelas condições ambientais e pelas estratégias de resposta das espécies, conforme corroborado por Liu *et al.* (2020).



Já os mecanismos nulos de interações podem ocorrer em situações de estresse extremo, nas quais as mudanças ambientais podem interferir diretamente nas interações entre espécies vegetais.

Com o aumento do número de estudos que consideram as interações planta-planta, os pesquisadores começaram a correlacionar esses processos com as mudanças climáticas. Conforme O'Brien *et al.* (2019), em alguns casos, as espécies facilitadoras permitiram maior sobrevivência dos indivíduos frente ao aumento das temperaturas, por oferecerem abrigo e condições mais favoráveis para o desenvolvimento de outros indivíduos. Assim, os autores citam que o uso de um indivíduo que minimize os efeitos das mudanças climáticas, como o aquecimento global, poderão criar refúgios para muitos indivíduos que, sem assistência, não conseguirão resistir às mudanças climáticas.

3.2 A FACILITAÇÃO COMO ESTRATÉGIA PARA A RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

Com a crescente modificação dos ambientes naturais ao redor do mundo, motivada, principalmente, pela antropização, a criação e o desenvolvimento de técnicas para a recuperação de áreas degradadas tornaram-se essenciais (BURKE *et al.*, 2011). A restauração ecológica, tem como objetivo formar condições necessárias para o restabelecimento do ambiente ao longo dos anos, favorecendo fluxos abióticos e bióticos na matriz e tornando o meio não dependente de intervenções humanas de longo prazo (TEMPERTON *et al.*, 2004; SER, 2023), e começou a ser inserida em projetos de recuperação em meados do século XX, nos quais diferentes estratégias e técnicas foram criadas e testadas ao longo dos anos (BRANCALION *et al.*, 2015; SER, 2023), como o uso de interações bióticas. Entre as interações bióticas, o uso de espécies facilitadoras (*e.g.*, interações positivas entre espécies vegetais) vem sendo testado e considerado uma estratégia eficaz.



Uma espécie facilitadora pode levar à redução do estresse fisiológico dos indivíduos vegetais, por amenizar condições ambientais extremas (BANNISTER *et al.*, 2020), pode tornar o solo mais nutritivo (NAVARRO-CANO *et al.*, 2015; ABIYU *et al.*, 2017), inibir o crescimento da cobertura de espécies exóticas (MARTINEZ; DORNBUSH, 2013; GALINDO *et al.*, 2017), aumentar a fauna local (LOSAPIO *et al.*, 2021), formar bancos de sementes abaixo da copa (ERFANZADEH; PALAYE; GHELICHNIA, 2020; FORONDA *et al.*, 2020), permitir a germinação (FEDRIANI *et al.*, 2019) (Figura 1: A-B), sobrevivência e o crescimento de espécies vegetais (URRETAVIZCAYA; DEFOSSÉ, 2013; ENCINO-RUIZ *et al.*, 2013; DOMÍNGUEZ *et al.*, 2015; TORROBA-BALMORI *et al.*, 2015; SUN *et al.*, 2017) (Figura 1: C). Assim, em projetos de restauração ambiental, indivíduos facilitadores permitem a redução de custos nos projetos, por modificar positivamente a comunidade e tornar o meio mais favorável para o desenvolvimento de outros indivíduos, sem a necessidade de grandes intervenções humanas (HE; BERTNESS; ALTIERI, 2013; GÓMEZ-RUIZ; LINDIG-CISNEROS; VARGAS-RÍOS, 2013; SILLIMAN *et al.*, 2015; SOLIVERES; SMIT; MAESTRE, 2015; ALDAY *et al.*, 2016; FEDRIANI *et al.*, 2019).

As interações bióticas são mais frequentemente utilizadas em projetos de restauração em ambientes com condições extremas, com menor capacidade de regeneração, principalmente devido a fatores abióticos (MENDOZA-HERNÁNDEZ *et al.*, 2013; CASTANHO; OLIVEIRA; PRADO, 2015, SER, 2023). No entanto, a inclusão de interações bióticas em projetos de restauração em condições ambientais amenas, como áreas de mata atlântica e mata ciliar, deve ser considerada. Quando as áreas florestais sofrem desmatamento, ocorrem mudanças ambientais drásticas que geram um desequilíbrio no meio ambiente, tornando o uso de interações positivas uma técnica apropriada (ANTHELME; GÓMEZ-APARICIO; MONTÚFAR, 2014; AVENDAÑO-YÁÑEZ *et al.*, 2014; LAMEIRA *et al.*, 2019; PEREA *et al.*, 2019). Deve-se considerar que, em determinadas áreas áridas, sob condições severas de seca, com alto estresse hídrico, os efeitos positivos podem ser suprimidos pela competição (JANKJU, 2013; NOUMI *et al.*, 2015), ou



simplesmente falharão, indicando que esta ferramenta pode ser limitada pelo clima (MICHALET *et al.*, 2014; GONZALEZ; GHERMANDI, 2019).

A avaliação da identidade funcional (NAVARRO-CANO *et al.*, 2019), taxonômica e filogenética, de espécies facilitadoras e facilitadas é importante para potencializar o uso desta técnica, e tem se mostrado relevante nos resultados de interações em experimentos de restauração (VERDÚ; NUMA; HERNÁNDEZ-CUBA, 2011; NAVARRO-CANO *et al.*, 2016). Percebe-se que, quanto maior a distância filogenética entre as espécies, mais elas tendem a apresentar diferentes fenótipos, portanto, diferentes exigências ecológicas, reduzindo a competição e maximizando o efeito de facilitação (VERDÚ; NUMA; HERNÁNDEZ-CUBA, 2011; VERDÚ; GÓMEZ-APARICIO; VALIENTE-BANUET, 2012). O mesmo ocorre com a distância funcional (características morfológicas e fisiológicas), em que, quanto maior a distância funcional entre a facilitadora e a espécie facilitada, maior o sucesso do estabelecimento das mudas (NAVARRO-CANO *et al.*, 2019). No entanto, deve-se considerar que espécies facilitadoras não necessariamente abrem caminho para beneficiar todas as espécies (LORTIE, 2017), sendo também relevante o preparo do solo, a escolha das espécies e a seleção de mudas para a recuperação eficiente do ambiente (DIAS *et al.*, 2014).

Por fim, deve-se considerar que, embora existam vários estudos que citam o uso de espécies facilitadoras como alternativas na restauração ecológica, poucos deles, principalmente nos últimos anos, realizaram experimentos em campo, comprovando a eficiência do uso destas espécies em projetos de restauração (Quadro 1).

Quadro 1- Avanços nas pesquisas do uso de espécies facilitadoras em projetos de recuperação e restauração ecológica nos últimos três anos, com exemplo de artigos, incluindo seus autores, títulos e os principais resultados

Autores	Título do artigo	Resumo
Bannister <i>et al.</i> (2020)	Shrub influences on seedling performance when restoring the slow-growing	Em um experimento para avaliar a recuperação de <i>Pilgerodendron uviferum</i> (D. Don) Florin. em florestas pantanosas no Chile. Os autores avaliaram, por quatro anos, a presença e ausência de arbustos no desenvolvimento da espécie, e indicaram que a

	conifer <i>Pilgerodendron uviferum</i> in southern bog forests.	presença dos arbustos gerou uma redução do estresse fisiológico dos indivíduos de de <i>P. uviferum</i> (medido como Fv/Fm), bem como maior incremento de altura e maior vitalidade.
Foronda et al. (2020)	Substrate-specialist plants for restoring vegetation in post-mining gypsum substrates.	Os autores avaliaram o papel facilitador de <i>Gypsophila struthium</i> Loeffl. na germinação e desenvolvimento de espécies em um depósito de entulho na Espanha. Como resultado, a espécie foi considerada um arbusto pioneiro na mina, aumentando a diversidade local e tendo um efeito positivo na germinação de sementes, crescimento de indivíduos, melhoria do solo e formando micro-habitats sob seu dossel.
Fedriani et al. (2020)	Combined effect of seed provenance, plant facilitation and restoration site on revegetation success.	Este estudo avaliou o potencial facilitador de três espécies de arbustivas para <i>Pyrus bourgaeana</i> Decne, em uma área em processo de restauração ambiental na Espanha. Como resultado, observou-se que, embora os arbustos tenham efeito positivo sobre <i>P. bourgaeana</i> , a magnitude das interações muda tanto com o local de semeadura quanto com a proveniência das sementes.
Gonzalez e Ghermandi (2019)	Dwarf shrub facilitates seedling recruitment and plant diversity in semiarid grasslands.	A riqueza, a emergência de plântulas e a sobrevivência de <i>Festuca pallenscens</i> (St.-Yves) Parodi foram avaliadas com e sem a presença de <i>Acaena splendens</i> , em uma área do noroeste da Patagônia. Nos resultados, os índices foram maiores com a presença de <i>A. splendens</i> , porém, as mudas morreram no verão em ambos os microsítios, indicando que <i>A. splendens</i> atua como uma espécie de facilitadora, no entanto, o mecanismo de facilitação pode falhar em condições de seca, indicando ser uma ferramenta de restauração limitada pelo clima.
Martelletti et al. (2018)	Microsite manipulation in lowland oak forest restoration results in indirect effects on a corn predation.	O estudo que investigou <i>Cytisus scoparius</i> (L.) Link. e estruturas artificiais de sombra, como possíveis mecanismos de facilitação, com e sem melhoria prévia do solo, na emergência e predação de sementes, no norte da Itália, não encontrou evidências de facilitação direta na emergência, porém, efeitos indiretos foram detectados na forma de predação das sementes, que foram afetadas negativamente pela presença de <i>C. scoparius</i>

Fonte: Autor.

Figura 1 - *Clusia hilariana* Schltld. na roseta da bromélia-tanque *Aechmea blanchetiana* (Baker) LB Sm.: (A-B) Germinação de *C. hilariana* na roseta da bromélia-tanque; (C) Crescimento de *C. hilariana* na roseta da bromélia-tanque



Fonte: Autor.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS



Esta revisão destaca a importância do conhecimento sobre o ambiente e as condições climáticas para uma melhor compreensão dos processos de facilitação, bem como das respostas das espécies facilitadoras e facilitadas.

Os artigos selecionados neste estudo destacam o papel positivo das plantas facilitadoras na dinâmica de comunidades, tanto a nível ecológico quanto filogenético, e o entendimento da eficiência do uso de espécies facilitadoras em projetos de restauração de áreas degradadas. Vale ressaltar que a maioria dos estudos citados são considerados observacionais, e um número pequeno destes foram desenvolvidos com metodologias de plantios. Estes dados, em conjunto à existência de uma literatura cinza (*e.g.*, teses, dissertações, relatórios técnicos, dados não publicados), geram lacunas no conhecimento dos processos aqui avaliados.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES). O Marcelo Trindade Nascimento conta com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil (CNPq: 305617/2018-4) e da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ E-26/202.855/2018).

REFERÊNCIAS

ABIYU, Abrham *et al.* Restoration of degraded ecosystems in the Afromontane highlands of Ethiopia: comparison of plantations and natural regeneration. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 79, n. 2, p. 103-108, 2017.



ALDAY, Josu G. *et al.* Natural forest expansion on reclaimed coal mines in Northern Spain: the role of native shrubs as suitable microsites. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, p. 13606-13616, 2016.

AL-NAMAZI, Ali A.; EL-BANA, Magdy I.; BONSER, Stephen P. Competition and facilitation structure plant communities under nurse tree canopies in extremely stressful environments. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 8, p. 2747-2755, 2017.

ANTHELME, Fabien; GÓMEZ-APARICIO, Lorena; MONTÚFAR, Rommel. Nurse-based restoration of degraded tropical forests with tussock grasses: experimental support from the Andean cloud forest. **Journal of Applied Ecology**, v. 51, n. 6, p. 1534-1543, 2014.

AVENDAÑO-YÁÑEZ, María de la Luz *et al.* Is facilitation a promising strategy for cloud forest restoration? **Forest Ecology and Management**, v. 329, p. 328-333, 2014.

BADANO, Ernesto I. *et al.* Facilitation by nurse plants contributes to vegetation recovery in human-disturbed desert ecosystems. **Journal of Plant Ecology**, v. 9, n. 5, p. 485-497, 2016.

BANNISTER, Jan R. *et al.* Shrub influences on seedling performance when restoring the slow-growing conifer *Pilgerodendron uviferum* in southern bog forests. **Restoration Ecology**, v. 28, n. 2, p. 396-407, 2020.

BEDUSCHI, Tatiane; CASTELLANI, Tânia Tarabini. Friends or Foes? Interplay of facilitation and competition depends on the interaction between abiotic stress and ontogenetic stage. **Plant ecology**, v. 214, p. 1485-1492, 2013.

BERTNESS, Mark D.; CALLAWAY, Ragan. Positive interactions in communities.

Trends in ecology & evolution, v. 9, n. 5, p. 191-193, 1994.

BRANCALION, Pedro Henrique Santin *et al.* Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: MARTINS, Sebastião Venâncio. **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Viçosa: Editora UFV, 2015, p.262-291.

BROOKER, Rob W. *et al.* Facilitation in plant communities: the past, the present, and the future. **Journal of Ecology**, v. 96, n. 1, p. 18-34, 2008.

BRUNO, John F.; STACHOWICZ, John J.; BERTNESS, Mark D. Inclusion of facilitation into ecological theory. **Trends in ecology & evolution**, v. 18, n. 3, p. 119-125, 2003.



BURKE, Laretta *et al.* **Reefs at risk revisited**. Washington: World Resources Institute, 2011.

CALLAWAY, Ragan M. Positive interactions among plants. **The Botanical Review**, v. 61, p. 306-349, 1995.

CASTANHO, Camila T.; OLIVEIRA, Alexandre A.; PRADO, Paulo Inácio K. L. Does extreme environmental severity promote plant facilitation? An experimental field test in a subtropical coastal dune. **Oecologia**, v. 178, p. 855-866, 2015.

CAVIERES, Lohengrin A. *et al.* Facilitative plant interactions and climate simultaneously drive alpine plant diversity. **Ecology letters**, v. 17, n. 2, p. 193-202, 2014.

CAVIERES, Lohengrin A. *et al.* Facilitation among plants as an insurance policy for diversity in Alpine communities. **Functional Ecology**, v. 30, n. 1, p. 52-59, 2016.

CHAIEB, Ghassen *et al.* Shift from short-term competition to facilitation with drought stress is due to a decrease in long-term facilitation. **Oikos**, v. 130, n. 1, p. 29-40, 2021.

CONNELL, Joseph H.; SLATYER, Ralph O. Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. **The American Naturalist**, v. 111, n. 982, p. 1119-1144, 1977.

DALOTTO, Cecilia E. S. *et al.* Facilitation influences patterns of perennial species abundance and richness in a subtropical dune system. **AoB Plants**, v. 10, n. 2, p. ply017, 2018.

DIAS, André Tavares Corrêa *et al.* Limited relevance of studying colonization in degraded areas for selecting framework species for ecosystem restoration. **Natureza & Conservação**, v. 12, n. 2, p. 134-137, 2014.

DOMÍNGUEZ, María T. *et al.* Facilitating the afforestation of Mediterranean polluted soils by nurse shrubs. **Journal of Environmental Management**, v. 161, p. 276-286, 2015.

DUARTE, Milen *et al.* Plant–plant facilitation increases with reduced phylogenetic relatedness along an elevation gradient. **Oikos**, v. 130, n. 2, p. 248-259, 2021.

ENCINO-RUIZ, Limberg *et al.* Performance of three tree species from tropical dry forest in an ecological restoration trial. **Botanical Sciences**, v. 91, n. 1, p. 107-114, 2013.



ERFANZADEH, Reza; PALAYE, Ali A. Shayesteh; GHELICHNIA, Hassan. Shrub effects on germinable soil seed bank in overgrazed rangelands. **Plant Ecology & Diversity**, v. 13, n. 2, p. 199-208, 2020.

FEDRIANI, Jose M. *et al.* The overlooked benefits of synzoochory: rodents rescue seeds from aborted fruits. **Ecosphere**, v. 11, n. 11, p. e03298, 2020.

FILAZZOLA, Alessandro *et al.* The effect of consumer pressure and abiotic stress on positive plant interactions are mediated by extreme climatic events. **New Phytologist**, v. 217, n. 1, p. 140-150, 2018.

FORONDA, Ana *et al.* The role of shrubs in spatially structuring the soil seed bank of perennial species in a semi-arid gypsum plant community. **Plant Ecology**, v. 221, p. 913-923, 2020.

GALINDO, Víctor *et al.* Facilitation by pioneer shrubs for the ecological restoration of riparian forests in the Central Andes of Colombia. **Restoration Ecology**, v. 25, n. 5, p. 731-737, 2017.

GÓMEZ-RUIZ, Pilar Angélica; LINDIG-CISNEROS, Roberto; VARGAS-RÍOS, Orlando. Facilitation among plants: A strategy for the ecological restoration of the high-andean forest (Bogotá, DC - Colombia). **Ecological Engineering**, v. 57, p. 267-275, 2013.

GONZALEZ, Sofia L.; GHERMANDI, Luciana. Dwarf shrub facilitates seedling recruitment and plant diversity in semiarid grasslands. **PloS one**, v. 14, n. 2, p. e0212058, 2019.

HASTINGS, James Rodney; TURNER, Raymond M. **The changing mile: an ecological study of vegetation change with time in the lower mile of an arid and semiarid region.** Tucson: University of Arizona Press, 1965.

HE, Qiang; BERTNESS, Mark D.; ALTIERI, Andrew H. Global shifts towards positive species interactions with increasing environmental stress. **Ecology letters**, v. 16, n. 5, p. 695-706, 2013.

JANKJU, Mohammad. Role of nurse shrubs in restoration of an arid rangeland: Effects of microclimate on grass establishment. **Journal of Arid Environments**, v. 89, p. 103-109, 2013.

KIKVIDZE, Zaal *et al.* Climatic drivers of plant–plant interactions and diversity in alpine communities. **Alpine Botany**, v. 121, p. 63-70, 2011.



LAMEIRA, Lohana Lopes *et al.* Plant-canopy effects on natural regeneration in sites under restoration: do tree species matter? **Floresta e Ambiente**, v. 26, n.1, p. e20180398, 2019.

LIANCOURT, Pierre; DOLEZAL, Jiri. Community-scale effects and strain: facilitation beyond conspicuous patterns. **Journal of Ecology**, v. 109, n. 1, p. 19-25, 2021.

LIANCOURT, Pierre; TIELBÖRGER, Katja. Ecotypic differentiation determines the outcome of positive interactions in a dryland annual plant species. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 13, n. 4, p. 259-264, 2011.

LORTIE, Christopher J. Fix-it Felix: advances in testing plant facilitation as a restoration tool. **Applied Vegetation Science**, v. 20, n. 3, p. 315-316, 2017.

LOSAPIO, Gianalberto *et al.* An experimental approach to assessing the impact of ecosystem engineers on biodiversity and ecosystem functions. **Ecology**, v. 102, n. 2, p. e03243, 2021.

LUCAS, Diego Sales *et al.* Evidence of facilitation between early-successional tree species and the regenerating plant community in a tropical seasonally dry environment. **Austral Ecology**, v. 47, n. 3, p. 541-556, 2022.

LYU, Lixin *et al.* Fine-scale distribution of treeline trees and the nurse plant facilitation on the eastern Tibetan Plateau. **Ecological indicators**, v. 66, p. 251-258, 2016.

MARTELLETTI, Sara *et al.* Microsite manipulation in lowland oak forest restoration results in indirect effects on acorn predation. **Forest Ecology and Management**, v. 411, p. 27-34, 2018.

MARTINEZ, Joshua A.; DORNBUSH, Mathew E. Use of a native matrix species to facilitate understory restoration in an overbrowsed, invaded woodland. **Invasive Plant Science and Management**, v. 6, n. 2, p. 219-230, 2013.

MCINTIRE, Eliot J. B.; FAJARDO, Alex. Facilitation as a ubiquitous driver of biodiversity. **New phytologist**, v. 201, n. 2, p. 403-416, 2014.

MENDOZA-HERNÁNDEZ, Pedro E. *et al.* Vegetation recovery and plant facilitation in a human-disturbed lava field in a megacity: searching tools for ecosystem restoration.

Plant Ecology, v. 214, p. 153-167, 2013.



MICHALET, Richard *et al.* Two alternatives to the stress-gradient hypothesis at the edge of life: the collapse of facilitation and the switch from facilitation to competition. **Journal of Vegetation Science**, v. 25, n. 2, p. 609-613, 2014.

NAVARRO-CANO, Jose Antonio *et al.* What nurse shrubs can do for barren soils: rapid productivity shifts associated with a 40 years ontogenetic gradient. **Plant and Soil**, v. 388, p. 197-209, 2015.

NAVARRO-CANO, Jose Antonio. *et al.* Restoring phylogenetic diversity through facilitation. **Restoration Ecology**, v. 24, n. 4, p. 449-455, 2016.

NAVARRO-CANO, Jose Antonio *et al.* Additive effects of nurse and facilitated plants on ecosystem functions. **Journal of Ecology**, v. 107, n. 6, p. 2587-2597, 2019.

NIERING, W. A.; WHITTAKER, R. H.; LOWE, C. H. The Saguaro: a population in relation to environment: reproduction and survival are more affected by man's intrusion than by environmental extremes. **Science**, v. 142, n. 3588, p. 15-23, 1963.

NOUMI, Zouhaier *et al.* Limitations to the use of facilitation as a restoration tool in arid grazed savanna: a case study. **Applied Vegetation Science**, v. 18, n. 3, p. 391-401, 2015.

O'BRIEN, Michael J. *et al.* Facilitation mediates species presence beyond their environmental optimum. **Perspectives in plant ecology, evolution and systematics**, v. 38, p. 24-30, 2019.

PELÁEZ, Marta *et al.* Nurse plant size and biotic stress determine quantity and quality of plant facilitation in oak savannas. **Forest Ecology and Management**, v. 437, p. 435-442, 2019.

PEREA, Ramón *et al.* Nurse shrubs to mitigate plant invasion along roads of montane Neotropics. **Ecological Engineering**, v. 136, p. 193-196, 2019.

PUGNAIRE, Francisco I.; ARMAS, C.; MAESTRE, F. T. Positive plant interactions in the Iberian Southeast: mechanisms, environmental gradients, and ecosystem function. **Journal of Arid Environments**, v. 75, n. 12, p. 1310-1320, 2011.

PUGNAIRE, Francisco I.; HAASE, Peter; PUIGDEFABREGAS, Juan. Facilitation between higher plant species in a semiarid environment. **Ecology**, v. 77, n. 5, p. 1420-1426, 1996.

QUON, Lauren H.; BOBICH, Edward G.; QUESTAD, Erin J. Facilitation and herbivory during restoration of California coastal sage scrub. **Restoration Ecology**, v. 27, n. 5, p. 1041-1052, 2019.



SER - Society for Ecological Restoration. What is ecological restoration? **Society for Ecological Restoration**, 2023. Disponível em: <https://www.ser-rrc.org/what-is-ecological-restoration/>. Acesso em: 10 jun. 2020.

SILLIMAN, Brian R. *et al.* Facilitation shifts paradigms and can amplify coastal restoration efforts. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 46, p. 14295-14300, 2015.

SOLIVERES, Santiago; SMIT, Christian; MAESTRE, Fernando T. Moving forward on facilitation research: response to changing environments and effects on the diversity, functioning and evolution of plant communities. **Biological Reviews**, v. 90, n. 1, p. 297-313, 2015.

SUN, Zhongyu *et al.* Plantation age, understory vegetation, and species-specific traits of target seedlings alter the competition and facilitation role of eucalyptus in South China.

Restoration Ecology, v. 25, n. 5, p. 749-758, 2017.

TEMPERTON, Vicky M. *et al.* **Assembly rules and restoration ecology**: bridging the gap between theory and practice. Washington, DC: Island Press, 2004.

TORROBA-BALMORI, Paloma *et al.* Recovering *Quercus* species on reclaimed coal wastes using native shrubs as restoration nurse plants. **Ecological engineering**, v. 77, p. 146-153, 2015.

TSUDA, Érika Tiemi; CASTELLANI, Tânia Tarabini. *Vriesea friburgensis*: a natural trap or a nurse plant in coastal sand dunes? **Austral Ecology**, v. 41, n. 3, p. 273-281, 2016.

TURNER, Raymond M. *et al.* The influence of shade, soil, and water on saguaro seedling establishment. **Botanical Gazette**, v. 127, n. 2/3, p. 95-102, 1966.

URRETAVIZCAYA, María Florencia; DEFOSSÉ, Guillermo E. Effects of nurse shrubs and tree shelters on the survival and growth of two *Austrocedrus chilensis* seedling types in a forest restoration trial in semiarid Patagonia, Argentina. **Annals of Forest Science**, v. 70, n. 1, p. 21-30, 2013.

VALIENTE-BANUET, Alfonso; VERDÚ, Miguel. Plant facilitation and phylogenetics.

Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, v. 44, p. 347-366, 2013.

VAN ZONNEVELD, Maarten J.; GUTIÉRREZ, Julio R.; HOLMGREN, Milena. Shrub facilitation increases plant diversity along an arid scrubland–temperate rain forest



boundary in South America. **Journal of Vegetation Science**, v. 23, n. 3, p. 541-551, 2012.

VEGA-ÁLVAREZ, Julia; GARCÍA-RODRÍGUEZ, José Antonio; CAYUELA, Luis. Facilitation beyond species richness. **Journal of Ecology**, v. 107, n. 2, p. 722-734, 2018.

VERDÚ, José R.; NUMA, Catherine; HERNÁNDEZ-CUBA, Olmo. The influence of landscape structure on ants and dung beetles diversity in a Mediterranean savana - Forest ecosystem. **Ecological Indicators**, v. 11, n. 3, p. 831-839, 2011.

VERDÚ, Miguel; GÓMEZ-APARICIO, Lorena; VALIENTE-BANUET, Alfonso. Phylogenetic relatedness as a tool in restoration ecology: a meta-analysis. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 279, n. 1734, p. 1761-1767, 2012.

WRIGHT, Alexandra J. *et al.* The overlooked role of facilitation in biodiversity experiments. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 32, n. 5, p. 383-390, 2017

Enviado: 07 de Fevereiro, 2023.

Aprovado: 23 de Fevereiro, 2023.

¹ Mestre em Biodiversidade Tropical. Laboratório de Ciências Ambientais, Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Parque Califórnia, 28013-602, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil. izabelafribeiro@gmail.com. ORCID: 0000-0002-4868-6369. CURRÍCULO LATTES: <http://lattes.cnpq.br/7186707603292907>.

² Coorientador. Doutor em Ecologia (UFRJ). Pós-doutor pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e pela Estacion Experimental de Zonas Áridas – Espanha (Bolsa CAPES). Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas, Universidade Federal do Espírito Santo, 29932-540, São Mateus-ES, Brasil. ORCID: 0000-0003-1854-2441. CURRÍCULO LATTES: <http://lattes.cnpq.br/4502113593775550>.

³ Orientador. Doutorado em Ecologia, PhD, pela University of Stirling, Escócia em 1994 e Pós-doutorado no Royal Botanic Garden Edinburgh em 2013. Laboratório de Ciências Ambientais, Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Parque Califórnia, 28013-602, Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, Brasil. ORCID: 0000-0003-4492-3344. CURRÍCULO LATTES: <http://lattes.cnpq.br/3704305950005564>.