



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

JOÃO PEDRO NASCIMENTO DE SOUSA

**ESTUDO BIBLIOGRÁFICO E BIBLIOMÉTRICO SOBRE O USO DE BACTÉRIAS
ENDOFÍTICAS COMO INDUTORAS DO CRESCIMENTO DE PLANTAS NATIVAS
DA CAATINGA**

FORTALEZA

2020

JOÃO PEDRO NASCIMENTO DE SOUSA

ESTUDO BIBLIOGRÁFICO E BIBLIOMÉTRICO SOBRE O USO DE BACTÉRIAS
ENDOFÍTICAS COMO INDUTORAS DO CRESCIMENTO DE PLANTAS NATIVAS DA
CAATINGA

Monografia apresentada ao Programa de Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Oscarina Viana de Sousa.

Fortaleza

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S697e Sousa, João Pedro Nascimento de.
ESTUDO BIBLIOGRÁFICO E BIBLIMÉTRICO SOBRE O USO DE BACTÉRIAS ENDOFÍTICAS
COMO INDUTORAS DO CRESCIMENTO DE PLANTAS NATIVAS DA CAATINGA / João Pedro
Nascimento de Sousa. – 2020.
45 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do
Mar, Curso de Ciências Ambientais, Fortaleza, 2020.
Orientação: Profa. Dra. Oscarina Viana de Sousa.
1. Revisão de literatura. 2. Simbiose. 3. Microrganismos. 4. Cobertura vegetal. 5. Recuperação. I. Título.
CDD 333.7
-

JOÃO PEDRO NASCIMENTO DE SOUSA

ESTUDO BIBLIOGRÁFICO E BIBLIOMÉTRICO SOBRE O USO DE BACTÉRIAS
ENDOFÍTICAS COMO INDUTORAS DO CRESCIMENTO DE PLANTAS NATIVAS DA
CAATINGA

Monografia apresentada ao Programa de
Graduação em Ciências Ambientais da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Ciências Ambientais.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Oscarina Viana de Sousa (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Rosa Helena Rebouças
Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPA)

Ma. Anna Luisa de Carvalho Brito
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Francisco Jorge e Aparecida
Nascimento. E a minha avó Maria de Lourdes.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof^o. Dr^a. Oscarina Viana de Sousa, pela excelente orientação, por toda a paciência e por todo o aprendizado que me proporcionou.

Aos professores participantes da banca examinadora Anna Luiza de Carvalho Brito e Rosa Helena Rebouças pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos colegas da turma de ciências ambientais de 2016.1, em especial às minhas princesas Hivila Morais, Francisca Cíntia e Najila Vitória e aos meus amigos Jana Sousa e Guilherme Coelho que saíram do curso, mas não do meu coração, pelas reflexões, críticas, consolações, ajudas, rizadas, e por todo apoio.

À família LAMAP, principalmente à Raquel Soares que foi minha mãe no laboratório e sempre me ajudou com muito carinho e consideração. Aos meus parceiros de laboratório Alexandra Sampaio, Maria Tereza Martins, Ana Vládila Oliveira, Larissa Nunes, Robério Mires, Gabriel Bezerra, Jhones Lima, Márcio Ívis Coutinho e Lucas Daniel Borges, que se tornaram verdadeiros amigos e sempre me ajudaram e me ensinaram. Também agradeço à Fátima Cristiane Teles, GleireMenezes e à Marina Torres por tudo que me ensinaram, e por toda atenção que me deram.

À toda minha família. Ao meu pai, Francisco Jorge, que sempre me apoiou no rumo acadêmico. À minha mãe, Aparecida Nascimento, que sempre foi o meu porto seguro e minha verdadeira amiga e as minhas irmãs Ruth Nascimento e Rebeca Nascimento, que são tudo pra mim.

Aos professores e professoras que participaram da minha formação, que com muita dedicação passaram seus conhecimentos adiante. Ao professor Marcus Vínicius que de professor se tornou meu amigo.

RESUMO

Em decorrência das fortes pressões antrópicas nas últimas décadas, muitas vezes com uso de fertilizantes químicos, o solo é afetado negativamente, resultando em aumento de áreas degradadas. Essa realidade torna indispensável a compreensão dos mecanismos naturais que podem ser utilizados na recuperação dessas áreas. Bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal podem promover o crescimento mais eficiente de vegetação nativa, amenizando os efeitos negativos no solo. Esse trabalho teve como objetivo fazer um levantamento de informações na literatura científica analisando e discutindo conceitos e aplicações na interação planta-bactéria, além dos mecanismos que estabelecem os processos responsáveis pela promoção do crescimento vegetal desencadeados pela presença de bactérias endofíticas. O levantamento teve foco na produção de fitohormônios, como o ácido indol acético, que é uma das principais auxinas vegetais. Algumas metodologias para desinfecção do material vegetal foram compiladas, mostrando as variações no processo de exclusão das bactérias de superfície, para que sejam acessadas apenas as bactérias endofíticas. O presente trabalho teve como objetivo analisar a literatura sobre bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal, indicando o seu uso para recuperação de áreas degradadas no bioma da caatinga. Os dados de publicações sobre o tema nos últimos 30 anos, obtidos na revisão bibliográfica, foram discutidos, revelando o aumento de publicações e citações na área, com a China, a Índia e o Brasil respectivamente liderando o número de publicações, focadas principalmente na área de agricultura. Contudo, ainda são poucos os trabalhos associados ao clima semi-árido, e mais pesquisas sobre as peculiaridades locais devem ser realizadas.

Palavras-chave: Revisão de literatura. Simbiose. Microrganismos. Cobertura vegetal. Recuperação. Solo.

ABSTRACT

Due to the strong anthropic pressures in the last decades, often with the use of chemical fertilizers, the soil is negatively affected, resulting in the increase of degraded areas. This reality makes essential to understand the natural mechanisms that can be used in the recovery of these areas. Plant growth-promoting endophytic bacteria can promote more efficient growth of native plants, mitigating the negative effects on the soil. This work aimed to survey information in the scientific literature by analyzing and discussing concepts and applications in plant-bacteria interactions, in addition to the mechanisms that establish the processes responsible for promoting growth triggered by the presence of endophytic bacteria. The survey focused on the production of phytohormones, such as indole acetic acid, which is one of the main vegetable auxins. Some methodologies for disinfecting plant material was compiled to show variations in the process of excluding surface bacteria, so that would only be accessed by endophytic bacteria. The present study aimed to analyze the literature on endophytic bacteria that promote plant growth, indicating its use for the recovery of degraded areas in the caatinga biome. Publication data on the topic in the last 30 years, obtained from the bibliographic review, were discussed, revealing the increase in publications and citations in the area, with China, India and Brazil respectively leading the number of publications, mainly focused on the area of agriculture. However, there are still few works associated with the semi-arid climate, and more research on local peculiarities must be carried out.

Keywords: Literature review. Symbioses. Microorganisms. Vegetal cover. Recovery. Soil.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Processos de desinfecção de partes de plantas para acesso de bactérias endofíticas com respectivos artigos de origem.....	30
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Número de publicações sobre bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal nos últimos 30 anos de acordo com o banco de dados do Scopus.....	19
Gráfico 2 – Número de publicações sobre bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal nos últimos 30 anos.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Levantamento do número e tipos de publicações abordando o tema de bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal nos últimos 30 anos.....	18
Tabela 2 – Relação das vinte publicações sobre bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal nos últimos 30 anos.....	20
Tabela 3 – Relação de periódicos científicos com maior número de artigos publicados sobre bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal nos últimos 30 anos.....	21

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio
AIA	Ácido Indol Acético
ONU	Organização das Nações Unidas
ABA	Ácido Abscísico
AHL	Homoresina Lactona
TSA	Trypic Soy Agar
CMA	Complete Médium Agar
BDA	Batata Dextrose Agar
MMA	Ministério do Meio Ambiente
APNE	Associação Plantas do Nordeste
BFG	Brazil Flora Group
APA	Área de Preservação Ambiental

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo Geral.....	16
2.2	Objetivos Específicos.....	16
3	MATERIAIS E MÉTODOS	17
4	ANÁLISE SISTEMÁTICA.....	18
5	REFERENCIAL TEÓRICO.....	23
5.1	Interações entre bactérias endofíticas e plantas.....	23
5.1.1	<i>Estabelecimento da associação entre bactérias endofíticas e plantas.....</i>	24
5.1.2	<i>Produção de estimuladores do crescimento vegetal.....</i>	25
5.1.3	<i>Quorum sensing.....</i>	27
5.2	Desinfecção do material vegetal.....	24
5.3	Caatinga.....	26
5.4	Recuperação de áreas degradadas.....	27
5.4.1	<i>Sabiá, Mimosa caesalpiniiifolia Benth.....</i>	28
5	ANÁLISE SISTEMÁTICA.....	30
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
7	REFERÊNCIAS.....	36

1 INTRODUÇÃO

A caatinga é um bioma brasileiro de biodiversidade significativa associado a uma herança cultural diversa, embora seja pouco estudado (ALBUQUERQUE *et al.*, 2007). O bioma possui grande diversidade e potenciais para seus recursos florestais, devido à sua aptidão forrageira, apícola, medicinal, madeireira e faunística (ARAÚJO-FILHO *et al.*, 2006).

Esse bioma vem sofrendo grande pressão antrópica com o consumo de frutos, produção de lenha, pecuária e agricultura. As áreas mais afetadas já chegaram ao estágio de desertificação em decorrência do desequilíbrio ambiental causado. Para a conservação e uso sustentável dos recursos da caatinga, pesquisas dos ramos ecológico, econômico e social estão em ascensão (SANTOS *et al.*, 2016).

Levando em consideração a importância da caatinga e o estado de degradação no qual se encontra, se fazem necessárias ações de recuperação ambiental, para recompor as áreas degradadas com vegetação nativa, minimizando então os processos de degradação (SANTOS *et al.*, 2016)

Valcarcel e Silva (1997) apontam a necessidade que a sociedade tem de gerar conhecimento para que os problemas ambientais sejam revertidos, e como é necessário o desenvolvimento de novas técnicas e estratégias de recuperação de áreas degradadas, e dos ecossistemas que sofreram grandes impactos pela ação antrópica (VALCARCEL; SILVA, 1997). A utilização de processos que otimizem a produção de mudas, a baixo custo e com qualidade para plantio são etapas fundamentais nessa abordagem (JOSÉ; DAVIDE; OLIVEIRA, 2005).

Uma alternativa para melhorar a produção, aumentando o crescimento e desenvolvimento vegetal é a introdução de bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal. Essas bactérias contam com os processos de fixação biológica de nitrogênio (FBN); liberação de reguladores de crescimento, como o ácido indolacético (AIA), giberelinas, citocininas e etileno; solubilização de fosfato e produção de sideróforo, conferindo assim vantagem competitiva à planta hospedeira. As bactérias conhecidas como endofíticas são aquelas que habitam o interior das plantas, nas suas partes aéreas, como o caule e as folhas, sem causar danos aos seus hospedeiros. As raízes também são habitadas por esses microrganismos, além de servirem como porta de entrada para eles (AZEVEDO, 1998).

Para combater a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima, e garantir paz e prosperidade para todos até 2030, a ONU elencou 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável. A introdução de bactérias promotoras do crescimento vegetal pode ser uma

ferramenta para alcançar o segundo objetivo (fome zero e agricultura sustentável), por aumentar a produção agrícola de maneira sustentável, e o décimo terceiro (ação contra a mudança global do clima), por melhorar o desenvolvimento de plantas que são utilizadas em processos de recuperação de áreas degradadas.

Com a constante degradação no bioma da caatinga, se faz necessário o desenvolvimento de estratégias para otimizar a recuperação de áreas degradadas, de modo natural, com árvores nativas. A prospecção de bactérias endofíticas produtoras de AIA para aplicação biotecnológica em recuperação de áreas degradadas é uma alternativa para a promoção do crescimento vegetal de forma natural, sem alterar o microbioma do solo como a utilização de fertilizantes químicos.

Tendo isso em vista, foram realizadas revisões sistemática e de literatura, para servir como base de dados sobre o tema. A revisão de literatura facilita que o pesquisador a encontre trabalhos e metodologias parecidas, com fontes de informações úteis e uma visão holística sobre o tema, evitando repetição de erros já cometidos e oferecendo um ponto de vista sobre o tema (MARIANO; ROCHA, 2017). Já a revisão sistemática utiliza métodos sistemáticos e explícitos para identificar, selecionar e avaliar criticamente estudos relevantes, além de coletar e analisar dados dos estudos da revisão. Os resultados dos estudos podem ser analisados e resumidos por ferramentas estatísticas que integram os resultados dos estudos (MOHER *et al.*, 2015).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a literatura sobre bactérias endofíticas produtoras de ácido indol acético, e sua possível aplicação biotecnológica para otimização do crescimento de espécies arbóreas da caatinga visando seu uso em recuperação de áreas degradadas.

2.2 Objetivos Específicos

- Fazer levantamento sobre a aplicação de bactérias endofíticas indutoras de crescimento vegetal na restauração de vegetações degradadas
- Analisar e compilar as principais informações sobre o tema como base de dados norteadora de pesquisas biotecnológica de aplicação na recuperação de cobertura vegetal de áreas degradadas;

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para desenvolvimento desta revisão sistemática da literatura foram consultados artigos científicos, monografias, teses e dissertações, visando explorar o conceito de bactérias endofíticas, suas interações com as plantas, a produção de estimuladores do crescimento vegetal e seu potencial biotecnológico para uso em recuperação de áreas degradadas, especificamente áreas do bioma caatinga.

A pesquisa bibliográfica foi realizada utilizando as plataformas ScienceDirect, Scielo, PubMed e ResearchGate, buscando pelas palavras-chave: *Mimosa caesalpinifolia* Benth, *endophytic bacteria*, *quorum sensing*, *plant growth-promoting rhizobacteria*, *Indole-3-acetic acid*, sistemas agroflorestais e recuperação de áreas degradadas. Também foram consultados repositórios de universidades, documentos de órgãos e plataformas como o Periódico Capes.

Para a análise sistemática, os dados de publicações relacionadas a bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal foram retirados do banco de dados Scopus, com a estratégia de busca “TITLE-ABS-KEY (endophytic AND bactéria AND plant AND growth AND promoting)”.

Foram analisados o número de publicações a cada 10 anos, as 20 publicações com maior número de citações, as 20 revistas com mais publicações e os 20 países com maiores números de publicações.

4 ANÁLISE SISTEMÁTICA

A bibliometria é composta por técnicas matemáticas e estatísticas usadas para análises quantitativas, exploração e organização de grandes quantidades de literatura científica e tecnológica, como artigos de periódicos e patentes. Essa técnica visa a facilitação da análise das propriedades da literatura, incluindo os países de origem, os tipos de documentos gerados, filiações e citações (ZANJIRCHI *et al.*, 2019).

Foi realizado um levantamento das pesquisas sobre bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal nos últimos 30 anos, o que mostra a evolução do campo de pesquisa e suas tendências.

Entre 1991 e 2020 foram publicados 973 documentos sobre bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal, sendo 851 artigos, 50 revisões, 49 capítulos de livros, 17 artigos de conferências, 3 erratas, 2 notas e 1 “*short survey*” (Tabela 1).

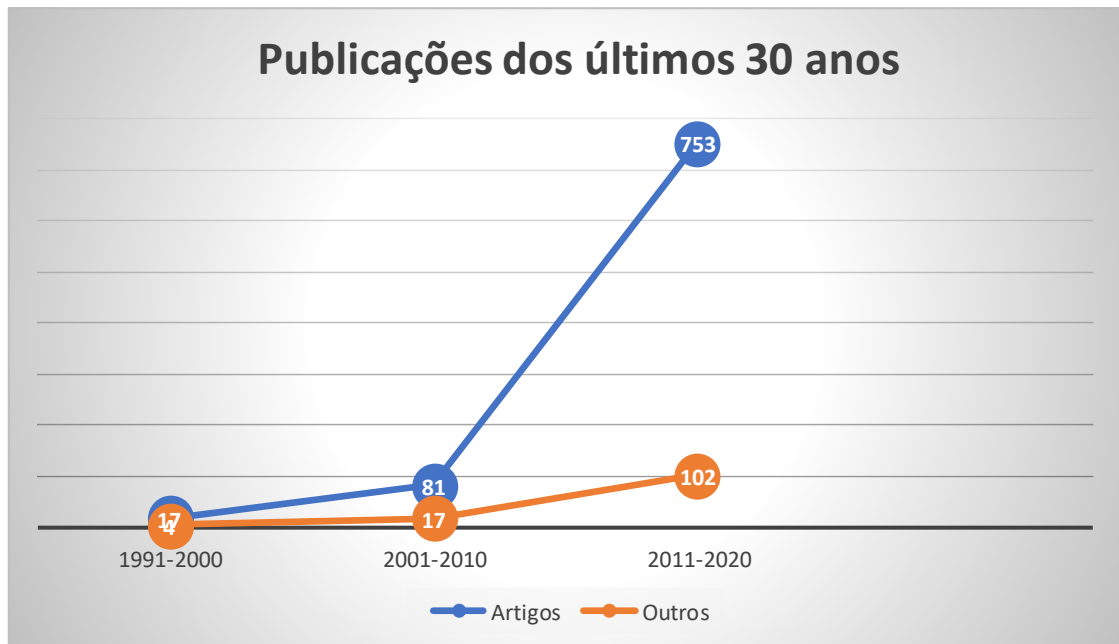
Tabela 1 -Levantamento do número e tipos de publicações abordando o tema de bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal nos últimos 30 anos.

Tipos de publicação	Períodos		
	1991-2000	2001-2010	2011-2020
Artigo	17	81	753
Revisão	2	5	43
Capítulo de livro	0	3	46
Artigo de Conferência	1	7	9
Errata	0	1	2
Nota	0	0	2
Short Survey	0	1	0

Fonte: Autor.

De 1991 a 2000 foram publicados 17 artigos e 2 revisões e 0 capítulos de livro, enquanto de 2011 a 2020 foram publicados respectivamente 753, 43 e 46. Isso significa que em duas décadas se teve um aumento de 476% e 929,6% em artigos publicados em periódicos científicos tratando sobre o tema, de 250% e 860% em revisões e de 300% e 1.533% em capítulos de livros. O gráfico 1 mostra a evolução da publicação de artigos em comparação aos demais tipos de publicação.

Gráfico 1 - Número de publicações sobre bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal nos últimos 30 anos de acordo com o banco de dados do Scopus.



Fonte: Autor.

Adicionando o termo “*semiarid*” na pesquisa pela plataforma da Scopus, as pesquisas foram reduzidas para 6, mostrando que apesar do número crescente de pesquisas na área de bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal, os estudos aplicados a climas semiáridos são muito escassos. Quando foi adicionado o termo “*caatinga*”, a plataforma não obteve resultados, apontando a urgência de estudos mais específicos nesse bioma tão diverso.

Na tabela 2 é possível verificar as publicações com maiores números de citações, com destaque para as duas primeiras colocadas, que tiveram respectivamente 1415 e 918 citações.

Tabela 2 – Relação das vinte publicações sobre bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal nos últimos 30 anos.

Referências	Tipo	Número de citações	Ano	Revista
Vessey, J. K.	Revisão	1514	2003	Plant and Soil
Compant, S.A, Clement, C. Sessitsch, A.	Revisão	918	2010	Soil Biology and Biochemistry
Ma, Y. <i>et al.</i>	Revisão	549	2011	Biotechnology Advances
Steenhoudt, O.; Vanderleyden, J.	Revisão	533	2000	FEMS Microbiology Reviews
Sturz, A. V.; Christie, B. R.; Nowak, J.	Revisão	507	2000	Critical Reviews in Plant Sciences
Rajkumar, M., <i>et al.</i>	Revisão	443	2012	Biotechnology Advances Applied and Environmental Microbiology
Compant, S. <i>et al.</i>	Artigo	426	2005	Microbiology
Santoyo. G. <i>et al.</i>	Revisão	362	2016	Microbiological Research
Sheng, X.-F. <i>et al.</i>	Artigo	347	2008	Environmental Pollution Applied and Environmental Microbiology
Taghavi, S. <i>et al.</i>	Artigo	326	2009	Microbiology
Verma, S. C., Ladha, J. K., Tripathi, A. K.	Art. Conf.	276	2001	Journal of Biotechnology
Compant, S.; Van Der Heijden, M. G. A., Sessitsch, A.	Artigo	262	2010	FEMS Microbiology Reviews
Rajkumar, M.; Ae, N.; Freitas, H.	Revisão	245	2009	Chemosphere
Santi, C.; Bogusz, D.; Franche, C.	Revisão	242	2013	Annals of Botany Applied and Environmental Microbiology
Ait Barka, E.; Nowak, J.; Clément, C.	Artigo	235	2006	Microbiology Canadian Journal of Microbiology
Sessitsch, A.; Reiter, B.; Berg, G.	Artigo	224	2004	Microbiology Molecular Plant-Microbe Interactions
James, E. K. <i>et al.</i>	Artigo	222	2002	Applied Microbiology and Biotechnology
Qin, S. <i>et al.</i>	Revisão	209	2011	Biotechnology Plant Physiology and Biochemistry
Ali, S.; Charles, T. C.; Glick, B. R.	Artigo	208	2014	Biochemistry
Oteino, N. <i>et al.</i>	Artigo	207	2015	Frontiers in Microbiology

Fonte: Autor.

Com 32 publicações, a revista *Plant and Soil* está liderando o número de publicações, seguida pelas *Microbiological Research* e *Fronties in Microbiology*, com respectivamente 28 e 27 publicações. O ranking dos 20 periódicos científicos com mais publicações na área está elencado na tabela 3.

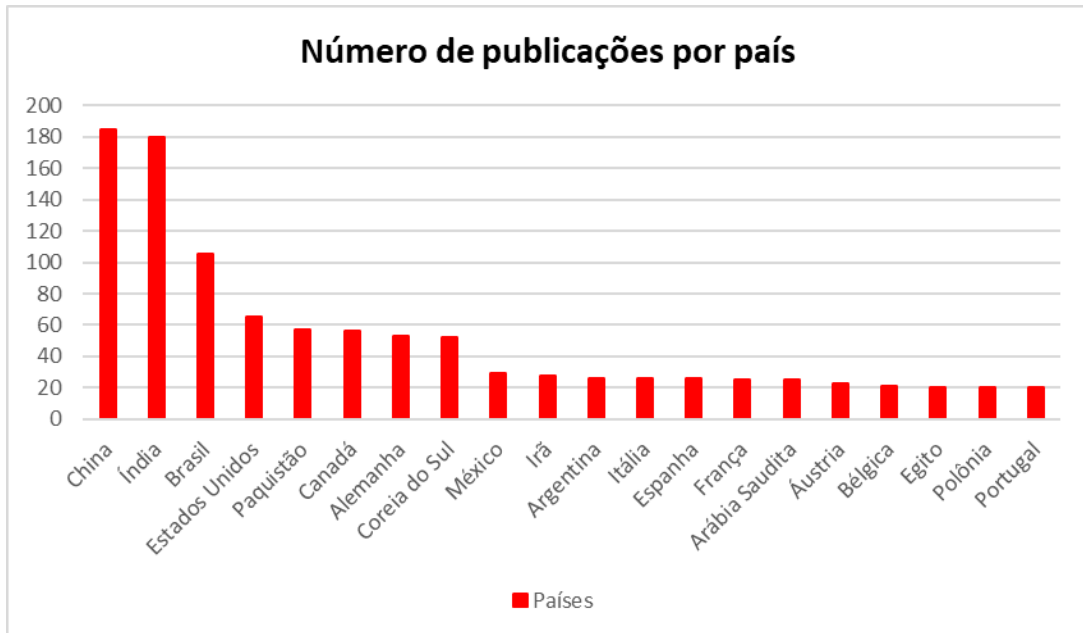
Tabela 3 – Relação de periódicos científicos com maior número de artigos publicados sobre bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal nos últimos 30 anos.

Título das revistas científicas	Número de publicações
Plant and Soil	32
Microbiological Research	28
Frontiers in Microbiology	27
Frontiers in Plant Sciences	23
Applied Soil Ecology	18
World Journal of Microbiology and Biotechnology	17
Genome Announcements	14
Journal of Applied Microbiology	14
Journal of Pure and Applied Microbiology	14
3 Biotech	13
Chemosphere	13
Annals of Microbiology	12
Antonie Van Leeuwenhoek International Journal of General and Molecular Microbiology	12
Biological Control	12
Environmental Sciences and Pollution Research	12
Plos One	12
Archives of Microbiology	11
Canadian Journal of Microbiology	10
Microorganisms	10
Symbiosis	10

Fonte: Autor.

Os 3 países que lideraram o número de publicações foram a China, a Índia e o Brasil, com respectivamente 185, 180 e 105 publicações (gráfico 2).

Gráfico 2 - Número de publicações sobre bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal nos últimos 30 anos.



Fonte: Autor.

A china tem investido em pesquisas, aumentando o número de publicações em todas as áreas, especialmente matemática e agricultura (TANG *et al.*, 2015). 79 das 185 publicações da China e 73 das 105 do Brasil estão na área de agricultura.

5 REFERENCIAL TEÓRICO

5.1 Interações entre bactérias endofíticas e plantas

Após milhões de anos de convivência comum, acredita-se que os organismos endofíticos tenham co-evoluído com suas espécies hospedeiras, ou aprimorado relações patogênicas ancestrais. As bactérias endofíticas mantêm uma associação íntima com a planta hospedeira, oferecendo a vantagem de estarem completamente compatibilizados com o hospedeiro. A utilização de plântulas previamente colonizadas por estirpes selecionadas antes do cultivo comercial, evita que seja necessário o estabelecimento natural e demorado dos microrganismos que colonizam as raízes. Esses microrganismos são encontrados na maior parte das famílias vegetais (DÖBEREINER, *et al.* 1995). Também é possível que alguns endofíticos, apesar de não produzirem sinais, quando expostos a certas condições, podem tornar-se patogênicos nas plantas hospedeiras (SARDI *et al.*, 1992).

Assim como as rizobactérias, as bactérias endofíticas são capazes de produzir fitohormônios, solubilizar fosfato, produzir sideróforos, inibir a biossíntese de etileno (hormônio vegetal atuante no amadurecimento) e induzir resistência a fitopatógenos. A competição por nutrientes no *habitat* endofítico é menor do que na rizosfera, potencializando então o estímulo do crescimento vegetal, a absorção de água e o controle biológico pelas bactérias que ocupam esse ambiente (BALDOTTO *et al.* 2010; AMORIM; MELO, 2002; SANTOS *et al.*, 2005). Muitas das bactérias capazes de promover o crescimento vegetal atuam em vários destes mecanismos, indicando que uma espécie em particular utiliza diferentes modos de ação durante o ciclo de vida das plantas, dependendo das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Microrganismos associados às plantas podem fornecer materiais com efeito terapêutico mais elevado que a própria planta, oferecendo novos compostos farmacologicamente ativos (STROBEL; LONG, 1998).

De maneira indireta, as bactérias endofíticas promovem o crescimento vegetal a partir da supressão de microrganismos deletérios do ambiente endofítico, usando mecanismos como antibiose e competição. Muitas vezes esses microrganismos habitam nichos ecológicos idênticos aos dos fitopatógenos, principalmente dos patógenos de tecidos vasculares, potencializando assim o seu uso na proteção de plantas provenientes de microcultivos, e na produção de mudas saudáveis para o setor comercial. Em destaque, as bactérias endofíticas são muito eficientes no controle de fungos fitopatogênicos, uma vez que elas devem ser

totalmente compatíveis com a presença de fungos micorrízicos, muito utilizados em sistemas agroflorestais (TSIMILI-MICHAEL *et al.*, 2000; VAZQUEZ *et al.*, 2000).

Além da supressão dos microrganismos deletérios em função do metabolismo de bactérias endofíticas, essas também podem induzir respostas sistêmicas de resistência na planta, que é exposta a um agente indutor e tem seus mecanismos de defesa ativados de maneira moderadamente generalizada (STICHER *et al.*, 1997). As bactérias liberam moléculas protéicas de baixo peso molecular, chamadas de elicitores bacterianos, na superfície e no interior das células vegetais, que as percebem pelos receptores presentes na membrana da plasmalema e desencadeiam a resposta que inicia a resistência sistêmica (HE, 1996). Os elicitores bacterianos podem ser constituídos por ácido salicílico, peptídeos, ácido jasmônico, metiljasmonatos e etileno (ENYEDI *et al.*, 1992).

5.1.1 Estabelecimento da associação entre bactérias endofíticas e raízes

O deslocamento dos microrganismos para a rizosfera acontece em decorrência dos exsudatos liberados pelas raízes da planta, que são ricos em aminoácidos, vitaminas, ácidos orgânicos, açúcares e outros metabólicos. As plantas também podem liberar secreções que ajudam na colonização de alguns grupos específicos de bactérias (GIRI; DUDEJA, 2013).

Com o reconhecimento químico chamado de quimiotaxia, os microrganismos se direcionam as raízes da planta, provavelmente atraídos pelo gradiente de fontes de carbono (exsudatos radiculares) entre o solo e a rizosfera. Os exsudatos da raiz têm função quimioatrativa específica (BENIZRI *et al.*, 2001). A colonização das raízes ocorre em duas etapas, primeiramente acontece uma adsorção leve e reversível, e em seguida um ancoramento irreversível realizado por proteínas extracelulares produzidas pelas próprias bactérias (MICHIELS *et al.*, 1991). Segundo Buell e Anderson (1993) os sinais moleculares produzidos pelas plantas podem reger o ancoramento.

Após a colonização, a sobrevivência dos microrganismos vai depender de fatores bióticos e abióticos. Os parâmetros físicos do solo, como o teor de argila, de matéria orgânica e de nitrogênio apresentam uma correlação positiva com a sobrevivência dos microrganismos, enquanto o teor de areia e de carbonato de cálcio apresentam uma correlação negativa. Outro fator que influencia a sobrevivência dos microrganismos é a temperatura, que quando baixa intensifica a colonização das raízes, apesar de prejudicar o crescimento das mesmas (BENIZRI *et al.*, 2001). Dentre os fatores bióticos que influenciam na colonização da

rizosfera estão a qualidades dos exsudatos radiculares, que podem variar de 40 a 90% do carbono translocado para as raízes e a predação por protozoários. Os exsudatos radiculares são divididos em difusatos, secreções, lisatos, gases e mucilagem e as plantas balanceiam o fluxo de carbono na rizosfera a partir da liberação e reabsorção destes compostos. A recaptura dos exsudatos também é uma forma de controlar o tamanho das comunidades microbianas associadas às raízes. Outro fator limitante para colonização da rizosfera é a competição entre os organismos do solo. Atividades de antibiose, densidade populacional, capacidade de degradar moléculas energeticamente estáveis e/ou quimicamente repelentes influenciam no processo de colonização da rizosfera (BENIZRI *et al.*, 2001).

As aberturas naturais e feridas nas plantas são por onde os microrganismos endofíticos entram. Nas raízes, a entrada desses microrganismos é intensa, devido à abrasão que ocorre quando as raízes vão crescendo e penetrando o solo, ou ao surgimento de ferimentos ocasionados pelo crescimento de raízes secundárias ou pela ação de insetos ou fungos patogênicos. Outra forma de entrada desses microrganismos é a partir da produção de enzimas ou estruturas que facilitam a sua entrada. Após a sua entrada, os microrganismos se propagam dentro da planta, chegando aos órgãos e aos tecidos (AZEVEDO, 1998).

O uso de microrganismos residentes naturais ou adaptados à planta hospedeira são indicados, pois estes terão uma capacidade de colonização maior e assim será diminuída a chance de introdução de organismos exógenos (ENEBAK *et al.*, 1998; KHALID *et al.*, 2004).

5.1.2 Produção de estimuladores do crescimento vegetal

A produção de fitormônios pode atuar na detoxificação celular gerada por excesso de triptofano, além de promover um estímulo ao crescimento vegetal e aumentar a produção de metabólitos pelas plantas (MANULIS *et al.*, 1998).

Segundo Santner e Estelle (2009), as principais classes de compostos químicos que promovem o crescimento e desenvolvimento vegetal são: auxinas, citocininas, giberelinas, ácido abscísico e etileno. Bugarelli *et al.* (2013) destacam dentre as auxinas o ácido indolacético (AIA), sendo a auxina fisiologicamente mais ativa nas plantas, assim como a molécula mais abundante atuando em vários processos de crescimento e desenvolvimento dos vegetais. Acredita-se que cerca de 80% das bactérias encontradas nas rizosferas são capazes de produzir AIA (LOPER; SCHROTH, 1986).

Muitas bactérias e fungos são capazes de sintetizar auxinas utilizando várias vias

(CHUNG, *et al.* 2003; SERGEEVA; LIAIMER; BERGMAN, 2002), que aumentam o potencial para formação de associações com as plantas. Os produtores de auxinas mais eficientes estão entre os que habitam a rizosfera e a filosfera (TSAVKELOVA; CHERDYNTSEVA; NETRUSOV, 2005; SERGEEVA; LIAIMER; BERGMAN, 2002). Além disso, a microbiota epifítica e rizosférica das plantas são de suma importância para a conversão do triptofano (que está presente nos exsudatos das plantas) em AIA (TSAVKELOVA *et al.*, 2006).

O ácido indolacético atua no aumento da elongação celular e na divisão e diferenciação celular (DOBBELAERE *et al.*, 2003). As rizobactérias produtoras de AIA promovem a proliferação de raízes secundárias e pêlos radiculares, otimizando a absorção dos nutrientes disponíveis e assim auxiliando o crescimento e desenvolvimento vegetal (LAMBRECHT *et al.*, 2000).

Em laboratório, a composição do meio e as condições de cultivo vão determinar a quantidade de auxinas formadas (TSAVKELOVA; CHERDYNTSEVA; NETRUSOV, 2005). As bactérias produzem a quantidade máxima de AIA durante o seu estágio estacionário de crescimento (TIEN; GASKINS; HUBBELL, 1979; BADENOCH-JONES *et al.*, 1982).

A ausência de triptofano no meio de cultura diminui o nível de síntese de AIA pelos microrganismos da cultura. Triptofano exógeno (ou, mais raramente, triptamina) pode aumentar a biossíntese de auxinas de uma ordem de magnitude ou mais (TSAVKELOVA; CHERDYNTSEVA; NETRUSOV, 2005; SERGEEVA; LIAIMER; BERGMAN, 2002).

Outra reguladora do crescimento vegetal é a giberelina, descoberta a partir de compostos produzidos pelo fungo *Giberella fujikuroi*, que age provocando um crescimento exagerado na altura das plantas de arroz e suprimindo a produção de sementes. A partir da cultura do fungo, o primeiro composto isolado foi denominado ácido giberélico, que atua no crescimento do caule, a partir de estímulos nas taxas de alongamento e divisão celular promovidas pela giberelina. Contudo, as giberelinas não são encontradas quando não há auxinas, indicando que os efeitos de crescimento estimulados pela giberelina só sejam possíveis quando o meio é acidificado pelas auxinas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Uma substância de crescimento que também promove a divisão celular é a citocinina, tendo sua eficiência aumentada quando interage com as auxinas (CAMILI, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2013). Em bactérias simbiotes pertencentes ao grupo do rizóbio, a síntese de auxinas e a alteração na proporção de auxinas e citocininas estão ligadas à capacidade de formação dos nódulos (COSTACURTA; VANDERLEYDEN, 1995).

A produção de citocina por bactérias, apesar de ser pouco explorada é bem

estabelecida. As citocinas são hormônios vegetais, que promovem a divisão celular, o alargamento e expansão do tecido nas plantas, além de modular condutividade estomática, mesmo sob condições de estresse hídrico (HOLLAND, 1997; ARKHIPOVA *et al.*, 2007; ARKHIPOVA *et al.*, 2005; GOVINDAN *et al.*, 2016). Bactérias do solo são conhecidas por aumentar a concentração de citocina no solo, e conseqüentemente nas plantas cultivadas em tais solos (ARKHIPOVA *et al.*, 2005).

Condições de estresse hídrico promovem a alteração do equilíbrio hormonal vegetal em decorrência do decréscimo nos níveis endógenos de citocina e do aumento nos níveis de ácido abscísico (ABA) nas folhas, levando ao fechamento dos estômatos. O antagonismo entre a citocina e o ácido abscísico acontece pois ambos possuem a mesma origem biossintética (FIGUEIREDO, 2008). O hormônio vegetal ABA tem papel significativo na regulação do fechamento dos estômatos. Quando em estresse hídrico, o aumento nas concentrações desse hormônio no xilema afeta a condutividade estomática (LIANG; ZHANG, 1999).

As citocinas melhoram a abertura estomática e promovem o crescimento da planta (HUSSAIN; HASNAIN, 2011). Como esses hormônios tem efeitos contrários no crescimento e na abertura dos estômatos, suas proporções são essenciais para superar os efeitos causados pelo estresse hídrico (GOVINDAN *et al.*, 2016).

Quando em estado de estresse, as plantas estimulam as suas defesas aumentando a produção de etileno, que é um regulador do crescimento vegetal produzido por todas as espécies de plantas, e age nos processos de crescimento e desenvolvimento vegetal. (SALEEM *et al.*, 2007; BHATTACHARYYA; JHA, 2012). Embora o aumento nos níveis de etileno ajude as plantas a saírem de condições de estresse, se este persistir, a quantidade excessiva de etileno pode causar senescência, clorose e abscisão, retardando o processo de crescimento das plantas (STEARNS; GLICK, 2003).

5.1.3 *Quorum sensing*

O *quorum sensing* é a capacidade de síntese e liberação de sinalizações químicas pelas bactérias e a detecção dessas sinalizações em função de sua densidade populacional (CAMILLI; BASSLER, 2006). A compreensão desses sinais permite que as bactérias percebam a si e a outros indivíduos, possibilitando a adaptação ao ambiente de crescimento de acordo com a densidade populacional, pela regulação de seus genes, geralmente a partir de um mecanismo de dois componentes. Esta regulação por meio de dois componentes se dá pela

existência da expressão constitutiva de dois genes, onde um é codificador de uma proteína ativadora, enquanto o outro é codificador para uma proteína de membrana sensora específica da primeira. Com esse processo há um aumento nos níveis próprios de expressão, amplificando então o sinal decodificado e atuando na expressão de outros genes, que só são úteis em situações específicas (BASSLER, 1999).

De acordo com o conceito de *quórum sensing*, para que os mecanismos moleculares de interação entre plantas e microrganismos ocorram é necessária uma densidade mínima de bactérias (WILLIAMS, 2007; SANCHEZ-CONTRERAS *et al.*, 2007). Quando as bactérias atingem esta densidade populacional, ocorre a alteração de expressão gênica, impulsionando suas atividades coordenadamente (WILLIAMS, 2007).

Dentre as bactérias Gram-negativas, os sinais químicos liberados mais comumente são denominados homoresinaslactonas, anteriormente conhecidos como N-acil lactonas homoserinas (AHLs) e dentre as Gram-Positivas são liberados principalmente os peptídeos (KLEEREBEZEM; QUADRI, 2001; WHITEHEAD *et al.*, 2001). As AHL depois de produzidas, pelas bactérias Gram-negativas são difundidas pelas membranas bacterianas e se acumulam até atingirem uma maior concentração. Quando essa concentração chega a cerca de 10nM, o AHL é ligado ao gene LuxR, regulando então a expressão do gene (HANZELKA; GREENBERG, 1995). De acordo com Holden *et al.* (2000), um organismo utiliza várias moléculas sinalizadoras de *quorum sensing*, que pertencem a diferentes classes químicas e servem para regular a expressão gênica.

Com o acúmulo de uma ou mais moléculas sinalizadoras no ambiente externo, em razão da alta densidade populacional bacteriana, ou a partir do confinamento da célula em um ambiente que permita o acúmulo desse sinal a um nível de base é que é ativado o sistema regulatório. Esse sistema de regulação gênica ativa processos metabólicos e fisiológicos, como síntese de exopolissacarídeos, produção de fatores de virulência, transferência de plasmídeo, luminescência e produção de antibióticos. Contudo, a quantidade elevada de reguladores atuantes no *quorum sensing* aponta que o acúmulo dos autoindutores não é o único fator que ativa as funções de respostas relacionadas à densidade populacional, tendo fatores nutricionais também envolvidos. Tendo isso em vista, presume-se que as bactérias possuem mecanismos de iniciar diferentes conjuntos de genes relacionados à atividade do grupo, considerando as limitantes ambientais, quando atingem uma alta densidade populacional (GRAY, 1997; GONZÁLEZ; MARKETON, 2003; SANCHEZ-CONTRERAS *et al.*, 2007; PIERSON; PIERSON, 2007).

5.2 Desinfecção do material vegetal

Para isolar as bactérias endofíticas, é necessário desinfetar a superfície do material vegetal, a fim de eliminar as bactérias que se aderem na superfície. Araújo *et al.* (2001), em sua metodologia, lavou todas as folhas e sementes em água corrente, então as classificou de acordo com o tamanho e aparência da superfície, e descartou todas as amostras visivelmente danificadas ou com doença. Após isso, os tecidos vegetais foram imersos em etanol 70%, a superfície foi desinfetada com hipoclorito de sódio 3% de cloro ativo (v/v) por 3 minutos, imersos novamente no etanol 70% e lavado duas vezes com água destilada esterilizada. Para verificar a eficiência do processo de desinfecção, o material vegetal desinfetado foi inserido em placas de TSA (*Trypic soy agar*) e CMA (*Complete médium agar*), e alíquotas de água da última lavagem também foram inoculadas nos mesmos meios.

É comum que outros pesquisadores utilizem metodologias parecidas com as apresentadas por Araújo *et al.* (2001), com algumas adaptações. No quadro 1 é possível observar o processo de desinfecção utilizados por Araújo *et al.* (2001), com as espécies de hábito herbáceo *Citrus sinensis* O., *C. limonia* O., *C. volkameriana* P., *C. reshni* Hort. ex Tan., *C. sunki* Hort. ex Tan., *Poncirus trifoliata* Raf., *C. sinensis* × *P. trifoliata*, *C. paradisi* Macf. × *C. reticulata* B.; Moura (2014) com as espécies de hábito arbóreo *Miconia ligustroides* e *Ocotea pulchella*, herbáceo *Eleocharis* sp. e arbustivo *Tibouchina ramboi*; Júnior (2009), com as orquídeas *Oeceoclades maculata*, *Cattleya walkeriana*, *Ionopsis utricularioides*, *Cyrtopodium paludicolum*, *Vanilla planifolia* e *Phalaenopsis amabilis*; e Ribeiro *et al.* (2014) e Cerigioli (2005) com o milho *Zea mays* L.

Para verificar a eficácia do processo de desinfecção do material vegetal, alíquotas de 100µL da água destilada usada na última lavagem podem ser inoculadas nos meios TSA 10% (ARAÚJO *et al.*, 2001; CERIGIOLI, 2005; MOURA, 2014), CMA (ARAÚJO *et al.*, 2001) e BDA (RIBEIRO *et al.*, 2014) de 25 a 28°C por 10 dias.

Entretanto, os respectivos trabalhos não apresentaram os resultados da verificação de eficiência, o que deixa uma lacuna quanto a qual processo é mais eficaz.

Quadro 1 - Processos de desinfecção de partes de plantas para acesso de bactérias endofíticas com respectivos artigos de origem.

Espécie vegetal	Hábito vegetal	Material vegetal	1ª. etapa	2ª. etapa	3ª. etapa	4ª. etapa	5ª. etapa	Referência
<i>Citrus sinensis</i> O., <i>C. limonia</i> O., <i>C. volkameriana</i> P., <i>C. reshni</i> Hort. ex Tan., <i>C. sunki</i> Hort. ex Tan., <i>Poncirus trifoliata</i> Raf., <i>C. sinensis</i> × <i>P. trifoliata</i> , <i>C. paradisi</i> Macf. × <i>C. e reticulata</i> B.	Arbóreo	Folhas e sementes	Álcool 70% por tempo não determinado	Hipoclorito de sódio a 3% por 3 minutos	Álcool 70% por tempo não determinado	2 lavagens em água destilada esterilizada	-	Araújo <i>et al.</i> (2001)
<i>Miconia ligustroides</i> , <i>Ocotea pulchella</i> , <i>Eleocharis</i> sp. e <i>Tibouchina ramboi</i>	Arbóreo/Arbustivo/Herbáceo	Folhas e raízes	Álcool 70% por 1 minuto	Hipoclorito de sódio a 3% por 4 minutos	Álcool 70% por 30 segundos	2 lavagens em água destilada esterilizada	-	Moura (2014)
<i>Oeceoclades maculata</i> , <i>Cattleya walkeriana</i> , <i>Ionopsis utricularioides</i> , <i>Cyrtopodium paludicolum</i> , <i>Vanilla planifolia</i> e <i>Phalaenopsis amabilis</i>	Erva	Raízes	Hipoclorito de sódio a 1% por 1 minuto	Álcool 70% por 30 segundos	3 lavagens em água deionizada autoclavada	-	-	Junior (2009)
<i>Zea mays</i> L.	Erva	Folhas raízes e seiva	Álcool 70% por 2 minutos	Hipoclorito de sódio a 2,5% por 5 minutos	Álcool 70% por 30 segundos	4 lavagens em água destilada esterilizada	-	Ribeiro <i>et al.</i> (2014)
<i>Zea mays</i> L.	Erva	Raízes, colmos e folhas	UV 254 nm por 5 minutos	Álcool 70% por 2 minutos	Hipoclorito de sódio a 2,5% por 5 minutos	Álcool 70% por 30 segundos	4 lavagens em água destilada esterilizada	Cerigioli (2005)

Fonte: Autor

5.4 Recuperação de áreas degradadas

A qualidade ambiental se tornou uma preocupação mundial, o que gerou um aumento na demanda de serviços e produtos, destacando-se a produção de mudas para a recuperação de áreas degradadas (JOSÉ; DAVIDEM; OLIVEIRA, 2005).

Um dos pontos mais relevantes para a recuperação de áreas degradadas é a escolha da comunidade vegetal que irá dar início ao processo de recuperação (NERI *et al.*, 2011). A realização de estudos fitossociológicos de ambientes preservados, alterados, perturbados e degradados é importante para a escolha das espécies a serem empregadas e o entendimento de como empregá-las de maneira eficiente nos projetos de recuperação. A reprodução das estruturas das comunidades vegetais tem sido comumente realizada e mostra bons resultados (CORRÊA; MELO FILHO, 1998).

O sistema regenerativo e análogo, também conhecido como SAFRA é um modelo agroflorestal que se baseia na sucessão natural das espécies e animais, aumentando a complexidade do ambiente, trazendo um sistema produtivo semelhante à vegetação nativa local, tanto em estrutura quanto em composição e funcionalidade (SCHULTZ *et al.*, 1994). Todavia, a escolha do componente arbóreo a ser empregado e o seu desenvolvimento é o que vai definir o sucesso do sistema agroflorestal. Com isso, os atributos silviculturais como crescimento, sobrevivência, produção de lenho, frutos e sementes, níveis de competição, capacidade da rebrota, baixa exigência nutricional e baixa suscetibilidade às pragas e doenças devem ser levados em consideração (MACEDO, 2000).

As árvores utilizadas nesses sistemas são responsáveis pela prestação de serviços ecossistemicos, promovendo a cobertura dos solos, depositando a matéria orgânica proveniente da serrapilheira, reduzindo a erosão e aumentando a biodiversidade (MENDONÇA *et al.*, 2001; GALZERANO, 2008).

O consórcio com espécies arbóreas leguminosas beneficia o desenvolvimento das plantas associadas pela produção de biomassa, fixação de nitrogênio e interações com micorrizas (TILKI; FISHER, 1998).

5.3 Caatinga

A caatinga se estende por 844.453 km², o que é equivalente a 11% do território nacional, e abrange os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Paraíba,

Rio Grande do Norte, Piauí, Sergipe e o norte de Minas Gerais (MMA, 2016). Seu ambiente é típico do semiárido, resistente a estiagem, rico em recursos naturais, e é localizado em uma das regiões semiáridas mais populosas do planeta (APNE, 2015).

Em comparação com outras vegetações inseridas em ambiente semiáridos, a caatinga pode ser considerada uma das mais diversas do planeta (SILVA, 2003). Esse bioma apresenta características variadas, com riqueza de herbáceas e padrões arbustivos e arbóreos, podendo inclusive atingir um porte florestal. A flora é composta por cerca de 4657 espécies, com 913 endêmicas. A vegetação tem dossel geralmente descontínuo, folhagem decídua na estação seca e ramificação profusa nas árvores, apresentando estruturas como espinhos ou acúleos e microfilia (QUEIROZ, 2009; BFG, 2015).

As atividades geomorfológicas e geológicas que formaram esse bioma, proporcionaram a formação de vários mosaicos de solos complexos, com características que variam em pequena distância. Os solos podem ser férteis, argilosos e superficiais, ou profundos, arenosos e empobrecidos, indo de rasos e pedregosos até arenosos e profundos. As características do solo em conjunto com a disponibilidade hídrica, irão definir os diferentes tipos de vegetação, que vai desde caatinga arbustiva rala à caatinga arbórea densa (SAMPAIO, 1995; VELLOSO *et al.*, 2002).

Devido ao seu regime escasso e irregular de chuvas, que possuem altas taxas de evapotranspiração e longos períodos de estiagem, a caatinga é composta por florestas sazonalmente secas. Em decorrência das condições climáticas desse bioma, a regeneração natural tende a ser mais lenta após distúrbios, o que torna o ambiente vulnerável a ações antrópicas (RESENDE; CHAER, 2010).

A caatinga vem sofrendo fortes pressões antrópicas, como o uso de madeira como fonte de energia, a pecuária extensiva, o desmatamento para expansão agrícola e o extrativismo insustentável, o que tem levado à perda da biodiversidade da região (FRANCISCO *et al.*, 2014; LEAL *et al.*, 2005). Populações de espécies nativas podem ser reduzidas ou até mesmo eliminadas em decorrência dessas atividades, o que leva ao empobrecimento ambiental dessa vegetação (LEAL *et al.*, 2005; GIULIETTI *et al.*, 2004).

Metade da cobertura vegetal original do domínio fitogeográfico da caatinga já foi perdida, e a vegetação remanescente sofre com a fragmentação gerada pela supressão da vegetação e pela construção de estradas (ANTONGIOVANNI *et al.*, 2018).

O bioma tem apenas 1% do seu território protegido legalmente por unidades de conservação de proteção integral, uma grande parcela das suas unidades de conservação, em especial as Áreas de Proteção Ambiental - APAs, têm baixo nível de implementação, tornando

esse bioma o mais desprotegido do país (MMA, 2016).

Tendo em vista o atual estado de degradação da caatinga, para tornar possível a conservação dos recursos naturais, se faz necessária a manutenção de áreas protegidas, em conjunto com a recuperação de áreas degradadas, antes que o quadro se torne irreversível, já que a caatinga se encontra num ambiente suscetível a desertificação (GONÇALVES, 2017).

A desertificação é uma situação de degradação extrema (OLIVEIRA; SALES, 2015), e em paisagens muito fragmentadas são necessárias ações de recuperação ecológica proativas, para recompor a vegetação e recuperar o que for possível da biodiversidade original (ANTONGIOVANNI *et al.*, 2018).

5.4.1 Sabiá, *Mimosa caesalpinifolia* Benth

O sabiá, *Mimosa caesalpinifolia* Benth, é natural da região de caatinga presente em diversos estados do nordeste brasileiro. Suas folhas verdes ou secas servem como alimento para os ruminantes, e são muito nutritivas, contendo cerca de 17% de proteína (LORENZI, 2000). As suas cascas são concentradas de taninos e flavonoides, que estão relacionados com as propriedades anti-hepatotóxica, anti-inflamatória, antiateratogênica e antimicrobiana (SANTOS *et al.*, 2010; SANTOS-FILHO *et al.*, 2011). O sabiá, em consórcio com outras espécies, pode ser utilizado na recuperação de áreas degradadas. Contudo, o seu manejo deve ser feito cuidadosamente, para que a sua densidade não saia de controle (BARBOSA; BARROSO; SILVA, 2008).

De acordo com Queiroz (2006) o Sabiá é eficiente em sistemas agroflorestais, fixando o nitrogênio atmosférico e disponibilizando-os para culturas associadas. Portanto, para o manejo efetivo é preciso que as árvores sejam podadas frequentemente, a fim de controlar o sombreamento e a competição com a cultura associada.

Andrade, Costa e Faria (2000) analisaram a deposição e decomposição da serapilheira das espécies: *Mimosa caesalpinifolia* Benth, *Acácia mangium* e *Acácia holosericea*, com 4 anos de idade, e foi observado que a serapilheira produzida pelo Sabiá apresentou a maior riqueza de nutrientes e menor tempo de decomposição. Apontando que o plantio do Sabiá para uso da madeira, além de movimentar a economia, ajuda na manutenção do solo.

A espécie atua como uma das principais fontes de estacas para cerca no Nordeste, especialmente no Ceará. A sua madeira também é utilizada para produzir energia,

apresentando peso específico de 0,87 g/cm³ em média, e teor de carbono fixo de aproximadamente 73% (DRUMOND *et al.*, 2003).

Essa árvore cresce preferencialmente em solos profundos e quando plantada em solos férteis podem fornecer estacas de madeira a partir do término do terceiro ao quarto ano de crescimento. Podem apresentar bom crescimento em solos mais pobres, contudo, nesses casos as plantas precisam ser supridas por meio de adubação orgânica ou química (DRUMOND *et al.*, 2003).

O sabiá é uma das leguminosas tropicais mais importantes, devido a sua resistência a seca e o seu crescimento rápido, além de ser considerada de suma importância para qualquer programa de reflorestamento realizado no nordeste brasileiro, principalmente na caatinga (ALMEIDA *et al.*, 1987)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com esse levantamento é possível observar que as bactérias endofíticas são bastante promissoras para uso em recuperação de áreas degradadas, pela relação mutualística que tem com as plantas, onde ambas se beneficiam. As bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal conferem vantagens às plantas hospedeiras, pela produção de fitohormônios, como o Ácido Indol Acético, que ajudam no desenvolvimento vegetal.

O uso de fertilizantes químicos pode acabar afetando o microbioma do solo, e as bactérias que mantêm relações diretas com as plantas. Bactérias endofíticas retiradas de plantas nativas para uso em recuperação de áreas degradadas, promovem o crescimento das plantas sem alterar a dinâmica natural do solo, que já se encontra sensível em áreas degradadas. O uso dessa biotecnologia também ajuda a recuperar o microbioma natural do solo que pode ter sido eventualmente perdido em decorrência das pressões antrópicas.

O número de pesquisas sobre bactérias endofíticas promotoras do crescimento vegetal vem crescendo bastante nos últimos anos, contudo, estudos relacionados a climas semiáridos como a caatinga ainda são muito escassos. O bioma da caatinga é muito diverso, com plantas que estão adaptadas para o clima seco, e os microrganismos vinculados aos tecidos dessas plantas também tem potencial na promoção de seu desenvolvimento, com habilidades para a amenizar estresses ambientais.

7 REFERÊNCIAS

- AIT BARKA, E.; NOWAK, J.; CLÉMENT, C. Enhancement of chilling resistance of inoculated grapevine plantlets with a plant growth-promoting rhizobacterium, Burkholderia phytofirmans strain PsJN. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 72, n. 11, p. 7246-7252, 2006.
- ALBUQUERQUE, U.P. *et al.* Medicinal plants of the caatinga (semi-arid) vegetation of NE Brazil: A quantitative approach. **Journal of Ethnopharmacology**. v. 114, n. 3, p. 325-354, 2007.
- ALMEIDA, R. T.; FREIRE, V. F.; VASCONCELOS, I. Efeitos da interação *Glomus macrocarpum*, *Rhizobium* sp. e níveis crescentes de fosfatos de rocha sobre o desenvolvimento de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) e de leucena (*Leucena leucocephala* Lam. de Witt). **Ciência Agrônômica**. v. 18, n. 1, p. 131-136, 1987.
- ALI, S.; CHARLES, T. C.; GLICK, B. R. Amelioration of high salinity stress damage by plant growth-promoting bacterial endophytes that contain ACC deaminase. **Plant Physiology and Biochemistry**. v. 80, n. 1, p. 160-167, 2014.
- AMORIM, E.P. R.; MELO, I.S. de. Ação antagônica de rizobactérias contra *Phytophthora parasitica* e *P. citrophthorae* seu efeito no desenvolvimento de plântulas de citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 24, n. 2, p. 565-568, 2002.
- ANDRADE, A. G.; COSTA, G. S.; FARIA, S. M. Decomposição e deposição da serapilheira em povoamentos de *Mimosa Caesalpiniaefolia*, *Acacia mangium* e *Acácia holosericea* com quatro anos de idade em Planossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 24, n. 4, p. 777-785, 2000.
- ANTONGIOVANNI, M.; VENTICINQUE, E.M., FONSECA, C.R. Fragmentation patterns of the Caatinga drylands. **Landscape Ecology**. v. 33, n. 1, p. 1353-1367, 2018.
- ARAÚJO, W. L. *et al.* Variability and interactions between endophytic bacteria and fungus isolated from leaf tissues of citrus rootstocks. **Canadian Journal of Microbiology**. v. 47, n. 3, p. 229-236, 2001.
- ARAÚJO FILHO, J. A. *et al.* Sistema agrossilvipastoril. In: LIMA, G. F. C. *et al.* (Org.) **Criação familiar de caprinos e ovinos no Rio Grande do Norte: orientações para viabilização do negócio rural**. Natal: EMATER-RN, EMPARN, 2006. p.193-210.
- ARKHIPOVA, T. N. *et al.* Cytokinin producing bacteria enhance plant growth in drying soil. **Plant Soil**. v. 292, n. 1, p. 305-315, 2007.
- ARKHIPOVA, T. N. *et al.* Ability of bacterium *Bacillus subtilis* to produce cytokinins and to influence the growth and endogenous hormone content of lettuce plants. **Plant Soil**. v. 272, n. 1, p. 201-209, 2005.
- ASSOCIAÇÃO PLANTAS DO NORDESTE. **Estatística Florestal da Caatinga**. Recife, 2015.

AZEVEDO, J. L. Microrganismos endofíticos. *In*: MELO, I. S. de; AZEVEDO, J. L. de, (Ed.) **Ecologia Microbiana**. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, 1998. p.117-138.

BADENOCH-JONES, *et al.* Mass Spectrometric Quantification of Indole-3-Acetic Acid in Rhizobium Culture Supernatants: Relation to Root Hair Curling and Nodule Initiation. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 44, n. 2, p. 275-280, 1982.

BALDOTTO, L.E.B. *et al.* Seleção de bactérias promotoras de crescimento no abacaxizeiro cultivar Vitória durante a aclimatização. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 34, n. 2, p. 349-360, 2010.

BARBOSA, T. R. L.; SILVA, M. P. S.; BARROSO, D. G. **Plantio do sabiazeiro em pequenas e médias propriedades**. Niterói: Programa Rio Rural, 2008. 12 p. (Manual Técnico, 02).

BASSLER, B. L. How bacteria talk to each other: regulation of gene expression. By *quorum sensing*. **Current Opinion in Microbiology**. v. 2, n. 6, p. 582-587, 1999.

BENIZRI, E.; BAUDOIN, E.; GUCKERT, A. Root colonization by inoculated plant growth-promoting rhizobacteria. **Biocontrol Science and Technology**. v. 11, n. 5, p. 557-574, 2001.

BFG (Brazil Flora Group). Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. **Rodriguésia**. v. 66, n. 4, p. 1085-1113, 2015.

BHATTACHARYYA, P.N.; JHA, D.K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. v. 28, n. 4, p. 1327-1350, 2012.

BUELL, C. R.; ANDERSON, J. A. Expression of the *aggA* locus of *Pseudomonas putida* in vitro and in planta as detected by the reporter gene *xyIE*. **Molecular Plant-Microbe Interactions**. v. 6, n. 3, p. 331-340, 1993.

BULGARELLI, D. *et al.* Structure and functions of the bacterial microbiota of plants. **Annual Review of Plant Biology**. v.64, n. 1, p. 807-838, 2013.

CAMILI, E.C. **Ação de biorreguladores na brotação, produção e algumas características físico-químicas de uva do cultivar superior seedless**. 2007. 206 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas. Botucatu, 2007.

CAMILLI, A.; BASSLER, B. L. Bacterial Small-Molecule Signaling Pathways. **Science**. v. 311, n. 5764, p.1113-1116, 2006.

CARVALHO, P. E.R. **Sabiá: *Mimosa caesalpiniiifolia***. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 9 p. (Circular Técnica, 135).

CERIGIOLI, M. M. **Diversidade de bactérias endofíticas de raízes de milho (*Zea mays* L.) e potencial para promoção de crescimento**. 2005. 132 f. Tese (Doutorado em Genética e Evolução) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Biológicas. São Carlos,

2005.

CHUNG, K. *et al.* Indole derivatives produced by the fungus *Colletotrichum acutatum* causing lime anthracnose and postbloom fruit drop of citrus. **FEMS Microbiology Letters**. v. 226, n. 1, p. 23-30, 2003.

COMPANT, S.; CLÉMENT, C.; SESSITSCH, A. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo – and endosphere of plants: Their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 42, n. 5, p. 669-678, 2010.

COMPANT, S. *et al.* Endophytic colonization of *Vitis vinífera* L. by plant growth-promoting bacterium *Burkholderia* sp. strain PsJN. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 71, n. 4, p. 1685-1693, 2005.

COMPANT, S.; VAN DER HEIJDEN, M. G. A., SESSITSCH, A. Climate changes effects on beneficial plant-microorganism interactions. **FEMS Microbiology Ecology**. v. 73, n. 2, p. 197-214, 2010.

CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B. **Ecologia e recuperação de degradadas no cerrado**. 1 ed. Brasília: Paralelo 15, 1998.

COSTA, G. S. *et al.* Aporte de nutrientes pela serapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v.28, n.5, p.919-927, 2004.

COSTACURTA, A.; VANDERLEYDEN, J. Synthesis of phytohormones by plant-associated bacteria. **Critical Reviews in Microbiology**. v. 21, n. 1, p. 1-18, 1995.

DOBBELAERE, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plantgrowth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. **Critical Reviews in Plant Sciences**. v.22, n. 2, p.107-149, 2003.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; REIS, V. M. Endophytic occurrence of diazotrophic bacteria in non-leguminous crops. *In*: FENDRIK, I.; DEL GALLO, M.; VANDERLEYDEN, J.; ZAMAROCZY, M. de, (Ed.). **Azospirillum VI and related microorganisms: genetics, physiology, ecology**. Berlin: Springer, 1995. p. 3-14.

DRUMOND, M.A.; OLIVEIRA, V.R.; LIMA, M.F. *Mimosa caesalpiniiifolia*: Estudos de melhoramento genético realizados pela Embrapa-Semi-Árido. *In*: QUEIROZ, M. A.; GOEDERT, C. O.; RAMOS S.R.R.(Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro (online)**. Versão 1.0. Petrolina: Embrapa Semi-Árido; Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999. p. 957-963.

DRUMOND, M. C. *et al.* **Sabiá (*Mimosa caesalpineafolia*) Árvore de Múltiplo uso no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 4 p. (Comunicado Técnico, 104).

ENEBAK, S.A.; WEI, G.; KLOEPPER, J.W. Effects of plant growth-promoting rhizobacteria on loblolly and slash pine seedlings. **Forest Science**, v.44, n. 1, p. 139-144, 1998.

ENYED, A. J. *et al.* Signal molecules in systemic plant resistance to pathogens and pests. **The**

Cell. v.70, n. 6, p.879-886, 1992.

FIGUEIREDO, A. C. Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. **Flavour and Fragrance Journal.**v. 23, n. 5, p. 213-226, 2008.

FRANCISCO, P.R.M., *et al.* Avaliação da Degradação da Caatinga do Município de Sumé-PB Estimado pelo Volume de Biomassa da Vegetação Lenhosa. **Revista Brasileira de Geografia Física.** v. 7, n. 1, p. 117-129, 2014.

GALZERANO, L.; MORGADO, E. S. Eucalipto em sistemas agrossilvipastoris. **Revista Electrónica de Veterinaria.** v.9, n.3, p.1-6, 2008.

GIRI, R.; DUDEJA, S.S. Root Colonization of Root and Nodule Endophytic Bacteria in Legume and Non Legume Plants Grown in Liquid Medium. **Journal of Microbiology Research and reviews.**v. 1, n. 6, p. 75-82, 2013.

GIRI, C. C.; SHYAMKUMAR, B.; ANJANEYULU, C. Progress in tissue culture, genetic transformation and applications of biotechnology to trees: an overview. **Trees.** v.18, n. 1, p.115-135, 2004.

GIULIETTI, A.M. *et al.***Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação.** Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2004.

GONÇALVES, M. P. M. **Técnicas de recuperação florestal em áreas perturbadas na Caatinga, Ceará.** 2017. 170 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal. Pernambuco, 2017.

GONZÁLEZ J.E.; MARKETON M.M. Quorum sensing in nitrogen-fixing rhizobia. **Microbiology and Molecular Biology Reviews.** v. 67, n. 4, p. 574-592, 2003.

GOVINDAN, S. *et al.* Osmotolerant Cytokinin Producing Microbes Enhance Tomato Growth in Deficit Irrigation Conditions. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India, Section B: Biological Sciences.** v. 88, n. 2 p. 458- 465. 2016.

GRAY, K. M. Intercellular communication and group behavior in bacteria. **Trends in Microbiology.** v. 5, n. 5, p. 184-188, 1997.

HE, S. Y. Elicitation of plant hypersensitive response by bacteria. **Plant Physiology.** v. 112, n. 3, p.865-869, 1996.

HOLDEN, M.; SWIFT, S.; WILLIAMS, P. New signal molecules on the quorum-sensing block. **Trends in Microbiology.** v. 8, n. 3, p. 101-104, 2000.

HOLLAND, M. A. Occam's razor applied to hormonology. **Plant Physiology.** v. 115, n. 3, p. 865-868, 1997.

HUSSAIN, A.; HASNAIN, S. Interactions of bacterial cytokinins and IAA in the rhizosphere may alter phytostimulatory efficiency of rhizobacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology.** v. 27, n. 11, p. 2645-2654, 2011.

JAMES, E. K. *et al.* Infection and colonization of rice seedlings by the plant growth-promoting bacterium *Herbaspirillum seropedicae* Z67. **Molecular Plant-Microbe Interactions**. v. 15, n. 9, p. 894-906, 2002.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C; OLIVEIRA, S. L. Produção de mudas de aroeira (*Schinusterebinthifolius*Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **CERNE**. v. 11, n. 2, p. 187-196, 2005.

JÚNIOR, R. F. G. **Isolamento, identificação e inoculação de bactérias produtoras de auxinas associadas às raízes de orquídeas**. 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual Paulista, Centro de Ciências Agrárias. Jaboticabal, 2009.

KHALID, A.; ARSHAD, M.; ZAHIR, Z.A. Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. **Journal of Applied Microbiology**. v.96, n.3, p. 473-480, 2004.

KLEEREBEZEM, M.; QUADRI, L. E. Peptide pheromone-dependent regulation of antimicrobial peptide production in Gram-positive bacteria: a case of multicellular behavior. **Peptides**. v. 22, n. 10, p. 1579-1596, 2001.

LAMBRECHT, M. *et al.* Indole-3-acetic acid: a reciprocal signaling molecule in bacteria-plant interactions. **Trends in Microbiology**. v.8, n. 7, p. 298-300, 2000.

LEAL, I.R. *et al.* Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. **Megadiversidade**. v. 1, n. 1, p. 139-146, 2005.

LIANG, J.; ZHANG, J. The relations of stomatal closure and reopening to xylem ABA concentration and leaf water potential during soil drying and rewatering. **Plant Growth Regulation**. v. 29, n. 1, p. 77-86, 1999.

LORENZI H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 3. ed. Nova Odessa: Instituto Platarum, 2000. 384 p.

LOPER, J. E.; SCHROTH, M. N. Influence of bacterial sources of indole-3-acetic acid on root elongation of sugar beet. **Phytopatology**. v.76, n. 4, p. 386-389, 1986.

MA, Y. *et al.* Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils. **Biotechnology Advances**. v., 29, n. 2, p. 248-258, 2011.

MACEDO, R. L. G. Fundamentos básicos para a implantação e manejo de sistemas agroflorestais. *In*: MACEDO, R. L. G. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais**. Lavras: UFLA/Faepe, 2000. p. 5-35.

MAIA-SILVA, C. *et al.* **Guia de plantas visitadas por abelhas na caatinga**. 1. ed. Fortaleza: Fundação Brasil Cidadão, 2012.

MANULIS, S. *et al.* Differential involvement of indole-3-acetic acid biosynthetic pathways in

pathogenicity and epiphytic fitness of *Erwinia herbicolapv. gypsophilae*. **Molecular Plant-Microbe Interactions**. v. 11, n. 7, p. 634-642, 1998.

MARIANO, A. M.; ROCHA, M. S. **Revisão de Literatura:** Apresentação de uma abordagem integradora. *In:* Congresso Internacional AEDEM, 26., 2017. Reggio Calabria, Italia. AEDEM International Conference - Economy, Business and Uncertainty: Ideas for a European and Mediterranean Industrial Policy. Reggio Calabria, Italia, 2017, p. 427-443.

MENDONÇA, E. S.; LEITE, L. F. C.; FERREIRA NETO, P. S. Cultivo de café em sistema agroflorestal: uma opção para recuperação de solos degradados. **Revista Árvore**. v.25, n.3, p.375-383, 2001.

MICHIELS, K. W.; CROES, C. L.; VANDERLEYDEN, J. Two different modes of attachment of *Azospirillum brasilense* Sp7 to wheat roots. **Journal of General Microbiology**. v. 137, n. 9, p. 2241-2246, 1991.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Áreas prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira:** atualização: Portaria MMA nº 9, de 23 de janeiro de 2007. Série Biodiversidade nº 31. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2007.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Caatinga**. Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/Caatinga>>. Acesso em: 01 ago. 2020.

MOHER, D. *et al.* Principais itens para relatar revisões sistemáticas e meta-análises: a recomendação PRISMA. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**. v. 24, n. 2, p. 335-342, 2015.

MOURA, A. J. **Microrganismos endofíticos associados à planta de ambientes impactados e não impactados pela drenagem ácida de mina de carvão (DAM)**. 2014. 107 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia e Biociências) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Biológicas. Florianópolis, 2014.

NERI, A. V. *et al.* Espécies de cerrado com potencial para recuperação de áreas degradadas por mineração de ouro, Paracatu-MG. **Revista Árvore**. v. 35, n. 4, p. 907-918, 2011.

NIZAN, R. *et al.* The Presence of hrp Genes on the Pathogenicity-Associated Plasmid of the Tumorigenic Bacterium *Erwinia herbicola* pv. *gypsophilae*. **Molecular Plant-Microbe Interactions**. v. 10, n. 5, p. 677-682, 1997.

NOGUEIRA, N. O. *et al.* Utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas. **Enciclopédia Biosfera**. v. 8, n. 14, p. 2121-2131, 2012.

OLIVEIRA, J.G.B.; SALES, M.C.L. **Monitoramento da desertificação em Irauçuba**. Imprensa Universitária (UFC), Fortaleza, 2015.

OTEINO, N. *et al.* Plant growth promotion induced by phosphate solubilizing endophytic *Pseudomonas* isolates. **Frontiers in Microbiology**. v. 6, n. 745, p. 1-9, 2015.

PIERSON L.S.; PIERSON E.A. Roles of diffusible signals in communication among plant-associated bacteria. **Phytopathology**. v. 97, n. 2, p. 227-232, 2007.

QIN, S. *et al.* Biodiversity, bioactive natural products and biotechnological potential of plant-associated endophytic actinobacteria. **Applied Microbiology and Biotechnology**. v. 89, n. 3, p. 457-473, 2011.

QUEIROZ, L. R. **Leguminosas como fonte de nitrogênio para a cultura do milho, em campos dos Goytacazes**. 2006. 72 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, 2006.

QUEIROZ, L. P. **Leguminosas da Caatinga**. Feira de Santana: UEFS, 2009. 467 p.

RAJKUMAR, M.; AE, N.; FREITAS, H. Endophytic bacteria and their potential to enhance heavy metal phytoextraction. **Chemosphere**. v. 77, n. 2, p. 153-160, 2009.

RAJKUMAR, M. *et al.* Perspectives of plant-associated microbes in heavy metal phytoremediation. **Biotechnology Advances**. v. 30, n. 6, p. 1562-1574, 2012.

RESENDE, A. S.; CHAER, G. M. **Manual para recuperação de áreas degradadas por piçarra na Caatinga**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia. 2010. 78 p.

RIBEIRO, V. P. *et al.* **Seleção de microrganismos endofíticos de milho (*Zea mays* L.) produtores de fitohormônios**. In: Congresso nacional de milho e sorgo, 30. Simpósio sobre lepidópteros comuns a milho, soja e algodão, 1., 2014, Salvador. Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global: resumos expandidos. Sete lagoas: Associação Brasileira de milho e sorgo, 2014.

SALEEM, M. *et al.* Perspective of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase in stress agriculture. **Journal of Industrial Microbiology and biotechnology**. v.34, n. 10, p. 635-648, 2007.

SAMPAIO, E. V. S. B. **Overview of the Brazilian Caatinga**. In: BULLOCK, S. H.; MOONEY MEDINA, E. Seasonally dry tropical forests. Cambridge: University Press, 1995. 35-58 p.

SANCHEZ-CONTRERAS, M. *et al.* *Quorum-sensing* regulation in rhizobia and its role in symbiotic interactions with legumes. **Philosophical Transactions of The Royal Society of London. Séries B. Biological Sciences**. v. 362, n. 1483, p. 1149-1163, 2007.

SANTI, C.; BOGUSZ, D.; FRANCHE, C. Biological nitrogen fixation in non-legume plants. **Annals of Botany**. v. 111, n. 5, p. 743-767, 2013.

SANTNER, A.; ESTELLE, M. Recent advances and emerging trends in plant Hormone signalling. **Nature**. v.459, n. 7250, p. 1071-1078, 2009.

SANTOS, C. A. *et al.* Germinação de sementes de duas espécies da caatinga sob deficit hídrico e salinidade. **Brazilian Journal of Forestry Research**. v. 36, n. 87, p. 219-224, 2016.

SANTOS, M.H.L.C. *et al.* Bactérias promotoras de crescimento no desenvolvimento de *Heliconiapsittacorum* L.f. **Hoehnea**. v.32, n. 2, p. 301-308, 2005.

SANTOS, P. M. L. *et al.* A atividade antioxidante dos extratos de folhas de *Jacarandá puberula* Cham., *Bignoniaceae*, uma planta medicinal brasileira usada para depuração do sangue. **Revista Brasileira de Farmacognosia**. v. 20, n. 2, p. 147-153, 2010.

SANTOS-FILHO, P. R.; FERREIRA L. A.; GOUVÊA, C. M. C. P. Protective action against chemical-induced genotoxicity and free radical scavenging activities of *Stryphnodendron adstringens* (“barbatimão”) leaf extracts. **Revista Brasileira de Farmacognosia**. v. 21, n. 6 p. 1000-1005, 2011.

SANTOYO, G. *et al.* Plant growth-promoting bacterial endophytes. **Microbiological Research**. v. 183, n. 1, p. 92-99, 2016.

SARDI, P. *et al.* Isolation of endophytic Streptococcus strains from surface sterilized roots. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 58, n. 8, p. 2691-2693, 1992.

SCHULTZ, B.; BECKER, B.; GÖTSCH, E. Indigenous knowledge in a “modern” sustainable agroforestry system – a case study from eastern Brazil. **Agroforestry Systems**. v. 25, n. 1, p. 59-69, 1994.

SERGEEVA, E., LIAIMER, A., BERGMAN, B. Evidence for production of the phytohormone indole-3-acetic acid by cyanobacteria. **Planta**. v. 215, n. 1, p. 229-238, 2002.

SESSITSCH, A., REITER, B., BERG, G. Endophytic bacterial communities of field-grown potato plants and their plant-growth-promoting and antagonistic abilities. **Canadian Journal of Microbiology**. v. 50, n. 4, p. 239-249, 2004.

SHENG, X. F. *et al.* Characterization of heavy metal-resistant endophytic bacteria from rape (*Brassica napus*) roots and their potential in promoting the growth and lead accumulation of rape. **Environmental Pollution**. v. 156, n. 3, p. 1164-1170, 2008.

SILVA, J.M.C. Introdução. In: J.M.C. SILVA, M. TABARELLI, M.T. FONSECA, L.V. L. (Org.). **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2003. p. 9-10.

STEARNS, J.C.; GLICK, B.R. Transgenic plants with altered ethylene biosynthesis or perception. **Biotechnology Advances**. v. 21, n. 3, p. 193-210, 2003.

STEENHOUDT, O., VANDERLEYDEN, J. Azospirillum, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: Genetic, biochemical and ecological aspects. **FEMS Microbiology Reviews**. v. 24, n. 4, p. 487-506, 2000.

STICHER, L.; MAUCH-MANI, B.; METRAUX, J. P. Systemic acquired resistance. **Annual Review of Phytopathology**. v. 35, n. 1, p. 235-270, 1997.

STURZ, A. V., CHRISTIE, B. R., NOWAK, J. Bacterial endophytes: Potential role in developing sustainable systems of crop production. **Critical Reviews in Plant Sciences**. v. 19, n. 1, p. 1-30, 2000.

STROBEL, G. A.; LONG, D. M. Endophytic microbes embody pharmaceutical potential.

American Society of Microbiology News. v.64, n. 1, p.263-268, 1998.

TAGHAVI, S. *et al.* Genome survey and characterization of endophytic bacteria exhibiting a beneficial effect on growth and development of poplar trees. **Applied and Environmental Microbiology.** v. 75, n. 3, p. 748-757, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TIEN, T. M., GASKINS, M. H., HUBBELL D. H. Plant Growth Substances Produced by *Azospirillum basiliense* and Their Effect on the Growth of Pearl Millet (*Pennisetum americanum* L.). **Applied and Environmental Microbiology.** v. 37, n. 5, p. 1016-1024, 1979.

TILKI, F.; FISHER, R. F. Tropical leguminous species for acid soils: studies on plant form and growth in Costa Rica. **Forest Ecology and Management.** v.108, n. 3, p.175-192, 1998.

TSAVKELOVA, E. A., CHERDYNTSEVA, T. A.; NETRUSOV, A. I. Auxin Production by Bacteria Associated with Orchid Roots. **Microbiology.** v. 74, n. 1, p. 55-62. 2005.

TSAVKELOVA, E. A. *et al.* Microbial Producers of Plant Growth Stimulators and Their Practical Use: A Review. **Applied Biochemistry and Microbiology.** v. 42, n. 2, p. 117-126, 2006.

TSIMILLI-MICHAEL, M. *et al.* Synergistic and antagonistic effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Azospirillum* and *Rhizobium* nitrogen-fixers on the photosynthetic activity of alfalfa, probed by the polyphasic chlorophyll a fluorescence transient O-J-I-P. **Applied Soil Ecology.** v. 15, n. 2, p. 169-182, 2000.

VALCARCEL, R.; SILVA, Z. S. Eficiência conservacionista de medidas de recuperação de áreas degradadas: proposta metodológica. **Floresta.** v. 27, n. 1, p. 101-114, 1997.

VAN LOON, L. C. Plant responses to plant growth-promoting rhizobacteria. *In:* Bakker P. A. H. M., *et al.* (Ed.) **New Perspectives and Approaches in Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Research.** Dordrecht: Springer, 2007. p. 243-254.

VERMA, S. C.; LADHA, J. K.; TRIPATHI, A. K. Evaluation of plant growth promoting and colonization ability of endophytic diazotrophs from deep water rice. **Journal of Biotechnology.** v. 91, n. 2-3, p. 127-141, 2001.

VELLOSO, A. L. *et al.* **Ecorregiões:** propostas para o bioma Caatinga. Recife: Associação Plantas do Nordeste. 75 p. 2002.

VESSEY, J. K. Plant Growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. **Plant and Soil.** v., 255, n. 2, p. 571-586, 2003.

WHITEHEAD, N. A. *et al.* Quorum sensing in Gram-Negative bacteria. **FEMS Microbiology Reviews.** v. 25, n. 4, p. 365-404, 2001.

WILLIAMS, P. Quorum sensing, communication and cross-kingdom signalling in the bacterial world. **Microbiology.** v.153, n. 12, p. 3923-3938, 2007.

XAVIER, A.; OTONI, W.C.; PENCHEL, R.M. Micropropagação e enxertia *in vitro* de espécies florestais. In: BORÉM, A. (Ed.). **Biotecnologia Florestal**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, 2007. p. 53-74.

YOSHIDA, K. *et al.* A novel convenient method for high bacterio phagetiter assay. **Nucleic Acids Symposium Series**. v. 53, n. 1, p. 315-316, 2009.

ZANJIRCHI, S. M.; ABRISHAMI, M. R.; JALILIAN, N. Four decades of fuzzy sets theory in operations management: application of life-cycle, bibliometrics and content analysis. **Scientometrics**. v. 119, n. 3, p. 1289-1309, 2019.