



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS- UFAL
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS- CECA
CURSO DE AGRONOMIA



ARTHUR COSTA PEREIRA SANTIAGO DE ALMEIDA

Promoção de crescimento vegetal por rizobactérias: Uma revisão

Rio Largo - Al

2024

ARTHUR COSTA PEREIRA SANTIAGO DE ALMEIDA

Promoção de crescimento vegetal por rizobactérias: Uma revisão

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Agronomia, do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias- CECA da Universidade Federal de Alagoas- UFAL, como pré-requisito para obtenção do Título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador (a): Prof.^a Dra. Tânia Marta Carvalho dos Santos

Rio Largo - AL
2024

Catalogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

A447p Almeida, Arthur Costa Pereira Santiago de
Promoção de crescimento vegetal por rizobactérias: uma revisão. /
Arthur Costa Pereira Santiago de Almeida – 2024.
40f.; il.

Monografia de Graduação em Agronomia (Trabalho de Conclusão
de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias
e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2024.

Orientação: Dra. Tânia Marta Carvalho dos Santos

Inclui bibliografia

1. Fosfato inorgânico. 2. Biofilmes. 3. Estresse hídrico. I. Título

CDU: 631.8

Folha de Aprovação

ARTHUR COSTA PEREIRA SANTIAGO DE ALMEIDA

Promoção de crescimento vegetal por rizobactérias: Uma revisão

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao corpo docente da Universidade Federal de Alagoas como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Agronomia, em 14 de fevereiro de 2024.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 TANIA MARTA CARVALHO DOS SANTOS
Data: 15/02/2024 11:45:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientadora: Prof.^aDr.^a Tania Marta Carvalho dos Santos
Universidade Federal de Alagoas

Documento assinado digitalmente
 YAMINA COENTRO MONTALDO
Data: 15/02/2024 11:49:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinadora Externa: Prof^a. Dr^a Yamina Coentro Montaldo
Universidade Federal de Alagoas

Documento assinado digitalmente
 JOAO MANOEL DA SILVA
Data: 15/02/2024 11:57:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador Externo: Prof. Dr. João Manoel da Silva
Instituto Federal de Alagoas-Campus de Santana do Ipanema

DEDICO

*Dedico este trabalho à memória de Maria Verônica
Costa Pereira e Paulo Costa Pereira, cuja
influência e ensinamentos continuam a me inspirar
todos os dias.*

AGRADECIMENTOS

Sou grato aos meus pais e avó por todo amor, apoio, segurança e por fornecer as condições necessárias para a realização deste trabalho, bem como oferecido durante todo o curso.

Um agradecimento especial a minha orientadora, Prof.^a Dr. Tania Marta, pela paciência, dedicação e pelos valiosos conselhos e direcionamentos que foram fundamentais para o meu desenvolvimento acadêmico, profissional e pessoal.

Aos meus professores e companheiros Dr. Yamina Montaldo e Dr. João Manoel, por toda confiância, orientação, incentivo e compreensão. Nos momentos de dúvida e cansaço, o apoio de vocês foi minha luz.

Aos meus amigos e companheiros do laboratório, pelas alegrias, trocas de ideias e pelo suporte nos momentos de desafio. A jornada foi enriquecida e fortalecida pela presença de cada um de vocês.

À equipe e colaboradores do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, expresso minha profunda gratidão pela oportunidade única de participar do curso.

E, por fim, aos familiares e todos que diretamente ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento.

RESUMO

Tendo em vista a preocupação com a preservação ambiental, devido à constatação de que as atividades antrópicas podem causar profundos impactos, os trabalhos de pesquisa têm levado a uma mudança da agricultura dita convencional, que utiliza produtos agroquímicos e fertilizantes, para uma agricultura que busca formas de manejo menos nocivos ao ambiente. As rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP) são micro-organismos que podem viver livremente na rizosfera, formar associações simbióticas com plantas e colonizar os tecidos internos dos vegetais. Essas bactérias são conhecidas assim, por poder potencializar o crescimento das plantas, principalmente do sistema radicular, o que proporciona maior acesso e aproveitamento de nutrientes e água. Dentre os mecanismos responsáveis pela promoção de crescimento vegetal por bactérias, freqüentemente estão envolvidos: a produção de ácido indolacético - AIA por meio da enzima indolpiruvato descarboxilase na presença do aminoácido triptofano, onde o seu principal efeito é promover o crescimento de raízes e caules, através do alongamento das células recém-formadas nos meristemas. Outro mecanismo é a solubilização de fosfato, pela ação de ácidos orgânicos e fosfatases, facilitando a conversão das formas insolúveis em solúveis, disponibilizando esse nutriente para as plantas, sendo de importância fundamental devido ser o segundo mineral limitante do crescimento vegetal, como também a produção de antibióticos difusíveis e enzimas líticas como quitinases, propiciando um eficiente controle biológico de fitopatógenos na natureza. Objetivou-se com esta revisão coletar informações disponíveis sobre o papel de rizobactérias na promoção de crescimento de plantas. Foi realizada a pesquisa bibliográfica de artigos, recorrendo a bases de dados científicos digitais, utilizando palavras-chaves como: fosfato inorgânico; exopolissacarídeo; inoculantes, biofilmes, fitohormônios, estresse hídrico e indução de crescimento. Ao final da leitura dos resumos, foram escolhidos os artigos mais relevantes e atuais, e assim cumprindo o objetivo proposto.

Palavras-chave: fosfato inorgânico, exopolissacarídeo, inoculantes, biofilmes, fitohormônios, estresse hídrico e indução de crescimento

ABSTRACT

In view of the concern with environmental preservation, due to the observation that human activities can cause profound impacts, research work has led to a change from so-called conventional agriculture, which uses agrochemical products and fertilizers, to agriculture that seeks forms less harmful to the environment. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) are microorganisms that can live freely in the rhizosphere, formsymbiotic associations with plants and colonize the internal tissues of plants. Thesebacteria are known as they can enhance the growth of plants, especially the root system,which provides greater access and use of nutrients and water. Among the mechanismsresponsible for promoting plant growth by bacteria, the following are often involved: the production of indoleacetic acid - IAA through the enzyme indolepyruvatedcarboxylase in the presence of the amino acid tryptophan, where its main effect is to promote the growth of roots and stems, through the elongation of newly formed cells inthe meristems. Another mechanism is the solubilization of phosphate, through the action of organic acids and phosphatases, facilitating the conversion of insoluble forms into soluble ones, making this nutrient available to plants, being of fundamental importance due to it being the second limiting mineral for plant growth, as well as the production of diffusible antibiotics and lytic enzymes such as chitinases, providing efficient biological control of phytopathogens in nature. The objective of this review was to collect available information on the role of rhizobacteria in promoting plant growth. Bibliographical research of articles was carried out, using digital scientific databases, using key words such as: inorganic phosphate; exopolysaccharide, inoculants, biofilms, phytohormones, water stress and growth induction. At the end of reading the abstracts, the most relevant and current articles were chosen, thus fulfilling the proposed objective.

Keywords: inorganic phosphate, exopolysaccharide, inoculants. biofilms, phytohormones, water stress and growth induction

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Descrição geral das diferentes vias de síntese dependente e independente de triptofano de AIA em bactérias. IAAld, Indol-3-acetaldeído; IAM, Indol-3-acetamida; IPCD, Indol-3-piruvato descarboxilase; Trp, Triptofano. 253

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. MATERIAL E MÉTODOS	13
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1. Rizobactérias.....	14
3.2. Solubilização de Fosfato	15
3.3. Exopolissacarídeos.....	17
3.4 Biofilme	20
3.5. Estresse Hídrico	22
3.6. Fitormônios	23
3.7. Citocininas e giberelinas	26
3.8. Indução de crescimento.....	27
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1. INTRODUÇÃO

O método de produção atual baseia-se no uso de pesticidas químicos e fertilizantes aplicados anualmente. Apesar da eficiência desses métodos na agricultura, os mesmos geram custos cada vez mais significativos para o meio ambiente e saúde humana (GUNNELL et al., 2007; LEACH et al., 2008), além de uma forte elevação nos custos de produção, reduzindo as margens de lucro do setor e revelando grande dependência de insumos importados.

Entre as tecnologias que poderão contribuir para o aumento da produtividade uma das mais estudadas baseia-se no uso de bactérias promotoras do crescimento vegetal. Os efeitos positivos observados em vários estudos revelam o potencial dessa prática como ferramenta biotecnológica para os sistemas de produção, proporcionando vantagens para produtores e a agroindústria. Nas estirpes bacterianas, espera-se àquelas que se destaquem, apresentando as melhores respostas aos testes realizados de forma criteriosa a seleção em ambiente controlado, procurando agregar conhecimento dos bioprocessos relacionados aos efeitos desses micro-organismos à cultura, visando à produção de um inoculante.

Segundo Thakore (2006) baseados nos mecanismos de promoção de crescimento, diversos inoculantes microbianos já estão no mercado e, nos últimos anos, a popularidade de inoculantes microbianos aumentou substancialmente, devido às pesquisas extensivas, a qual tem reforçado a sua coerência e eficácia. Um inoculante é caracterizado como o material que contém micro-organismos que atuam favoravelmente no desenvolvimento das plantas, composto por estirpes específicas para cada espécie vegetal. Esse veículo atua de maneira a aumentar a produtividade de determinada cultura, além de melhorar a qualidade dos solos, reduzir os custos e a quantidade de adubos com vistas à preservação ambiental. Bactérias que compõem inoculantes podem promover o crescimento das plantas produzindo substâncias que resultam em crescimento radicular e consequente aumento na absorção de água e nutrientes, o que acarreta em incremento geral de crescimento na planta.

Neste sentido, bactérias que possuem mais de uma característica são almejadas e rastreadas para uma possível aplicação no campo com o intuito de aumentar a produção agrícola (VERMA et al., 2001). Os efeitos positivos exercidos sobre plantas por estes micro-organismos são produção de reguladores de crescimento de plantas, tais como auxinas, giberelinas e citocininas, melhoria de processos como a germinação de sementes, nutrição mineral, desenvolvimento radicular, o uso da água, solubilização de fosfatos, fixação biológica de nitrogênio e controle de fitopatógenos.

Objetivou-se com este trabalho, realizar uma revisão bibliográfica sobre o papel de rizobactérias na promoção de crescimento vegetal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foi realizada a pesquisa bibliográfica de artigos, recorrendo a bases de dados científicos digitais como o Pubmed, Google Acadêmico, SciELO e o banco de referências da plataforma FastFormat, também foi realizada uma busca recursiva, usando as bibliografias de artigos obtidos. Uma busca eletrônica foi realizada usando as seguintes palavras-chave pertinentes ao tema, em combinações variadas:

- fosfato inorgânico;
- exopolissacarídeo;
- inoculantes;
- biofilmes;
- fitohormônios;
- estresse hídrico;
- indução de crescimento.

Inicialmente foi realizada a seleção dos títulos e dos resumos, sendo escolhidos os mais relevantes. As informações de cada fonte selecionada, foram compiladas considerando os tópicos mais importantes. Posteriormente, foram obtidos os textos integrais daqueles que cumpriram os critérios de elegibilidade. Os artigos foram recuperados do Pubmed, Google Acadêmico, Scielo e periódicos individuais.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Rizobactérias

No solo existe um grande número de bactérias que se localizam na rizosfera, e aproximadamente cerca de 7 a 15% da superfície total das raízes é ocupada por estas células microbianas (GRAY; SMITH, 2005).

Vários estudos da atividade microbiológica que ocorre na rizosfera, que é a zona de influência das raízes que vai desde sua superfície até uma distância de 1 a 3 mm (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), levaram ao descobrimento de diversos grupos de micro-organismos importantes para o desenvolvimento vegetal. Dentre eles estão as rizobactérias que são capazes de colonizar as raízes, estimulando-as diretamente ou beneficiando o crescimento e o desenvolvimento de diversas plantas. Essas bactérias são chamadas de “Plant growth-promoting rhizobacteria” (PGPR) (BISWAS et al., 2000; GYANESHWAR et al., 2001; GRAY; SMITH, 2005; BARRIUSO et al., 2005; KOKALIS-BURELLE et al., 2006) ou rizobactérias promotoras de crescimento em plantas (RPCP).

As rizobactérias promotoras de crescimento de plantas foram primeiramente definidas por Kloepffer e Schroth (1978) para definir um grupo de bactérias rizosféricas que atuavam no biocontrole, causando a supressão de doenças por substâncias inibidoras de patógenos ou pelo aumento da resistência vegetal. Entretanto, conforme aumentaram os estudos realizados neste campo, controvérsias apareceram com relação ao nome dado a este grupo de bactérias. Bashan e Holguim (1998) propuseram dois novos termos que pareciam abranger todos os benefícios que as bactérias têm a oferecer às plantas de acordo com o papel desempenhado. São eles: Bactérias biocontroladoras promotoras de crescimento de plantas (Biocontrol-Plant Growth-Promoting Bacteria (biocontrol-PGPB)) e Bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCPs), pois segundo os autores, o termo RPCP deixava de englobar as bactérias com interações não-rizosféricas, além de ser um termo muito geral e inespecífico. Cassán et al. (2009) introduziram um novo termo: Plant Stress Homeostasis-Regulating Rhizobacteria (PSHR), que seriam bactérias reguladoras de estresse em plantas. Então, as RPCPs podem ser divididas em três grupos funcionais: BPCPs, BPCPs biocontroladoras e PSHR, que podem promover o crescimento vegetal sob condições abióticas de estresse.

Qualquer que seja a definição adotada, essas bactérias promovem o crescimento de plantas de duas maneiras: fitoestimulação e/ou biofertilização (KUMAR et al., 2011) e para isto, possuem vários mecanismos (SARAF et al., 2011). Entre eles podemos citar:

Solubilização de fosfato e produção de fitohormônios como ácido indol acético (AIA), giberelina e citocinina.

Além disso, estas estirpes bacterianas também contribuem indiretamente para o desenvolvimento das plantas com a produção de diversos antibióticos ou outros mecanismos de biocontrole, os quais inibem o crescimento de diversos micro-organismos considerados fitopatogênicos (GRAY; SMITH, 2005).

A maioria das RPCPs estudadas na literatura tem como principal efeito sobre as plantas o fornecimento de fitormônios de crescimento, como auxinas, várias giberelinas e citocininas. Esses produtos auxiliam o crescimento da raiz e consequentemente da parte aérea do vegetal, aumentando assim, a captação de nutrientes pela planta (ASGHAR et al., 2002).

A inoculação de micro-organismos benéficos em plantas tem sido empregada para melhorar seu desenvolvimento, através da captação de nutrientes (CARAVACA et al., 2002), aumentando a tolerância à doenças, além de favorecer seu estabelecimento frente a condições adversas, como salinidade e estresse hídrico (GIRI; MUKERJI, 2004).

3.2. Solubilização de Fosfato

O fósforo (P) é um dos principais macronutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas devido à sua atuação em processos biológicos, tais como metabolismo energético, biossíntese de fosfolipídios e ácido nucléico, transdução de sinal e regulação de atividade enzimática (ROCHA et al., 2007).

Apesar de abundante nos solos, tanto na forma orgânica quanto inorgânica, o fósforo é o segundo nutriente limitante ao crescimento de plantas no solo. A baixa disponibilidade de P, principalmente nos solos ácidos das regiões tropicais e subtropicais, é um dos fatores limitantes para a produção de culturas vegetais. Sendo necessária altas dosagens de adubos fosfatados para a obtenção de alta produtividade (RAIJ, 1991).

No Brasil, em geral, os solos apresentam baixo teor de fósforo total e muito baixo teor de fósforo disponível para as plantas, devido a problemas de fixação que ocorrem com solos que apresentam ferro e alumínio, e de características ácidas. Do fósforo adicionado ao solo através de fertilizantes químicos, até 25% é aproveitado pelas plantas. Essas adubações são realizadas principalmente com fosfatos solúveis em água, atingindo dosagens de fósforo muito superiores às necessidades das culturas, pois a maior parte do adicionado torna-se indisponível às plantas (BRAGA, 2006).

Os micro-organismos solubilizadores de fosfatos desempenham importante papel na disponibilização de formas inorgânicas de fosfatos (Ca-P, Al-P e Fe-P), considerando o aumento do teor de fósforo na solução, que propicia melhor crescimento e maior rendimento das culturas (CHABOT et al., 1993).

Esses micro-organismos estão presentes na matéria orgânica do solo, ao qual representa um dos componentes da fertilidade do solo. Aparecem na formação do solo, na decomposição dos resíduos orgânicos, na formação da matéria orgânica e na reciclagem dos nutrientes (BRAGA, 2006).

O fósforo (P) é adsorvido aos coloides do solo ou transformado em compostos de ferro e alumínio pouco solúveis para as plantas. Por isto é que as formulações de fertilizantes são representadas por altos teores de P. Com isto, maiores quantidades de P são adicionadas ao solo para que a planta aproveite 25%, o que se traduz numa baixa eficiência dos fertilizantes fosfatados. Neste sentido, os micro-organismos do solo têm um papel preponderante na mineralização e solubilização do fósforo. As formas orgânicas de P são mineralizadas pelos micro-organismos produtores das enzimas fosfatases (BRAGA, 2006).

O P orgânico é transformado em P solúvel pela ação das fosfatases, enzimas que catalizam a hidrólise de ésteres de fosfatos, liberando fosfato solúvel. As fosfatases são secretadas pelas raízes das plantas e pelos micro-organismos do solo (NAHAS et al., 1994).

Esta enzima, a fosfatase, no meio vegetal pode ser constitutiva ou induzida por fatores externos como deficiência de fósforo inorgânico ou dificuldade de absorver fósforo em condições de falta de água. Tarafdard et al (1981) verificaram que a atividade da fosfatase ácida apresenta uma correlação significativa com o fósforo inorgânico. A concentração de fósforo inorgânico no tecido da planta constitui um parâmetro de eficiência ao uso de fósforo. Quanto menor o teor de fósforo inorgânico no tecido, maior a atividade da fosfatase ácida no mecanismo de uso de fósforos pelas plantas (OLIVEIRA et al., 1999).

As fosfatases bacterianas são enzimas secretadas e produzidas como proteínas periplasmáticas solúveis ou ligadas à membrana, que geralmente são capazes de desfosforilar a estrutura de um substrato e exibir atividade catalítica ótima em valores de pH ácidos, neutros e alcalinos (ROSSOLINI et al., 1998). Muitas das enzimas fosfatases microbianas são secretadas para fora da membrana plasmática, onde são liberadas em forma solúvel, outras são mantidas ligadas a membrana (WANNER, 1996) e outras ainda, encontradas no citoplasma e envolvidas em reações de desfosforilação que ocorrem durante sinais de transdução e vias metabólicas dos micro-organismos (STOCK et al., 1995).

A classificação das fosfatases, incluindo aquelas de origem bacteriana, é baseada em critérios bioquímicos e biofísicos da enzima, como pH ótimo (ácido, neutro ou alcalino), especificidade de substrato (específico ou não específico) e tamanho molecular. Segundo o critério de pH ótimo, as fosfatases são divididas em dois grandes grupos, o grupo das fosfatases alcalinas, com pH ótimo na faixa de 8 a 10,5 e o grupo das fosfatases ácidas com pH ótimo de 2,5 a 6 (DVORAK et al., 1988).

Os micro-organismos influem na habilidade das plantas em absorver P do solo, ou seja: aumentando a área de contato das raízes pelo desenvolvimento do sistema radicular (micorrizas); promovendo o crescimento das raízes laterais e pêlos radiculares; transferência de íon fosfato para a solução do solo; aumentando formas orgânicas de P; estimulando processos metabólicos que são importantes na solubilização e mineralização do P (BRAGA, 2006).

A inoculação de micro-organismos solubilizadores de fosfatos no solo tem sido sugerida como alternativa para substituir ou diminuir o uso de fertilizantes fosfatados solúveis, mediante melhor aproveitamento dos fosfatos naturais (IGUAL et al., 2001; VESSEY, 2003), existentes ou adicionados ao solo e dos formados pela aplicação de fontes solúveis, para incrementar a concentração de fósforo solúvel na rizosfera e promover a nutrição das plantas com fósforo (PEIX et al., 2001; GYANESHWAR et al., 2002).

3.3 Exopolissacarídeos

Os exopolissacarídeos (EPS) são definidos como polissacarídeos extracelulares produzidos por alguns fungos e bactérias, os quais são encontrados ligados à superfície das células ou são excretados para o meio. A maioria dos micro-organismos possui a habilidade de sintetizar polissacarídeos e excretar polímeros solúveis ou insolúveis, para fora das células, com várias funções (SEESURIYACHAN et al., 2012).

Os exopolissacarídeos possuem a função de proteger a célula bacteriana contra dessecação e ataque de fagos, bem como de antibióticos, compostos tóxicos e protozoários. Outra possível função do exopolissacarídeo inclui sequestrar cátions essenciais e o envolvimento na aderência em superfícies sólidas e formação de biofilmes (DE VUYST et al., 2001). A verdadeira função dos EPS, contudo, depende da ecologia da célula bacteriana que o produz

A produção de EPS pelos micro-organismos pode auxiliar na sobrevivência do vegetal em várias situações de estresses ambientais, como estresse salino, hídrico, variações

de temperatura, entre outros. Esse composto possibilita a bactéria aderência e colonização às superfícies sólidas onde os nutrientes se acumulam (SILVA et al., 2013). Além disso, o EPS envolve as membranas das células protegendo-as do dessecamento e outros estresses ambientais, além de poder ajudar na fixação de minerais e nutrientes próximos à bactéria (BARRETO et al., 2011; LIU et al., 2013).

Alguns exopolissacarídeos são sintetizados durante todo o crescimento bacteriano, enquanto que outros são produzidos somente durante a fase logarítmica ou na fase estacionária. A síntese de todos esses exopolissacarídeos é um processo intracelular, utilizando açúcares difosfato nucleotídeos (DE SOUZA; SUTHERLAND, 1994).

Embora sejam conhecidos dois mecanismos diferentes para a síntese de exopolissacarídeos por bactérias, o utilizado na formação de dextrana, envolvendo enzimas extracelulares lipoprotéicas secretadas na superfície da célula de bactérias Gram-positivas, tal como *Leuconostoc mesenteroides*, não se aplica às espécies Gram-negativas. Nestas, os exopolissacarídeos (heteropolissacarídeos e homopolissacarídeos) são sintetizados intracelularmente. Os açúcares nucleotídeos (açúcar difosfato nucleotídio) fornecem as formas ativa de monossacarídeos e também fornecem à célula bacteriana um meio de interconversão dos vários monossacarídeos através de reações de epimerização, desidrogenação e descarboxilação (HARDING et al., 1993).

A formação de agregados celulares extremamente organizados e envoltos por uma matriz composta principalmente por polissacarídeos, muitas vezes é chamada de biofilme (COSTERTON et al., 1995). A maioria dos micro-organismos não existe naturalmente em comunidades planctônicas, sendo, portanto encontrados aderidos à diversas superfícies e formando biofilmes que contém colônias organizadas (SUTHERLAND, 2001).

O processo de adesão celular e formação de biofilmes mostrou-se ser extremamente complexo, onde as células bacterianas alteram seus fenótipos em resposta à proximidade da superfície. Durante a fase inicial da formação do biofilme, bactérias sésseis encontram-se justapostas com células da mesma espécie ou espécies diferente dentro da matriz exopolissacarídica, condicionando o microambiente e respondendo de maneira distinta à influência do ambiente, dependendo da posição ocupada pela célula (XAVIER; FOSTER, 2007). A cooperatividade fisiológica é um fator chave para a arquitetura do biofilme e para o estabelecimento das microcolônias, tornando o biofilme uma comunidade dinâmica e eficiente aderida às superfícies (DAVIES et al, 1998).

Depois da polimerização das unidades repetidas, o polissacarídeo é excretado através do complexo parede/membrana para a superfície celular no ambiente extracelular. Este

estágio final da secreção do exopolissacarídeo na membrana citoplasmática envolve a passagem pelo periplasma, pela membrana e finalmente sua excreção para o ambiente extracelular (SUTHERLAND, 2001).

Diversas pesquisas têm tentado elucidar a rota biossintética, as condições de crescimento e a fisiologia bacteriana que leva à produção de polissacarídeos. Geralmente, a produção de exopolissacarídeo em um micro-organismo é induzida pela limitação de um nutriente essencial, que não seja o carbono ou outra fonte de energia. Frequentemente uma relação C:N alta tem sido considerada como a condição ambiental mais significativa para a produção de polissacarídeo (NAMPOOTHIRI et al., 2003).

No processo de produção de polissacarídeos, deve-se considerar desde o micro-organismo em estudo até a determinação dos parâmetros de fermentação, onde se destaca o meio de produção e sua influência na síntese, no rendimento e na composição dos exopolissacarídeos (FARIA, 2002). Os parâmetros que mais influenciam o processo de biossíntese de exopolissacarídeos são a bactéria, a composição do meio de cultivo, o pH e a temperatura de incubação (NAMPOOTHIRI et al., 2003).

Nestes têm sido pesquisadas as limitações das fontes de nitrogênio, fosfato ou enxofre em presença de excesso de carboidrato e foi observado que podem conduzir a um aumento na síntese de polissacarídeo, embora a quantidade seja também afetada pelo teor de oxigênio, pH e temperatura. Cada cepa bacteriana difere em sua resposta ao efeito destas mudanças ambientais e à fonte de carbono utilizada (FARIA, 2002).

Na literatura estão descritos vários meios de produção, entretanto a composição qualitativa é a mesma e cada suplemento apresenta uma determinada função na produção de polissacarídeo. Basicamente, os meios para produção de polissacarídeos apresentam uma fonte de fósforo (fosfato de potássio) e nitrogênio (sulfato de amônio) em concentrações adequadas para o crescimento do micro-organismo; uma fonte de carbono (glicose, sacarose, manose, frutose e outras) como reserva energética e ainda oligoelementos como Na^{+1} , K^{+1} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} e outros, os quais têm um papel importante como cofatores enzimáticos nas vias de produção do polissacarídeo (MADI et al., 1997).

A produção de EPS pelos micro-organismos pode auxiliar na sobrevivência da planta a determinados tipos de estresse ambientais, quando inoculadas com micro-organismos de interesse (KAVAMURA, 2012). O estudo de bactérias produtoras de EPS é de suma importância, com a finalidade de encontrar novas aplicações, representando fontes promissoras para exploração desses micro-organismos na interação solo/planta. (SILVA et al., 2013)

3.4 Biofilme

Os biofilmes bacterianos são agregados multicelulares aderidos a um substrato biótico ou não, inseridos em matrizes poliméricas (DANHORN; FUQUA, 2007). Estas matrizes conectam as células e consistem basicamente de polissacarídeos extracelulares (EPS) e podem conter DNA e proteínas (COSTERTON et al., 1999). Também podendo ser definido como uma estrutura comunitária de células microbianas protegidas por uma matriz polissacarídica ou protéica que é sintetizada pelas células e aderente tanto a superfícies inertes ou vivas. Esta matriz é formada fundamentalmente por água e substâncias poliméricas extracelulares (“extracellular polymeric substances”) (WIMPENNY, MANZ; SZEWZYK, 2000; DONLAN, 2002).

Além do EPS, um biofilme também contém variadas partículas, como proteínas, lipídeos e outros tipos de carboidratos. A maioria destas moléculas são provenientes da fase aquosa e, desta forma, quanto mais rica esta for, maior será a quantidade e a variedade desses componentes em um biofilme (PARIZZI, 1998).

Os biofilmes podem ser constituídos por uma única espécie microbiana (por exemplo, alguns biofilmes associados à infecções e biofilmes que crescem em implantes médicos) ou, mais frequentemente, por várias espécies formando consórcio de fungos, algas, bactérias e outros micro-organismos (WIMPENNY et al., 2000). No interior dos biofilmes se encontram partículas de matéria orgânica e inorgânica que servem como nutriente aos micro-organismos e quanto maior a diversidade destes, maior a diversidade do consórcio (CAPPELLI et al., 2007).

O desenvolvimento e persistência dos biofilmes são afetados não somente pelo ambiente circunvizinho, mas também pela variedade de espécies presentes (KOMLOS et al., 2005). Nos ecossistemas terrestres e aquáticos os micro-organismos aparecem como células livres (estado planctônico) ou sob forma de biofilmes ligados à suportes sólidos.

A formação e desenvolvimento dos biofilmes ocorrem em etapas iniciando com a adesão das células a superfície, maturação, onde ocorre a produção de polímeros e reprodução celular até o desprendimento, onde pode ocorrer a liberação de células do biofilme, as quais podem voltar ao seu estado planctônico (DONLAN, 2002).

Como etapas importantes para sua formação são descritas as bioadesões iniciais, passando os micro-organismos de seu estilo de vida planctônico ao séssil, a formação de microcolonias, a maturação do biofilme e o destacamento de células, retornando estas ao seu estilo de vida planctônico.

Em todas estas etapas, uma série de transformações ocorre no íntimo do micro-organismo e na sua relação com os demais indivíduos e, em razão deste fato o seu processo de formação corresponde a um interessante objeto para se estudar o desenvolvimento microbiano (O'TOOLE et al., 2000).

São percebidas muitas alterações fenotípicas, principalmente nos aparelhos de motilidade, no tamanho da célula e no metabolismo, recorrentes da restrição de nutrientes e de oxigênio em algumas fases, da variação na taxa de reprodução e em toda regulação gênica (STOODLEY et al., 2002). Estas adaptações determinadas por condições físicas, bioquímicas e genéticas são interessante estratégia de sobrevivência (JOHNSON, 2007). Tais modificações, segundo Sauer et al. (2002) seriam o produto da ativação de algo em torno de 30 a 40 genes.

Monds e O'Toole (2009) afirmam que a formação de biofilme é um fenômeno biológico complexo, pois vários parâmetros ambientais podem influenciar o padrão de formação de biofilme. Nos biofilmes as células se comunicam através da elaboração e do reconhecimento de pequenas moléculas, tal mecanismo é conhecido como quorum sensing (QS) (SAKURAGI; KOLTER, 2007). Os sistemas QS estão envolvidos na regulação de uma variedade de processos fisiológicos incluindo biossíntese de antibióticos, motilidade, transferência de plasmídeos, produção de biofilme entre outros (JUHAS et al., 2005).

A produção de metabólitos secundários e a formação de biofilme podem ser reguladas pelo mecanismo de monitoramento populacional ou “quorum sensing” (QS) (CHOWDHURY et al., 2009). Por meio desse sistema, seres unicelulares produzem substâncias sinalizadoras, denominadas autoindutores, que se difundem livremente através da membrana celular para o meio. A partir de determinada concentração, estas substâncias desencadeiam alterações na expressão de genes específicos. Desta forma, o QS permite uma resposta coordenada do organismo em função da densidade populacional (RUMJANEK et al., 2004).

O sistema QS está envolvido com a competência rizosférica para regular a mobilidade, tolerância a estresses, transferência horizontal de genes, surfactantes, antibióticos, enzimas extracelulares e formação de biofilmes (BODMAN, 2003; DECHO et al., 2010).

A formação de biofilmes protege a população bacteriana quando inoculada no solo e nas sementes e favorece a manutenção de uma densidade populacional para que se iniciem interações benéficas ou deletérias entre a planta e a bactéria (DANHORN; FUQUA, 2007).

3.5. Estresse Hídrico

Um fator significativo que deve ser destacado visto a influência na produtividade das culturas, é a disponibilidade de água e de nutrientes. Com relação à água, nem sempre as chuvas atendem a real necessidade hídrica das plantas; daí a importância da irrigação a qual, quando bem planejada tem retorno econômico inquestionável (AZEVEDO, 2002).

A necessidade hídrica da cana-de-açúcar varia com o estádio vegetativo em que a cultura se encontra e a cultivar utilizada (AUDE, 1993) sendo, portanto função da área foliar, estádio fisiológico e densidade radicular.

O Nordeste brasileiro vem sofrendo com as baixas precipitações ocorridas na região nos últimos anos, que ocasionaram queda na produção de cana-de-açúcar, levando os produtores a recorrerem a novas técnicas como a irrigação suplementar, para a melhoria do cultivo, mas para uma eficiência melhor do uso da água de irrigação, é conveniente a utilização de fertilização equilibrada, de maneira eficiente e lucrativa.

Em regiões áridas e semiáridas, a falta de água, juntamente com o aumento das áreas em processo de desertificação, reduz a produtividade agrícola (BRASIL, 2004). O aumento da temperatura e a redução substancial das precipitações, em última instância, são traduzidos em aumento da demanda de água pelas culturas agrícolas. Com este cenário, aumenta-se a preocupação em busca por alternativas para reduzir o consumo de água pelas culturas, promover o crescimento de plantas em solos com baixa precipitação hídrica, como o observado na região nordeste (KAVAMURA, 2012).

Estresse é uma força ou uma condição adversa que inibe o funcionamento de um sistema biológico. Uma das primeiras respostas das plantas ao estresse, mais especificamente ao hídrico, ocorre por processos de sinalização envolvendo o ácido abscísico (AAB), que ocasionará o fechamento estomático, reduzindo a perda de água pela planta (SCHROEDER et al., 2001).

O espaço de tempo para a insuficiência de suprimento de água, necessário para causar reduções de crescimento depende do tipo de planta, da capacidade de retenção de água no solo, das condições atmosféricas, principalmente da diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar (DPV) e da temperatura e de fatores que controlam a evapotranspiração (PIMENTEL, 2004). As respostas das plantas à seca são caracterizadas por alterações morfológicas como diminuição da área foliar, reduzida pelo enrolamento das folhas e diminuição do crescimento (PIMENTEL, 2004).

A diminuição da área foliar é uma estratégia para limitar a transpiração. Folhas jovens de cana-de-açúcar são capazes de se enrolar e reduzir a área foliar projetada e com isso reduzir a radiação recebida. Inman-Bamber e Smith (2005) relatam o enrolamento a partir de um potencial de -1,0 MPa ao meio dia, podendo ser esse considerado como suscetibilidade do genótipo à seca, como também uma estratégia de evitar o estresse.

O estresse hídrico afeta todos os aspectos ligados ao crescimento da planta. Os micro-organismos são capazes de sobreviver a várias condições de estresse pela formação de biofilme, exopolissacarideos, entre outros (CHAVES et al. 2002; LINDOW, 2003)

Em plantas tratadas com bactérias em situação de estresse, Mayak et al. (2004) encontraram estímulo de crescimento. Já Liddycoat et al. (2009) observaram crescimento diferencial dependendo do genótipo de aspargo, para um deles o crescimento foi favorecido pela presença de bactérias apenas sob condições ideais de irrigação, enquanto que para outro genótipo o favorecimento ocorreu em situação de estresse hídrico. Os autores demonstraram assim uma resposta diferencial da interação entre bactéria e planta, associada à condição hídrica.

O estresse hídrico é a principal causa de perdas agrícolas e entender como as plantas respondem a essa alteração ambiental é importante para traçar estratégias e evitar prejuízos. Assim, a utilização de micro-organismos tolerantes à seca e que sejam capazes de proteger as plantas e promover seu crescimento sob estresse hídrico, poderá ser uma alternativa a esse problema (KAVAMURA, 2012).

3.6. Fitormônios

Fitormônios são substâncias químicas que em baixas concentrações promovem o crescimento das plantas, influenciando no seu crescimento, desenvolvimento e diferenciação celular de tecidos (SPAEPEN et al., 2009). Por causa da capacidade de estimular ou inibir o crescimento de plantas, estes também são chamados de reguladores de crescimento de plantas. Cinco principais grupos de fitormônios são reconhecidos: auxinas, giberelinas, etileno, citocininas e ácido abscísico (SAHARAN; NEHRA, 2011).

A produção de fitormônios citocinas e giberelinas por bactérias é de grande interesse para estudos de crescimento vegetal (GRAY; SMITH, 2005). Estas substâncias são reguladoras naturais de crescimento das plantas e também, são capazes de interferir diretamente nos processos fisiológicos relacionados com o desenvolvimento vegetal (PEDRINHO, 2009).

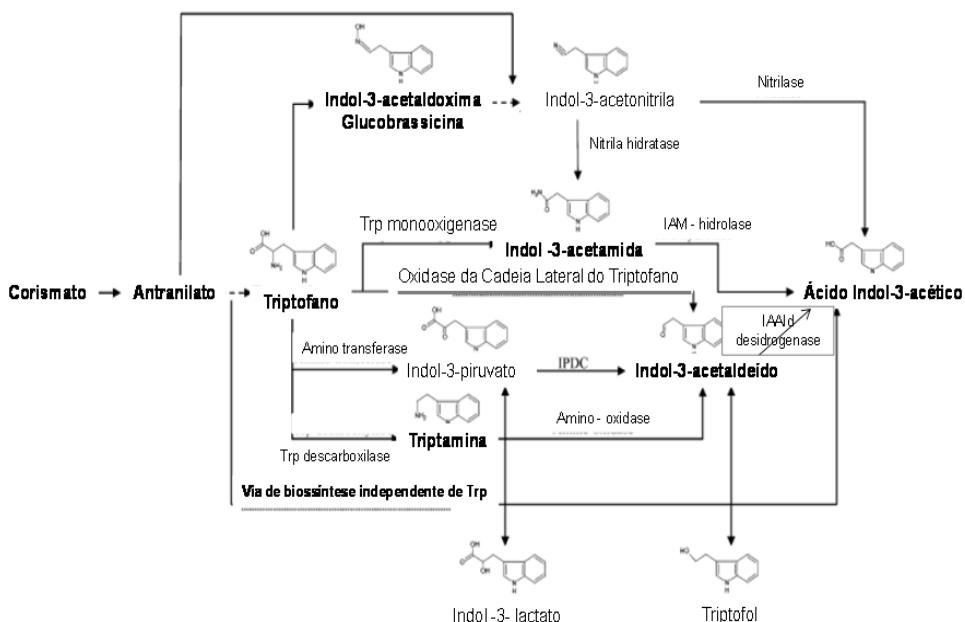
As auxinas são compostos que estimulam o crescimento, sendo o ácido -3 indolacético a principal auxina encontrada nas plantas, nos quais é produzido no meristema apical do caule, folhas jovens, flores, frutos em desenvolvimento e sementes, sendo também encontrados em raízes. O seu transporte ocorre unidirecionalmente, através das células parenquimáticas do floema e parenquimática que circulam os tecidos vasculares (RAVEN et al., 2001).

Este fitormônio funciona como uma chave reguladora para muitos aspectos do crescimento e desenvolvimento de plantas, incluindo divisão e elongação, diferenciação, tropismo, dominância apical, senescência, abscisão e floração (WOODWARD; BARTEL, 2005; TEALE, W. D. et al., 2006).

Este efeito no desenvolvimento da planta é dependente da concentração do hormônio auxina (BARAZANI; FRIEDMAN, 1999). Concentrações muito altas de auxina inibem a alongação celular e, portanto, o crescimento de órgãos. Adicionalmente, a sensibilidade das células a auxina varia nas diferentes partes da planta. O caule, por exemplo, é menos sensível a auxina, quando comparado à raiz (TAIZ; ZAIGER, 2004).

A biossíntese de auxina nas plantas é bastante complexa. As duas principais vias de biossíntese de AIA tem sido proposta para plantas; uma via dependente de triptofano (Trp) biossíntese do ácido 3-indol acético (AIA), a partir do aminoácido triptofano e outra triptofano independente (WOODWARD; BARTEL, 2005; SPAEPEN et al., 2007; CHANDLER, 2009; NORMANLY, 2010) (Figura 1).

Figura 1. Descrição geral das diferentes vias de síntese dependente e independente de triptofano de AIA em bactérias. IAAld, Indol-3-acetaldeído; IAM, Indol-3-acetamida; IPCD, Indol-3-piruvato descarboxilase; Trp, Triptofano.



Fonte: Spaepen, Vanderleyden e Remans (2007)

Na biossíntese de AIA Trp-independente, o glicerol-3-indol fosfato ou indol é provavelmente o precursor, porém pouco é conhecido sobre a via bioquímica para AIA (OUYANG et al., 2000; ZHANG et al., 2008). Na biossíntese de AIA Trp-dependente, várias vias têm sido propostas: (i) via do Indol-3-Aacetamida (IAM); (ii) via do Ácido Indol-3-Pirúvico (IPA); (iii) via da Triptamina (TAM) e (4) via do Indol 3-Acetaldoxima (IAOX) (WOODWARD; BARTEL, 2005; POLLmann et al., 2006; CHANDLER, 2009; MANO et al., 2010; NORMANLY, 2010; ZHAO, 2010).

O aminoácido L- triptofano, funciona como precursor fisiológico na biossíntese de auxinas em plantas e em micro-organismos (KHALID et al., 2004). Cinco diferentes vias utilizando o triptofano como precursor foram identificadas em bactérias: (i) via IAM, (ii) via IPA, (iii) TAM, (iv) via da Indol-3-Acetonitrila (IAN) e (v) via da Oxidase da Cadeia Lateral do Triptofano (TSO) (SPAEPEN et al, 2007).

Interações entre bactérias produtoras de AIA e plantas resultam em diferentes resultados, podendo variar de efeitos benéficos à patogenia. Quando secretado por bactérias, o fitormônio pode afetar de forma direta a morfologia das raízes, aumentando o comprimento e o número de pêlos radiculares ou, indiretamente, pela influência sobre a atividade da ACC desaminase (1-aminociclopropano-1-carboxilato, um precursor 13 do etileno) (PATTEN et

al., 2002). Neste sentido, micro-organismos que sintetizam o AIA são considerados importantes promotores de crescimento vegetal, podendo melhorar o rendimento das culturas (ARKHIPOVA et al., 2005).

Evidências sobre a ação do AIA, no desenvolvimento radicular, foram obtidas pela inoculação de um mutante de *Azospirillum* deficiente na produção desse fitormônio (DOBBELAERE et al., 1999). Este aumento da raiz, facilita a captação de nutrientes pelas plantas e na liberação de exudatos. Estudos, demonstraram que a inoculação de mutantes espontâneos de *B. japonicum*, que produziam mais AIA resultou num aumento do volume do nódulo da raiz (KHALID et al., 2004).

Foram descritas, em *Azospirillum*, pelo menos três vias metabólicas responsáveis pela produção de AIA. Duas dessas vias são dependentes de triptofano, denominadas indole-3-acetamida (IAM) e indole-3-piruvato (IpyA). Já a terceira via é independente de triptofano (DOBBELAERE et al., 1999; LAMBRECHT et al., 2000).

O triptofano tem sido identificado como um precursor principal nas vias de biossíntese de AIA em bactérias. A transformação de triptofano em AIA pode ser realizada por micro-organismos que produzem uma conversão oxidativa quando o triptofano se encontra em presença de peroxidases e de radicais livres. As vias de sínteses do AIA se baseiam na evidência obtida a partir da presença de intermediários, atividade biológica e enzimas capazes de converter in vivo estes intermediários em AIA.

A produção destes reguladores já foi relatada em bactérias dos gêneros *Gluconacetobacter*, *Azospirillum*, *Herbaspirillum*, *Methylobacterium*, *Erwinia*, *Pantoea* e *Pseudomonas* (CASSÁN et al., 2001; VERMA et al., 2001; KOENIG et al., 2002).

Chagas-Junior et al. (2009) avaliaram, em meio de cultura a produção de AIA de rizóbios isolados de solos da Amazônia, verificando que as 92 estirpes produziram AIA, sem a adição de triptofano, porém, em 52 isolados, a adição e a elevação da concentração de triptofano, aumentaram a produção do fitormônio.

3.7. Citocininas e giberelinas

Certas bactérias também podem produzir citocininas, substâncias conhecidas por induzirem processos mitóticos nas células vegetais e promovem o retardamento do envelhecimento das plantas. Sintetizadas nas raízes, essas moléculas são transportadas para todas as partes da planta através do xilema. As citocininas podem ainda interagir com as auxinas e, desta forma, atuam sobre a formação de células precursoras do sistema vascular e aumentam a

sensibilidade dessas células à auxina, induzindo de forma indireta o processo de diferenciação dos vasos e o desenvolvimento vegetal (OLIVEIRA et al., 2008), além disso, pode estimular ou inibir uma variedade de processos metabólicos, fisiológicos e bioquímicos em plantas superiores.

Elas estão envolvidas na regulação do crescimento e diferenciação, incluindo a divisão celular, dominância apical, formação de órgãos, retardamento da quebra de clorofila, desenvolvimento dos cloroplastos, senescência das folhas, abertura e fechamento dos estômatos, desenvolvimento das gemas e brotações, metabolismo dos nutrientes e como reguladores da expressão dos genes (VIEIRA; MONTEIRO, 2002). Entre as bactérias capazes de produzir citocininas pode ser mencionada a espécie *Pseudomonas fluorescens*, que produz elevadas concentrações deste fitormônio (GRAY; SMITH, 2005).

As giberelinas são hormônios sintetizados essencialmente nas raízes e nos brotos foliares, onde estimulam o crescimento de caules e folhas, mas, no entanto apresentam baixo efeito sobre o crescimento das raízes. Quando em associação com as auxinas, as giberelinas auxiliam no desenvolvimento dos frutos e junto à citocininas, executam um importante papel nos mecanismos voltados a germinação das sementes (ROSS et al., 2002). Bactérias como o *Bacillus sp.* produzem altos níveis de giberelinas que apresentam ação positiva no crescimento de caules e galhos de diversas plantas (GRAY; SMITH, 2005).

3.8. Indução de crescimento

As rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCPs) interferem positivamente no crescimento das plantas. Podem conferir as plantas: maior resistência às condições de estresse, alterações nas condições fisiológicas, proteção contra organismos patogênicos, solubilização de fosfato, promoção de crescimento diretamente pela produção de fitormônios, dentre outros.

As bactérias que vivem na rizosfera, ou seja, na região do solo sob influência das raízes, são capazes de promover o crescimento das plantas numa relação não simbiótica, trazem benefícios diretos para a produção agrícola, e ao mesmo tempo, uma alternativa de cultivo com menor uso de insumos agrícolas.

A promoção de crescimento pode ser resultado de diversos mecanismos como: controle biológico pela competição por nutrientes com o patógeno; produção de antibióticos; resistência induzida à doenças; produção de crescimento diretamente pela produção de

fitormônios e aumento da disponibilidade de nutrientes pela fixação de nitrogênio ou solubilização de fósforo (WHIPPS, 2001).

Com o propósito de obter aumento no crescimento e rendimento das plantas, iniciou-se na Rússia e Ucrânia em 1885, pesquisas com as rizobactérias não simbióticas *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium* e outras espécies de *Bacillus*. Na época se contestou que a promoção de crescimento era devido à inoculação com as rizobactérias, devido a falta de identificação do mecanismo envolvido que justificassem os resultados (QUEIROZ, 2003).

Alguns pesquisadores detectaram a produção de reguladores químicos vegetais como o ácido giberélico e o ácido indol-acético por alguns micro-organismos em meio de cultura, sendo sugerida a sua produção como possível mecanismo na promoção de crescimento de plantas. Com os trabalhos de Burr et al. (1978) em batata e de Kloepper e Schroth (1978) em rabanete, ficou estabelecido a denominação rizobactérias promotoras de crescimento de plantas ou RPCP (Plant growth-promoting rizobacteria –PGPRs).

São encontrados também exemplos de bactérias endofíticas apresentando aumento em vários tipos de plantações, incluindo tomate (BASHAN et al., 1989b), batata (STURZ, 1995), milho (HINTON; BACON, 1995), pepino (VAN PEER; SCHIPPERS, 1989), arroz (HUREK et al., 1994) e algodão (BASHAN et al., 1989a). De acordo com Sturz (1995), aproximadamente 10 % de isolados benéficos recuperados de batatas mostraram promover crescimento. A inoculação de arroz com um endófito diazotrófico, *Azoarcus* sp linhagem BH72, resultou numa promoção de crescimento significante (HUREK et al., 1994).

A capacidade das bactérias endofíticas em solubilizar fosfato inorgânico tem sido alvo de grande interesse por parte dos microbiologistas agrícolas, pois esta característica apresenta um grande potencial para a promoção de crescimento vegetal. É interessante ressaltar que as bactérias endofíticas com capacidade de solubilizar fosfato inorgânico ganham importância durante o processo de colonização, pois podem inicialmente colonizar superficialmente o hospedeiro e, consequentemente, provê-lo deste mineral essencial para o desenvolvimento vegetal (CERIGIOLI, 2005).

Para uma possível aplicação no campo, objetivando o aumento da produção agrícola, há um grande interesse no isolamento de linhagens bacterianas que apresentem mais de uma característica para a promoção de crescimento vegetal, como fixar nitrogênio e sintetizar auxina, solubilizar fosfato e produzir sideróforos ou produzir antibióticos e fixar nitrogênio (VERMA et al., 2001). Neste aspecto as bactérias endofíticas levam vantagem, pois estão sujeitas a uma menor competição e estão livres de predação dentro dos tecidos das plantas

se comparado com o solo. Poucos trabalhos explorando estes aspectos foram realizados (CERIGIOLI, 2005).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados da presente pesquisa, se verifica que as rizobactérias promovem o crescimento de plantas, os efeitos positivos observados em vários estudos revelam o potencial do uso desses micro-organismos como ferramenta biotecnológica para os sistemas de produção, proporcionando vantagens para produtores e a agroindústria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, P. Fertilidade do solo após cinco anos de pastagem temporária e de monocultura de milho. 2014.
- ALAMI, Y. et al. Rhizosphere soil aggregation and plant growth promotion of sunflowers by an exopolysaccharide-producing *Rhizobium* sp. strain isolated from sunflower roots. *Applied and environmental microbiology*, Am Soc Microbiol, v. 66, n. 8, p. 3393 – 3398, 2000.
- ALIKHANI, H.; SALEH-RASTIN, N.; ANTOUN, H. Phosphate solubilization activity of rhizobia native to Iranian soils. In: *First International Meeting on Microbial Phosphate Solubilization*. [S.l.]: Springer, 2007. p. 35 – 41.
- ANDERSEN, J. B. et al. Surface motility in *Pseudomonas* sp. DSS73 is required for efficient biological containment of the root-pathogenic microfungi *Rhizoctonia solani* and *Pythium ultimum*. *Microbiology*, Soc General Microbiol, v. 149, n. 1, p. 37 – 46, 2003.
- ARKHIPOVA, T. et al. Ability of bacterium *Bacillus subtilis* to produce cytokinins and to influence the growth and endogenous hormone content of lettuce plants. *Plant and Soil*, Springer, v. 272, n. 1-2, p. 201 – 209, 2005.
- ASGHAR, H. et al. Relationship between in vitro production of auxins by rhizobacteria and their growth-promoting activities in *Brassica juncea* L. *Biology and Fertility of Soils*, Springer, v. 35, n. 4, p. 231 – 237, 2002.
- ASHRAF, M. et al. Inoculating wheat seedlings with exopolysaccharide-producing bacteria restricts sodium uptake and stimulates plant growth under salt stress. *Biology and Fertility of soils*, Springer, v. 40, n. 3, p. 157 – 162, 2004.
- AUDE, M. Estadios de desenvolvimento da cana-de-açúcar e suas relações com a produtividade. *Ciência Rural, Santa Maria*, v. 23, n. 2, p. 241 – 248, 1993.
- BARAZANI, O.; FRIEDMAN, J. Is IAA the major root growth factor secreted from plant-growth-mediating bacteria? *Journal of Chemical Ecology*, Springer, v. 25, n. 10, p. 2397 – 2406, 1999.
- BARRETO, M. do C. S. et al. Produção e Comportamento Reológico de Biopolímeros produzidos por rizóbios e caracterização genética. *Current Agricultural Science and Technology*, v. 17, n. 2, 2013.
- BARRIUSO, J. et al. Screening for putative PGPR to improve establishment of the symbiosis *Lactarius deliciosus*-*Pinus* sp. *Microbial ecology*, Springer, v. 50, n. 1, p. 82 – 89, 2005.
- BASHAN, Y.; HOLGUIN, G. Proposal for the division of plant growth-promoting rhizobacteria into two classifications: biocontrol-PGPB (plant growth-promoting bacteria) and PGPB. *Soil Biology and Biochemistry*, Pergamon, v. 30, n. 8, p. 1225 – 1228, 1998.
- BASHAN, Y.; SINGH, M.; LEVANONY, H. Contribution of *Azospirillum brasiliense* Cd to growth of tomato seedlings is not through nitrogen fixation. *Canadian Journal of Botany*, NRC Research Press, v. 67, n. 8, p. 2429 – 2434,

1989.

- BEHERA, B. et al. Diversity, mechanism and biotechnology of phosphate solubilising microorganism in mangroveâa review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, Elsevier, v. 3, n. 2, p. 97 – 110, 2014.
- BLOEMBERG, G. V.; LUGTENBERG, B. J. Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria. *Current opinion in plant biology*, Elsevier, v. 4, n. 4, p. 343 – 350, 2001.
- BODMAN, S. B. von; BAUER, W. D.; COPLIN, D. L. Quorum sensing in plant-pathogenic bacteria. *Annual review of phytopathology*, Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, v. 41, n. 1, p. 455 – 482, 2003.
- BRAGA, G. *Eficiência de fosfatos com solubilidade variável em água em solos com capacidade de fixação de fósforo induzida*. Tese (Doutorado) — Escola Superior de Agricultura âLuiz de Queiroz, 2006.
- BURR, T.; SCHROTH, M.; SUSLOW, T. Increased potato yields by treatment of seedpieces with specific strains of *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida* [Bacterization]. *Phytopathology*, 1978.
- CAPPELLI, G. et al. Biofilm on artificial surfaces. Karger Publishers, 2007.
- CARAVACA, F. et al. Assessing the effectiveness of mycorrhizal inoculation and soil compost addition for enhancing reafforestation with *Olea europaea* subsp. *sylvestris* through changes in soil biological and physical parameters. *Applied Soil Ecology*, Elsevier, v. 20, n. 2, p. 107 – 118, 2002.
- CASAGRANDE, A.; VASCONCELOS, A. Fisiologia da parte aérea. *Cana-de-açúcar*, eds LL Dinardo Miranda, ACM Vasconcelos, and MGA Landell, 2008.
- CASSAN, F. et al. Cadaverine production by *Azospirillum brasiliense* and its possible role in plant growth promotion and osmotic stress mitigation. *European journal of soil biology*, Elsevier, v. 45, n. 1, p. 12 – 19, 2009.
- CASSÁN, F. D. et al. *Azospirillum* spp. metabolize [17, 17-2H2] gibberellin A20 to [17, 17-2H2] gibberellin A1 in vivo in dy rice mutant seedlings. *Plant and Cell Physiology*, Jpn Soc Plant Physiol, v. 42, n. 7, p. 763 – 767, 2001
- CERIGIOLI, M. M. Diversidade de bactérias endofíticas de raízes de milho (*Zea Mays L.*) e potencial para promoção de crescimento. *Diversidade de bactérias endofíticas de raízes de milho (Zea Mays L.) e potencial para promoção de crescimento*, 2006.
- CERQUEIRA et al. Influência de bactérias do gênero bacillus sobre o crescimento de feijão comum (*phaseolus vulgaris l.*). *Encyclopédia biosfera*. v.11, p.20, 2015.
- CHABOT, R.; ANTOUN, H.; CESCAS, M. P. Stimulation de La croissance du maïs et de la laitue romaine par des microorganismes dissolvant le phosphore inorganique. *Can. J. Microbiol.* v. 39, p. 941-947, 1993.
- CHANDLER, J. W. Local auxin production: a small contribution to a big field. *Bioessays*, Wiley Online Library, v. 31, n. 1, p. 60 – 70, 2009.

- CHANG, W.-S. et al. Alginate production by *Pseudomonas putida* creates a hydrated microenvironment and contributes to biofilm architecture and stress tolerance under water-limiting conditions. *Journal of bacteriology*, Am Soc Microbiol, v. 189, n. 22, p. 8290 – 8299, 2007.
- CHAVES, M. M. et al. How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of botany*, Annals Botany Co, v. 89, n. 7, p. 907 – 916, 2002.
- CHEN, Y. et al. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. *Applied soil ecology*, Elsevier, v. 34, n. 1, p. 33 – 41, 2006.
- CHOWDHURY, S. P. et al. Diversity of 16S-rRNA and nifH genes derived from rhizosphere soil and roots of an endemic drought tolerant grass, *Lasiurus sindicus*. *European journal of soil biology*, Elsevier, v. 45, n. 1, p. 114 – 122, 2009.
- COSTERTON, J. W. et al. Microbial biofilms. *Annual Reviews in Microbiology*, Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, v. 49, n. 1, p. 711 – 745, 1995.
- CREUS, C. M.; SUELDO, R. J.; BARASSI, C. A. Water relations and yield in *Azospirillum*-inoculated wheat exposed to drought in the field. *Canadian Journal of Botany*, NRC Research Press, v. 82, n. 2, p. 273 – 281, 2004.
- DANHORN, T.; FUQUA, C. Biofilm formation by plant-associated bacteria. *Annu. Rev. Microbiol.*, Annual Reviews, v. 61, p. 401 – 422, 2007.
- DAVEY, M. E.; O'TOOLE, G. A. Microbial biofilms: from ecology to molecular genetics. *Microbiology and molecular biology reviews*, Am Soc Microbiol, v. 64, n. 4, p. 847 – 867, 2000.
- DAVIES, D. G. et al. The involvement of cell-to-cell signals in the development of a bacterial biofilm. *Science*, American Association for the Advancement of Science, v. 280, n. 5361, p. 295 – 298, 1998.
- DECHO, A. W. Overview of biopolymer-induced mineralization: what goes on in biofilms? *Ecological Engineering*, Elsevier, v. 36, n. 2, p. 137 – 144, 2010.
- DELVASTO, P. et al. Characterization of brushite as a re-crystallization product formed during bacterial solubilization of hydroxyapatite in batch cultures. *Soil Biology and Biochemistry*, Elsevier, v. 38, n. 9, p. 2645 – 2654, 2006
- DIMKPA, C.; WEINAND, T.; ASCH, F. Plant–rhizobacteria interactions alleviate abiotic stress conditions. *Plant, cell environment*, Wiley Online Library, v. 32, n. 12, p. 1682 – 1694, 2009.
- DOBBELAERE, S. et al. Phytostimulatory effect of *Azospirillum brasiliense* wild type and mutant strains altered in IAA production on wheat. *Plant and soil*, Springer, v. 212, n. 2, p. 153 – 162, 1999.
- DONLAN, R. M. et al. Biofilms: microbial life on surfaces. *Emerg Infect Dis*, v. 8, n. 9, 2002.

FARIA, L.H.G.B.; GARCIA-CRUZ, C.H. Influência da taxa nitrogênio/carbono durante a produção de polissacarídeos por uma bactéria isolada do solo. *Higiene Alimentar*, São Paulo, v.145, p.1-10, 2006.

FLEMMING, H.-C. et al. Physico-chemical properties of biofilms. *Biofilms: recent advances in their study and control*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers, p. 19 – 34, 2000.

FUJISHIGE, N. A. et al. Investigations of Rhizobium biofilm formation. *FEMS microbiology ecology*, The Oxford University Press, v. 56, n. 2, p. 195 – 206, 2006.

GIRI, B.; MUKERJI, K. Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in Sesbania aegyptiaca and Sesbania grandiflora under field conditions: evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. *Mycorrhiza*, Springer, v. 14, n. 5, p. 307 – 312, 2004.

GÍRIO, L. A. da S. et al. Bactérias promotoras de crescimento eadubaç ao nitrogenada no crescimento inicial de cana-de-açúcar proveniente de mudas pré-brotadas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* , SciELO Brasil, v. 50, n. 1, p. 33 – 43, 2015.

GRAY, E.; SMITH, D. Intracellular and extracellular PGPR: commonalities and distinctions in the plant–bacterium signaling processes. *Soil Biology and Biochemistry*, Elsevier, v. 37, n. 3, p. 395 – 412, 2005.

GROVER, M. et al. Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, Springer, v. 27, n. 5, p. 1231 – 1240, 2011.

GYANESHWAR, P. et al. Endophytic colonization of rice by a diazotrophic strain of *Serratia marcescens*. *Journal of Bacteriology*, Am Soc Microbiol, v. 183, n. 8, p. 2634 – 2645, 2001.

GYANESHWAR, P. et al. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. In: *Food Security in Nutrient-Stressed Environments: Exploiting Plants' Genetic Capabilities*. [S.l.]: Springer, 2002. p. 133 – 143.

HAN, H.; LEE, K. Plant growth promoting rhizobacteria effect on antioxidant status, photosynthesis, mineral uptake and growth of lettuce under soil salinity. *Res J Agric Biol Sci*, v. 1, n. 3, p. 210 – 215, 2005.

HARDING, N. E. et al. Identification, genetic and biochemical analysis of genes involved in synthesis of sugar nucleotide precursors of xanthan gum. *Journal of general microbiology*, Soc General Microbiol, v. 139, n. 3, p. 447 – 457, 1993.

HARTMANN, A.; SINGH, M.; KLINGMÜLLER, W. Isolation and characterization of *Azospirillum* mutants excreting high amounts of indoleacetic acid. *Canadian Journal of Microbiology*, NRC Research Press, v. 29, n. 8, p. 916 – 923, 1983.

HINTON, D. M.; BACON, C. W. *Enterobacter cloacae* is an endophytic symbiont of corn. *Mycopathologia*, Springer, v. 129, n. 2, p. 117 – 125, 1995.

HMIDA-SAYARI, A. et al. Overexpression of $\Delta\$1 - pyrroline - 5 - Carboxylatesynthetase$ increases proline production and confers salt tolerance in transgenic potato plantT-752, 2005.

HUREK, T. et al. Root colonization and systemic spreading of *Azoarcus* sp. strain BH72 in grasses. *Journal of bacteriology*, Am Soc Microbiol, v. 176, n. 7, p. 1913 – 1923, 1994.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Indicadores IBGE: Estatística da Produção Agrícola (Setembro de 2013). Acessado em Fevereiro de 2014 em:http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201309.pdf .

IGUAL, J. M. et al. Phosphate-solubilizing bacteria as inoculants for agriculture: use of updated molecular techniques in their study. *Agronomie*, EDP Sciences, v. 21, n. 6-7, p. 561 – 568, 2001.

INMAN-BAMBER, N.; SMITH, D. Water relations in sugarcane and response to water deficits. *Field crops research*, Elsevier, v. 92, n. 2, p. 185 – 202, 2005.

INUI-KISHI, R. N. et al. Phosphorus solubilizing and IAA production activities in plant growth promoting rhizobacteria from brazilian soils under sugarcane cultivation. *J. Eng. Appl. Sci.*, v. 7, n. 11, p. 1446 – 1454, 2012.

JEFFERSON, K. K. What drives bacteria to produce a biofilm? *FEMS microbiology letters*, The Oxford University Press, v. 236, n. 2, p. 163 – 173, 2004.

JOHNSON, D. Physiology and ecology of acidophilic microorganisms. *Physiology and biochemistry of extremophiles*, American Society for Microbiology, 2007.

JUHAS, M.; EBERL, L.; TÜMMLER, B. Quorum sensing: the power of cooperation in the world of *Pseudomonas*. *Environmental microbiology*, Wiley Online Library, v. 7, n. 4, p. 459 – 471, 2005.

JUNIOR, A. F.C.; OLIVEIRA, L. A. de; OLIVIERA, A. N. de. Produção de ácido indolacético por rizóbios isolados de caupi. *Ceres*, v. 56, n. 6, 2015.

KAVAMURA, V. N. et al. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. *Microbiological research*, Elsevier, v. 168, n. 4, p. 183 – 191, 2013.

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

KHAN, A. A. et al. Phosphorus solubilizing bacteria: occurrence, mechanisms and their role in crop production. *J Agric Biol Sci*, v. 1, n. 1, p. 48 – 58, 2009.

KLEIN, V. et al. Características agronômicas, químicas e bromatológicas de variedades de cana-de-áçúcar para uso forrageiro. Universidade Federal de Goiás, 2010.

- KLOEPFER, J. W.; SCHROTH, M. N. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. *Proceedings of the 4th international conference on plant pathogenic bacteria*, v. 2, p. 879 – 882, 1978. .
- KNEE, E. M. et al. Root mucilage from pea and its utilization by rhizosphere bacteria as a sole carbon source. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, Am Phytopath Society, v. 14, n. 6, p. 775 – 784, 2001.
- KOENIG, R. L.; MORRIS, R. O.; POLACCO, J. C. tRNA is the source of low-level trans-zeatin production in *Methylobacterium* spp. *Journal of bacteriology*, Am Soc Microbiol, v. 184, n. 7, p. 1832 – 1842, 2002.
- KOKALIS-BURELLE, N.; KLOEPFER, J.; REDDY, M. Plant growth-promoting rhizobacteria as transplant amendments and their effects on indigenous rhizosphere microorganisms. *Applied Soil Ecology*, Elsevier, v. 31, n. 1, p. 91 – 100, 2006.
- KOMLOS, J. et al. Interaction of *Klebsiella oxytoca* and *Burkholderia cepacia* in dual-species batch cultures and biofilms as a function of growth rate and substrate concentration. *Microbial ecology*, Springer, v. 49, n. 1, p. 114 – 125, 2005.
- KUMAR, A.; PRAKASH, A.; JOHRI, B. *Bacillus* as PGPR in crop ecosystem. In: *Bacteria in agrobiology: crop ecosystems*. [S.I.]: Springer, 2011. p. 37 – 59.
- LAMBRECHT, M. et al. Indole-3-acetic acid: a reciprocal signalling molecule in bacteria–plant interactions. *Trends in microbiology*, Elsevier Current Trends, v. 8, n. 7, p. 298 – 300, 2000.
- LATASA, C. et al. Biofilm-associated proteins. *Comptes rendus biologies*, Elsevier, v. 329, n. 11, p. 849 – 857, 2006.
- LIDDYCOAT, S. M.; GREENBERG, B. M.; WOLYN, D. J. The effect of plant growth- promoting rhizobacteria on asparagus seedlings and germinating seeds subjected to water stress under greenhouse conditions. *Canadian journal of microbiology*, NRC Research Press, v. 55, n. 4, p. 388 – 394, 2009.
- LIU, S.-B. et al. Structure and ecological roles of a novel exopolysaccharide from the Arctic sea ice bacterium *Pseudoalteromonas* sp. strain SM20310. *Applied and environmental microbiology*, Am Soc Microbiol, v. 79, n. 1, p. 224 – 230, 2013.
- MACHADO, R. G. Promoçao de crescimento em gramíneas forrageiras por rizóbios isolados de *Lotus corniculatus*. 2011.
- MADI, N.; MCNEIL, B.; HARVEY, L. Effect of exogenous calcium on morphological development and biopolymer synthesis in the fungus *Aureobasidium pullulans*. *Enzyme and microbial technology*, Elsevier, v. 21, n. 2, p. 102 – 107, 1997.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.; OLIVEIRA, S. Avaliaç ao do estado nutricional das plantas: Princípios, métodos e técnicas de avaliaç ao do estado nutricional. *Avaliaçao do estado nutricional das plantas: Princípios, métodos e técnicas de avaliaç ao do estado nutricional*, Potafo Piracicaba, 1997.

- MAYAK, S.; TIROSH, T.; GLICK, B. R. Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, Elsevier, v. 42, n. 6, p. 565 – 572, 2004.
- MONDS, R. D.; O'TOOLE, G. A. The developmental model of microbial biofilms: ten years of a paradigm up for review. *Trends in microbiology*, Elsevier, v. 17, n. 2, p. 73 – 87, 2009
- MOREIRA, F. de S. *Microbiologia e bioquímica do solo*. [S.l.]: Ufla, 2006.
- MORRIS, C. E.; MONIER, J.-M. The ecological significance of biofilm formation by plant-associated bacteria. *Annual review of phytopathology*, Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, v. 41, n. 1, p. 429 – 453, 2003.
- MUNDREE, S. G. et al. Physiological and molecular insights into drought tolerance. *African Journal of Biotechnology*, Academic Journals (Kenya), v. 1, n. 2, p. 28 – 38, 2002.
- NAHAS, E.; CENTURION, J.; ASSIS, L. Efeito das características químicas dos solos sobre os microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases. *Revista Brasileira de Ciencia do solo*, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 18, n. 1, p. 49 – 53, 1994. .
- NAMPOOTHIRI, K. M. et al. Fermentative production of gellan using *Sphingomonas paucimobilis*. *Process Biochemistry*, Elsevier, v. 38, n. 11, p. 1513 – 1519, 2003.
- NARSIAN, V.; PATEL, H. Rock phosphate dissolution by specific yeast. *Indian journal of microbiology*, Springer, v. 50, n. 1, p. 57 – 62, 2010.
- NARSIAN, V. T.; PATEL, H. Relationship of physicochemical properties of rhizosphere soils with native population of mineral phosphate solubilizing fungi. *Indian journal of microbiology*, Springer, v. 49, n. 1, p. 60 – 67, 2009.
- NAUTIYAL, C. S. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms. *FEMS microbiology Letters*, The Oxford University Press, v. 170, n. 1, p. 265 – 270, 1999.
- NORMANLY, J. Approaching cellular and molecular resolution of auxin biosynthesis and metabolism. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, Cold Spring Harbor Lab, v. 2, n. 1, 2010.
- OLIVEIRA, A. de; DINIZ, J.; ALMEIDA, J. Multiplicação e enraizamento in vitro do mandacaru (*Cereus jamacaru* P.DC.). *Plant Cell Culture Micropropagation*, p. 48 – 54, 2008. .
- O'TOOLE, G.; KAPLAN, H. B.; KOLTER, R. Biofilm formation as microbial development. *Annual Reviews in Microbiology*, Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, v. 54, n. 1, p. 49 – 79, 2000.
- OUYANG, J.; SHAO, X.; LI, J. Indole-3-glycerol phosphate, branchpoint of indole-

3-acetic acid biosynthesis from the tryptophan biosynthetic pathway in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal*, Wiley Online Library, v. 24, n. 3, p. 327 – 334, 2000.

PARIZZI, S. Adesão bacteriana em superfície de serviços de alimentação hospitalar avaliada pela microscopia de epifluorescência. *Viçosa, MG: UFV*, 1998.

PATTEN, C. L.; GLICK, B. R. Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system. *Applied and environmental microbiology*, Am Soc Microbiol, v. 68, n. 8, p. 3795 – 3801, 2002.

PEDRAZA, R. O. et al. Aromatic amino acid aminotransferase activity and indole-3- acetic acid production by associative nitrogen-fixing bacteria. *FEMS microbiology letters*, The Oxford University Press, v. 233, n. 1, p. 15 – 21, 2004.

PEDRINHO, E. A. N. et al. Identificação e avaliação de rizobactérias isoladas de raízes de milho. *Bragantia*, SciELO Brasil, v. 69, n. 4, p.905 – 911, 2010.

PEDROSA, R. et al. Avaliação dos parâmetros dos colmos da cana-de-açúcar, segunda folha, submetida a níveis de irrigação e adubação. *R. Biol. Ci. Terra*, v. 5, n. 1, p. 1 – 5, 2005.

PEER, R. van; SCHIPPERS, B. Plant growth responses to bacterization with selected *Pseudomonas* spp. strains and rhizosphere microbial development in hydroponic cultures. *Canadian Journal of Microbiology*, NRC Research Press, v. 35, n. 4, p. 456 – 463, 1989.

PEIX, A. et al. Growth promotion of chickpea and barley by a phosphate solubilizing strain of *Mesorhizobium mediterraneum* under growth chamber conditions. *Soil Biology and Biochemistry*, Elsevier, v. 33, n. 1, p. 103 – 110, 2001.

PEREZ, E. et al. Isolation and characterization of mineral phosphate-solubilizing bacteria naturally colonizing a limonitic crust in the south-eastern Venezuelan region. *Soil Biology and Biochemistry*, Elsevier, v. 39, n. 11, p. 2905 – 2914, 2007.

PERSELLO-CARTIEAUX, F.; NUSSAUME, L.; ROBAGLIA, C. Tales from the underground: molecular. *Plant, Cell Environment*, Wiley Online Library, v. 26, n. 2, p. 189 – 199, 2003.

PIMENTEL, C. A relação da planta com a água. *Seropédica: Edur*, 2004.

POLLMANN, S.; MÜLLER, A.; WEILER, E. Many roads lead to auxin: of nitrilases, synthases, and amidases. *Plant Biology*, Wiley Online Library, v. 8, n. 3, p. 326 – 333, 2006. .

QUEIROZ, B. P.de; AGUILAR-VILDOSO, C. I.; MELO, I. S. Visualização in vitro da colonização de raízes por rizobactérias. *Summa Phytopathologica*, SciELO Brasil, v. 32, n. 1, p. 95 – 97, 2006. .

QURASHI, A. W.; SABRI, A. N. Bacterial exopolysaccharide and biofilm formation stimulate chickpea growth and soil aggregation under salt stress. *Brazilian Journal of Microbiology*, SciELO Brasil, v. 43, n. 3, p. 1183 – 1191,

2012.

- RAIJ, B. VAN. Fertilidade do solo e adubaçao. Fertilidade do solo e adubaçao, Ceres Potafos Piracicaba, 1991.
- RAMEY, B. E. et al. Biofilm formation in plant–microbe associations. *Current opinion in microbiology*, Elsevier, v. 7, n. 6, p. 602 – 609, 2004
- RAVEN, P.H.; EVERET, R. F.; EICHHORN, S. E. *Biology of plants*. [S.l.]: Macmillan, 2005.
- ROCHA, F.R. et al. Signal transduction-related responses to phytohormones and environmental challenges in sugarcane. *BMC genomics*, BioMed Central Ltd, v. 8, n. 1, 2007.
- ROSS, J. J. et al. Auxin-gibberellin interactions and their role in plant growth. *Journal of plant growth regulation*, Springer, v. 20, n. 4, p. 336 – 353, 2001.
- ROSSOLINI, G. et al. Bacterial nonspecific acid phosphohydrolases: physiology, evolution and use as tools in microbial biotechnology. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, Springer, v. 54, n. 8, p. 833 – 850, 1998.
- RUMJANEK, N.G.; FONSECA, M.; XAVIER, G. Quorum sensing. *Revista Biotecnologia Ciência Desenvolvimento-Edição nº*, v. 33, 2004.
- SAHARAN, B.; NEHRA, V. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. *Life Sci Med Res*, v. 21, p. 1 – 30, 2011.
- SAKURAGI, Y.; KOLTER, R. Quorum-sensing regulation of the biofilm matrix genes (pel) of *Pseudomonas aeruginosa*. *Journal of bacteriology*, Am Soc Microbiol, v. 189, n. 14, p. 5383 – 5386, 2007.
- SANTI, C.; BOGUSZ, D.; FRANCHE, C. Biological nitrogen fixation in non-legume plants. *Annals of botany*, Annals Botany Co, v. 111, n. 5, p. 743 – 767, 2013.
- SANTOS, A. A. I. dos. *Movimento Negro e o Estado (1983-1987): o caso do Conselho de Participação e Desenvolvimento da Comunidade Negra no Governo de São Paulo*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Campinas, Campinas, 12 2001.
- SARAF, M.; RAJKUMAR, S.; SAHA, T. Perspectives of PGPR in agri-ecosystems. In: *Bacteria in Agrobiology: Crop Ecosystems*. [S.l.]: Springer, 2011. p. 361 – 385.
- SAUER, K. et al. *Pseudomonas aeruginosa* displays multiple phenotypes during development as a biofilm. *Journal of bacteriology*, Am Soc Microbiol, v. 184, n. 4, p. 1140 – 1154, 2002.
- SAVADOGO, A. et al. Identification of exopolysaccharides-producing lactic acid bacteria from Burkina Faso fermented milk samples. *African Journal of Biotechnology*, Academic Journals (Kenya), v. 3, n. 3, p. 189 – 194, 2004.
- SCHROEDER, J. I.; KWAK, J. M.; ALLEN, G. J. Guard cell abscisic acid signalling and engineering drought hardiness in plants. *Nature*, Nature Publishing

- Group, v. 410, n. 6826, p. 327 – 330, 2001.
- SEESURIYACHAN, P. et al. Optimization of exopolysaccharide overproduction by *Lactobacillus confusus* in solid state fermentation under high salinity stress. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, Taylor Francis, v. 76, n. 5, p. 912 – 917, 2012.
- SERNA-COCK, L.; ARIAS-GARCÍA, C.; HERNANDEZ, L. J. V. EFFECT OF BIOFERTILIZATION ON THE GROWTH OF POTTED SUGARCANE PLANTS (*Saccharum officinarum*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, Universidad del Cauca, Vicerrectoría de Investigaciones, v. 9, n. 2, p. 85 – 95, 2011.
- SGROY, V. et al. Isolation and characterization of endophytic plant growth-promoting (PGPB) or stress homeostasis-regulating (PSHB) bacteria associated to the halophyte *Prosopis strombulifera*. *Applied microbiology and Biotechnology*, Springer, v. 85, n. 2, p. 371 – 381, 2009. .
- SILVA, V. de P. D. et al. Risco climático da cana-de-açúcar cultivada na regiao Nordeste do Brasil. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, SciELO Brasil, v. 17, n. 2, p. 180– 189, 2013.
- SILVEIRA, A. B. da. Isolamento e caracterizaç ao de linhagens de *Bacillus* e *Paenibacillus* promotores de crescimento vegetal em lavouras de arroz e trigo do Rio Grande do Sul. 2008.
- SIMOES, L. C.; SIMOES, M.; VIEIRA, M. J. Biofilm interactions between distinct bacterial genera isolated from drinking water. *Applied and environmental microbiology*, Am Soc Microbiol, v. 73, n. 19, p. 6192 – 6200, 2007.
- SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J.; OKON, Y. Plant growth-promoting actions of rhizobacteria. *Advances in botanical research*, Elsevier, v. 51, p. 283 – 320, 2009.
- SPAEPEN, S.; VANDERLEYDEN, J.; REMANS, R. Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. *FEMS microbiology reviews*, The Oxford University Press, v. 31, n. 4, p. 425 – 448, 2007.
- STOCK, J. B. Two-component signal transduction systems: structure-function relationships and mechanisms of catalysis. *Two-component signal transduction* , ASM Press, p. 25 – 51, 1995.
- STOODLEY, P. et al. Biofilms as complex differentiated communities. *Annual Reviews in Microbiology*, Annual Reviews 4139 El Camino Way, PO Box 10139, Palo Alto, CA 94303-0139, USA, v. 56, n. 1, p. 187 – 209, 2002.
- STURZ, A. The role of endophytic bacteria during seed piece decay and potato tuberization. *Plant and soil*, Springer, v. 175, n. 2, p. 257 – 263, 1995.
- SUTHERLAND, I. W. Microbial polysaccharides from Gram-negative bacteria. *International Dairy Journal*, Elsevier, v. 11, n. 9, p. 663 – 674, 2001.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiología vegetal 3 ed. *Porto Alegre: Artmed*, 2004.
- TEALE, W. D.; PAPONOV, I. A.; PALME, K. Auxin in action: signalling, transport

and the control of plant growth and development. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, Nature Publishing Group, v. 7, n. 11, p. 847 – 859, 2006.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR (UNICA). Estudos mostram melhorias no mercado de trabalho do setor sucroalcooleiro e desafios a mecanização, 2008. Disponível em <<http://www.unica.com.br/noticia/508488792036979688/estudos-mostram-melhorias-no-mercado-de-trabalho-do-setor-sucroalcooleiro-e-desafios-da-mecanizacao/>> Acesso em 06 de janeiro de 2024.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar – Levantamento da safra 2012/2013 – Acessado em Fevereiro de 2014 em: <http://www.unica.com.br/>

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA) - Relatórios. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov>>. Acesso em 2024

VENIERAKI, A. et al. The genetic diversity of culturable nitrogen-fixing bacteria in the rhizosphere of wheat. *Microbial ecology*, Springer, v. 61, n. 2, p. 277 – 285, 2011.

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*, Elsevier, v. 91, n. 2, p. 127 – 141, 2001.

VESSEY, J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and soil*, Springer, v. 255, n. 2, p. 571 – 586, 2003.

VIEIRA, E.; MONTEIRO, C. Hormônios vegetais. *Introdução à fisiologia do desenvolvimento vegetal*. Maringá: Eduem, p. 79 – 104, 2002.

VUYST, L. D. et al. Recent developments in the biosynthesis and applications of heteropolysaccharides from lactic acid bacteria. *International Dairy Journal*, Elsevier, v. 11, n. 9, p. 687 – 707, 2001.

WHIPPS, J. M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of experimental Botany*, Soc Experiment Biol, v. 52, n. suppl 1, p. 487 – 511, 2001.

WHITCHURCH, C. B. et al. Extracellular DNA required for bacterial biofilm formation. *Science*, American Association for the Advancement of Science, v. 295, n. 5559, p. 1487 – 1487, 2002.

WIMPENNY, J.; MANZ, W.; SZEWZYK, U. Heterogeneity in biofilms. *FEMS Microbiology Reviews*, The Oxford University Press, v. 24, n. 5, p. 661 – 671, 2000.

WOODWARD, A. W.; BARTEL, B. The *Arabidopsis* peroxisomal targeting signal type 2 receptor PEX7 is necessary for peroxisome function and dependent on PEX5.

Molecular biology of the cell, Am Soc Cell Biol, v. 16, n. 2, p. 573 – 583, 2005.

XAVIER, J. B.; FOSTER, K. R. Cooperation and conflict in microbial biofilms. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, National Acad Sciences, v. 104, n. 3, p. 876 – 881, 2007.

- YANNI, Y.G. et al. The beneficial plant growth-promoting association of *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* with rice roots. *Functional Plant Biology*, CSIRO, v. 28, n. 9, p. 845 – 870, 2001.
- YI, Y.; HUANG, W.; GE, Y. Exopolysaccharide: a novel important factor in the microbial dissolution of tricalcium phosphate. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, Springer, v. 24, n. 7, p. 1059 – 1065, 2008.
- YUKSEKDAG, Z. N.; ASLIM, B. Influence of Different Carbon Sources on Exopolysaccharide Production by *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (B3, G12) and *Streptococcus thermophilus* (W22). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, SciELO Brasil, v. 51, n. 3, p. 581 – 585, 2008.
- YUWONO, T.; HANDAYANI, D.; SOEDARSONO, J. The role of osmotolerant rhizobacteria in rice growth under different drought conditions. *Crop and Pasture Science*, CSIRO, v. 56, n. 7, p. 715 – 721, 2005.
- ZAIDI, A. et al. Recent advances in plant growth promotion by phosphate-solubilizing microbes. In: *Microbial Strategies for Crop Improvement*. [S.l.]: Springer, 2009. p. 23
- ZHANG, R. et al. Arabidopsis Indole Synthase, a Homolog of Tryptophan Synthase Alpha, is an Enzyme Involved in the Trp-independent Indole-containing Metabolite Biosynthesis. *Journal of integrative plant biology*, Wiley Online Library, v. 50, n. 9, p. 1070 – 1077, 2008.
- ZHAO, J.-L.; ZHOU, L.-G.; WU, J.-Y. Promotion of *Salvia miltiorrhiza* hairy root growth and tanshinone production by polysaccharide–protein fractions of plant growth-promoting rhizobacterium *Bacillus cereus*. *Process Biochemistry*, Elsevier, v.45,n. 9, p. 1517 – 1522, 2010.