



NAYARA GUETTEN RIBASKI
HEAD ORGANIZER

PRACTICES AND CHALLENGES IN THE AGRICULTURAL SCIENCES

CURITIBA
EDITORIA REFLEXÃO ACADÊMICA
2025

Nayara Guetten Ribaski
Head Organizer

**Practices and challenges in the
agricultural sciences**

Reflexão Acadêmica
editora

Curitiba
2025

Copyright © Editora Reflexão Acadêmica
Copyright do Texto © 2025 O Autor
Copyright da Edição © 2025 Editora Reflexão Acadêmica
Editora-Chefe: Profa. Msc. Barbara Luzia Sartor Bonfim Catapan
Diagramação: Editora
Edição de Arte: Editora
Revisão: O Autor

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva da autora. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos a autora, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial:

Prof^a. Msc. Rebeka Correia de Souza Cunha, Universidade Federal da Paraíba - UFPB
Prof. Msc. Andre Alves Sobreira, Universidade do Estado do Pará - UEPA
Prof^a. Dr^a. Clara Mariana Gonçalves Lima, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Prof^a. PhD Jalsi Tacon Arruda, Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA
Prof^a. Dr^a. Adriana Avanzi Marques Pinto, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP
Prof. Dr. Francisco Souto de Sousa Júnior, Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA
Prof. Dr. Renan Gustavo Pacheco Soares, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Prof. Dr. Sérgio Campos, Faculdade de Ciências Agronômicas, Brasil.
Prof. Dr. Francisco José Blasi de Toledo Piza, Instituição Toledo de Ensino, Brasil.
Prof. Dr. Manoel Feitosa Jeffreys, Universidade Paulista e Secretaria de Educação e Desporto do Amazonas, Brasil.
Prof^a. Dr^a. Mariana Wagner de Toledo Piza, Instituição Toledo de Ensino, Brasil.
Prof. Msc. Gleison Resende Sousa, Anhanguera Polo Camocim, Brasil.
Prof^a. Msc. Raiane Vieira Chaves, Universidade Federal de Sergipe, Brasil.
Prof^a. Dr^a. Thalita Siqueira Sacramento, Escola da Natureza- Secretaria de Educação do Distrito Federal, Brasil.
Prof. Msc. André Luiz Souza, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil.
Prof^a. Dr^a. Leonice Aparecida de Fatima Alves Pereira Mourad, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.
Prof^a. Dr^a. Lenita de Cássia Moura Stefani, Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil.



Reflexão Acadêmica
editora

Ano 2025

Prof^a. Msc. Vanesa Nalin Vanassi, Universidade do Estado de Santa Catarina, Brasil.
Prof^a. Dr^a. Khétrin Silva Maciel, Universidade Federal do Sul da Bahia, Brasil.
Prof^a. Dr^a. Adriana Crispim de Freitas, Universidade Federal do Maranhão, Brasil.
Prof. Esp. Richard Presley Silva Lima Brasil, Centro De Educação Superior De Inhumas Eireli, Brasil.
Prof^a. Dr^a. Vânia Lúcia da Silva, Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.
Prof.^a Dr^a. Anna Maria de Oliveira Salimena, Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.
Prof.^a Dr^a. Maria Clotilde Henriques Tavares, Universidade de Brasília, Brasil.
Prof.^a Dr^a. Márcia Antonia Guedes Molina, Universidade Federal do Maranhão, Brasil.
Prof. Msc. Mateus Veppo dos Santos, Centro Universitário Euro-Americano, Brasil.
Prof.^a Msc. Adriana Xavier Alberico Ruas, Funorte, Brasil.
Prof.^a Msc. Eliana Amaro de Carvalho Caldeira, Centro Universitário Estácio - Juiz de Fora MG, UFJF, Brasil.
Prof. Msc. João Gabriel de Araujo Oliveira, Universidade de Brasília, Brasil.
Prof.^a Dr.^a Anísia Karla de Lima Galvão, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Brasil.
Prof.^a Dr.^a Rita Mônica Borges Studart, Universidade de Fortaleza, Brasil.
Prof.^a Msc. Adriane Karal, UDESC/UCEFF, Brasil.
Prof.^a Msc. Darlyne Fontes Virginio, IFRN, Brasil.
Prof.^a Msc. Luciana Mação Bernal, Universidade Federal de São Carlos, Brasil.
Prof. Dr. Roberto José Leal, Escola de Enfermagem Anna Nery / Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.



Reflexão Acadêmica
editora

Ano 2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Practices and challenges in the agricultural sciences /
Nayara Guetten Ribaski. Curitiba: Editora Reflexão
Acadêmica, 2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui: Bibliografia

ISBN: 978-65-84610-58-3

1. Agricultura. 2. Agronomia.

I. Ribaski, Nayara Guetten. II. Título.

Editora Reflexão Acadêmica
Curitiba – Paraná – Brasil
contato@reflexaoacademica.com.br



Reflexão Acadêmica
editora

Ano 2025

APRESENTAÇÃO

Practices and Challenges in the Agricultural Sciences é uma obra que oferece uma visão abrangente sobre as principais práticas e desafios no campo das ciências agrárias. Abordando questões relevantes para o setor, o livro proporciona reflexões sobre a evolução da agricultura e suas demandas contemporâneas.

Recomendado para professores, alunos e todos os interessados na área, esta leitura contribui para o entendimento dos aspectos fundamentais da agricultura, incentivando discussões sobre inovação, sustentabilidade e o futuro do setor.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01.....1

GERAÇÃO DO CONHECIMENTO TECNOLÓGICO: VALIDAÇÃO DE INSTRUMENTO DE PESQUISA

José Roberto de Souza Freire

Isabel Cristina dos Santos

DOI: 10.51497/reflex.978-65-84610-58-3_1

CAPÍTULO 02.....23

GROWTH-PROMOTING BACTERIA AND SYMBIONTS IN CHICKPEA: A REVIEW

Karla Sabrina Magalhães Andrade Padilha

Rodinei Facco Pegoraro

Maria Nilfa Almeida Neta

Eduardo Robson Duarte

Demerson Arruda Sanglard

Luiz Arnaldo Fernandes

Pedro Guilherme Lemes

Cintya Neves de Souza

DOI: 10.51497/reflex.978-65-84610-58-3_2

CAPÍTULO 01

GERAÇÃO DO CONHECIMENTO TECNOLÓGICO: VALIDAÇÃO DE INSTRUMENTO DE PESQUISA

José Roberto de Souza Freire

Professor Dr. Universitário [área de pesquisa]

Instituição:

Endereço:

E-mail: joserobertofreire@gmail.com

Isabel Cristina dos Santos

Professora Dra. Universitária [área de pesquisa]

Instituição:

Endereço:

E-mail: isa.santos.sjc@gmail.com

RESUMO: Geração do conhecimento organizacional é o processo de captura que identifica, seleciona e compartilha as informações por meio de práticas informais e formais no ambiente de trabalho, exigindo ações reflexivas e objetivas que se transforma em conhecimento, gerando produtos, serviços ou novas informações. O objetivo deste artigo é apresentar a validação de um instrumento de pesquisa com base na revisão de literatura e o uso de entrevistas semiestruturadas e questionários para aplicação no estudo do projeto de tese, com a seguinte problematização: como a instituição de ciência e tecnologia gera novos conhecimentos voltados para inovação no setor agropecuário? A pesquisa caracterizou-se como um estudo de caso descritivo, qualitativo e quantitativo, instrumentalizada por uma entrevista semiestruturada e um questionário com refinamento junto a quatro especialistas na pesquisa agropecuária. Após o refinamento foram realizadas as entrevistas em dois institutos de Pesquisas da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Feita a análise do conteúdo da pesquisa, o questionário foi ajustado e aplicado em três institutos da Embrapa, para validação do instrumento, utilizando técnica do tipo “survey online”. Os resultados da análise de frequência, do teste de confiabilidade e da análise fatorial exploratória, permitem que o instrumento de pesquisa validado seja considerado eficaz. Considera-se que os institutos de ciência e tecnologia estudados poderão ser analisados com maior confiabilidade quando aplicado o questionário na estrutura proposta, descrever o modelo de geração do conhecimento da agropecuária e que o instrumento validado possa contribuir para outros estudos na área.

PALAVRAS-CHAVE: validação de instrumento de pesquisa, geração do conhecimento tecnológico agropecuário, Instituto de Ciência e Tecnologia.

ABSTRACT: The organizational generation of knowledge is the capture process which identifies, selects and shares information through informal and formal practices in the workplace, requiring reflective and objective actions which became into knowledge, creating products, services or new information. The objective of this paper is to present the validation of a research instruments based on the literature review and the use of

semi-structured interviews and questionnaires to be used in the study of the thesis project, with the following problematization: how does the establishment of science and technology create new knowledge focused on innovation in the agricultural sector? The research was characterized as a study of descriptive, qualitative and quantitative events, manipulated by a semi-structured interview and a questionnaire with refinement along with four specialists in agricultural research. After refining the interviews were conducted in two research institutes of the Brazilian Agricultural Research Corporation - Embrapa. On the sequence analysis of the research content, the questionnaire was adjusted and applied in three Embrapa institutes for instrument validation using the "online survey" technique. The results of frequency analysis, reliability test and exploratory factorial analysis, allow the validated survey instrument to be considered effective. It is considered that the study institutes science and technology will be analyzed with greater reliability when applied in the questionnaire proposed structure describing the generation model of the knowledge of agriculture and validated instrument that can contribute to the previous studies.

KEYWORDS: survey instrument validation, generation of agricultural technology knowledge, Institute of Science and Technology.

1. INTRODUÇÃO

Destaca-se que, no Brasil, até poucas décadas atrás, dadas as características climáticas e de solo favoráveis ao plantio e à criação, o setor de agronegócios parecia ser a última fronteira a ser tecnologicamente desbravada. Prevê-se, para um futuro próximo, um aumento na complexidade no mercado brasileiro de Ciência, Tecnologia e Inovação – CT&I, com a disseminação de tecnologias de grande relevância para a agropecuária, incluindo a ampliação do uso da biotecnologia, da nanotecnologia, da agricultura de precisão e da bioenergia (EMBRAPA, 2008), o que deverá aumentar o valor agregado do conhecimento por volume produzido no setor.

A busca pelo aumento da capacidade de atendimento de demandas globais por produtos e serviços tem reconfigurado a função da Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação - PD&I – como meio de fortalecimento das competências tecnológicas nacionais. Dessa forma, o domínio de fronteiras tecnológicas conflui para a competitividade nacional da indústria, uma vez que os conhecimentos gerados nas instituições de pesquisas são transferidos para o setor produtivo, o que, ao longo do tempo, promove uma espiral do desenvolvimento, com geração de riquezas e de poder. Assim, o desenvolvimento de campos específicos do conhecimento contribui para o desenvolvimento de um país. (CRIBB, 2009).

Contudo, para garantir essa autonomia, é importante manter um ritmo contínuo de aprendizagem e buscar o conhecimento nas fronteiras do saber tecnológico (LASTRES e FERRAZ, 1999). O valor de produtos e serviços depende, cada vez mais, do percentual de inovação, tecnologia e inteligência a eles incorporado (OCDE, 2004). A capacidade de gerar o conhecimento tornou-se importante para a criação de competências na inovação de tecnologia, diferenciais competitivos e crescimento econômico.

O interesse deste estudo surgiu do desejo de contribuir para o impulso da discussão e pesquisa acerca do processo de geração do conhecimento que resulta em inovação tecnológica da agropecuária, evidenciando os métodos e técnicas envolvidas em um instrumento de pesquisa da geração do conhecimento organizacional com foco na agropecuária.

O objetivo deste artigo passa a ser, então, o de validação do instrumento de pesquisa da geração do conhecimento em Instituto de Ciência e Tecnologia - ICT

agropecuário, que se pretende adotar para o estudo do projeto de tese do programa de doutorado em administração.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A abordagem teórica predominante deste estudo é proveniente das argumentações no campo da administração e da engenharia, tendo como principais autores Davenport e Prussak (1998); Sveiby (1998); Dalkir (2005); Nonaka e Takeuchi (1997), Nonaka; Toyama e Hirata (2011); Mertins; Heisig e Vorbeck (2003) apud Santos (2004). Esses têm sido os autores mais citados na literatura acadêmica levantada.

O conhecimento organizacional, inicialmente, assumiu a forma de grandes investimentos em tecnologias da informação (TI). Uma abordagem que se mostrou ineficiente, resultado de um mal entendido – de que a gestão do conhecimento diria respeito apenas ao armazenamento, à transferência e ao uso eficiente da informação, e de que o termo “gestão”, por sua vez, seria a simples administração ou supervisão dos sistemas de informação. Na verdade, em sua natureza, o conhecimento é diferente da informação e dos recursos físicos, e, a menos que se entenda a natureza essencial do conhecimento, não consegue compartilhá-lo ou utilizá-lo, e, sobretudo, criá-lo de modo eficaz (NONAKA; TOYAMA e HIRATA, 2011).

A primeira fase do processo é a captura e o compartilhamento do conhecimento tácito entre os indivíduos, considerado, pelos autores, como uma fase crítica da geração do conhecimento. O papel da gestão é preponderante nas dinâmicas das equipes auto-organizadas, consentindo na autonomia dos integrantes das equipes, de forma que elas estabeleçam seus limites de atuação e façam a interação com o ambiente externo, na acumulação de conhecimentos (SANTOS NETTO, 2005).

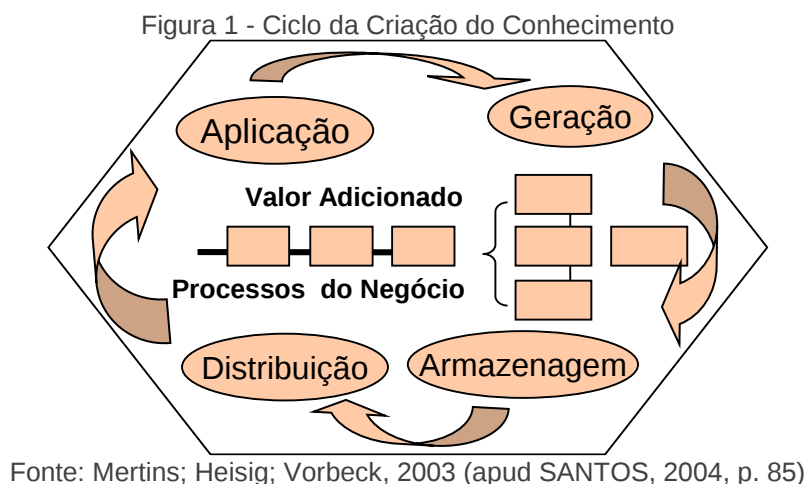
Os autores Nonaka e Takeuchi (1997) definem conhecimento organizacional como a capacidade de uma empresa criar novo conhecimento, difundi-lo na organização como um todo e incorporá-lo a produtos, serviços e sistemas. A geração do conhecimento é um processo dinâmico que ocorre dentro e fora das instituições, segundo esses autores, se faz quando existe uma sinergia na relação do conhecimento tácito com o conhecimento explícito.

Dalkir (2005) ressalta que uma boa definição do conhecimento tem que incorporar tanto a captura quanto o armazenamento da perspectiva do conhecimento,

juntamente com a valorização da propriedade intelectual. O autor considera que a geração do conhecimento é a coordenação deliberada e sistemática de pessoas, tecnologias, processos e estrutura organizacional agregando valor através da reutilização e inovação. Essa coordenação é conseguida por meio da criação, compartilhamento e aplicação do conhecimento utilizando as lições aprendidas e melhores práticas corporativas, promovendo uma aprendizagem continuada.

Nos últimos anos, os pesquisadores do ciclo geração do conhecimento desenvolveram uma postura de pesquisa que vem privilegiando o estudo sistemático dos modelos conceituais relativos à Geração do Conhecimento.

Ao destacar a importância do estudo de caso, da geração do conhecimento aplicado em uma indústria de base tecnológica, tomando como referência a EMBRAER, Santos (2004) apresentou, em seu estudo, o ciclo da geração do conhecimento dividido em quatro grupos de atividades: conhecimento gerado, conhecimento armazenado, conhecimento distribuído e conhecimento aplicado, conforme pode ser visualizado na Figura 1. Essas atividades essenciais devem formar um único e integrado processo, tendo o mesmo grau de importância na geração de valor agregado ao negócio (Mertins; Heisig; Vorbeck, 2003 apud Santos, 2004).



De acordo com essa autora, umas das contribuições do processo de geração do conhecimento é que seja focado permanentemente em valor adicionado aos processos de negócio, uma vez que estes representam o campo ou domínios do conhecimento, por meio dos quais são realizados os trabalhos. O valor adicionado compõe-se das normas da organização, controle, cultura organizacional e liderança.

Nesse caso, a geração do conhecimento tem como prioridade a melhoria contínua dos processos de negócio.

As práticas decorrentes do processo de criação do conhecimento reforçam e apoiam o surgimento de novas ideias e inovação por meio da interação entre os indivíduos que participam da criação, da captura e do compartilhamento do conhecimento, aperfeiçoando-o e contribuindo de forma efetiva para a vantagem competitiva da organização (BOUMARAFI e JABNOUN, 2008).

A questão básica dessa teoria está em como emerge essa espiral da geração do conhecimento. Takeuchi e Nonaka (2008) postularam quatro modos diferentes de conversão do conhecimento, quando o conhecimento tácito e o explícito interagem um com o outro, conforme se pode observar no Quadro 1, conhecido como modelo SECI.

Quadro 1: Modelo SECI

Socialização	É um processo humano de compartilhamento de experiência, observação, imitação e prática.	Conhecimento tácito para tácito – de pessoas para pessoas. Fator chave: confiança mútua e relacionamento.
Externalização	A formalização do modelo mental humano expresso em analogias, conceitos, hipóteses ou modelos.	Conhecimento tácito para explícito. Fator chave: criação de uma rede de novos conceitos.
Combinação	Sistematização de conceitos existentes e novos conceitos, categorização, classificação.	Conhecimento explícito para explícito. Fator chave: uso da rede - comunicação.
Internalização	Repasse do conhecimento, aprender fazendo, autoaprimoramento e troca de experiências.	Conhecimento explícito para tácito. Fator chave: processo contínuo de treinamento e desenvolvimento.

Fonte: adaptado de Takeuchi e Nonaka (2008)

Buscou-se destacar algumas reflexões teóricas para compreender a geração do conhecimento, a distinção entre esses estudos, bem como detectar algum deles que fosse passível de adaptação às instituições de pesquisa agropecuária ou, ainda, identificar elementos ou características que pudessem ser incorporados ao estudo. Poucos estudos foram encontrados com foco na agropecuária, na visão de ciência e tecnologia; destaca-se, entretanto, o de Rossetti (2009), que salientou a gestão do conhecimento com a ótica na interdisciplinaridade na pesquisa agropecuária.

No entanto, Rossetti (2009) afirma que a diversidade de áreas de conhecimento presente nas instituições de pesquisa, desenvolvimento e inovação - PD&I possui características singulares que as distinguem de outras organizações. As mais importantes dessas características é o cumprimento da sua missão que depende do desenvolvimento de pesquisa e na capacidade de gerar inovações

aplicadas ao produtor rural que é adquirir conhecimento científico e não científico da interação entre pesquisadores, extensionistas, produtores e parceiros a partir de um projeto de pesquisa agropecuário.

Freire et al. (2014) consideram que as instituições de PD&I são classificadas como organizações intensivas em conhecimento. Por sua natureza associada à pesquisa aplicada, essas instituições empregam, em suas áreas operacionais, profissionais altamente qualificados, com grande capacidade de aprendizado e de conversão de conhecimento em soluções tecnológicas que atendam as expectativas dos clientes.

Nessa linha de pensamento, a partir de sua qualificação, os empregados são capazes de criar novos conhecimentos, de definir novos protocolos de pesquisa e de disseminar novos conhecimentos. São ainda responsáveis pela captação de recursos junto aos órgãos de fomento e, indiretamente, pela atualização dos recursos tecnológicos e materiais utilizados na pesquisa. A soma de suas competências em solução tecnológica torna-se um atrativo para a geração de receitas financeiras para a Instituição que, por sua vez, para manter o conhecimento no estado da arte, deve investir, de forma contínua e estratégica, na qualificação e capacitação profissional.

A maior dificuldade enfrentada no processo estratégico de PD&I é transformar conhecimentos em tecnologias, produtos e serviços que, incorporados ao processo produtivo, gerem benefícios para o público envolvido e se constituam em inovações. A tecnologia pode ser definida como o conhecimento teórico e prático, relativo a certos tipos de ocorrências e atividades associadas à produção e transformação de materiais (BURGELMAN et al, 2004).

Segundo Gilbert e Cordey-Hayes (1996), a chave de sucesso para uma organização ou empresa está incorporada na sua habilidade de implantar, dominar e valorizar conhecimentos tecnológicos. Nesse mesmo sentido, Burgelman et al. (2004, p. 2) ressaltam que "a tecnologia é um recurso de alta relevância a diversas organizações; gerenciar esse recurso para vantagem competitiva significa integrá-lo na estratégia da empresa". A competitividade organizacional exige não apenas a geração do conhecimento tecnológico, mas também o gerenciamento tecnológico.

Os desafios pautados por uma nova forma de fazer ciência são derivados de inúmeras tecnologias/corpo de conhecimento, pelo seu potencial de aplicação a diversas áreas de atividade humana e, enfim, pela mudança que causa na vida

cotidiana das pessoas, ou seja, gerar, produzir ou consumir, criando novas concepções de fazer inovação na agropecuária (EMBRAPA, 2014).

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (1999), a pesquisa e desenvolvimento se define como um conjunto de ações que envolvem a geração de conhecimentos e a transformação dos conhecimentos e a adaptação de tecnologias já existentes em novas tecnologias, na forma de produtos e processos acabados que atendem às necessidades do mercado.

Para compreender o processo desse arranjo produtivo em ICT aplicado a tecnologia agropecuária que se propõem o instrumento de pesquisa, identificar e descrever as variáveis que compõem a geração do conhecimento tecnológico na agropecuária.

3. METODOLOGIA

A abordagem do problema e a estratégia metodológica adotada neste estudo articulam métodos qualitativos e quantitativos, a fim de descrever e explicar o fenômeno estudado para avaliar e mensurar as opiniões dos respondentes por meio de análise estatística. Em relação aos objetivos propostos, a pesquisa se configura como exploratória e descritiva. Creswell (2010) argumenta que pesquisa desse tipo tem como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno com objetivo de descobrir ou entender as variáveis envolvidas.

O Quadro 2, a seguir, demonstra os procedimentos adotados para a elaboração dos instrumentos de pesquisa.

Quadro 2 – Procedimentos utilizados para validação do instrumento

Procedimentos	Em que consiste	Estudos
Pesquisa exploratória	Análise do estado da arte	Dissertação, tese e artigos científicos
	Coleta de informações	Dados na Homepage da instituição
Instrumentos iniciais	Desenvolvimento da entrevista	Semiestruturada
	Desenvolvimento do questionário	Em blocos por dimensões do conhecimento
Pré-teste da entrevista	Refinamento do instrumento com quatro especialistas da área	Pertinência, clareza e formatação
Pré-teste do questionário	Refinamento do instrumento com quatro especialistas da área	Pertinência, clareza e formatação
		Escala tipo Likert

Procedimentos	Em que consiste	Estudos
Autorização	Contato com os institutos	Organização e agendamento
Instrumentos Finais	Amostras	Coleta de dados
	Entrevistas semiestruturadas	Três institutos de pesquisa agropecuária
	Questionários	Três institutos de pesquisa agropecuária
Validação da entrevista	Análise de conteúdo	Três dimensões da geração do conhecimento
Validação do questionário	Procedimentos estatísticos	Análise fatorial exploratório.

Fonte: os autores

O processo de validação do instrumento de pesquisa implicou primeiramente na análise de conteúdo das entrevistas semiestruturadas, conforme Anexo 1, roteiro de entrevista com 13 questões básicas, em 18 pesquisadores, 14 com título de doutor e 4 com o título de mestre, especialistas na área da agropecuária.

A parte 2, o questionário (perguntas fechadas), composto de 50 questões, foi estruturado em seis blocos, identificando três dimensões na geração do conhecimento: captura, compartilhamento e internalização do conhecimento, conforme pode ser visualizado no Anexo 2; cada questão continha oito alternativas, sendo que no último bloco constavam 10 alternativas, em uma escala tipo *Likert* de 10 pontos, considerando que os respondentes assinalassem o grau de relevância para cada alternativas, de irrelevante à essencial. Utilizando técnica do tipo “*survey online*”, na plataforma *Limesurvey*, uma ferramenta online, *Open Source* (ferramenta gratuita, com códigos de edição livre). Foram enviados 114 questionários para os três institutos, obtendo um retorno de 60 questionários, percentual de 52,63 % de respostas.

A escolha das instituições, por conveniência, seguiu os seguintes critérios: que fossem instituições públicas de ciência e tecnologia – ICT com foco na pesquisa e desenvolvimento na agropecuária e que constituíssem organizações intensivas em conhecimento, cujo principal capital intelectual fosse à força dos trabalhos de seus pesquisadores, altamente qualificados.

A coleta de dados, do tipo transversal Roesch (2005), ocorreu no mês de agosto a outubro de 2013, previamente autorizada pela diretoria dos Institutos com os empregados no cargo de pesquisadores, contendo agentes públicos com atribuições equivalentes, que atuam nas áreas de pesquisa agropecuária: integração lavoura-pecuária e floresta, vegetal, animal, sistemas de produção, fruticultura, cultivos consorciados e sistemas agroecológicos conforme a missão do ICTs.

Assim sendo, foram executadas técnicas de análise fatorial exploratória, cujo propósito principal é definir a estrutura inerente entre as variáveis na análise. Prearo et al (2011) cita como uso da técnica da análise fatorial, dentre as técnicas multivariadas, aquela que mais tem servido para utilizações intermediárias, ou seja, como técnicas de preparação dos dados para sustentação de outras técnicas estatísticas.

4. ANÁLISE QUALITATIVA

Dos 18 pesquisadores entrevistados, 12 relatam que a instituição mudou ao longo do tempo, principalmente os empregados com maior tempo de casa, antes não tinha que preocupar com editais para submeter o projeto de pesquisa era só elaborar um projeto de pesquisa que o dinheiro vinha, a instituição financiava o projeto, hoje as coisas estão mais complicadas tanto para captar os recursos como para prestação de conta, os níveis de burocracia tomam muito tempo antes e depois da execução do projeto, em resumo: o problema não é conseguir o recurso, mas utilizar os recursos em tempo.

Os entrevistados reconhecem a importância da participação do produtor para a validação de um resultado de pesquisa ou a adaptação de uma nova tecnologia, sendo que 11 entrevistados dos 18 relatam que o produtor rural não influencia diretamente na geração do conhecimento. Eles querem é a transferência do conhecimento, a tecnologia em si, destaca que a parceria do produtor rural é interessante para campo de experimentação da pesquisa. Ressaltam que 15 dos entrevistados disseram que as parcerias na geração do conhecimento ocorrem junto às universidades, instituto de pesquisa e ou outra unidade de pesquisa da empresa já que o projeto deste a sua elaboração exige que se estabeleçam parcerias.

Há um estímulo, por parte da instituição, para que o projeto de pesquisa seja direcionado à captação de recursos juntos aos editais públicos, privados ou da própria instituição; os 16 entrevistados evidenciaram que esse direcionamento institucional, leva há uma indução dos projetos de pesquisa pela Diretoria Geral dos Institutos que esta assumindo a direção no momento, com isso gera uma descontinuidade na conectividade com o Plano Diretor do Instituto, ou seja, com o planejamento do instituto.

Na busca de informações técnica científica na execução do projeto de pesquisa, que constituem uma rede na busca do conhecimento, 14 dos respondentes buscam informações, nas seguintes sequências: juntos aos colegas da equipe de projeto, outros colegas de outra área, universidades ou ICTs e por último junto aos seus orientadores de projetos de dissertações ou teses. Nessa visão, Freire et al (2014) discorre que as relações estabelecidas entre os diversos agentes nesses ambientes, operacionalizam-se em um mesmo nível de integração, o que proporciona o desenvolvimento de um processo de conhecimento, informações e, conseqüentemente, a formação de conhecimento compartilhado.

As reuniões técnicas científicas de compartilhamento do conhecimento têm ocorrido de maneira informal junto aos líderes de projetos de pesquisa, já houve tempo que essas reuniões eram sistematizadas anualmente pela instituição. Uma visualização das quatro dimensões da geração do conhecimento do conjunto da montagem da consolidação das entrevistas é transcrita os dados no Quadro 3.

Quadro 3 - Ciclo do conhecimento na agropecuária - consolidação das entrevistas

Problem a de Pesquisa	Dimensões do conhecimento	Elementos de análises	Dados das Entrevistas
Como gera o conhecimento em ICT na pesquisa agropecuária?	Captura (identificação e seleção do conhecimento)	Percepção do pesquisador, baseado em suas experiências.	1. Editais Institucionais e Públicos. 2. Universidades e Institutos de Pesquisa 3. Congressos, seminários, simpósios 4. Indução da Chefia da Unidade. 5. Oportunidades decorrentes de projetos de P&D - colegas 6. Parceiros ou Demanda dos agricultores. 7. Problemas que surgem decorrentes da má aplicabilidade da tecnologia.
	Socialização Tácito →Tácito (interações e experiências)	A organização (formal e informal) Comunidades (problemas → demandas)	1. Conversas informais colegas, corredor e cafezinho. 2. Conversa com a Chefia. 3. Seminários 4. Dia de campo 5. Interações com agricultor 6. Interação com Universidade e orientador. Após a maturidade da ideia pode virar um projeto de pesquisa.
	Compartilhamento e Internalização Tácito →Explícito →Tácito	Ambiente interno e externo	1. Proposta de pesquisa – arranjo. 2. Reunião técnica. 3. Boletins informativos. 4. Capacitação 5. Dia de campo. 6. Unidades demonstrativas de pesquisa.
	Combinação e *Armazenamento	Rede Sociais de Conhecimento s. Banco de	1. Boletins informativos. 2. Publicações – Artigos, Boletins técnicos. 3. Capítulos de livros. 4. Relatórios de pesquisa.

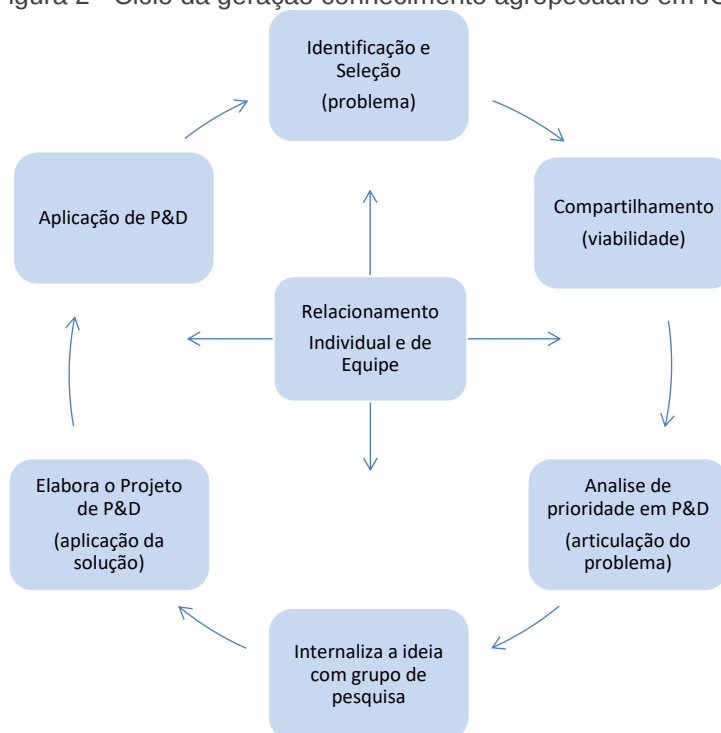
Problem a de Pesquisa	Dimensões do conhecimento	Elementos de análises	Dados das Entrevistas
	Explícito → Explícito	Dados e boas práticas.	*Armazenamento, não foi objeto do estudo.

Fonte: os autores

Os entrevistados enfatizaram as discussões de ideias informais que ocorrem na troca de conhecimentos, ocorrem em momento de descontrações nos corredores ou na hora de um cafezinho. Conforme evidenciado por Nonaka; Toyama e Hirata (2010), uma vez que o conhecimento surge a partir das interações entre as pessoas, os relacionamentos deveriam ser como os ativos da organização nos quais ele é compartilhado no ecossistema de trabalhadores, clientes, fornecedores e universidades, e este é o capital social que impulsiona a organização.

Em síntese, a análise dos dados das entrevistas configura-se no modelo do ciclo da geração do conhecimento tecnológico agropecuário em ICT conforme Figura 2: identificação e seleção de uma ideia que possa gerar um produto ou serviço, trocar ideias com os colegas, análise das prioridades propostas em projetos de P&D, internalização da discussão com grupo de pesquisa, elaborar o projeto e submeter ao Comitê Científico.

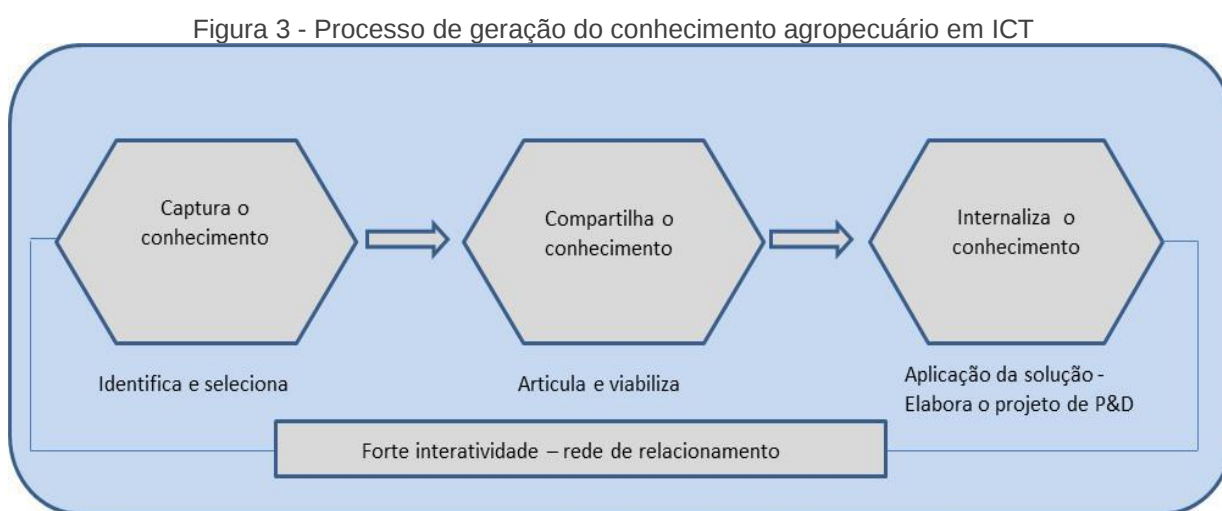
Figura 2 - Ciclo da geração conhecimento agropecuário em ICT



Fonte: dos autores

O relacionamento pessoal tem uma forte influência no ciclo da geração do conhecimento, sendo que alguns entrevistados disseram que mesmo que o colega de equipe fosse altamente especialista, mas se não tivesse um bom relacionamento com participação na equipe, preferiria não participar do projeto de P&D.

Após análise do conteúdo da pesquisa, com base no referencial teórico da teoria de criação do conhecimento organizacional desenvolvido por Takeuchi e Nonaka (2008), destacando três dimensões dos quatro modos de conversão do conhecimento, essas dimensões têm forte interações entre si conforme pode ser visualizado na Figura 3 do processo de geração do conhecimento em ICT agropecuário.



Fonte: dos autores

A interatividade é fortalecida pela confiança mútua. As ideias são discutidas dentro do ambiente institucional de uma maneira formal e informal, amadurecidas e depois elaboradas os projetos de pesquisa, discutidas com a equipe que participa do projeto, com forte interatividade das parcerias intraorganizacional e interorganizacional, em uma rede de relacionamentos. Uma das características na rede de relacionamento é o processo de geração de ideias onde os participantes interagem com os outros e consequentemente a formação de conhecimentos (FREIRE et al, 2014).

5. ANÁLISE QUANTITATIVA

Dos 114 questionários enviados aos três institutos de pesquisa agropecuários houve o retorno de 52,63%; dos participantes, 73,3% são pesquisadores com doutorado e 26,7% possuem mestrado. A média é de 22 anos de trabalho com dedicação a pesquisa.

Foram realizadas análises fatoriais exploratórias em cada bloco, de acordo com Hair et al (2009), com o intuito de reduzir um amplo conjunto de variáveis a um número menor de fatores, pode ser caracterizado como dimensões de atributos avaliado, no sentido de que ela possa identificar a estrutura de relações entre variáveis ou respondentes.

As análises fatoriais exploratórias aplicadas tiveram como método a extração de componentes principais sobre a matriz de correlações, a partir das questões de como gerar conhecimento para a solução de pesquisa agropecuária. Os resultados foram submetidos ao teste de confiabilidade de *Alpha de Cronbach*, que avalia a consistência interna dos construtos. Segundo Litwin (1995), o teste de confiabilidade é imperativo e mede o desempenho de um instrumento em determinada população, evitando os agrupamentos de questões aparentemente relevantes, utilizando o *software* estatístico IBM-SPSS 18, que explicam o ponto de vista dos respondentes.

Na aplicação dessa técnica estatística, alguns indicadores de qualidade do modelo devem ser acompanhados:

- A comunalidade de uma variável é a estimativa de sua variância compartilhada, ou em comum, entre as variáveis como representados pelos fatores obtidos (Hair et al, 2009). As comunalidades encontradas (todas acima do mínimo referendado de 0,50) reforçaram a constatação de que a análise fatorial estava adequada.
- A medida *Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)* foi utilizada o critério de corte, apontou que a análise fatorial seria apropriada para a determinação das variáveis relativas, a solução indicou de dois a três fatores, conforme apresentado na Figura 4.
- A medida *Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)* que, segundo Hair et al, 2009 avalia a adequacidade da análise fatorial. Valores acima indicam que a análise fatorial é apropriada. Os resultados apontam para *KMO* acima de 0,50 em todos os construtos;

- Para quantificar o grau de intercorrelações entre as variáveis e a adequação da análise fatorial, verifica-se a medida de adequação da amostra – MSA, acima de 0,50.

De acordo com Hair et al (2009), o pesquisador deve examinar os valores abaixo MAS para cada variável e excluir aquelas que estão no domínio inaceitável e recalcular a análise fatorial.

Figura 4 - Determinação das variáveis da geração do conhecimento em ICT agropecuário.

Dimensões	Questões	Fatores	Comunalidade	MAS >0,50	Extração acumulada	Kmo
Capturar (geração)	Para gerar conhecimento para solução da pesquisa em ICT agropecuário:	Interações com outros institutos de pesquisa	0,81	0,84	69,51	0,815
		Acordos de cooperação com outros ICT	0,80	0,76		
	A ideia ou definição das oportunidades de nova pesquisa advém:	Demandas privadas da agroindústria	0,68	0,75	68,07	0,599
		Tendências internacionais observadas na prática de P&D	0,82	0,52		
		Informação Científica: Congressos, Feiras, Periódicos Científicos	0,67	0,55		
	A busca de soluções para eventuais dúvidas técnicas que possam aparecer no decorrer da execução do projeto de pesquisa, recorre a:	Universidades que possuam cursos similares	0,74	0,77	73,46	0,676
		Os produtores ou associação de produtores	0,78	0,53		
		Base de dados documentadas na internet ou intranet da Instituição	0,79	0,58		
Compartilhar (socialização)	O compartilhamento e a internalização das oportunidades de geração de nova pesquisa se desenvolvem na instituição por meio de:	Publicações em boletim interno	0,82	0,75	66,76	0,789
		Comunidades virtuais na internet ou intranet	7,78	0,74		
Internalizar (aplicação)	A concepção ou elaboração do projeto de pesquisa até o seu desenvolvimento envolve necessariamente:	Permanente contato com a equipe de projeto	0,85	0,62	71,10	0,818
		Permanente contato com a assistência técnica e extensão rural	0,84	0,77		
	Para a execução ou desenvolvimento da geração do conhecimento em tecnologia (processo, serviço ou produto) é preciso necessariamente:	Projeto financiado pela própria instituição	0,82	0,55	65,30	0,77
		Liderança do Projeto	0,75	0,80		

Fonte: os autores

Os resultados apresentados ajudaram a construir um melhor entendimento a respeito de como os ICTs está gerindo o conhecimento, dentro elas podemos visualizar na Figura 4, que apontou que interação entre os ICTs, universidades, produtores rurais, assistência técnica e extensão rural, tendências internacionais em P&D, os colegas de equipe de projeto, aliada uma liderança do projeto e uma base de dados na internet e intranet tem forte influência na geração do conhecimento agropecuário, bem como, o financiamento do projeto pela própria instituição.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esses procedimentos estatísticos, utilização das estratégias da análise fatorial exploratória, aplicados aos questionamentos dos empregados no cargo de pesquisadores dos três Institutos de Pesquisa confirmam uma forte relação com a análise da pesquisa qualitativa das entrevistas em reação ao processo de geração do conhecimento em Instituto de Ciência e Tecnologia - ICT agropecuário apresentados na Figura 4, com o objetivo de demonstrar a validação do instrumento de pesquisa que se pretende adotar para o estudo do projeto de tese do programa de doutorado em administração.

A partir desse recorte delineado na validação do instrumento, o procedimento de pesquisa adotado será aplicado em outros ICTs com foco em P&D agropecuário, nível de gestão federal e estadual. Propõe-se, como base para a geração do conhecimento tecnológico na agropecuária, as seguintes dimensões: (a) captura do conhecimento - significa a definição de ideias e a busca de soluções da pesquisa; (b) compartilhamento do conhecimento - que são as articulações e discussões com seus colegas de equipe de uma maneira formal ou informal; (c) internalização do conhecimento - a elaboração do projeto, contatos com as equipes e parcerias, bem como a busca de recursos para viabilização e o desenvolvimento do mesmo.

A própria validação do instrumento de pesquisa pela análise fatorial exploratória é uma contribuição do estudo, relacionada à estratégia metodológica mista entre uma análise qualitativa e quantitativa, coloca-se como desafio para outros estudos na área, evoluindo nos avanços de fronteira do conhecimento e buscando expandir as análises sobre o tema.

O estudo permite concluir-se que geração do conhecimento tecnológico em ICT agropecuário é a capacidade de o indivíduo acessar as informações e a habilidade de criar novos *insights*, seja de produtos ou serviços, compartilhando e internalizando esses conhecimentos com a infraestrutura tecnológica possível.

REFERÊNCIAS

- BATISTA, M. A. **Alinhamento pessoas-organização: efeitos sobre o uso de ferramentas de compartilhamento**. 2007. Dissertação mestrado em administração. Programa de pós-graduação. Faculdade de Economia e Finanças IBMEC.
- BOUMARAFI, B.; JABNOUN, N. Knowledge management and performance in UAE business organizations. **Knowledge Management Research&Practice**, 2008, 6 (3), 233-238.
- BURGELMAN, R. A.; CHRISTENSEN, C. H.; WHEELWRIGHT, S. C. **Strategic management of technology and innovation**. Boston: McGraw Hill, 2004.
- CRESWELL, W. J. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Porto Alegre: Artmed, 2010.
- CRIBB, Y. A. Determinantes da Transferência de Tecnologia na Agroindústria Brasileira de Alimentos: Identificação e Caracterização. **Journal of Technology Management & Innovation**, 2009, v. 4, 89-100.
- DALKIR, K. **Knowledge management in theory and practice**. Burlington, MA: Elsevier, 2005.
- DAVENPORT, T. H.; PRUSAK, L. **Conhecimento empresarial: como as organizações gerenciam o seu capital intelectual**. Rio de Janeiro: Campus, 1998.
- EMBRAPA. Ciência, gestão e inovação: dimensões da agricultura tropical. **Assessoria de Comunicação Social**, Brasília, DF, 2014.
- FREIRE, J. R. S.; FARINA, M. C.; PASCOTTO, S. M. P.; SANTOS, I. C. Busca do conhecimento técnico científico: análise de rede informal interorganizacional. **Revista de Gestão e Projetos – GeP**, 2014, 5(1), 42-54.
- HAIR Jr.; J.F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- LASTRES, H. M. M.; FERRAZ, J. C. Economia da informação, do conhecimento e do aprendizado, In: LASTRES, H. M. M.; ALBAGLI, S. (Org.) **Informação e globalização na era do conhecimento**. Rio de Janeiro: Campus, 1999.
- LITWIN, M. S. **How to Measure Survey Reliability and Validity**. London: SAGE Publications, 1995.
- MAGNANI, M. **Identificação de fatores críticos de sucesso para formulação de estratégia que minimizem a perda de competência organizacional de um centro de P&D agropecuário**. 2004. Tese de doutorado em Engenharia de Produção. Programa de pós-graduação da Universidade Federal de Santa Catarina.
- MARTA JUNIOR, G. B. **Notas de Seminário**. O futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira. 16 de julho, Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS, 2014.
- NONAKA, I.; TAKEUCHI, H. **Criação de conhecimento na empresa: como as empresas japonesas geram a dinâmica da inovação**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.
- NONAKA, I.; TOYAMA, R.; HIRATA, T. **Teoria e casos de empresas baseadas no conhecimento**. Porto Alegre: Bookman, 2011,

OECD - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **Manual de Frascati**: Proposta de práticas exemplares para inquéritos sobre investigação e desenvolvimento experimental. Coimbra: OCDE, 2007.

OECD - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico. **Innovation in the Knowledge Economy**: Implications for Education and Learning, Knowledge Management. OECD Publishing, 2004.

PREARO, L. C.; GOUVÊA, M. A., MONARI, C.; ROMEIRO, M. do C. Avaliação do emprego da técnica de análise em teses e dissertações de algumas instituições de ensino superior. **REGE**, 2011, São Paulo-SP, Brasil, 18(4), 621-638.

ROSSETTI, A. G. **Um modelo conceitual de gestão do conhecimento para unidades organizacionais de pesquisa agropecuária sob a ótica da interdisciplinaridade**. 2009. Tese de doutorado em Engenharia de Produção do programa de pós-graduação da Universidade Federal de Santa Catarina.

SANTOS, I. C. **Um modelo estruturado de gestão do conhecimento em indústrias de base tecnológica: estudo de caso de uma empresa do setor aeronáutico**. 2004. Tese. Programa de Pós- Graduação Politécnica da Universidade de São Paulo.

SVEIBY, K. E. **A Nova Riqueza das Organizações**: Gerenciando e Avaliando Patrimônios do Conhecimento. Rio de Janeiro: Campus, 1998.

TAKEUCHI, H.; NONAKA I. **Criação de conhecimento na empresa**: como as empresas japonesas geram a dinâmica da inovação. Rio de Janeiro: Campus, 2008.

TAKEUCHI, H.; NONAKA, I. **Gestão do conhecimento**. Porto Alegre: Bookman, 2008.

ANEXO 1 - ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

1. Como ocorrem a identificação e a seleção das necessidades, inerentes a geração de novos conhecimentos? (novos projetos).
2. Quais são os critérios institucionais para a submissão de uma ideia ou um conhecimento que gera um produto ou serviço para solução na agropecuária?
3. Quais são os estímulos e ações para a geração de novos conhecimentos na instituição?
4. Como ocorre o compartilhamento do conhecimento na instituição (reunião técnica, seminários, dia de campo e outros)?
5. Quais os eventos formais e informais que ocorrem na Instituição referente ao compartilhamento do conhecimento? São documentados?
6. Quais os critérios predominantes na escolha da equipe do projeto? (experiência técnica, trabalho em equipe, currículo acadêmico e outros).
7. Quais são as contribuições que se obtêm do produtor rural para o desenvolvimento do projeto de pesquisa?
8. A ideia de desenvolver esse projeto de P&D é nova. Ou oportunidade surgida de outra tecnologia em andamento ou já desenvolvida?
9. Para a geração do conhecimento que tipo de parcerias a instituição precisa manter?
10. Quais são os fatores facilitadores no desenvolvimento do projeto de pesquisa?
11. Como se procede ao registro dos novos conhecimentos para o desenvolvimento da pesquisa na instituição?
12. Considerando algumas dificuldades que possam aparecer da execução do projeto de pesquisa, onde você busca a informação?

ANEXO 2 – QUESTIONÁRIO INSTRUMENTO DE PESQUISA

Por gentileza, escolha uma opção para cada pergunta, de uma nota em uma escala de 0 a 10 da intensidade do que ocorre atualmente em P&D .

Afirmativas/ Questões		Importância / Intensidade				
		Irrelevante	Baixa	Média	Alta	Essencial
		1 - 2	3 - 4	5 - 6	7 - 8	9 - 10
Para gerar conhecimento para solução de pesquisa, desenvolvimento e inovação, a Instituição necessita manter:		Captura do conhecimento				
1	Permanente diálogo com os produtores					
2	Interação com outros Institutos de Pesquisa					
3	Acordos de cooperação com Institutos de Ciências e Tecnologias					
4	Investimentos em capacitação contínua do capital intelectual					
5	Atualização em recursos tecnológicos					
6	Busca contínua de financiamento à pesquisa					
7	Ações de desenvolvimento de tecnologia de informações - TI					
8	Intercâmbio de pesquisadores em projetos correlatos					
A ideia ou definição das oportunidades de nova pesquisa advém de:		Captura do conhecimento				
1	Demandas/reclamações feitas pelo produtor					
2	Informação Científica: Congressos, Feiras, Periódicos Científicos					
3	Tendências internacionais observadas na prática de P&D					
4	Orientação de Governo e/ou editais públicos					
5	Demandas privadas da agroindústria					
6	Oportunidades decorrentes de projetos de P&D em execução na Unidade.					
7	Indução ou persuasão da Chefia					
8	Oportunidade de publicação científica ou de patentes					

O compartilhamento e a internalização das oportunidades de geração de nova pesquisa se desenvolvem na Instituição por meio de:

1	Discussão em seminários ou reuniões na instituição
2	Diretamente com o Gestor Técnico de Pesquisa
3	Discussão em Núcleo de Pesquisa da Instituição
4	Desenvolvimento de uma proposta ou projeto de pesquisa
5	Publicações em boletim interno
6	Comunidades virtuais na internet e intranet
7	Discussões nos corredores e hora do cafezinho
8	Articulação internacional

A concepção/elaboração do projeto de pesquisa até o seu desenvolvimento envolve necessariamente:

1	Permanente contatos com os produtores rurais
2	Permanente contato com assistência técnica e extensão rural
3	Permanente contato Organização Não Governamental - ONGs
4	Permanente contato com a equipe do projeto
5	Permanente contato com as Universidades
6	Permanente contato com outras fontes de financiamento
7	Permanente contato com os Laboratórios Privados de P&D Agropecuário
8	Permanente contato com outros Institutos de Ciência e Tecnologia - ICT

Compartilhamento do conhecimento				
Internalização do conhecimento				

Para a execução/desenvolvimento da geração do conhecimento em tecnologia (processo, serviço ou produto) é preciso necessariamente:

1	Capacitação da equipe de projeto (assistentes, técnicos, analistas e pesquisadores)
2	Multidisciplinariedade da equipe
3	Liderança do Projeto
4	Relacionamento interpessoal
5	Área de experimento
6	Projeto financiado por outra fontes
7	Projeto financiado pela própria organização
8	Adequada relação custo - benefício associada aos resultados

A busca de soluções para eventuais dificuldades técnicas que possam aparecer no decorrer da execução do projeto de pesquisa, recorro a:

1	Colegas da mesma área de pesquisa
2	Colegas de outras áreas na Unidade que complementam minha pesquisa
3	Colegas da mesma área em outra instituição de ciência e tecnologia.
4	Colega da equipe de projeto
5	Base de dados documentadas na internet ou intranet da Instituição
6	Universidades que possuam cursos análogos
7	Orientador da instituição no qual estudei
8	Os produtores ou associação de produtores
9	Artigos científicos ou livros
10	A Chefia de P&D da instituição em que trabalho

Internalização do conhecimento

Captura do conhecimento

CAPÍTULO 02

GROWTH-PROMOTING BACTERIA AND SYMBIONTS IN CHICKPEA: A REVIEW

Karla Sabrina Magalhães Andrade Padilha

Doctorate student in Plant Production

Institution: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Instituto de Ciências Agrárias (ICA)

Address: Montes Claros, Minas Gerais, Brazil

E-mail: karlasabrina@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-0028-1603>

Rodinei Facco Pegoraro

Doctor in Soils and Plant Nutrition (Soils)

Institution: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Instituto de Ciências Agrárias (ICA)

Address: Montes Claros, Minas Gerais, Brazil

E-mail: rodinei_pegoraro@yahoo.com.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8692-9296>

Maria Nilfa Almeida Neta

Doctor in Plant Production

Institution: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Instituto de Ciências Agrárias (ICA)

Address: Montes Claros, Minas Gerais, Brazil

E-mail: marianilfa@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6203-4914>

Eduardo Robson Duarte

Doctor in Microbiology

Institution: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Instituto de Ciências Agrárias (ICA)

Address: Montes Claros, Minas Gerais, Brazil

E-mail: duartevet@hotmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2205-9412>

Demerson Arruda Sanglard

Post-Doctor in Biological Sciences

Institution: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Instituto de Ciências Agrárias (ICA)

Address: Montes Claros, Minas Gerais, Brazil

E-mail: sanglard@ufmg.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6759-9730>

Luiz Arnaldo Fernandes

Doctor in Soil Science

Institution: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Instituto de Ciências Agrárias (ICA)

Address: Montes Claros, Minas Gerais, Brazil

E-mail: larnaldo@ufmg.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9877-1924>

Pedro Guilherme Lemes

Doctor of Science in Entomology

Institution: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Instituto de Ciências Agrárias (ICA)

Address: Montes Claros, Minas Gerais, Brazil

E-mail: pedroglemes@hotmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1364-0424>

Cintya Neves de Souza

Master in Agricultural Microbiology

Institution: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Instituto de Ciências Agrárias (ICA)

Address: Montes Claros, Minas Gerais, Brazil

E-mail: cintyaufmg@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3640-8636>

Abstract: Growth-promoting bacteria increase the productivity and resistance of agricultural crops, contributing to production stability and reducing the use of chemical inputs. In this sense, legumes of the genus *Cicer* stand out as an excellent source of food for humans, but their overall productivity can be considered low (1.22 t ha^{-1}). The main reason for this low productivity can be attributed to insufficient investment in cultural practices, such as fertilization and use of bioinputs. In this context, this literature review describes the diversity, physiology, genetics, and biotechnological applications of symbiotic and non-symbiotic diazotrophic bacteria associated with plants of the genus *Cicer*, highlighting advances and future perspectives. The use of symbiotic bacteria, particularly from the genera *Bacillus* and *Rhizobium* in chickpea increases biological nitrogen fixation and reduces dependence on chemical fertilizers. Productivity can be increased when using some inoculant, especially if it was removed from the chickpea growing environment. Areas with high organic matter content are an important factor for biological fixation or plant growth promotion to occur. The integration of technological innovation and sustainable agricultural practices promises to transform the production of this legume, benefiting both farmers and the environment.

Keywords: associative bactéria, *Cicer spp.*, biological nitrogen fixation, *Mesorhizobium*.

RESUMO: As bactérias promotoras de crescimento aumentam a produtividade e a resistência das culturas agrícolas, contribuindo para a estabilidade da produção e reduzindo o uso de insumos químicos. Nesse sentido, as leguminosas do gênero *Cicer* se destacam como uma excelente fonte de alimento para os seres humanos, mas sua

produtividade geral pode ser considerada baixa (1,22 t ha⁻¹). A principal razão para essa baixa produtividade pode ser atribuída ao investimento insuficiente em práticas culturais, como fertilização e uso de bioinsumos. Nesse contexto, esta revisão da literatura descreve a diversidade, a fisiologia, a genética e as aplicações biotecnológicas de bactérias diazotróficas simbióticas e não simbióticas associadas a plantas do gênero *Cicer*, destacando os avanços e as perspectivas futuras. O uso de bactérias simbióticas, principalmente dos gêneros *Bacillus* e *Rhizobium*, no grão-de-bico aumenta a fixação biológica de nitrogênio e reduz a dependência de fertilizantes químicos. A produtividade pode ser aumentada com o uso de algum inoculante, especialmente se ele tiver sido removido do ambiente de cultivo do grão-de-bico. Áreas com alto teor de matéria orgânica são um fator importante para que ocorra a fixação biológica ou a promoção do crescimento das plantas. A integração da inovação tecnológica e das práticas agrícolas sustentáveis promete transformar a produção dessa leguminosa, beneficiando tanto os agricultores quanto o meio ambiente.

Palavras-chave: bactéria associativa, *Cicer* spp., fixação biológica de nitrogênio, *Mesorhizobium*.

1. INTRODUCTION

Agriculture has been facing challenges such as climate change, resource depletion, biodiversity loss, labor shortages, and increasing demand, primarily to meet the nutritional needs of developing countries (Tariq et al., 2023). In response to these challenges, advanced technologies, scientific principles, and management practices have increasingly been used to enhance productivity and efficiency, aiming to produce food with the sustainable use of land, water, and other resources, while minimizing environmental impacts (Tariq et al., 2023; Zhang et al., 2020).

The diversity of rhizobia associated with legumes, such as chickpea (*Cicer arietinum* L.), has been studied, mainly for their contribution to the higher nutritional and protein quality of the food (Zhang et al., 2020). The use of biofertilizers is a viable alternative to mineral fertilizers in agricultural production, due to their low cost and reduced environmental toxicity (Etesami et al., 2022; Riaz et al., 2021). Biofertilizers consist of plant growth-promoting bacteria that contribute to plant development and protect against diseases, improving crop productivity without causing pollution (Pardo-Diaz et al., 2021; Dal Cortivo et al., 2020). The use of biofertilizers in conjunction with phosphate fertilization could be considered promising (Almeida Neta et al., 2020; Pegoraro et al., 2018).

2. PLANTS OF THE *CICER* GENUS

The *Cicer* genus, belonging to the *Cicereae* tribe, *Papilionoideae* subfamily, and *Fabaceae* family, includes more than 100 described species, including the most widely cultivated (*C. arietinum*), with 9 annual and 35 perennial species. Its center of diversity is in southwest Asia, with some species endemic to Morocco and the Canary Islands (Van Der Maesen et al., 1972; 1987). Phenotypically, chickpea is divided into two groups: *microsperma* (Desi) and *macrosperma* (Kabuli) (Queiroga et al., 2021). The Desi type has pink flowers with purple veins, small angular seeds protected by a thick, dark-colored seed coat. The Kabuli type (*macrosperma*) has white flowers, medium to large seeds, a thin, smooth or lobed seed coat, and a light color (Figure 1). Chickpea is an annual herbaceous plant, either erect or spreading, typically reaching heights of 30 to 70 cm, with branches that emerge close to the ground (Palmero et al., 2022).

Figure 1: Seeds and Flower of Desi-type chickpea (A, B). Seeds and Flower of Kabuli-type chickpea (C, D).



Source: Authors

The three main chickpea exporting countries are Australia, Canada, and India, accounting for more than 40% of global exports in 2022 (USDA, 2024). Chickpea is considered one of the most important legumes in human nutrition, as it represents a low-cost source of protein, particularly in developing countries (Zhang et al., 2020). The global grain production in 2022 amounted to 18.10 million tons, cultivated over an area of 14.81 million hectares (with an average yield of 1.22 t ha^{-1}), second only to the production of leguminous crops such as soybeans (348.86 million tons) and beans (28.35 million tons) (FAO, 2024). In Brazil, chickpea production for the same year was 3.5 million tons, while approximately 8 million tons were consumed in the country in 2023. In Brazil, chickpea production is still incipient, requiring the import of the grain. Some recent studies have indicated that the crop can achieve good productivity of 1.98 or 4 tons per hectare when irrigated, depending on management (Almeida Neta et al., 2021; Almeida Neta et al., 2020). Two commercial groups (varieties) of chickpeas are exploited: Desi and Kabuli. In Brazil, the Kabuli group is the most cultivated and accepted by the population, but the high demand in Asian countries is for the Desi group.

Chickpea can be cultivated in semi-arid regions and during times of the year with lower rainfall (Palmero et al., 2022), with great productive and economic potential. This crop has nutritional demands, primarily for nutrients related to the increase in grain biomass, such as nitrogen. Like other legumes, chickpea can form associations with plant growth-promoting and nitrogen-fixing bacteria, facilitating its cultivation in poor soils and reducing fertilization costs (Palmero et al., 2022; Conway et al., 2019). The development of sustainable techniques, such as the use of nitrogen-fixing bacteria, can complement traditional fertilization in a renewable and sustainable way (Zhang et al., 2020).

3. MICROORGANISMS IN AGRICULTURE

All microenvironments associated with plants, especially the rhizosphere, are colonized by microorganisms. Plant-microbe interaction contributes to plant growth, increases stress tolerance, provides disease resistance, enhances nutrient availability and absorption, and promotes biodiversity (Berg et al., 2009). Several factors are involved in the plant-microbe interaction: (A) plant growth-promoting bacteria present in the soil; (B) plant roots exude organic compounds that attract microorganisms toward root hairs and lateral roots through chemotaxis; and (C) microorganisms are attracted to emerging lateral roots and colonize the intercellular spaces of the root parenchyma through cracks around the roots (Berg et al., 2009).

Phytohormones, such as auxins, ethylene, cytokinins, and gibberellins, play crucial roles in plant growth and can be synthesized by the plant itself or by associated microorganisms. Additionally, some bacteria can alter the hormonal balance of plants (Berg et al., 2009; Bais et al., 2006; Pierik et al., 2006). Ethylene, for example, at low concentrations, promotes plant growth. However, at high concentrations, it acts as a growth inhibitor and is known as the senescence hormone (Pierik et al., 2006). Bacteria that can reduce ethylene concentration can be used to promote plant growth.

Bacteria associated with plants can reduce the activity of pathogenic microorganisms, not only through microbial antagonism but also by enhancing disease resistance, a phenomenon known as Induced Systemic Resistance (ISR) (FAO, 2015). The mechanisms of ISR include: (1) development—related to growth promotion; (2) physiological tolerance, when it reduces the expression of symptoms; (3) environmental, when associated with microbial antagonism in the rhizosphere; and (4) biochemical resistance, which strengthens the cell wall by inducing phytoalexins and defense responses related to resistance (FAO, 2015).

Nitrogen is the element required in the largest amounts by plants. Although nitrogen gas (N_2) is abundant in the Earth's atmosphere, it cannot be assimilated by plants in its N_2 form. However, it can be indirectly acquired after the process of "biological nitrogen fixation," in which diazotrophic microorganisms convert N_2 into ammonia (NH_3) and other compounds such as nitrates and amino acids.

Excessive use of inorganic nitrogen-based fertilizers can cause environmental problems, such as depletion of native microbiota, nutrient leaching, and increased soil salinity (Zeng et al., 2019; Pegoraro et al., 2018). This justifies the demand to reduce

the use of inorganic nitrogen fertilizers and promote more sustainable agricultural and agroforestry practices (Lohosha et al., 2023), such as biological nitrogen fixation by microorganisms. Some plants in nitrogen-deficient soils have evolved in symbiotic partnership with nitrogen-fixing bacteria. These microorganisms fix nitrogen through the enzyme nitrogenase. Nitrogen fixation is considered the second most vital process for life on Earth, second only to photosynthesis (Rao et al., 2017).

The nitrogen input through biological fixation is approximately 122 million tons per year, of which 55 to 60 million tons are fixed by agricultural crops (Kuypers et al., 2018). The inoculation and co-inoculation of plant symbiotic bacteria have gained attention as a sustainable alternative for agricultural production due to their low cost and lower toxicity (Etesami et al., 2022; Riaz et al., 2021). Products formulated with nitrogen-fixing bacteria contribute to better plant development and improve productivity (Pardo-Diaz et al., 2021; Dal Cortivo et al., 2020). The inoculation of legumes with *Rhizobium* spp., for example, is a success story of biofertilizer use in agriculture (Pardo-Diaz et al., 2021).

3.1 SYMBIOTIC DIAZOTROPHIC BACTERIA IN AGRICULTURE

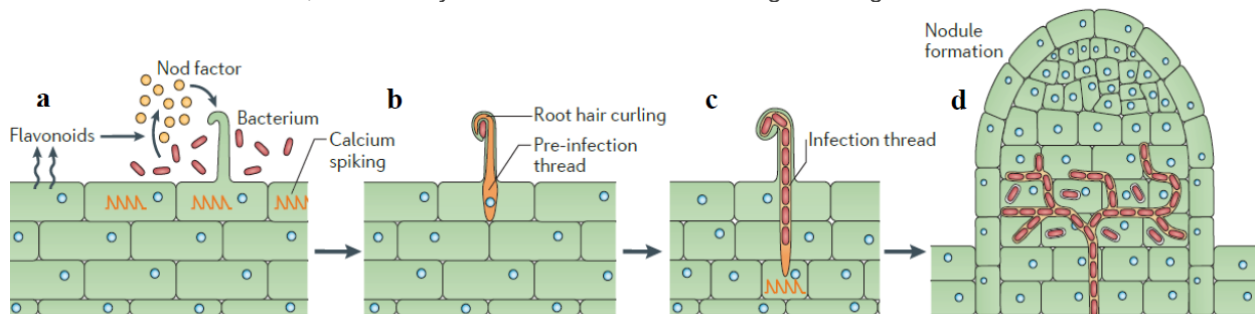
Most of the nitrogen-fixing bacteria in the root nodules of legumes belong to the class α -proteobacteria and the genera *Allorhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Devosia*, *Ensifer*, *Mesorhizobium*, *Microvirga*, *Phyllobacterium*, and *Rhizobium* (Etesami et al., 2022). Biological nitrogen fixation refers to the process of transforming gaseous N_2 into NH_4^+ by bacteria.

Atmospheric nitrogen fixation in legumes is essential for soil fertility and agricultural production. In legumes, this process occurs when the plants release compounds called flavonoids, and bacteria from the *Rhizobium* genus are attracted through root exudates (Figure 2). These bacteria are specific to different species of legumes. After root colonization, the bacteria induce the formation of nodules, structures that serve as sites for nitrogen fixation (Oliveira et al., 2021).

The cells of the nodule are rich in hemoglobin, which helps regulate oxygen, a crucial factor for bacterial activity. Inside the nodules, the bacteria use the enzyme nitrogenase to convert atmospheric nitrogen (N_2) into ammonia (NH_3). This process requires a high energy demand, needing 16 moles of ATP and 8 moles of electrons to reduce one mole of N_2 to ammonia ($N_2 + 8e^- + 8H^+ + 16 ATP \rightarrow 2NH_3 + H_2 + 16 ADP$

+ 16 Pi) (Stambulska et al., 2019), usually derived from the bacteria's cellular respiration. The ammonia produced is assimilated by the plants, being converted into amino acids and other nitrogen compounds essential for plant growth and development.

Figure 2: Summary of the root hair infection of legumes by rhizobia. (a) Flavonoids released by the plant root signal rhizobia in the rhizosphere, which in turn produce nodulation factors (Nod factors) recognized by the plant. Perception of the Nod factor activates the symbiosis signaling pathway. (b) The root hair cells curl and engulf the rhizobia attached to the root hair tip. An infection thread forms by invagination of the plant's cell membrane, and the rhizobia trapped in the curled root hair then proceeds along the growing infection thread through cell division. (c) The infection thread grows toward the developing root nodule. (d) The infection thread containing rhizobia branches within the nodule tissue, before the bacteria are released into membrane-delimited compartments inside the nodule cells, where they differentiate into their nitrogen-fixing bacteroid state



Source: (Oldroyd, 2013).

Bacteria from the *Rhizobium* genus have a mutualistic relationship with legumes, forming root nodules. The nodulation process begins when the bacteria infect the roots of the host plant and form the nodules. *Rhizobium* bacteria use the catalytic activity of nitrogenase to convert dinitrogen into ammonia, which serves as a nitrogen source for the host plant (Shen et al., 2024). The host plant reciprocates by providing carbohydrates and a suitable environment for the growth of rhizobia (Zipfel et al., 2017). This symbiotic relationship is crucial for nitrogen cycling in ecosystems and agriculture.

In the symbiotic relationship, legumes produce and release flavonoid compounds into the rhizosphere in nitrogen-deficient soils, attracting and stimulating *Rhizobium* to produce oligosaccharides, known as Nod factors, thus initiating the symbiotic signaling process with the host plant (Zipfel et al., 2017). The Nod factors are recognized by kinase receptors, which form homo- and heteromeric complexes in the plasma membrane of the root hair cells, triggering the symbiotic signaling (Charpentier et al., 2016).

The perception of Nod factors by kinase receptors transmits the signal to the inside of the cell, leading to periodic fluctuations in calcium concentration (Yuan et al., 2022). The fluctuation in calcium concentration serves as a hallmark event for the activation of the symbiotic signaling pathway. Afterward, the calcium- and calmodulin-dependent serine/threonine protein kinase is activated to decode the calcium signals, resulting in the phosphorylation of a transcription factor (Schiessl et al., 2019), which activates the transcriptional complex associated with the nodulation signaling pathway. This complex promotes the expression of the key transcription factor NIN (Nodule Inception), thus initiating the NIN-regulated transcriptional network (Bu et al., 2020; Schiessl et al., 2019). NIN is one of the first transcription factors activated downstream in the common symbiotic signaling pathways (Bu et al., 2020). NIN controls all aspects of symbiotic nodulation in legumes: rhizobial infection, nodule organogenesis, the transition to nitrogen fixation, and regulation of the number of nodules in legumes and actinorhizal plants (Feng et al., 2021).

The process of nodulation can be divided into several stages (Figure 2). The initiation of infection is crucial for the invasion of rhizobia into the host during nodulation. After the recognition of the Nod factors released by the rhizobia, the root hairs of the host plant undergo curling, which involves the rhizobia adhering to the surface of the root hairs (Zipfel et al., 2017). Subsequently, the cell wall surrounding the enclosed rhizobium is locally degraded, and the root hair undergoes rearrangement, resulting in the invagination of the cell membrane and the formation of a tubular structure known as the infection thread. The rhizobia enters the plant cells through the infection threads, extending down to the root tip and eventually penetrating the developing nodule primordia (Feng et al., 2021; Zipfel et al., 2017).

The number of nodules formed is variable, ranging from a single nodule to a dozen or more than a thousand nodules per plant, depending on the species. In most cases, legume nodules are infected by a single founder rhizobium (Palmero et al., 2022; Bais et al., 2006). The competition for nodule occupation depends on genetic characteristics, both bacteria and the plants, as well as the environmental conditions in which they are found (Bais et al., 2006; Pierik et al., 2006). Once inside the nodules, competition may depend on whether multiple strains of rhizobia or species coexist in the same nodule, or if each rhizobium inhabits different nodules on the same plant, and whether the bacteria remain as free-living organisms outside the plant cells or are

present as nitrogen-fixing bacteroid inside the plant cells (Bais et al., 2006; Pierik et al., 2006).

The ability of endophytic bacteria to colonize the interior of plant tissues gives them the advantage of avoiding competition in the rhizosphere environment and allows them to establish a close relationship with the plant (Yang et al., 2022). These nodules are considered new organs formed by infected plant cells (Lohosha et al., 2023).

Mesorhizobium ciceri has the efficiency and capacity to biosynthesize phytohormonal exometabolites of a cytokinin nature, showing high nitrogen-fixing activity and symbiotic efficiency, being capable of synthesizing large amounts of extracellular cytokinins (Guo et al., 2017). The high concentration of cytokinins indicates their role in nodule formation and function, as they stimulate the proliferation of root tissues.

3.2 NON-SYMBIOTIC DIAZOTROPHIC BACTERIA IN AGRICULTURE

Non-symbiotic bacteria are free-living organisms with the ability to fix atmospheric nitrogen without forming a symbiotic relationship with plants. *Klebsiella variicola* has been used to promote plant growth, reduce salinity in wheat and corn plants, and enrich the soil with nutrients (Yang et al., 2020). Inoculation with this bacterium has a positive effect on root length, shoot height, chlorophyll content, and the levels of N, P, Na, K, and Mg in plants. It produces important molecules with beneficial biological functions, such as ammonia, acetoin, and hydrogen sulfide (H₂S) (Saranraj et al., 2021). H₂S is a multifunctional gas that regulates many vital processes within plant cells, including seed germination and root development (Saranraj et al., 2021).

Enterobacter asburiae and *Kasakonia radicincitans* are bacteria with essential functions for agriculture. The former is used in the biological control of nematodes and mites in crops, increasing productivity, soil fertility, protection against various biotic stresses, and environmental sustainability, and is also associated with nitrogen fixation in plants (Verna et al., 2020). *Kasakonia radicincitans* fixes atmospheric nitrogen, produces phytohormones, and solubilizes calcium phosphate, promoting the growth of vegetables in greenhouses and under natural conditions (Costa-Gutierrez et al., 2022; Qessaoui et al., 2022; Mertschnigg et al., 2020).

Pseudomonas monteilii is known for its ability to produce siderophores, which inhibit the growth of pathogens (Keerthana et al., 2022) and may contribute to plant growth promotion by improving nutrition (Antil et al., 2022; Ibrahim et al., 2021; Oliveira et al., 2021). *Pseudomonas putida* is capable of solubilizing inorganic phosphate, as well as producing indole-3-acetic acid and siderophores, enhancing its potential as a plant growth promoter.

Species such as *Bacillus subtilis*, *B. mycoides*, and *B. cereus* have plant growth-promoting capabilities, and commercial products are already available on the market. *Bacillus cereus* contributes to increased shoot/root length, fresh/dry biomass, chlorophyll content, and plant growth stimulation in crops such as rice, potato, pea, Chinese cabbage, soybeans, and wheat (Kulkova et al., 2023; Deng et al., 2020; López-Bellido et al., 2011). Non-nodulating bacteria can also colonize root nodules, contributing to nodulation and plant growth. Bacteria present in root nodules, in interaction with common rhizobia, include *Agrobacterium*, *Acinetobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Mycobacterium*, *Micromonospora*, *Paenibacillus*, *Pantoea*, and *Pseudomonas* (Etesami et al., 2022).

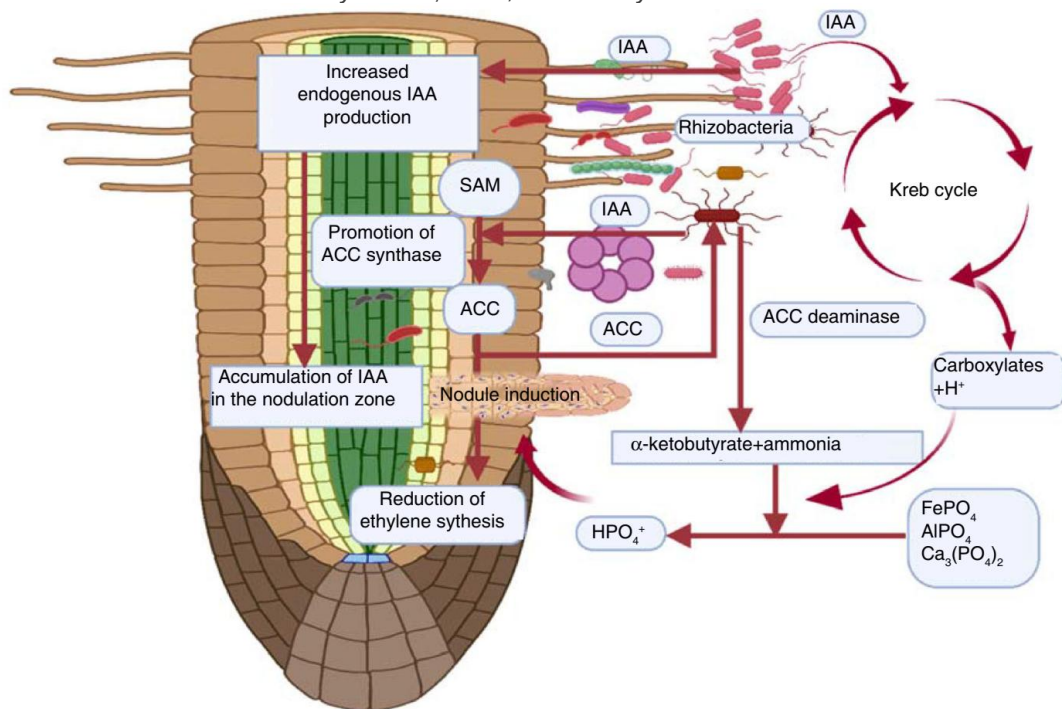
Both non-rhizobial and rhizobial bacteria are considered essential for the growth and survival of leguminous plants in agricultural environments under abiotic stress, including salinity, drought, heavy metal toxicity, and nutritional imbalance (Etesami et al., 2022; Shahid et al., 2021). The use of growth-promoting rhizobacteria is also a biofertilizer option in chickpea cultivation (Verma et al., 2020). Bacteria from the *Bacillus* genus synthesize phytohormones such as IAA (Indole-3-acetic acid) (Balbinot, 2020), secrete exopolysaccharides, siderophores, and flavonoids that inhibit the movement of toxic ions, help maintain ionic balance (Abd-Alla, 2019), promote phosphorus solubilization, enhance biological nitrogen fixation (BNF), and increase grain production.

Indole-3-acetic acid (IAA) is one of the main plant hormones, belonging to the auxin group, playing a crucial role in the regulation of plant growth and development. This phytohormone is essential for processes such as cell elongation, root formation (Figure 3), and responses to gravitational and light stimuli (Alemneh et al., 2020). Furthermore, IAA acts in cellular differentiation and coordination of organ development, directly influencing agricultural productivity. Understanding the mechanisms of action of indole-3-acetic acid and its interactions with other plant hormones is essential for

improving management practices and biotechnology aimed at increasing agricultural production efficiency and the sustainability of cropping systems.

Another important bacterium is *Bradyrhizobium japonicum*, which establishes symbiotic nitrogen fixation in soybeans. Other species, such as *Bradyrhizobium elkanii* and *Bradyrhizobium liaoningense*, can also nodulate soybean (Htwe et al., 2019). *Bradyrhizobium japonicum* synthesizes a wide range of carbohydrates, including lipopolysaccharides, capsular polysaccharides, exopolysaccharides, nodule polysaccharides, lipochitin oligosaccharides, and cyclic glucans (Palmero et al., 2022). This bacterium effectively enhances soybean production, growth, nodulation, nitrogen fixation, nitrogen, phosphorus, and potassium (NPK) acquisition, and grain yield (Singh et al., 2020).

Figure 3: General mechanisms of reduced ethylene synthesis and increased IAA accumulation in the nodule induction region by ACC deaminase and IAA-producing PGPR. ACC, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid; SAM, S-adenosylmethionine



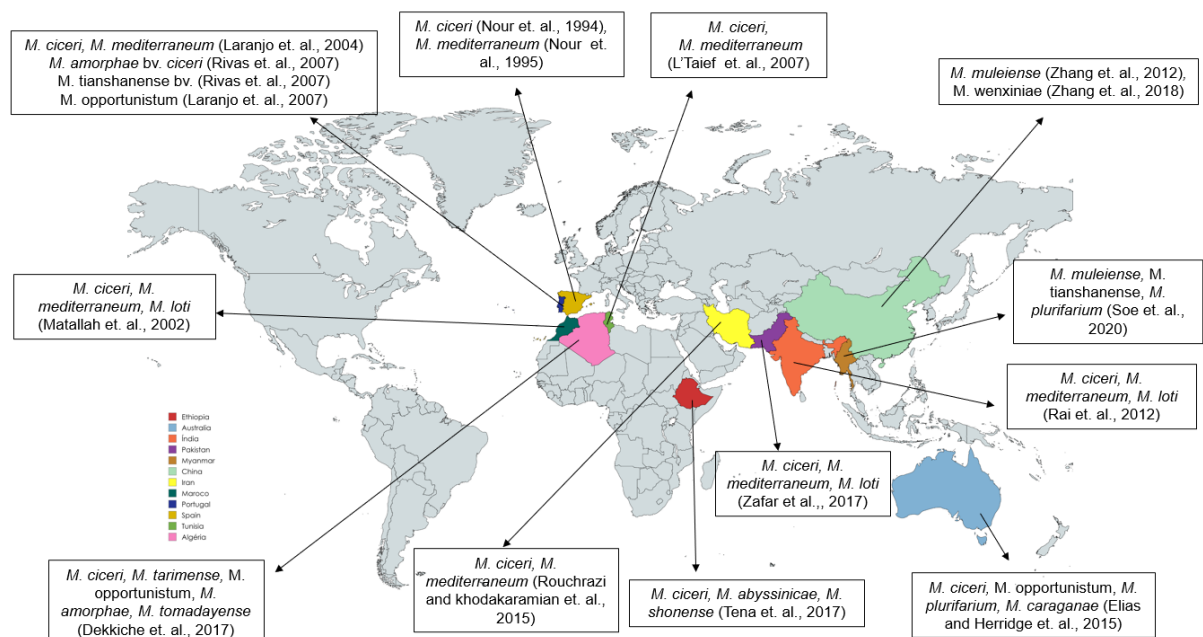
Source: (Alemneh et al., 2020).

4. SYMBIOTIC AND NON-SYMBIOTIC ASSOCIATIONS WITH THE *CICER ARIETINUM* L. GENUS

Chickpea shows a wide symbiotic relationship with soil bacteria worldwide (Figure 4), with a greater diversity of *Mesorhizobium* species found in countries where inoculation is frequent and where inoculation with the species is absent or rare (Greenlon et al., 2019). In Australia, most of the isolated strains were closely related to *M. ciceri* due to continuous seed inoculation with commercial inoculants (Zaw et al., 2021).

The occurrence of *M. loti* in chickpea nodules has been reported in India (Rai et al., 2012) and Morocco (Maatallah et al., 2002), however, most of the strains found in these countries were related to *M. ciceri* and *M. mediterraneum*. In countries with low inoculation incidence, such as China and Myanmar, there was a lower presence of chickpea-related rhizobia, with rare symbionts such as *M. muleiense*, *M. tianshanense*, and *M. plurifarum* (Soe et al., 2020). The distribution of these *Mesorhizobium* species in Portuguese soils was associated with geographic locations, soil pH, and the history of inoculation with strains from the *M. ciceri* group (Alexandre et al., 2009).

Figure 4: Distribution of chickpea nodular rhizobia worldwide



Source: Authors

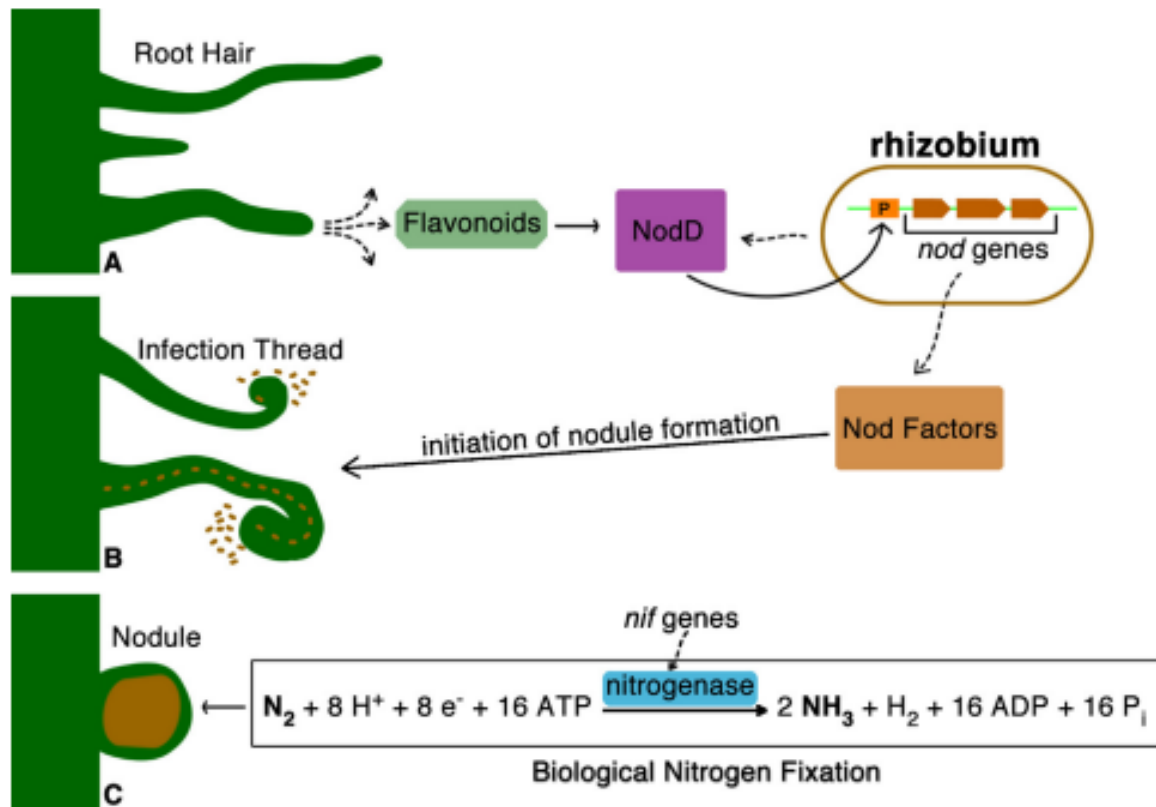
Chickpea can fix, on average, 140 kg ha⁻¹ of N per production cycle through its symbiotic relationship with *Mesorhizobium* bacteria, reducing the need for nitrogen fertilization (Ashraf et al., 2023). There is great diversity of rhizobia associated with chickpea, however, to date, *Mesorhizobium ciceri* has been described in isolating from root nodules of chickpea crops (Llamas et al., 2019). Species of *Mesorhizobium* spp. have been found in different locations around the world. The geographic distribution of chickpea species suggests that the transport of seeds from one growing region to another promotes the migration of rhizobium species (Zhang et al., 2020).

Mesorhizobium ciceri has been recognized as a biological tool to improve the physiology, biochemistry, and antioxidant activity of chickpeas under fungicide stress (Diouf et al., 2010). The performance of different rhizobacterial strains and organic additives on chickpea growth was evaluated, and *Mesorhizobium ciceri* was found to be the most effective (Hill et al., 2021). It also can biosynthesize phytohormones, such as cytokinins, and has high nitrogen-fixing activity (Guo et al., 2017). The high concentration of cytokinins indicates their role in the formation and function of nodules, as they stimulate root tissue proliferation, thereby increasing crop productivity.

In chickpea crops, several rhizobial hosts have been identified, indicating gene variability and specificity in nodulation and nitrogen fixation (Laranjo et al., 2014). In the *Mesorhizobium* genus, the symbiosis genes *nod*, *nif*, and *fix* are essential for nodulation and nitrogen fixation, and they are in the integrative and conjugative element (ICE), a mobile genetic material (Zaw et al., 2021). The nodulation genes (*nod*) in this genus are considered highly specific, and all chickpea nodulating rhizobia share highly similar *nodC* sequences. Although the symbiosis genes of *Mesorhizobium* spp. are encoded on three chromosomes, they can be easily transferred within or between species because they are in ICEs. Thus, the *nod* and *nif* genes are necessary for nodulation and nitrogen fixation in the *M. ciceri* strain (Zaw et al., 2021).

The *nod* genes are more specific to the symbiotic relationship with a particular plant species, as they produce oligosaccharides synthesized and secreted by rhizobia in response to the release of flavonoids by host plants. The *nifH* gene is associated with the enzyme dinitrogenase reductase (Shcherbakova et al., 2017). Sequencing the *nifH* or *nodC* genes can be used for the rapid identification of rhizobia (Figure 4).

Figure 4: Schematic overview of the nodulation process and biological nitrogen fixation



Source: (Laranjo et al., 2014).

The symbiosis between chickpea and *M. ciceri* does not occur in isolation. It is part of a complex ecosystem in the rhizosphere, where various other microorganisms interact with the plant. Co-inoculation with effective nodulating and non-nodulating bacterial strains results in changes in the microbial diversity of the plant rhizosphere (Table 1). The plant regulates the genetic diversity of its microbiome, increasing the number of symbiotic and non-symbiotic nitrogen-fixing bacteria, effectively performing a "selection" of beneficial microorganism groups in its rhizosphere (Zaw et al., 2021; Shcherbakova et al., 2017).

Table 1. Main symbiotic microorganisms, solubilizers, and growth promoters in chickpea.

Microorganism	Main Functions/Response in the Plant	References
<i>Azospirillum brasilense</i>	Promotion of growth under water stress conditions, hormone production, nitrogen fixation.	Verna et al., (2020).
<i>Azotobacter chroococcum</i>	Nitrogen fixation in soil, improving nutrient availability.	Etesami et al., (2022);
<i>Bacillus cereus</i>	Increased plant length, biomass, chlorophyll content, improved nutrient absorption, plant growth.	Kulkova et al., (2023); Deng et al., (2020); Balbinot., 2020; López-Bellido et al., (2011).
<i>Bacillus thuringiensis</i>	Acts as a biopesticide, controlling pests that affect chickpea.	Kulkova et al., (2023); Deng et al., (2020);

		López-Bellido et al., (2011).
<i>Bacillus subtilis</i>	Production of phytohormones, antagonism to pathogens, increased stress resistance, promotes pathogen resistance, and improves soil health.	Kulkova et al., (2023); Shah et al. (2020); Deng et al., (2020); Balbinot, (2020); López-Bellido et al., (2011).
<i>Enterbater asburiae</i>	Biocontrol of nematodes and mites in crops, assists in nitrogen fixation and increased biomass.	Verna et al., (2020); Etesami et al., (2022)
<i>Enterbater bugandensis</i>	Contributes to mineral nutrition and growth promotion.	Etesami et al., (2022); Kumar et al., (2020);
<i>Klebsiella variicola</i>	Increased nutrient absorption, plant growth, nitrogen fixation, and enhanced nutrient availability.	Saranraj et al., (2021); Verna et al., (2020); Yang et al., (2020)
<i>Kosakonia radicincitans</i>	Fix atmospheric nitrogen, produce phytohormones, improve water and nutrient absorption capacity.	Costa-Gutierrez et al., (2022); Qessaoui et al., (2022); Verna et al., (2020); Mertschnigg et al., (2020).
<i>Mesorhizobium ciceri</i>	High nitrogen fixation activity and symbiotic efficiency, increases dry biomass production, yield, leaf pigments, and ability to withstand higher fungicide concentrations, secretion of plant growth modulators.	Zhang et al., (2020); Shah et al., (2021); Hill et al., (2021); Guo et al., (2017)
<i>Mesorhizobium mediteranio</i>	High nitrogen fixation activity and symbiotic efficiency, promotes nitrogen nutrition in chickpea.	Alemneh et al., (2020);
<i>Pseudomonas monteilii</i>	Inhibits pathogen growth, promotes biodegradation of pollutants, and improves soil fertility.	Antil et al., (2022); Keerthana et al., (2022); Kusale et al., (2021); Oliveira et al., (2021); Ibrahim et al., (2021); Sagar et al., (2020).
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Increased nutrient absorption, growth promotion, produces substances that inhibit pathogens, fostering a favorable root environment.	Kusale et al., (2021); Sagar et al., (2020);
<i>Pseudomonas putida</i>	Promotes biodegradation of pollutants and improves soil fertility.	Antil et al., (2022); Oliveira et al., (2021); Ibrahim et al., (2021).
<i>Rhizobium radiobacter</i>	Significant increase in height and dry weight, production of phytohormones, participates in nitrogen fixation, stimulates root growth.	Etesami et al., (2022); Singh et al., 2021; Khalifa et al., 2022
<i>Rhizobium leguminosarum</i>	Nitrogen fixation, improved soil fertility, establishes symbiosis with legumes, essential for nitrogen fixation.	Singh et al., (2021); Clemente et al., (2020).

Source: Authors

5. PRACTICAL EFFECTS OF INOCULATING SYMBIOTIC OR NON-SYMBIOTIC BACTERIA IN *CICER ARIETINUM* (CHICKPEA)

Some authors have reported positive effects of the isolated inoculation of symbiotic bacteria or their association with non-symbiotic bacteria on the nodulation and production of chickpeas. Verma et al. (2013), in India, studied the effect of inoculating *Mesorhizobium* sp., with or without phosphate-solubilizing bacteria (*Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus megaterium*, and *Azotobacter chroococcum*), on

nodulation, growth, and productivity of chickpeas. These authors observed that the inoculation with all microorganisms resulted in an 86% increase in the number of nodules compared to the control treatment without inoculation, leading to greater nitrogen fixation and phosphorus solubilization, suggesting its practical use as a biofertilizer.

In Tunisia, Ben Romdhane (2007), evaluating the effect of two strains of *M. ciceri* (native and commercial), observed greater competitiveness of the native *M. ciceri* compared to the commercial one, resulting in higher nodulation (30 nodules per plant) and increased shoot growth in the three cultivars (cvs. Amdoun I, Chetoui and Kasseb). *Mesorhizobium* also reduces the presence of nematodes in the soil when combined with other management practices. According to Rizvi, Mahmood, and Ansari (2018), seed inoculation with *M. ciceri*, in association with organic residues (fertilization) and the application of antagonistic fungi (*Trichoderma harzianum*), led to the suppression of *Meloidogyne incognita* in chickpea plants in India.

In Iran, Maleki et al. (2014) reported that seed inoculation with *Mesorhizobium* sp. increased nitrogen (N) absorption by chickpeas compared to the non-inoculated treatment. According to the authors, these results were of great importance since farmers in the region excessively use nitrogen mineral fertilizers in their crops. In Ethiopia, Wolde-meskel et al. (2018) reported that chickpea crops are grown without the application of mineral fertilizers, and there is high variability in the effect of seed inoculation. The authors evaluated phosphorus (P) doses (0 and 23 kg ha⁻¹) and inoculation with two *Mesorhizobium* strains (CP-41 and CP-19) in different regions. They observed an increase in grain yield when the P dose was combined with inoculation with the strains, reaching a productivity of 3.09 t ha⁻¹, nitrogen absorption of 94.8 kg ha⁻¹, and the presence of 22 to 48 nodules per plant. These results emphasize the importance of seed inoculation with symbiotic bacteria in chickpeas to achieve productivity levels above 1.00 t ha⁻¹ and increase the economic profitability of the crops.

In Central Europe, Neugschwandtner, Wagentristl, and Kaul (2015), studying the viability of oats, barley, and chickpeas in dryland farming, found that chickpeas showed greater efficiency in nitrogen (N) utilization, grain yield, and protein content in the grains after inoculation with *M. ciceri*. Soil conditions and management practices affect biological nitrogen fixation in chickpea plants. For chickpea cultivation in areas with low and high soil fertility, Romanya and Casals (2019) found greater nitrogen

fixation in soils with higher fertility. However, nitrogen fixation decreased when organic fertilizers were applied due to the higher mineralization capacity and release of mineral nitrogen (nitrate and ammonium). According to Elias and Herridge (2014), in areas with lower N-nitrate content in the soil (53 kg ha^{-1}), greater root nodulation occurred, and 51% of the nitrogen absorbed by chickpeas was fixed from the atmosphere. They concluded that both soil-derived nitrogen and nitrogen fixed from the atmosphere complemented the chickpea's nutrition. These authors also observed greater effectiveness of inoculation when the inoculant is based on peat, if seed inoculation and sowing are carried out within 24 hours.

The combined use of symbiotic and non-symbiotic bacteria has contributed to chickpea production. According to Abdiev et al. (2019), the inoculation of *Rhizobium* and *Azotobacter* together in seeds of two chickpea cultivars increased nodulation (79 nodules per plant), dry matter production of the aerial part (30%), and nitrogen (N) content in the roots (10%) compared to the use of *Rhizobium* sp. alone. In addition, there was a higher concentration of N, phosphorus (P), and potassium (K) in the leaves and roots, and a reduction in sodium (Na) in the plants when the seeds were co-inoculated. Abd-ala et al. (2019) described that the combined use of *Rhizobium*, arbuscular fungi, and *Stenotrophomonas maltophilia* increased the symbiotic action in chickpea plants, promoting greater nodulation, atmospheric nitrogen fixation, and plant growth in saline soils.

However, some authors, such as Elias and Herridge (2014) in Australia and Wolde-meskel et al. (2018) in Ethiopia, reported that there can be low efficiency in nitrogen (N_2) fixation in chickpea plantings. According to the authors, native rhizobia did not associate with chickpea roots due to high competition with *Mesorhizobium* spp. and *Rhizobium* spp. strains introduced into the crops via seed inoculation. In Australia, horizontal gene transfer was observed from the inoculant strain CC1192 of *M. ciceri* to a population of native Australian rhizobia. This transfer modified the nitrogen fixation efficiency of the native population and represented a key contribution to the increased genetic diversity of local rhizobia populations (Xavier et al., 2023; Hill et al., 2021).

Plant growth-promoting bacteria (*Azotobacter chroococcum*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Bacillus pumilis*) isolated from the chickpea rhizosphere were tested in vitro for their hormone production, phosphate solubilization, and siderophore production (Pandey et al., 2019). These bacteria showed ACC degradation potential ranging from 600 nmol (for *Azotobacter chroococcum*) to 1700

nmol (for *Bacillus pumilis*) of α -ketobutyrate per mg of cellular protein per hour. They also exhibited indole-3-acetic acid production ranging from 20 to 35.34 $\mu\text{g mL}^{-1}$. The phosphate solubilization potential varied between 78 and 87.64 mg of soluble P L^{-1} , with the highest solubilization exhibited by *P. aeruginosa* and *B. pumilis* strains. All the growth-promoting isolates displayed Fe-chelating siderophores and ammonia production.

In similar studies, Tariq et al. (2023) in Pakistan isolated nineteen bacterial morphotypes from the root nodules of chickpeas and characterized them in vitro for plant growth-promoting abilities. All bacterial isolates could produce indole-3-acetic acid at varying levels, with the most efficient one producing 10.25 $\mu\text{g mL}^{-1}$, and phosphate solubilizing activity of 18.8 $\mu\text{g mL}^{-1}$. Additionally, all isolates were able to grow in nitrogen-free culture media, increase the production of amylase, protease, lipase, β -1, 3-glucanase, and solubilize nutrients such as phosphate, zinc, and potassium. Among the 19 isolates, the most efficient was identified as *Pantoea dispersa*, which increased chickpea grain production by 38% (12.7 g per plant) and the number of nodules (162 per plant).

The isolation of bacteria from chickpea root nodules and the evaluation of growth-promoting compounds was also the subject of a study by Mir et al. (2021), who identified the following bacteria in the nodules: *Rhizobium sp.*, *Rhizobium tropici*, *Rhizobium multihospitium*, *Mesorhizobium sp.*, *Burkholderia cepacia*, and *Rhizobium pusense*. These bacterial strains produced IAA, NH_3 , siderophores, HCN, ACC deaminase, and hydrolytic enzymes such as chitinase. The authors concluded that the bacteria associated with root and stem nodules hold promise for enhancing nodulation, promoting growth, and increasing production in chickpeas.

Rhizobium radiobacter is another bacterium that has been tested as a bioinoculant, resulting in increased plant height and dry weight of the inoculated plants. This bacterium can also produce indole-3-acetic acid, a hormone responsible for the growth of the plant's root system (Khalifa et al., 2022; Singh et al., 2021). Hashem, Tabassum, and Abd-Allah (2019), in a literature review, described that species of *Bacillus sp.* could form long-lasting spores, tolerant to stress, and produce secreted metabolites that stimulate plant growth and prevent pathogen infection, in addition to forming biofilms on the roots of host plants.

Mukherjee, Singh, and Verma (2020) evaluated endophytic microorganisms in chickpea seeds and isolated 29 bacterial strains (*Enterobacter sp.*, *Bacillus sp.*,

Pseudomonas sp., *Staphylococcus sp.*, *Pantoea sp.*, and *Mixta sp.*). The isolates produced significant amounts of indole-3-acetic acid (IAA) (*Enterobacter hormaechei* BHUJPCS-15), solubilized phosphate, potassium (K), and ammonia (NH₃) (*Bacillus subtilis* BHUJPCS), and inhibited the growth of *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris* (*Pseudomonas aeruginosa* BHUJPCS-7) in the laboratory. The authors highlighted the potential of these endophytic microorganisms as bioinoculants, contributing to the sustainable increase of agricultural yield and the suppression of diseases. The inhibition of pathogens such as *Alternaria sp.*, *Fusarium oxysporum*, *Pseudomonas aphanidermatum*, and *Rhizoctonia solani* by *Bacillus* strains CBS127 and CBS155 was also described by Sivaramaiah, Malak, and Sindhu (2007).

Yadav and Verma (2014) suggested the use of rhizobacteria *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus megaterium* in chickpea crops due to their promotion of plant growth and nutrient absorption, which resulted in higher grain yields. In crops of another legume, Elkoca, Turan, and Donmez (2010) highlighted the use of growth-promoting bacteria in common beans, particularly those of the *Bacillus sp.* genus, due to characteristics such as hormone synthesis, phosphate solubilization, and increased absorption of N, P, K, Ca, Mn, Zn, and Fe (Cakmakci, Donmez, and Erdogan, 2007). The introduction of phosphate-solubilizing microorganisms into the soil solution facilitates the transformation of insoluble phosphates through various mechanisms, including the secretion of organic acids, enzyme production, and excretion of siderophores. However, bacteria mainly use the release of metabolites, such as organic acids (gluconic acid and citric acid), to reduce the pH of the solution and release phosphate in a soluble form for plants (Vasques et al., 2024).

Elkoca, Turan, and Donmez (2010) also emphasized the adaptability of *Bacillus sp.* strains to edaphoclimatic conditions. However, the authors observed that when used together, *Rhizobium*, *Bacillus subtilis* OSU-142, and *Bacillus megaterium* M-3 did not result in an increase in grain yield (3,098 kg ha⁻¹). This effect may have occurred due to competition/interactions between native species in the rhizosphere for carbon sources, which determines the quality of the inoculant. Almeida Neta et al. (2024) found that inoculation with a mix of *Bacillus spp.* in chickpea seeds increased the dry mass of leaves by 26%, branches by 28%, roots by 17%, aerial part by 24%, and total plant dry mass. In addition, there were increases of 59% and 58% in the dry mass and number of root nodules. The *Bacillus sp.* genus is described as an atmospheric nitrogen fixer due to its possession of the *nifH* gene (Saxena et al., 2020). This genus

was also described as a predominant bacterium in chickpea seeds, transmitted vertically with traits that promote plant growth (Laranjeira et al., 2022).

The presence of *Bacillus spp.* strains is considered essential for chickpea production. This is because *Bacillus spp.* enhances chickpea growth through the synthesis of IAA (indole-3-acetic acid), which stimulates cell elongation and division (Wani and Khan, 2010). These authors also observed the synthesis of siderophores, which increase nutrient absorption by roots, as well as inhibitory effects on toxic metals such as chromium. Mukherjee, Singh, and Verma (2020) isolated 29 bacterial strains from the genera *Enterobacter sp.*, *Bacillus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Staphylococcus sp.*, *Pantoea sp.*, and *Mixta sp.* from chickpea seeds and re-inoculated them in subsequent crops. They highlighted the increased growth promotion in chickpea plants re-inoculated with *B. subtilis* due to phosphate (P), potassium (K), and ammonium (NH_4^+) solubilization, as well as inhibition of *Fusarium sp.*. This suggests the potential use of *Bacillus sp.* as a bioinoculant in field chickpea crops.

6. FUTURE PERSPECTIVES ON THE INOCULATION OF BACTERIA IN CHICKPEA SEEDS

Given the above, it is evident that within the nodules of chickpea plants, there are various new strains of both symbiotic and non-symbiotic bacteria that can work together to enhance nitrogen fixation activity or promote plant growth. They play essential roles in promoting the growth and development of host plants through mechanisms such as atmospheric nitrogen fixation, phosphate, potassium, and zinc solubilization, production of siderophores and chelates, and the production of phytohormones that ensure greater tolerance to environments with water stress, low nutrient availability, and other adverse production conditions.

The bacterial population will often depend on the area where the crop is being established, irrigation conditions, soil fertility, and primarily the native microbial population, which can either facilitate or hinder the symbiotic process. This excludes bacteria present in the nodule but lacking nodulation genes.

In this context, studies in each region are necessary to identify the potential bacteria that could be used as biofertilizers, with the goal of increasing the profitability and sustainability of chickpea cultivation. For this, it is important to conduct studies focused on the development and application of these regional bio inputs, highlighting

the use of bacteria with symbiotic characteristics, growth-promoting properties, and protection against potential pathogens.

7. CONCLUSIONS

Diazotrophic bacteria, both symbiotic and non-symbiotic, associated with *Cicer* plants play crucial roles in enhancing plant growth, nutrient acquisition, and stress tolerance. Symbiotic bacteria, such as rhizobia, establish nitrogen-fixing associations with host plants, while non-symbiotic diazotrophs contribute to nitrogen cycling and availability in the rhizosphere. Understanding the diversity, function, and interactions of these bacterial communities is essential for optimizing agricultural practices, promoting sustainable crop production, and mitigating environmental challenges.

FUNDING

Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) of Brazil - Funding Code 001, National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), and the Foundation for Research Support of Minas Gerais (FAPEMIG).

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) of Brazil - Funding Code 001, the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), and the Foundation for Research Support of Minas Gerais (FAPEMIG).

REFERENCES

- Alexandre, A., Brigido, C., Laranjo, M., Rodrigues, S., & Oliveira, S. (2009). Survey of chickpea rhizobia diversity in Portugal reveals the predominance of species distinct from *Mesorhizobium ciceri* and *Mesorhizobium mediterraneum*. *Microbial. Ecology*, 58, 930–941. doi: 10.1007/s00248-009-9536-6
- Abd-Alla, M. H.; Nafady, N. A.; Bashandy, S. R.; Hassan, A. A. (2019) Mitigation of effect of salt stress on the nodulation, nitrogen fixation and growth of chickpea (*Cicer arietinum* L.) by triple microbial inoculation. *Rhizosphere*, 10, 100148.
<https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.100148>
- Abdiev, A., Khaitov, B., Toderich, K., & Park, K. W. (2019). Growth, nutrient uptake and yield parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.) enhance by *Rhizobium* and *Azotobacter* inoculations in saline soil. *Journal of Plant Nutrition*, 42, 2703-2714.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1655038>
- Alemneh1, A. A., Y. Zhou, M.H. Ryder., & M. D. Denton (2020) Mechanisms in plant growth-promoting rhizobacteria that enhance legume–rhizobial symbioses. *Journal of Applied Microbiology*, 129, 1133—1156.
- Almeida Neta, M. N. A., Pegoraro, R. F., Sampaio, R. A., Costa, C. A., D. A.; Fernandes, L. A., & Ferreira, J. M. (2020). Does inoculation with *Rhizobium tropici* and nitrogen fertilization increase chickpea production? *Ciência e Agrotecnologia*, 44: e016520, 2020.
<https://doi.org/10.1590/1413-7054202044016520>
- Almeida Neta, M. N., Almeida, E. S. D., Costa, C. A. D., Nunes, J. A. D. R., Fernandes, L. A., & Pegoraro, R. F (2021). Inoculation of *Bacillus* spp. and nitrogen levels increase chickpea production. *Ciência e Agrotecnologia*, 2021, 45, 015421. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202145015421>
- Almeida Neta, M. N., Pegoraro, R. F., Duarte, E. R., Soares, V. A. S. F., Nunes, J. A. dos R., Sampaio, R. A., & Fernandes, L. A. (2024). Inoculation with *Bacillus* spp. combined with nitrogen fertilization increases growth and uptake of macronutrients in chickpea. *Contribuciones a las ciencias sociales*, 17, 7055–7078.
<https://doi.org/10.55905/revconv.17n.1-426>
- Antil, S., Kumar, R., Pathak, D.V., Kumar, A., Panwar, A., & Kumari, A. (2022) Plant Growth-Promoting Rhizobacteria—*Bacillus cereus* KMT-5 and *B. Megaterium* KMT-8 Effectively Suppressed *Meloidogyne Javanica* Infection. *Applied Soil Ecology* 174, 104419.
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104419>
- Ashraf, N., Ahmad, F., & Lu, Y. (2023) Synergy between Microalgae and Microbiome in Polluted Waters. *Trends Microbiol*, 31, 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2022.06.004>
- Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S., & Vivanco, J. M. (2006) The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annu Revist Plant Biology* 57, 234–266. doi: 10.1146/annurev.arplant.57.032905.105159.
- Ben Romdhane, S.; Tajini, F.; Trabelsi, M.; Aouani, M. E.; Mhamdi, R. (2007) Competition for nodule formation between introduced strains of *Mesorhizobium ciceri* and the native populations of rhizobia nodulating chickpea (*Cicer arietinum*) in Tunisia. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23, 1195-1201. <https://doi.org/10.1007/s11274-006-9325-z>

- Berg, G. (2009) Plant–microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 84, 11–18. DOI 10.1007/s00253-009-2092-7
- Balbinot, W. G., Rodrigues, S., & Botelho, G. R. (2020) Isolates of *Bacillus* sp. from garlic: effect on corn development and plant growth-promoting mechanisms. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 44:e0200043. DOI: [10.36783/18069657rbcs20200043](https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20200043)
- Bu, F., Rutten, L., Roswanjaya, Y. P., Kulikova, O., Rodriguez-Franco, M., & Ott, T., Bisseling, T. Zeijl, A. V., Geurts, R. (2020). Mutant analysis in the nonlegume *Parasponia andersonii* identifies NIN and NF-YA1 transcription factors as a core genetic network in nitrogen-fixing nodule symbioses. *New Phytologist*. 226, 541–554. doi: 10.1111/nph.16386
- Cakmakci, R., Donmez, M. F., & Erdogan, U. (2007) The effect of plant growth promoting rhizobacteria on barley seedling growth, nutrient uptake, some soil properties, and bacterial counts. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 31, 189–199.
- Charpentier, M., Sun, J., Vaz Martins, T., Radhakrishnan, G. V., Findlay, K., Soumpourou, E. Thouin, J., Véry, A., Morris, R. Oldroyd, G. E. D. (2016). Nuclear-localized cyclic nucleotide-gated channels mediate symbiotic calcium oscillations. *Science*, 352, 1102–1105. doi: 10.1126/science.aae 0109
- Conway, G. Vernon Ruttan, and Ismail Serageldin. *The Doubly Green Revolution: Food for All in the Twenty-First Century*. Cornell University Press, 1997. <http://www.jstor.org/stable/10.7591/j.ctvtv9340>.
- Costa-Gutierrez, S. B., Conrado, A., Espinosa-Urgel, M., & Cristóbal, R. E. (2022). *Pseudomonas putida* and its close relatives: mixing and mastering the perfect tune for plants. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106, 3351–3367.
- Dal Cortivo, C., Ferrari, M., Visioli, G., Lauro, M., Fornasier, F., Barion, G., Panozzo, A., & Vamerali, T. (2020) Effects of seed-applied biofertilizers on rhizosphere biodiversity and growth of common wheat (*Triticum aestivum* L.) in the field. 2020. *Frontiers Plant Science*, 11, 72. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00072>
- Deng, Z.-S., Kong, Z.-Y., Zhang, B.-C., & Zhao, L.-F. (2020). Insights into non-symbiotic plant growth promotion bacteria associated with nodules of *Sphaerophysa salsula* growing in northwestern China. *Archives of Microbiology*, 202, 399–409. doi: 10.1007/s00203-019-01752-7
- Diouf, D., Fall, D., Chaintreuil, C., Ba, A. T., Dreyfus, B., Neyra, M., Ndoye & L. Moulin (2010). Phylogenetic analyses of symbiotic genes and characterization of functional traits of *Mesorhizobium* spp. strains associated with the promiscuous species *Acacia seyal* Del, *Journal of Applied Microbiology*, 108, 818–830. doi:10.1111/j.1365-2672.2009.04500.x
- Shcherbakova, E.N., Shcherbakov, A.V., Andronov, E.E. *et al.* Combined pre-seed treatment with microbial inoculants and Mo nanoparticles changes composition of root exudates and rhizosphere microbiome structure of chickpea (*Cicer arietinum* L.) plants. *Symbiosis* 73, 57–69 (2017). <https://doi.org/10.1007/s13199-016-0472-1>
- Elias, N. V., & Herridge, D. F (2014) Crop-available water and agronomic management, rather than nitrogen supply, primarily determine grain yield of commercial chickpea in northern New South Wales. *Crop and Pasture Science*, 65, 442-452.

Elkoca, E., Kantar, F., & Sahin, F. (2010) Influence of nitrogen fixing and phosphorus solubilizing bacteria on the nodulation, plant growth, and yield of chickpea. *Journal of Plant Nutrition*, 31, 157-171.

Etesami, H. (2022) Root nodules of legumes: A suitable ecological niche for isolating nonrhizobial bacteria with biotechnological potential in agriculture. *Current Research in Biotechnology*, 4, 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.crbiot.2022.01.003>

FAO, 2024. FAOSTAT statistical database. Crops and livestock products. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (accessed 11.27.24)

Feng, J., Lee, T., Schiessl, K., & Oldroyd, G. E. D. (2021). Processing of Nodule Inception controls the transition to nitrogen fixation in root nodules. *Science*, 374, 629–632. doi: 10.1126/science.abg2804.

A. Greenlon, P.L. Chang, Z.M. Damtew, A. Muleta, N. Carrasquilla-Garcia, D. Kim, H.P. Nguyen, V. Suryawanshi, C.P. Krieg, S.K. Yadav, J.S. Patel, A. Mukherjee, S. Udupa, I. Benjelloun, I. Thami-Alami, M. Yasin, B. Patil, S. Singh, B.K. Sarma, E.J.B. von Wettberg, A. Kahraman, B. Bukun, F. Assefa, K. Tesfaye, A. Fikre, D.R. Cook, Global-level population genomics reveals differential effects of geography and phylogeny on horizontal gene transfer in soil bacteria, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 116 (30) 15200-15209, <https://doi.org/10.1073/pnas.1900056116> (2019).

Guo, H., Glaeser, S. P., Alabid, I., Imani, J., Haghighi, H., Kämpfer, P., & Kogel, K. H. (2017) The abundance of endofungal bacterium *Rhizobium radiobacter*(syn. *Agrobacterium tumefaciens*) increases in its fungal host *Piriformospora indica* during the tripartite Sebacinalean symbiosis with higher plants. *Frontiers Microbiology*, 13, 629. doi: 10.3389/fmicb.2017.00629.

Hill Y, Colombi E, Bonello E, Haskett T, Ramsay J, O'Hara G, Terpolilli J. 2021. Evolution of Diverse Effective N₂-Fixing Microsymbionts of *Cicer arietinum* following Horizontal Transfer of the *Mesorhizobium ciceri* CC1192 Symbiosis Integrative and Conjugative Element. *Applied Environmental Microbiology*. Vol. 87, N 5. l87:e02558-20. <https://doi.org/10.1128/AEM.02558-20>

Htwe, A. Z., Moh, S. M., Moe, K., & Yamakawa, T. (2019) Biofertiliser production for agronomic application and evaluation of its symbiotic effectiveness in soybeans. *Agronomy*, 9, 162. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040162>.

Ibrahim, M.S., & Ikhajiagbe, B. (2021) The Growth Response of Rice (*Oryza sativa* L. Var. FARO 44) in vitro after Inoculation with Bacterial Isolates from a Typical Ferruginous Ultisol. *Bulletin of the National Research Centre*, 45, 70. <https://doi.org/10.1186/s42269-021-00528-8>

Keerthana, U., Prabhukarthikeyan, S. R., Baite, M. S., Yadav, M. K., Kumar, R. N., & Kumar, A.M., A. Muthu Kumar, S. Raghu, S. Aravindan, P.C. Rath (2022). Fluorescent Pseudomonads: a multifaceted biocontrol agent for sustainable agriculture in New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering, eds H. Singh and A. Vaishnav (New York, NY: Elsevier, 2022, Pages 83-92), 83–92. doi: 10.1016/B978-0-323-85163-3.00015-6.

Khalifa AYZ, Aldayel MF. Isolation and characterization of *Klebsiella oxytoca* from the rhizosphere of *Lotus corniculatus* and its biostimulating features. *Brazilian Journal Biology*. 2022 Sep 30;82p:e266395. doi: 10.1590/1519-6984.266395. PMID: 36197368.

Kulkova, I., Dobrzyński, J., Kowalczyk, P., Belz' ecki, G., & Kramkowski, K. (2023) Plant Growth Promotion Using *Bacillus cereus*. *Internacional Jornal of Molecular. Science*. 24, 9759. doi: 10.3390/ijms24119759.

Kumar, H., Ishtiaq, S., Favas, P. J., Varun, M., & Paul, M. S. (2023) Effect of metal resistant PGPB on the metal uptake, antioxidative defense, physiology, and growth of *Atriplex lentiformis* (Torr.) S. Wats. in soil contaminated with cadmium and nickel. *Journal of Plant Growth Regulation*, 42, 3868-3887. <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10853-5>

Kumar, P., Pahal, V., Gupta, A., Vadhan, R., Chandra, H., & Dubey, R.C. (2020) Effect of Silver Nanoparticles and *Bacillus cereus* LPR2 on the Growth of *Zea Mays*. *Scientific Reports*, 10, 20409, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77460-w>

Kusale, S. P., Attar, Y. C., Sayyed, R. Z., El Enshasy, H., Hanapi, S. Z., Ilyas, N., Elgorban, A.M., Bahkali, A. H., & Marraiki, N. (2021) Inoculation of *Klebsiella variicola* Alleviated Salt Stress and Improved Growth and Nutrients in Wheat and Maize. *Agronomy*, 11, 927. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050927>.

Kuypers, M. M. M., Marchant, H. K., & Kartal, B. The microbial nitrogen-cycling network. *Nature Reviews Microbiology*, 16, 263–276.

Laranjo, M., Alexandre, A., & Oliveira, S. (2014) Legume growth-promoting rhizobia: an overview on the *Mesorhizobium* genus. *Microbiological research*, 169, 2-17. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2013.09.012>.

Laranjeira, S. S., Alves, I. G., & Marques, G. (2022) Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Seeds as a Reservoir of Endophytic Plant Growth-Promoting Bacteria. *Current Microbiology*, 79, 277. <https://doi.org/10.1007/s00284-022-02942-1>.

Llamas, A., Leon-Miranda, E., & Tejada-Jimenez, M. (2023) Microalgal and Nitrogen-Fixing Bacterial Consortia: From Interaction to Biotechnological Potential. *Plants*, 12, 2476. <https://doi.org/10.3390/plants12132476>

Lohosha, O.V., VorobeiYu. O., & Leonova, N.O. (2023) Symbiotic Efficiency and Cytokinin Activity of New *Mesorhizobium ciceri* Strains. *Microbiological journal*, 1, 3-11. DOI:10.15407/microbiolj85.01.003.

López-Bellido, R. J., López-Bellido, L., Benítez-Vega, J., MuñozRomero, V., López-Bellido, F. J., & Redondo, R. (2011) Chickpea and faba bean nitrogen fixation in a Mediterranean rainfed vertisol: effect of the tillage system. *European Journal of Agronomy*, 34, 222–230. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.01.005>

Maatallah, J., Berraho, E. B., Munoz, S., Sanjuan, J., & Lluch, C. (2002). Phenotypic and molecular characterization of chickpea rhizobia isolated from different areas of Morocco. *Journal of Applied Microbiology* 93, 531–540. doi: 10.1046/j.1365- 2672.2002.01718.x.

Maleki, A., Pournajaf, M., Naseri, R., Rashnavadi, R., & Heydari, M.M. (2014). The effect of supplemental irrigation, nitrogen levels and inoculation with *Rhizobium* bacteria on seed quality of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under rainfed conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3, 902-909.

Mertschnigg, T., Patz, S., Becker, M., Feierl, G., Ruppel, S., Bunk, B., Spröer, Overmann, J., Zarfel, G. (2020). First Report of *Kosakonia radicincitans* Bacteraemia from Europe (Austria) - Identification and Whole-Genome Sequencing of Strain DSM 107547. *Scientific Reports*. ,10, 1948. doi: 10.1038/s41598-020-58689-x. PMID: 32029766; PMCID: PMC7005327.

Mir, M. I., Kumar, B. K., Gopalakrishnan, S., Vadlamudi, S., & Hameeda, B. (2021). Characterization of rhizobia isolated from leguminous plants and their impact on the growth of ICCV 2 variety of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Heliyon*, 7, 11.

Mukherjee, A., Singh, B., & Verma, J. P. (2020) Aproveitamento de endófitos de sementes de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) para melhorar os atributos de crescimento das plantas e bio-controle contra *Fusarium* sp. *Microbiological Research*, 126469.

Neugschwandtner, R. W., Wagentristl, H., & Kaul, H. P. (2015) Nitrogen yield and nitrogen use of chickpea compared to pea, barley and oat in Central Europe. *International Journal of Plant Production*, 9, 291-304.

Oldroyd, G. E. D. (2023) Speak, friend, and enter: signalling systems that promote beneficial symbiotic associations in plants. *Nature Reviews, Microbiology*, pag. 11.

Oliveira, D.A., Ferreira, S.C., Carrera, D.L.R., Serrão, C.P., Callegari, D.M., Barros, N.L.F., Coelho, F.M., & Souza, C. R. B. (2021). Characterization of *Pseudomonas* bacteria of *Piper tuberculatum* regarding the production of potentially bio-stimulating compounds for plant growth. *Acta Amazonica*, 51, 10-19. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202002311>.

Saranraj, P., Sivasakthivelan, A. R. M., Al-Tawaha, A., Sudha¹, A. R., Al-Tawaha, S. N., Sirajuddin, & Hastang (2021) Diversity and evolution of *Bradyrhizobium* communities relating to Soybean cultivation: A review. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 012208 doi:10.1088/1755-1315/788/1/012208

Palmero, F., Fernandez, J. A., Garcia, F. O., Haro, R. J., Prasad, P. V., Salvagiotti, F., & Ciampitti, I. A. (2022) A quantitative review into the contributions of biological nitrogen fixation to agricultural systems by grain legumes. *European Journal of Agronomy*, 136, 126514. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126514>

Pandey, S., Gupta, S., & Ramawat, N. (2019). Unravelling the potential of microbes isolated from rhizospheric soil of chickpea (*Cicer arietinum*) as plant growth promoter. *3 Biotech*, 9, 277. <https://doi.org/10.1007/s13205-019-1809-2>

Pardo-Diaz, S., Romero-Perdomo, F., Mendoza-Labrador, J., Delgadillo-Duran, D., Castro-Rincon, E., Silva, A. M., Rojas-Tapias, D. F., Cardoso, E. J., & Estrada-Bonilla, G. A. (2021) Endophytic PGPB improves Plant Growth and Quality and modulates the Bacterial Community of an Intercropping System. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 715270. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.715270>

Pegoraro, R. F., Almeida Neta, M. N., Costa, C. A., Sampaio, R. A., Fernandes, L. A., & Rodrigues, M. N. (2018) Chickpea production and soil chemical attributes after phosphorus and molybdenum fertilization. *Ciência e Agrotecnologia*, 42, 474-483. <https://doi.org/10.1590/1413-70542018425011618>

Pierik, R., Tholen, D., Poorter, H., Visser, E. J. W., & Voesenek, L. A. C. J. (2006) The Janus factor of ethylene: growth inhibition and stimulation *Trends in Plant Science*, 11, 176–183. doi: 10.1016/j.tplants.2006.02.006.

Qessaoui, R., Zanzan, M., Ajerrar, A., Lahmyed, H., Boumair, A., & Tahzima, R., Bouharroud, R. (2022). *Pseudomonas* isolates as potential biofungicides of green mold (*Penicillium digitatum*) on orange fruit. *International Journal of Fruit Science*. 22, 142–150. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.2018671>

Queiroga, V. P. (2021) Grão de bico (*Cicer arietinum* L.): Tecnologias de plantio e utilização. 1ed. / Organizadores, Queiroga, V. de P.; Girão, E. J.; Albuquerque, E. M. B. – Campina Grande: AREPB, 199 p.

Rai, R., Dash, P. K., Mohapatra, T., & Singh, A. (2012). Phenotypic and molecular characterization of indigenous rhizobia nodulating chickpea in India. *Indian Journal of Experimental Biology*, 50, 340–350.

Rao, D. L. N., Balachandar, D. (2017) Nitrogen inputs from Biological Nitrogen Fixation in Indian Agriculture. In *The Indian Nitrogen Assessment. Sources of Reactive Nitrogen, Environmental and Climate Effects, Management Options, and Policies*; Abrol, Y.P., Ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 117–132 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811836-8.00008-2>.

Riaz, U., Murtaza, G., Qadir, A. A., Rafi, F., Qazi, M. A., Javid, S., Tauseef, M., Shakir, M. (2021) Biofertilizers a viable tool for future organic agriculture. *Microbiota and biofertilizers*, Springer, Singapore, 329–340p. DOI:[10.1007/978-3-030-61010-4_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-61010-4_16).

Rizvi, R.; Mahmood, I., Ansari, S. (2018) Interaction between plant symbionts, bio-organic waste and antagonistic fungi in the management of *Meloidogyne incognita* infecting chickpea. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17, 424-434.

Romanyà, J., Casals, P. Biological Nitrogen Fixation Response to Soil Fertility Is Species-Dependent in Annual Legumes. *J Soil Sci Plant Nutr* 20, 546–556 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00144-6>

Sagar, A., Riyazuddin, R., Shukla, P.K., Ramteke, P.W., & Sayyed, R. Z. (2020) Heavy metal stress tolerance in *Enterobacter* sp. PR14 is mediated by plasmid. *Indian Journal Experimental Biology*, 58, 115–121.

Saxena, A. K., Kumar, M., Chakdar, H., Anuroopa, N., & Bagyaraj, D. J. (2020) *Bacillus* species in the soil as a natural resource for plant health and nutrition. *Journal of Applied Microbiology*, 128, 1583-1594. <https://doi.org/10.1111/jam.14506>.

Schiessl K, Lilley JLS, Lee T, Tamvakis I, Kohlen W, Bailey PC, Thomas A, Luptak J, Ramakrishnan K, Carpenter MD, Mysore KS, Wen J, Ahnert S, Grieneisen VA, Oldroyd GED. NODULE INCEPTION Recruits the Lateral Root Developmental Program for Symbiotic Nodule Organogenesis in *Medicago truncatula*. *Current Biology*. 2019 Nov 4;29(21):3657-3668.e5. doi: 10.1016/j.cub.2019.09.005. Epub 2019 Sep 19. PMID: 31543454; PMCID: PMC6839406.

Shah, F., & Wu, W. (2019) Soil and Crop Management Strategies to Ensure Higher Crop Productivity within Sustainable Environments. *Sustainability*, 11, 1485. <https://doi.org/10.3390/su11051485>.

Shahid, M., Khan, M. S., Syed, A., Marraiki, N., & Elgorban, A. M. (2021) *Mesorhizobium ciceri* as biological tool for improving physiological, biochemical and antioxidant state of *Cicer arietinum* (L.) under fungicide stress. *Scientific Reports*. 6, 9655. doi: 10.1038/s41598-021-89103-9. PMID: 33958646; PMCID: PMC8102606.

Shen, L., & Feng, J. (2024) NIN—at the heart of Nitrogen-fixing Nodule symbiosis. *Frontiers in Plant Science*. 14, 1284720. doi: 10.3389/fpls.2023.1284720.

Singh, P., Singh, R. K., Li, H. B., Guo, D. J., Sharma, A., Lakshmanan, P., Malviya, M. K., Song, X. P., Solanki, M. K., Verma, K. K., Yang, L. T., & Li, Y. R. (2021) Diazotrophic

Bacteria *Pantoea dispersa* and *Enterobacter asburiae* Promote Sugarcane Growth by Inducing Nitrogen Uptake and Defense-Related Gene Expression. *Frontiers of. Microbiology*, 11, 600417. doi: 10.3389/fmicb.2020.600417

Singh, N. P., Patel, A. K., Banjare, X., & Ashish, K., Pandey. (2020) *Rhizobium Radiobacter*: A Unique Maize Endophyte With High Level Of Stress Tolerance And Multiple Plant Growth Promoting Properties. *Plant Archives*, 20, 2483-2488.

Sivaramaiah, N., Malik, D. K., & Sindhu, S. S. (2007) Improvement in symbiotic efficiency of chickpea (*Cicer arietinum*) by coinoculation of *Bacillus* strains with *Mesorhizobium* sp. *Cicer*. *Indian Journal of Microbiology*, 47, 51-56.

Stambulska, U. Y., & Bayliak, M. M. (2019). Legume-rhizobium symbiosis: secondary metabolites, free radical processes, and effects of heavy metals, in *Co Evolution of Secondary Metabolites*. Eds. J.-M. Merillon and K. G. Ramawat (Cham: Springer International Publishing), 1–32p.

Soe, K. M., Htwe, A. Z., Moe, K., Tomomi, A., & Yamakawa, T. (2020) Diversity and effectivity of indigenous *Mesorhizobium* strains for chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Myanmar. *Agronomy*, 10, 287. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020287>

Tariq, M., Hasnain, N., Rasul, I., Asad, M. A., Javed, A., Rashid, K., Shafique, J., Iram, W., Hameed, A., & Zafar, M. (2023) Reconnoitering the capabilities of nodule *endophytic Pantoea dispersa* for improved nodulation and grain yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, doi: 10.1007/s11274-023-03525-

United States Department of Agriculture (USDA). United States Department of Health and Human Services. 1995. <https://www.usda.gov/>

Van Der Maesen, L. J. G. (1972) *Cicer* L., a monograph of the genus, with special reference to the chickpea (*Cicer arietinum* L.), its ecology and distribution. Mendeligen Landbouwhogeschool Wageningen, Holanda, 341p.

Van Der Maesen, L. J. G. (1987) Origin, history and taxonomy of chickpea. En: Saxena, M. C.; Singh, K. B. (Eds.). *The Chickpea*. CAB international, Wallingford, UK. 11-34p.

Vasques, N. C., Nogueira, M. A., & Hungria, M. (2024). Increasing Application of Multifunctional *Bacillus* for Biocontrol of Pests and Diseases and Plant Growth Promotion: Lessons from Brazil. *Agronomy*, pag. 14.

Verma, G., Kumar, A., Sing, R., Babu, S. (2020). Impact of Fertility Levels and Biofertilizers on Root Architecture, Yield and Nutrient Uptake of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Crop. *International Journal Current Microbiology Aplicativo Science*, 9, 2018-2024. DOI:10.20546/ijcmas.2020.902.230

Verma, J. P., Yadav, J., Tiwari, K. N., Kumar, A. (2013) Effect of indigenous *Mesorhizobium* spp. and plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrients uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under sustainable agriculture. *Ecological Engineering*, 51, 282-286.

Wani, P. A., & Khan, M. S. (2010) *Bacillus* species enhance growth parameters of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in chromium stressed soils. *Food and Chemical Toxicology*, 48, 3262-3267.

Wolde-Meskel E, van Heerwaarden J, Abdulkadir B, Kassa S, Aliyi I, Degefu T, Wakweya K, Kanampiu F, Giller KE. (2018) Additive yield response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to

Rhizobium inoculation and phosphorus fertilizer across small holder farms in Ethiopia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 261, 144-152.

Xavier, G. R., Jesus, E. D. C., Dias, A., Coelho, M. R. R., Molina, Y. C., & Rumjanek, N. G. (2023) Contribution of biofertilizers to pulse crops: From single-strain inoculants to new technologies based on microbiomes strategies. *Plants*, 12, 954. <https://doi.org/10.3390/plants12040954>

Yadav, J., & Verma, J. P. (2014) Effect of seed inoculation with indigenous *Rhizobium* and plant growth promoting rhizobacteria on nutrients uptake and yields of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *European journal of soil biology*, 63, 70-77.

Yang, J., Lan, L., Jin, Y., Yu, N., Wang, D., & Wang E. (2022). Mechanisms underlying legume–rhizobium symbioses. *International Journal of Molecular Sciences*, 64, 244–267. <https://doi.org/10.1111/ijpb.13207>.

Yang, J., Zhou, J., Zhou, H. J., Wang, M. M., Liu, M. M., Ke, Y. Z., Li, P. F., Li, J. N., & Du, H. (2020). Global Survey and Expressions of the Phosphate Transporter Gene Families in *Brassica napus* and Their Roles in Phosphorus Response. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 1752. <https://doi.org/10.3390/ijms21051752>

Yuan, P., Luo, F., Gleason, C., & Poovaiah, B. W. (2022). Calcium/calmodulin mediated microbial symbiotic interactions in plants. *Frontiers Plant Science*, pag. 13. doi: 10.3389/fpls.2022.984909

Zaw, M., Judith R., Rathjen, Y. Z., Maarten, H., Ryder, M. D., & Denton. (2021) Symbiotic effectiveness, ecological adaptation and phylogenetic diversity of chickpea rhizobia isolated from a large-scale Australian soil collection. *Plant Soil*, 469, 49–71 <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05119-0>

Zhang, J., Chen, W., Shang, Y., Guo, C., Peng, S., & Chen, W. (2020) Biogeographic distribution of chickpea rhizobia in the world. *Molecular Aspects of Plant Beneficial Microbes in Agriculture*, Chapter 19 outline, 2020. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818469-1.00020-1>

Zheng, M., Zhou, Z., Luo, Y., Zhao, P., & Mo, J. (2019). Global pattern and controls of biological nitrogen fixation under nutrient enrichment: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 25, 3018–3030. doi: 10.1111/gcb.14705.

Zipfel, C., & Oldroyd, G. E. (2017). Plant signalling in symbiosis and immunity. *Nature*, 543, 328–336. doi: 10.1038/nature22009

