

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Aspectos técnicos e operacionais no desempenho do conjunto mecanizado no
plantio direto de feijão**

Carolina Freitas Schettino
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2026**

CAROLINA FREITAS SCHETTINO

**Aspectos técnicos e operacionais no desempenho do conjunto mecanizado no
plantio direto de feijão**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S327a
2026 Schettino, Carolina Freitas, 1999-
Aspectos técnicos e operacionais no desempenho do
conjunto mecanizado: no plantio direto de feijão / Carolina
Freitas Schettino. – Viçosa, MG, 2026.
1 dissertação eletrônica (41 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Agrícola, 2026.
Referências bibliográficas: f. 37-41.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2026.586>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Máquinas agrícolas. 2. Feijão - Cultivo.
3. Produtividade agrícola. I. Fernandes, Haroldo Carlos, 1959-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.
III. Título.

CDD 22. ed. 631.3

CAROLINA FREITAS SCHETTINO

**Aspectos técnicos e operacionais no desempenho do conjunto mecanizado no
plantio direto de feijão**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 13 de março de 2026.

Assentimento:

Carolina Freitas Schettino
Autora

Haroldo Carlos Fernandes
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 23/09/2026 às 15:40:10 e pelo orientador em 23/09/2026 às 16:35:03. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **KUB8.5GMF.SMKD** e clique no botão 'Validar documento'.

Dedico à minha avó, (in memoriam), que, com sua força, sua coragem e seu jeito de amar a vida, me ensinou muito sobre a resiliência, que viver é também resistir, amar e aproveitar intensamente.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Agradeço, primeiramente, a mim mesma. À minha força, à minha capacidade de resiliência e à coragem que precisei desenvolver ao longo dessa trajetória. Houve momentos de exaustão, dúvidas e desafios que pareceram maiores do que eu, mas nenhum deles foi suficiente para destruir os meus sonhos ou silenciar as minhas ambições. Cada obstáculo enfrentado me fortaleceu e me moldou, tornando esta conquista não apenas acadêmica, mas profundamente pessoal.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Ao meu orientador, Professor Doutor Haroldo Carlos Fernandes, expresso minha sincera gratidão por ter assumido a orientação deste trabalho e por conduzi-lo com excelência, paciência e comprometimento. Sua postura ética, humana e profissional fizeram toda a diferença neste processo.

À memória de minha avó Terezinha Bollis, que hoje não está mais fisicamente presente, mas permanece viva em meu coração. Sua força, seus ensinamentos e seu amor foram fundamentais em minha trajetória, pois foram pilares que me sustentaram nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais Stanley e Teresinha, e ao meu irmão Victor, por todo amor, incentivo e apoio ao longo da minha vida. Vocês foram base, força e referência em cada etapa da minha formação. Esta conquista também é fruto da educação, dos valores e da confiança que sempre depositaram em mim.

À minha família de Viçosa, que foi casa e acolhimento durante toda essa etapa. Estar próxima de vocês tornou essa caminhada mais leve.

À minha psicóloga e ao meu psiquiatra, pelo acompanhamento e suporte profissional fundamentais ao longo desta trajetória.

Aos amigos que fiz ao longo dessa trajetória, minha sincera gratidão. Vocês foram essenciais para tornar os dias mais leves, para compartilhar risadas em meio às pressões e para oferecer apoio nos momentos de cansaço.

Aos meus amigos que caminham comigo para além do mestrado, obrigada por permanecerem presentes, mesmo quando a rotina intensa me afastou.

*"Ain't about how fast I get there
Ain't about what's waiting on the other side
It's the climb.
(...)
Keep on moving
Keep climbing
Keep the faith"*

Miley Cyrus, *The Climb* (2009).

RESUMO

SCHETTINO, Carolina Freitas, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2026. **Aspectos técnicos e operacionais no desempenho do conjunto mecanizado no plantio direto de feijão.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

O sistema de plantio direto tem contribuído para o aumento da produtividade agrícola e para a sustentabilidade de alguns sistemas de produção, especialmente na cultura do feijoeiro, que representa uma importante fonte de proteína vegetal e possui grande relevância econômica e alimentar no Brasil. A eficiência do processo de semeadura está diretamente relacionada às regulagens do conjunto mecanizado trator–semeadora–adubadora, sendo que a correta configuração dos aspectos técnicos e operacionais pode influenciar o estabelecimento inicial das plantas e o potencial produtivo da cultura. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo identificar as principais variáveis operacionais relacionadas à regulação de máquinas agrícolas para o plantio direto de feijão, buscando definir diretrizes para a configuração de uma máquina agrícola com melhor desempenho produtivo. O estudo foi desenvolvido por meio de revisão bibliográfica sistematizada, analisando as variáveis velocidade de deslocamento, umidade do solo no momento da semeadura, tipo de mecanismo dosador de sementes e fertilizantes, tipo de disco de corte, profundidade de deposição das sementes e pressão das rodas compactadoras. Os resultados indicaram que velocidade de deslocamento em torno de 6 km h⁻¹ é a mais ideal para desempenho mecânico e qualidade de semeadura. A profundidade de semeadura em torno de 0,05 m favoreceu a emergência e produtividade do feijoeiro. A pressão das rodas compactadoras deve ser suficiente apenas para garantir o contato solo-semente, sem promover compactação excessiva. As considerações finais deste trabalho indicam que a combinação adequada das variáveis operacionais do conjunto mecanizado é fundamental para maximizar a eficiência da semeadura e o potencial produtivo do feijoeiro em sistema de plantio direto.

Palavras-chave: feijão; produtividade; regulação de máquinas

ABSTRACT

SCHETTINO, Carolina Freitas, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2026. **Technical and operational aspects in the performance of the mechanized set in no-till bean planting.** Adviser: Haroldo Carlos Fernandes.

No-tillage systems have contributed to increased agricultural productivity and the sustainability of certain production systems, particularly for common beans, a crop that serves as a vital source of plant-based protein and holds significant economic and nutritional importance in Brazil. Sowing efficiency is directly linked to the settings of the tractor-seeder-fertilizer unit; correct technical and operational configuration can influence initial plant establishment and the crop's yield potential. In this context, this study aimed to identify key operational variables related to adjusting agricultural machinery for no-till bean planting, seeking to establish guidelines for configuring equipment to achieve optimal productive performance. The study was conducted through a systematic literature review, analyzing variables such as travel speed, soil moisture at sowing, seed and fertilizer metering mechanisms, cutting disc type, seed placement depth, and press wheel pressure. Results indicated that a travel speed of approximately 6 km h⁻¹ is ideal for mechanical performance and sowing quality. A sowing depth of around 0.05 m favored bean emergence and yield. Press wheel pressure should be sufficient only to ensure soil-seed contact without causing excessive compaction. The study concludes that the proper combination of operational variables for the mechanized unit is essential to maximize sowing efficiency and the yield potential of common beans in no-tillage systems.

Keywords: beans; productivity; machine adjustment

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1. Cultura do feijão.....	12
2.2. Plantio direto.....	14
2.3. Conjunto mecanizado: semeadora-adubadora.....	15
2.4. Variáveis Operacionais.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1. Caracterização do estudo.....	17
3.2. Processo de seleção de estudos.....	17
3.3. Termos utilizados na busca bibliográfica.....	19
3.4. Bases de dados e busca estratégica.....	20
3.4.1. <i>Web of Science</i>	20
3.4.2. <i>Scopus</i>	22
3.4.3. <i>ScienceDirect</i>	24
3.4.4. <i>Google Scholar</i>	24
3.5. Critérios de inclusão e exclusão.....	25
3.6. Extração e organização dos dados.....	25
3.7. Análise e síntese das informações.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1. Velocidade de deslocamento.....	28
4.2. Umidade do solo no momento da semeadura.....	30
4.3. Tipo de mecanismo dosador de sementes e fertilizantes.....	30
4.4. Tipo de disco de corte.....	32
4.5. Profundidade de deposição de sementes.....	33
4.6. Pressão exercida pelas rodas compactadoras.....	34
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
6. REFERÊNCIAS.....	37

1. INTRODUÇÃO

O feijão-comum, classificado no gênero *Phaseolus*, é amplamente consumido mundialmente e reconhecido por ser uma relevante fonte de proteínas de origem vegetal (OLIVEIRA; WANDER, 2023). Desempenha um papel essencial no combate à fome e à desnutrição, consolidando-se como um alimento básico e culturalmente significativo na dieta brasileira (MARQUES; CORREA, 2025).

O cultivo do feijão-comum ocorre em todo o Brasil, ao longo do ano, em sistemas que variam desde consórcios, praticados por pequenos agricultores, até monoculturas irrigadas, conduzidas por grandes produtores (EMBRAPA, 2023). Na safra 2024/25, a produção total de grãos no Brasil é estimada em 330,3 milhões de toneladas, segundo a CONAB. Para o feijão, projeta-se um aumento de 2,1% na produção, totalizando 3,3 milhões de toneladas considerando as três safras. Esse crescimento é impulsionado pela melhora na produtividade média, que passa de 1.135 kg ha⁻¹ para 1.157 kg ha⁻¹, enquanto a área cultivada permanece estável em 2,86 milhões de hectares (CONAB, 2025).

A produção de feijão é influenciada por diversos fatores, incluindo riscos ambientais, políticas governamentais e a ocorrência de doenças, que se agravam especialmente em condições de altas temperaturas e excesso de umidade (COÊLHO, 2021). Um dos maiores desafios da agricultura moderna é alcançar máxima eficiência energética, garantindo a mesma produção com o uso mínimo de insumos agrícolas, pois a redução das operações mecanizadas e o uso racional desses insumos podem diminuir os custos e a poluição ambiental, sem comprometer a produtividade das culturas (MILAGRES, 2023).

Para o controle desses problemas, o sistema de plantio direto constitui uma alternativa para promover maior sustentabilidade dos sistemas agropecuários, uma vez que a manutenção da cobertura do solo e a redução do revolvimento e das operações de preparo contribuem para minimizar processos como erosão, perda de água e degradação da estrutura do solo. O plantio direto é um sistema de manejo conservacionista caracterizado pelo mínimo revolvimento do solo e pela manutenção de sua cobertura com plantas e resíduos vegetais, contribuindo para protegê-lo da erosão. Nesse sistema, a semeadura e a adubação podem ser realizadas simultaneamente por meio de semeadoras-adubadoras, enquanto a aplicação de

herbicidas é realizada conforme a necessidade e o manejo adotado na área. (EMBRAPA, 2021). A adoção do sistema de plantio direto tem impulsionado significativamente a produção de grãos, consolidando o Brasil como líder mundial na produção e exportação, com avanços tecnológicos que demonstram sua elevada capacidade produtiva e competitividade no mercado internacional (SENAR, 2022).

A cultura do feijão tem mostrado uma forte relação com o sistema de plantio direto (SPD), sendo amplamente estudada pelo seu potencial de aumentar a produtividade e tornar o cultivo mais sustentável. Por se tratar de um sistema que conserva o solo e mantém a cobertura vegetal, o SPD exige adaptações nas práticas agrícolas e no uso de equipamentos. O maquinário utilizado no sistema de plantio direto (SPD) deve ser adequado às condições específicas desse sistema, com um dimensionamento apropriado entre a capacidade operacional e a área cultivada, garantindo eficiência sem sobrecarregar equipamentos ou recursos humanos (PASSOS *et al.*, 2018). Por isso, é fundamental analisar fatores como a velocidade de trabalho, a profundidade de plantio e a pressão das rodas compactadoras, entre outros, que desempenham uma importância no sucesso produtivo da cultura.

Diversos estudos têm investigado o impacto de variáveis operacionais específicas no desempenho do feijão em sistema de plantio direto. Tavares (2023) avaliou a qualidade de semeadura de feijão-vagem com a utilização de diferentes discos dosadores (28 furos e 72 furos) em uma semeadora de precisão, que operou em três velocidades operacionais. Junior (2019) investigou os efeitos de três teores de água no solo e três profundidades de deposição do adubo na plantabilidade de uma semeadora-adubadora, em um sistema de plantio direto para a cultura do feijão.

Em outra abordagem, Milagres (2023) analisou a influência da velocidade operacional e da profundidade da fertilização no plantio direto do feijão, na demanda energética, produtividade e no seu custo de produção. Sob um enfoque semelhante, Rinaldi *et al.* (2009) avaliaram a influência de profundidades de deposição do adubo, 0,05 e 0,10 m, e as velocidades de deslocamento, do conjunto trator-semeadora-adubadora em relação ao estande final e aos componentes da colheita da cultura do feijão.

Modolo *et al.* (2010) estudaram os efeitos da combinação entre profundidades de semeadura e cargas aplicadas pela roda compactadora da semeadora-adubadora sobre o desenvolvimento da cultura do feijão, em sistema plantio direto. Sob outra perspectiva, Silva (2015) avaliou o desempenho de uma semeadora-adubadora, em

função do vácuo e velocidade do mecanismo dosador de sementes e da carga aplicada pela roda compactadora, na semeadura do feijão, em que foi utilizada uma semeadora de grãos graúdos, com mecanismo pneumático de dosagem de sementes, acoplada a um trator agrícola de pneus.

Os estudos já realizados, em sua maioria, analisaram de duas a três variáveis operacionais, em média, devido às limitações impostas pela especificidade das análises em campo. Essas restrições decorrem do tempo disponível para a execução da pesquisa, da demanda e disponibilidade de materiais, além da complexidade associada ao processamento e análise de um grande volume de dados estatísticos para cada tratamento.

Apesar dos avanços obtidos, ainda não há estudos que avaliem de maneira abrangente todos os parâmetros operacionais necessários para configurar máquinas de forma eficiente no plantio direto de feijão. Nesse contexto, torna-se fundamental identificar as principais variáveis que impactam a produtividade do feijoeiro no sistema de plantio direto, contribuindo para uma abordagem mais eficiente e direcionada nos estudos futuros.

Diante desse cenário, esta pesquisa tem como objetivo geral identificar os principais fatores e variáveis relacionados às regulagens do conjunto mecanizado, trator-semeadora-adubadora, no plantio direto de feijão, buscando compreender de que forma esses ajustes interferem na eficiência do sistema. Especificamente, o estudo pretende verificar quais regulagens do conjunto mecanizado (trator-semeadora-adubadora) e como elas podem influenciar o desempenho do cultivo e avaliar a possibilidade de determinar diretrizes para a regulagem do conjunto mecanizado (trator-semeadora-adubadora), visando a melhor implantação e desenvolvimento do cultivo de feijão, contribuindo para a melhoria da implantação da lavoura e para o desenvolvimento mais uniforme e produtivo da cultura do feijão.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Cultura do feijão

O mercado global de grãos, como feijão, ervilha, grão de bico e fava, tem crescido em função da maior valorização de seus benefícios nutricionais e do seu papel como fonte de proteínas, o que também estimula a expansão da produção de feijão seco (COELHO, 2021). O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é considerado a principal leguminosa destinada ao consumo humano direto, sendo valorizado por nutricionistas devido ao seu alto teor de proteínas e à presença de carboidratos, fibras e minerais, especialmente ferro e zinco (UEBERSAX *et al.*, 2022).

O feijão-comum consolidou-se como uma cultura estratégica para a agricultura brasileira, passando de uma planta tradicionalmente consorciada a uma importante fonte de renda para os produtores, em função do aumento da demanda urbana por alimentos e do desenvolvimento de técnicas produtivas e melhoramento genético que ampliaram sua capacidade produtiva (ASSUNÇÃO, 2024). Segundo a Embrapa (2023), o feijão constitui um alimento básico na dieta brasileira, com consumo médio anual de 12,7 kg por habitante, apresentando preferências regionais quanto ao tipo e à cor dos grãos, além de ser cultivado durante todo o ano em praticamente todos os estados, tanto em sistemas de subsistência quanto em cultivos tecnificados, com destaque produtivo para algumas regiões do Brasil, como Sul e Sudeste. Essa relevância econômica é reforçada pela diversidade regional da produção de feijão, que apresenta diferentes épocas de semeadura, sistemas de cultivo e níveis tecnológicos entre as regiões brasileiras (OLIVEIRA, 2023).

De acordo com a Conab (2025), a produção brasileira de feijão na safra 2024/25 é estimada em cerca de 3,1 milhões de toneladas, abrangendo feijão-comum cores, feijão-comum preto e caupi, cujas colheitas das duas primeiras safras já foram concluídas, enquanto a terceira safra, prevista em aproximadamente 662,9 mil toneladas, segue em andamento. Em continuidade às estimativas da safra anterior, o primeiro levantamento da safra 2025/26 da Conab (2025), projeta que a produção total de feijão no país, considerando as três safras, deve alcançar aproximadamente 3 milhões de toneladas, com redução de 7,5% na área da primeira safra em relação à temporada 2024/25, resultando em uma previsão de plantio de 840,4 mil hectares e expectativa de produção de 947 mil toneladas.

De acordo com informações disponibilizadas pela Embrapa 2023, existem diversas cultivares de feijão, cada uma adaptada a características específicas de grão, ciclo e resistência a doenças, atendendo a diferentes demandas agrônômicas e comerciais. Entre os principais tipos, destacam-se o feijão carioca, representado pela cultivar BRS FC409, conhecida pelo alto valor nutricional e qualidade comercial, com concentração superior de ferro, zinco e proteína, sendo classificada como alimento biofortificado; o feijão preto, exemplificado pela BRS FP403, que apresenta elevado potencial produtivo e tolerância à *Fusarium oxysporum*, sendo adequado para a terceira safra; o feijão vermelho escuro grande, como a BRS Embaixador, que apresenta uniformidade de coloração e porte ereto, e o feijão manteigão, representado pela cultivar Jalo Precoce, caracterizado por grãos graúdos e uniformes, ciclo precoce e porte semiereto, permitindo colheita mecanizada.

Compreender os tipos de feijão cultivados é fundamental para avaliar seu desenvolvimento, uma vez que a fenologia da planta influencia diretamente o manejo da lavoura e a produtividade. O ciclo de desenvolvimento do feijoeiro é dividido em fases vegetativa e reprodutiva, compreendendo estádios que vão desde a germinação até a maturação das vagens, incluindo emergência, formação das folhas, floração e enchimento das sementes, sendo que a duração de cada estágio pode variar de acordo com o tipo de cultivar, especialmente em função do hábito de crescimento, o que impacta diretamente a velocidade de desenvolvimento das folhas, flores e vagens (EMBRAPA, 2023).

O estudo de Souza *et al.* (2020) demonstrou que déficits hídricos acumulados durante a fase reprodutiva do feijoeiro podem causar perdas significativas na produtividade, superiores a 30%, evidenciando que o planejamento do período de semeadura e o manejo adequado da água são determinantes para minimizar essas perdas, especialmente em regiões com maior variabilidade climática. De forma complementar, Tatagiba *et al.* (2024) observaram que a restrição hídrica comprometeu o crescimento vegetativo e a produtividade do feijoeiro, ressaltando que o monitoramento e controle adequados da água no solo constituem estratégias essenciais de manejo para otimizar o desenvolvimento das plantas e maximizar a produção.

2.2. Plantio direto

O Sistema Plantio Direto (SPD) é reconhecido como a prática mais conservacionista para o manejo do solo em atividades agropecuárias, visando à maximização da rentabilidade agrícola por meio da plena expressão do potencial genético das culturas, das características edáficas e das condições ambientais (EMBRAPA, 2023). De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o SPD fundamenta-se em princípios como a redução ou eliminação do revolvimento do solo, a movimentação de solo apenas na linha de semeadura, a cobertura permanente do solo com resíduos vegetais ou plantas vivas, a diversificação de culturas por meio de rotação, sucessão ou consorciação, a adição de palhada de forma compatível com a demanda biológica do solo, a implementação do processo colher-semear, o uso preciso de insumos e o controle do tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas.

Além disso, segundo a EMBRAPA (2021), o sucesso do Sistema Plantio Direto depende de uma série de requisitos essenciais, incluindo a qualificação do agricultor e o treinamento da mão de obra, a drenagem adequada de solos úmidos, a eliminação de camadas compactadas antes da implantação, o nivelamento do terreno, a correção e nivelamento da fertilidade do solo, a cobertura permanente do solo com restos culturais, a não queima da matéria orgânica, o uso de equipamentos para distribuição uniforme da palha e o controle eficaz de plantas daninhas, incluindo espécies perenes e agressivas. Complementando essas informações, Oliveira *et al.* (2024) destacam que sistemas de cultivo conservacionistas, como o plantio direto, aumentam a retenção de água do solo, favorecendo a disponibilidade hídrica para as plantas. Contudo, sistemas sem revolvimento do solo podem apresentar maior densidade e menor porosidade média, evidenciando a necessidade de equilibrar os benefícios do SPD para o crescimento radicular e a conservação hídrica com possíveis limitações à biota do solo.

Costa (2024) demonstrou que o Sistema Plantio Direto, quando aplicado à região semiárida, pode aumentar o teor de água no solo devido à cobertura proporcionada pelos resíduos culturais, contribuindo para a conservação hídrica e para a sustentabilidade agrícola. Entretanto, a implementação desse sistema no semiárido apresenta desafios relacionados principalmente à manutenção de quantidade suficiente de resíduos vegetais sobre a superfície do solo, devido às

condições de baixa disponibilidade hídrica e às características climáticas da região. Em 2022, de acordo com o Governo de Minas Gerais, o Sistema Plantio Direto completou 50 anos no Brasil, consolidando-se como uma prática que alia produtividade e sustentabilidade na agricultura. Estima-se que aproximadamente 33 milhões de hectares de áreas de produção de cereais no país utilizem o SPD, evidenciando sua ampla adoção e importância estratégica para a conservação do solo, eficiência hídrica e aumento da produtividade agrícola.

2.3. Conjunto mecanizado: semeadora-adubadora

Segundo o SENAR (2017), a semeadora-adubadora é composta por um conjunto estrutural que integra mecanismos responsáveis pelo corte da palhada, abertura do sulco, dosagem de sementes e fertilizantes, controle de profundidade e compactação do solo, permitindo realizar a semeadura e a adubação de forma eficiente e contínua. O principal objetivo da operação de semeadura é garantir a adequada implantação da cultura, assegurando condições que permitam expressar o máximo potencial produtivo da lavoura (TAVARES, 2023).

As semeadoras-adubadoras, segundo a Embrapa (1985), devem apresentar versatilidade para diferentes culturas e espaçamentos, além de mecanismos dosadores capazes de garantir regulação precisa, deposição uniforme e mínima danificação das sementes, mantendo autonomia e durabilidade para reduzir perdas no plantio. Complementarmente, a Embrapa (2025) destaca que a eficiência desse conjunto mecanizado depende da regulação adequada dos componentes responsáveis pela abertura do sulco e pela distribuição de sementes e fertilizantes, assegurando profundidades compatíveis com cada tipo de solo.

Além disso, o plantio direto requer equipamentos capazes de atuar eficientemente em solo não mobilizado. Como destacado por Anjos *et al.* (2002), a operação de semeadura nesse sistema, depende de máquinas aptas a abrir o sulco e distribuir as sementes em terreno sem preparo prévio, garantindo o posicionamento adequado mesmo na presença de palhada.

2.4. Variáveis Operacionais

O máximo potencial produtivo das culturas depende de uma semeadora-adubadora corretamente regulada, capaz de distribuir sementes e fertilizantes na quantidade, posição e profundidade adequadas, mantendo a integridade física das sementes e operando de forma estável mesmo diante de variações de velocidade de deslocamento, microrelevo e declividade do terreno (MAHL, 2006). No sistema de plantio direto, essas regulagens assumem papel ainda mais relevante, em função da presença de resíduos vegetais na superfície do solo e da maior variabilidade das condições operacionais.

As variáveis operacionais consideradas neste estudo foram selecionadas com base na recorrência com que são abordadas na literatura científica e na sua reconhecida influência sobre o desempenho do conjunto mecanizado e o estabelecimento inicial da cultura. Entre essas variáveis, destacam-se a velocidade de deslocamento, a umidade do solo no momento da semeadura, o tipo de mecanismo dosador de sementes e fertilizantes, o tipo de disco de corte, a profundidade de deposição das sementes e a pressão exercida pelas rodas compactadoras.

As variáveis atuam de forma interdependente, sendo que alterações em uma delas podem influenciar direta ou indiretamente o comportamento das demais. A literatura demonstra que a inadequação dessas regulagens pode comprometer a uniformidade de distribuição de sementes, a profundidade de semeadura, o contato semente-solo e, conseqüentemente, a emergência e o desenvolvimento inicial das plantas, refletindo negativamente na produtividade da cultura (MODOLO *et al.*, 2010; MAHL, 2006).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização do estudo

O presente trabalho consistiu em uma revisão bibliográfica sistematizada, de caráter qualitativo e descritivo, com o objetivo de identificar, organizar e analisar as principais variáveis operacionais relacionadas às regulagens do conjunto mecanizado trator–semeadora–adubadora e sua influência no desempenho operacional e na produtividade do feijoeiro em sistema de plantio direto. Esse tipo de abordagem é amplamente utilizado para sintetizar o conhecimento científico disponível, permitindo a identificação de tendências, lacunas e convergências na literatura (TRANFIELD *et al.*, 2003; KITCHENHAM, 2004).

3.2. Processo de seleção dos estudos

O processo de seleção dos estudos (Figura 1) ocorreu em etapas sequenciais, iniciando-se pela leitura dos títulos e resumos, seguida da leitura integral dos trabalhos potencialmente elegíveis. Apenas os estudos que atenderam aos critérios de inclusão foram considerados para a análise final. Esse processo seguiu as diretrizes do protocolo PRISMA, garantindo transparência e reprodutibilidade na seleção dos trabalhos (MOHER *et al.*, 2009; PAGE *et al.*, 2021).

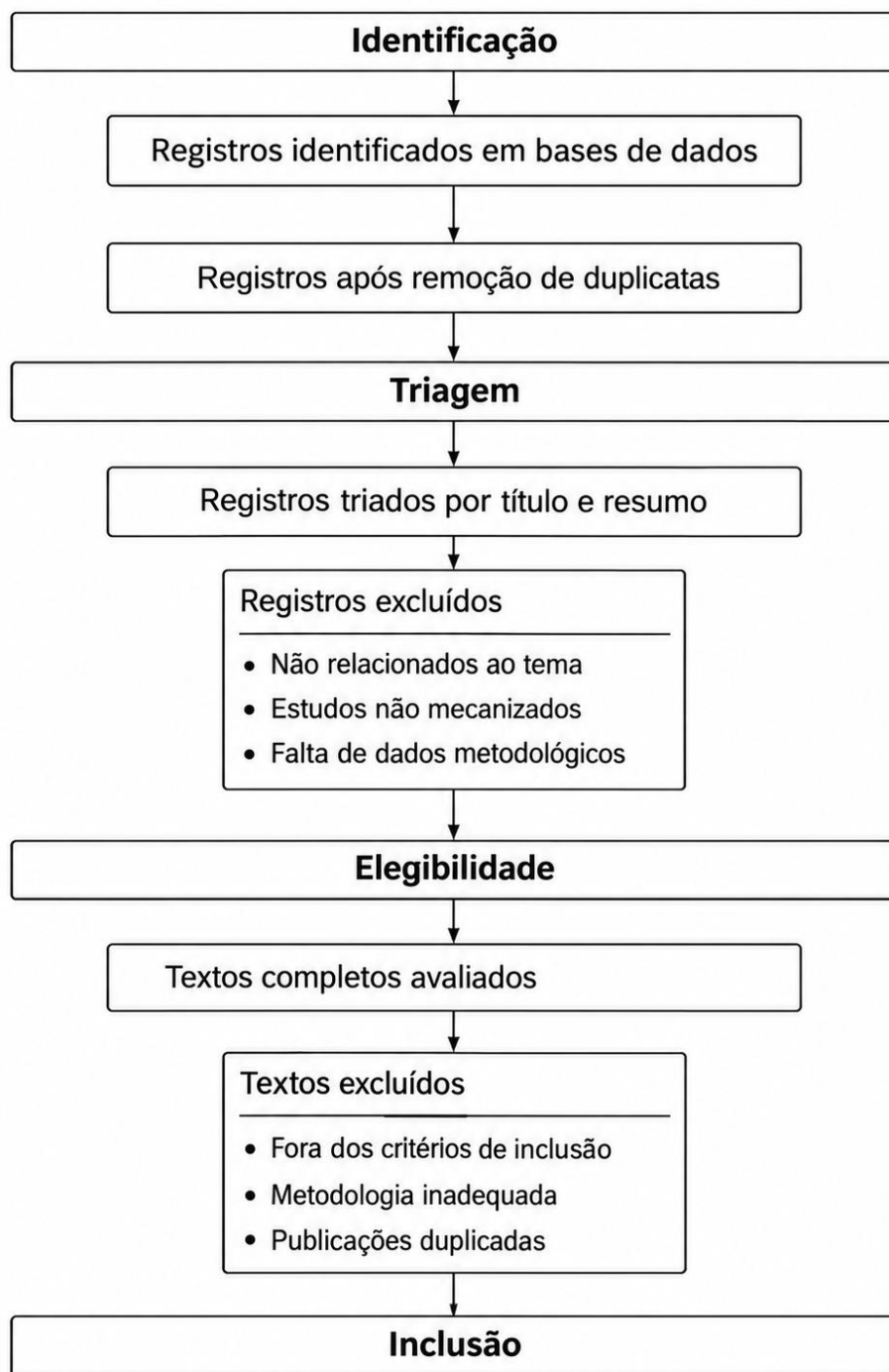


Figura 1. Fluxograma do processo de seleção dos estudos, adaptado do protocolo PRISMA, adaptado de Page *et al.* (2021).

3.3. Termos utilizados na busca bibliográfica

A definição dos termos utilizados na busca bibliográfica foi realizada com base em palavras recorrentes na literatura científica relacionadas ao sistema de plantio direto, à cultura do feijão e às regulagens do conjunto mecanizado. A seleção desses termos considerou estudos clássicos e recentes da área de mecanização agrícola, buscando contemplar diferentes formas de nomenclatura empregadas pelos autores (MAHL, 2006; MODOLO *et al.*, 2010).

Para ampliar o alcance da busca nas bases de dados, foram utilizadas combinações entre os termos relacionados ao sistema de cultivo, à cultura estudada e às variáveis operacionais do conjunto mecanizado. As buscas contemplaram expressões como: (“direct planting” OR “no-tillage”) AND (“beans” OR “*Phaseolus vulgaris*”) AND (“tractor”) AND (“seeder”) AND (“productivity” OR “performance” OR “efficiency”).

Inicialmente, as combinações dos descritores envolveram múltiplas variáveis operacionais associadas ao conjunto mecanizado citadas anteriormente; entretanto, observou-se que tal estratégia resultava na recuperação de um número excessivamente elevado de publicações, muitas delas com abordagem genérica e pouco alinhadas ao escopo específico da pesquisa. Diante disso, optou-se por refinar a estratégia de busca, priorizando como termos centrais (“beans” OR “*Phaseolus vulgaris*”) e “direct planting” OR “no-tillage” e “seeder”, os quais passaram a compor a base fixa das combinações. A partir desses três descritores principais, foram realizadas variações individuais com as variáveis operacionais de interesse, permitindo maior direcionamento temático e precisão na seleção dos estudos relevantes.

Destaca-se que, em função das diferenças estruturais entre as bases de dados, nem todas permitiram a aplicação integral das combinações de descritores inicialmente propostas. Assim, foram realizadas adaptações nas estratégias de busca, priorizando os termos centrais da pesquisa. Além disso, quando determinadas combinações não resultaram na recuperação de estudos, optou-se por ajustes nos descritores, visando aumentar a abrangência da busca e garantir a identificação de publicações relevantes com o tema da pesquisa.

3.4. Bases de dados e busca estratégica

A busca bibliográfica foi realizada nas bases de dados *Google Scholar*, *Scopus*, *Web of Science* e *ScienceDirect*, selecionadas por sua ampla cobertura de periódicos científicos nacionais e internacionais, bem como pela relevância nas áreas de Ciências Agrárias, Engenharia Agrícola e Mecanização Agrícola (FALAGAS *et al.*, 2008). Não foi estabelecido recorte temporal, de modo a abranger tanto estudos clássicos quanto publicações recentes, permitindo uma análise mais abrangente da evolução do conhecimento científico relacionado ao tema. Foram aceitos trabalhos publicados em todos os idiomas, desde que apresentassem aderência aos objetivos da pesquisa.

3.4.1 Web of Science

No levantamento bibliográfico, a plataforma *Web of Science* resultou na identificação de 32.473 trabalhos científicos relacionados ao tema, como é apresentado na Figura 2, de acordo com as combinações de palavras-chave relacionadas com a pesquisa.

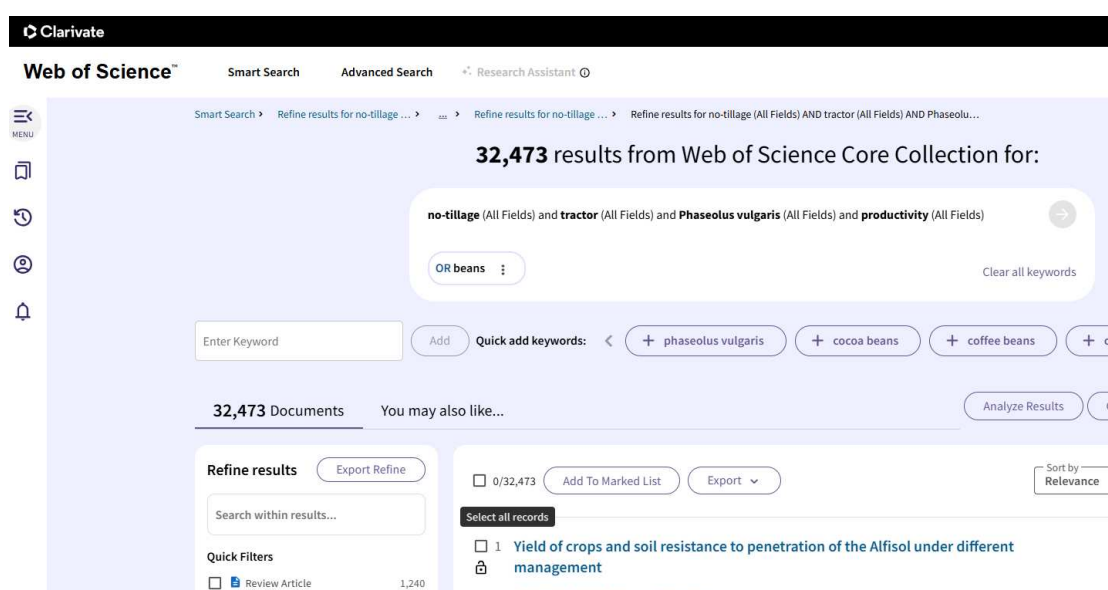


Figura 2. Busca realizada na base de dados *Web of Science*.

A própria plataforma disponibiliza relatórios contendo o número total de publicações relacionadas aos termos pesquisados. A partir dessas informações, foi possível gerar gráficos referentes ao número de publicações por ano e por país. De acordo com a Figura 3, observa-se a distribuição do número de publicações ao longo dos anos, compreendendo o período de 2002 a 2026, permitindo visualizar a evolução temporal das pesquisas relacionadas ao tema.

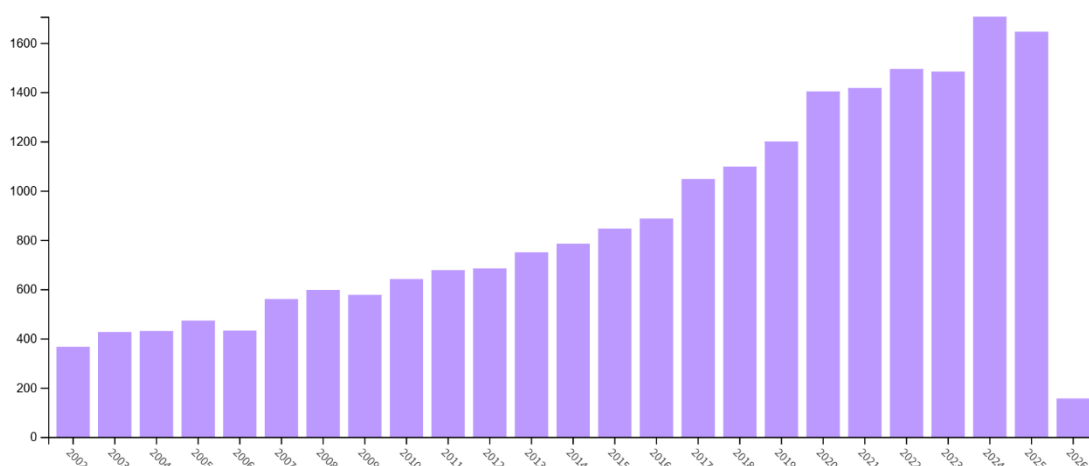


Figura 3. Estudos publicados na *Web of Science* por ano (2002-2026).

A Figura 4 ilustra a distribuição dos 15 países com maior representatividade em número de publicações científicas relacionadas aos descritores definidos na estratégia de busca.

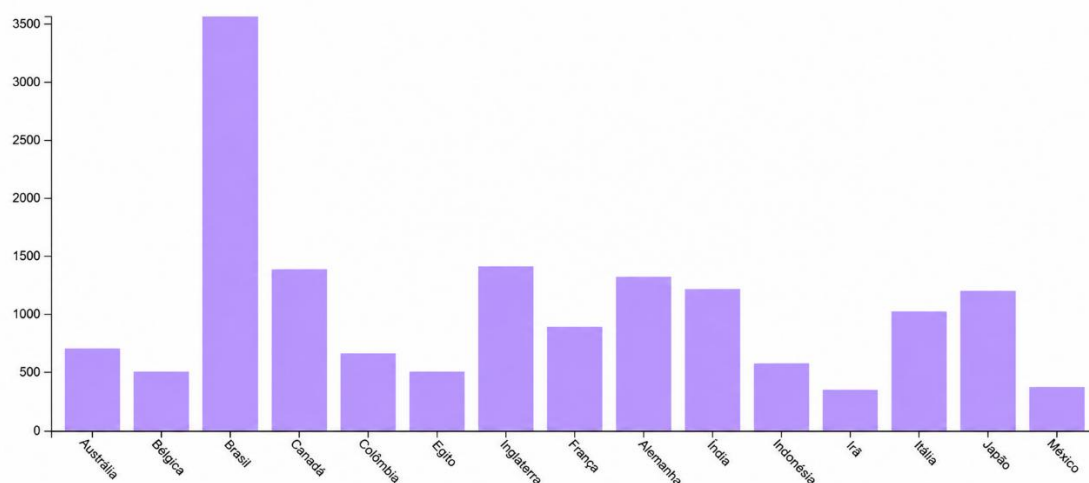


Figura 4. Estudos publicados na *Web of Science* por país/região.

3.4.2 Scopus

A aplicação da estratégia de busca, na base de dados do *Scopus*, por meio da combinação dos descritores definidos para o estudo, resultou na recuperação de 251 publicações científicas relacionadas ao tema, conforme apresentado na Figura 5.

Advanced query ☒

(TITLE-ABS-KEY (no tillage) AND TITLE-ABS-KEY (beans) AND TITLE-ABS-KEY (Phaseolus vul...) [Show more](#)

[Edit in advanced search](#)

[Documents](#) [Preprints](#) [Secondary documents](#)

251 documents found [Analyze results](#)

☐ All [Export](#) [Download](#) [Citation overview](#) [More](#) [Show all abstracts](#) Sort by [Date \(newest\)](#) [Grid](#) [List](#)

	Document title	Authors	Source	Year	Citations
☐ 1	Article • Open access IMPROVED MAIZE YIELD AND PROFITABILITY IN THE HUMID TROPICS THROUGH PERMANENT BEDS, CROP RESIDUES, AND BEAN ROTATION MEJOR RENDIMIENTO Y RENTABILIDAD DE MAÍZ EN EL TRÓPICO HÚMEDO MEDIANTE CAMAS PERMANENTES, RESIDUOS DE CULTIVOS Y ROTACIÓN CON FRIJOLES	Guerra, O.G.M., Villa-Alcántara, J., Núñez-Peñaloza, O., Verhulst, N., Fonteyne, S.	Tropical and Subtropical Agroecosystems , 28(2), 060	2025	0

[Show abstract](#) [Capes-BR](#) [View at Publisher](#) [Related documents](#)

Figura 5. Busca realizada na base de dados Scopus.

Além disso, a plataforma também permite a visualização de relatórios estatísticos referentes aos resultados obtidos na busca. Com base nesses dados, foram elaborados gráficos relacionados à distribuição das publicações ao longo do tempo e à origem geográfica dos estudos. Na Figura 6 é apresentada a distribuição temporal das publicações, considerando o período de 1986 a 2026.

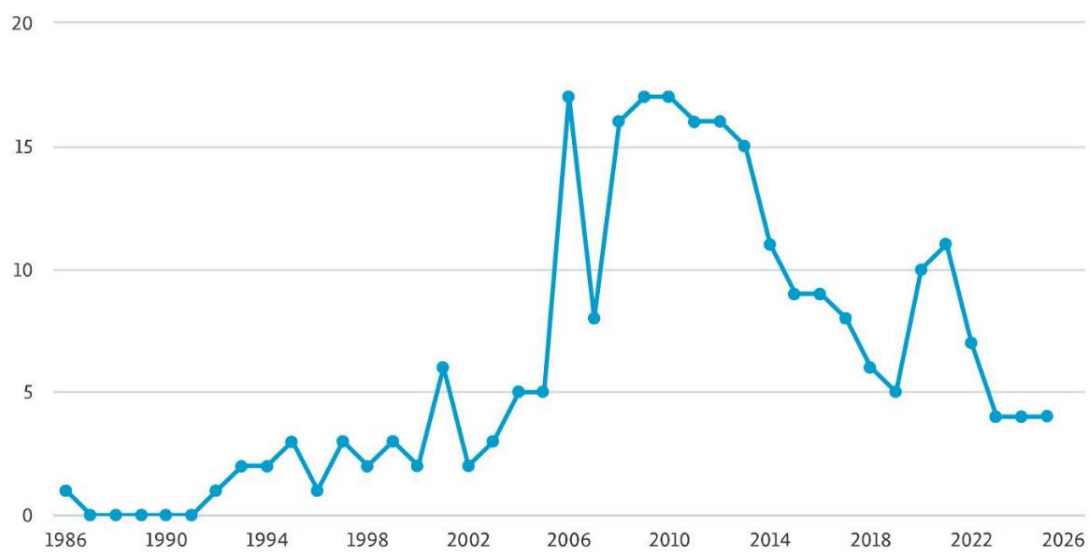


Figura 6. Estudos publicados no *Scopus* por ano (1986-2026).

A Figura 7 apresenta os 10 países com maior número de publicações científicas identificadas na base de dados.

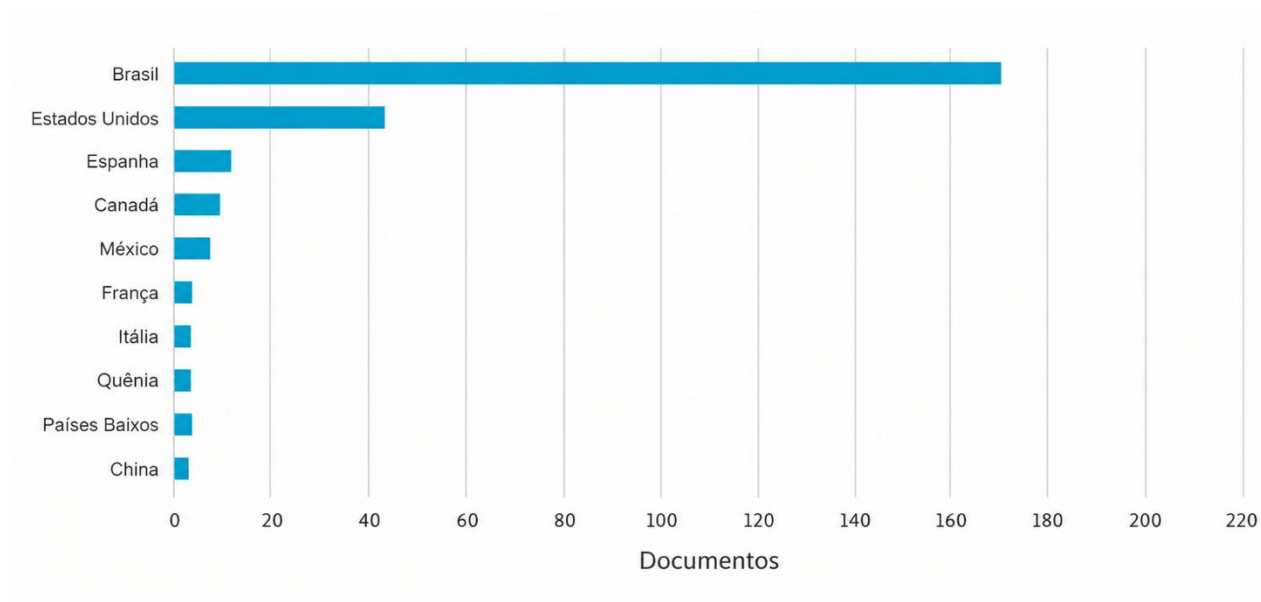


Figura 7. Estudos publicados na *Scopus* por país/região.

3.4.3. ScienceDirect

A base ScienceDirect foi utilizada como fonte complementar no levantamento bibliográfico, principalmente devido à disponibilidade de artigos científicos completos em periódicos internacionais relevantes para a área do estudo. A aplicação da estratégia de busca resultou na identificação de 594 publicações relacionadas ao tema, conforme apresentado na Figura 8.

Destaca-se que, devido à ausência de ferramentas automáticas de análise estatística na plataforma e ao elevado número de trabalhos identificados, não foi realizada a elaboração manual de gráficos de distribuição temporal ou geográfica das publicações, sendo os resultados utilizados diretamente na etapa de seleção dos estudos.

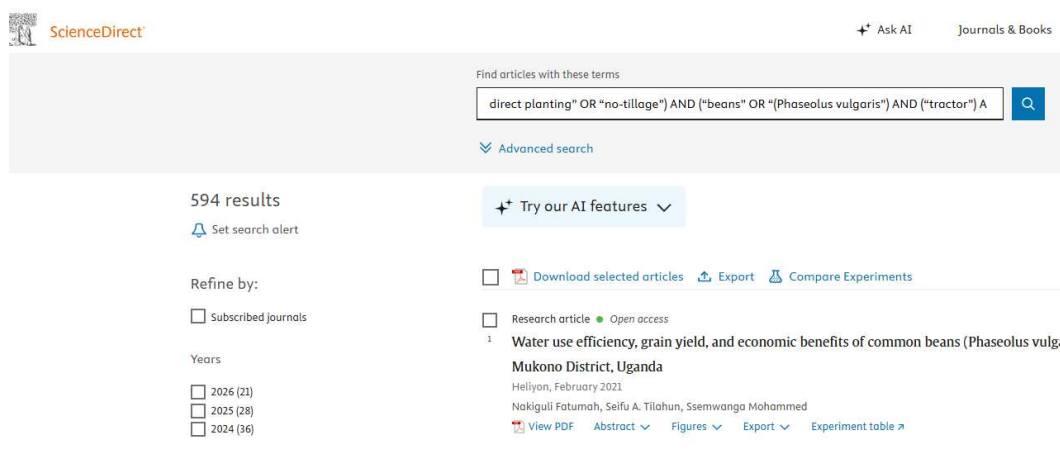


Figura 8. Busca realizada na base de dados Scopus.

3.4.4. Google Scholar

Por fim, o *Google Scholar* foi empregado como ferramenta complementar de busca, permitindo ampliar o acesso a diferentes tipos de publicações científicas, incluindo literatura acadêmica não indexada em bases tradicionais. A busca realizada resultou na identificação de aproximadamente 874 trabalhos relacionados ao tema, conforme apresentado na Figura 9. Essa plataforma também não disponibiliza ferramentas automáticas para geração desses gráficos e, devido ao elevado volume

de resultados, optou-se por não realizar essa análise de forma manual, priorizando a seleção dos estudos diretamente relacionados aos objetivos da pesquisa.

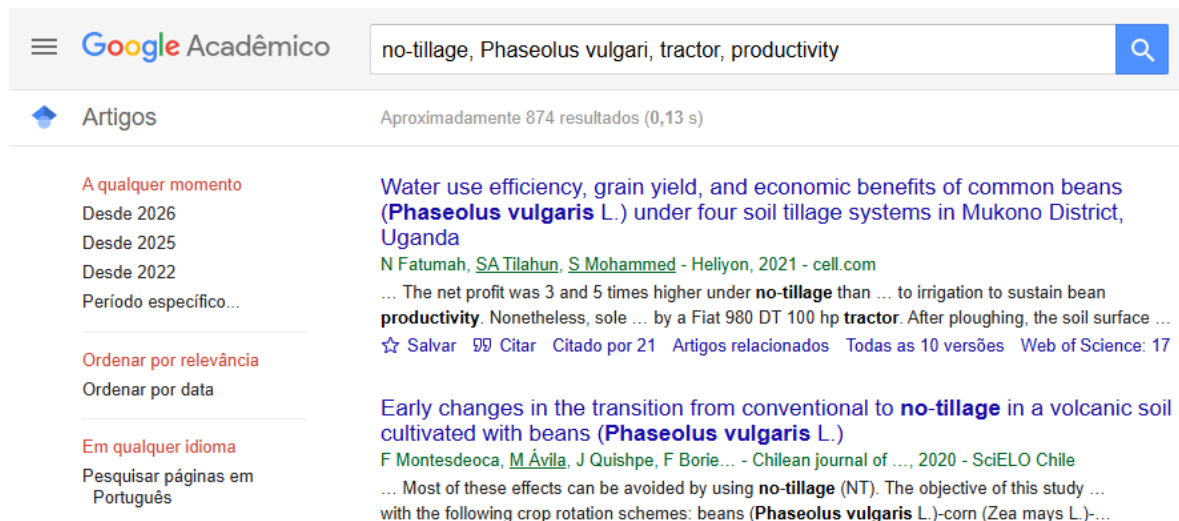


Figura 9. Busca realizada na base de dados *Google Scholar*.

3.5. Critérios de inclusão e exclusão

Os critérios de inclusão e exclusão dos estudos foram definidos previamente, visando garantir consistência metodológica e alinhamento com os objetivos da pesquisa, conforme recomendado pelo protocolo PRISMA (MOHER *et al.*, 2009).

Foram incluídos artigos científicos, dissertações, teses, trabalhos de conclusão de curso e publicações técnicas que abordassem variáveis operacionais relacionadas às regulagens do conjunto trator–semeadora–adubadora no plantio direto de feijão. Foram excluídos estudos que não apresentassem relação direta com o tema ou que não descrevessem adequadamente os procedimentos metodológicos adotados.

3.6. Extração e organização dos dados

Os dados extraídos dos estudos selecionados foram organizados de forma sistemática, contemplando informações como autores, ano de publicação, tipo de equipamento, sistema de plantio, variáveis operacionais avaliadas e principais resultados. A organização dessas informações possibilitou uma análise qualitativa

detalhada, conforme recomendado para estudos de síntese científica em áreas aplicadas (KITCHENHAM, 2004; TRANFIELD *et al.*, 2003).

As principais variáveis analisadas incluíram velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, umidade do solo, mecanismos dosadores de sementes e adubo, profundidade de deposição e pressão exercida pelas rodas compactadoras, conforme descrito em estudos clássicos da área (MAHL, 2006; MILAGRES, 2023).

3.7. Análise e síntese das informações

A análise dos dados foi conduzida por meio de análise qualitativa e estatística descritiva, permitindo integrar os resultados apresentados nos diferentes estudos e discutir os efeitos das variáveis operacionais sobre o desempenho do conjunto mecanizado e a produtividade do feijoeiro em sistema de plantio direto. Essa abordagem é amplamente adotada em estudos de mecanização agrícola para comparação de resultados experimentais e técnicos (MARTINEZ *et al.*, 2019; MORAES *et al.*, 2023).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos selecionados foram analisados e organizados com base nas seis variáveis previamente definidas na metodologia: velocidade de deslocamento, umidade do solo no momento da semeadura, tipo de mecanismo dosador de sementes e fertilizantes, tipo de disco de corte, profundidade de deposição das sementes e pressão exercida pelas rodas compactadoras. Essa estruturação permitiu sistematizar a literatura de forma direcionada, assegurando coerência entre os objetivos propostos e a análise dos resultados encontrados.

No total, foram incluídos 13 (treze) estudos, os quais foram distribuídos conforme a variável principal investigada em cada pesquisa. Para cada variável, apresentam-se o número de publicações identificadas, as principais condições experimentais avaliadas e os efeitos observados sobre indicadores de desempenho operacional do conjunto mecanizado e sobre a produtividade do feijoeiro em sistema de plantio direto. A discussão foi desenvolvida de maneira comparativa, buscando identificar tendências predominantes nos resultados e, com base na consistência e frequência das respostas observadas, propor a combinação de variáveis que represente o desempenho operacional mais adequado para o sistema de plantio direto do feijoeiro.

A organização por variáveis possibilita compreender, de forma integrada, como fatores mecânicos e condições edafoclimáticas interagem no momento da semeadura, influenciando o estabelecimento inicial da cultura e, consequentemente, seu potencial produtivo.

4.1. Velocidade de deslocamento

A velocidade de deslocamento da semeadora constitui uma das variáveis operacionais de maior influência sobre o desempenho do conjunto mecanizado e o estabelecimento inicial do feijoeiro em sistema de plantio direto. Nos estudos selecionados nesta revisão (Tabela 1), essa variável foi amplamente investigada, sendo identificados quatro estudos que avaliaram diferentes faixas de velocidade durante a operação de semeadura.

Tabela 1. Relação dos estudos selecionados na revisão e as respectivas velocidades de semeadura testadas e indicadas como de melhor desempenho para o feijoeiro.

Autores/ano	Velocidades testadas	Velocidade de melhor desempenho
Rinaldi, P. C. N. <i>et al.</i> (2009)	3, 6, 9 e 11 km h ⁻¹	3 km h ⁻¹
Ritter, A. F. S. <i>et al.</i> (2017)	-	entre 6 e 8 km h ⁻¹
Tavares (2023)	3,6, 5,9 e 8,5 km h ⁻¹	entre 3,6 km h ⁻¹ e 5,9 km h ⁻¹
Junior <i>et al.</i> (2017)	3, 8 e 14 km h ⁻¹	8 km h ⁻¹

O estudo de Rinaldi *et al.* (2009) avaliou o estabelecimento inicial do feijoeiro em sistema de plantio direto, em delineamento em blocos ao acaso, com esquema fatorial 4 × 2, combinando quatro velocidades de deslocamento (3, 6, 9 e 11 km h⁻¹) e duas profundidades de deposição do adubo. Os resultados indicaram que as velocidades de 3 e 6 km h⁻¹ apresentaram maior percentual de espaçamentos aceitáveis e menor ocorrência de falhas, sendo a velocidade de 3 km h⁻¹ aquela que proporcionou o melhor desempenho geral quanto à uniformidade de deposição das sementes.

Já o estudo de Riiter *et al.* (2017) analisou a influência da velocidade de semeadura sobre a uniformidade de plantio, considerando diferentes tipos de semeadoras. Os autores observaram que, independentemente do mecanismo utilizado, a velocidade de deslocamento interfere diretamente na uniformidade de distribuição das sementes, sendo o efeito mais acentuado na semeadora a disco a partir de 6 km h⁻¹. Destaca-se que os fabricantes estabelecem limites operacionais visando garantir o melhor desempenho das funções da máquina, recomendando, para a cultura do feijão, velocidades entre 6 e 8 km h⁻¹.

Tavares (2023) verificou a qualidade de semeadura do feijão-vagem em três velocidades operacionais (3,6; 5,9 e 8,5 km h⁻¹). Os resultados indicaram que o aumento da velocidade de deslocamento comprometeu a uniformidade de distribuição das sementes, sendo a velocidade de 8,5 km h⁻¹ aquela que apresentou maior ocorrência de espaçamentos falhos e menor uniformidade. De modo geral, as menores velocidades apresentaram melhor qualidade de deposição, enquanto o incremento da velocidade resultou em maior irregularidade na distribuição das sementes.

Júnior *et al.* (2017) avaliaram três velocidades de operação (3, 8 e 14 km h⁻¹) no desempenho do conjunto trator-semeadora na cultura do feijão. Os resultados indicaram que a menor patinação do trator ocorreu na velocidade de 3 km h⁻¹, enquanto os menores valores de consumo horário e operacional de combustível foram observados a 8 km h⁻¹. Considerando o conjunto das variáveis operacionais analisadas, os autores concluíram que a velocidade de 8 km h⁻¹ apresentou o melhor desempenho nas condições estudadas.

Os resultados evidenciam que a velocidade de deslocamento representa um fator de ajuste operacional que envolve o equilíbrio entre eficiência mecânica e qualidade agrônômica do plantio. Observa-se que a redução da velocidade tende a favorecer a interação entre os mecanismos da semeadora e o solo, permitindo maior precisão na deposição das sementes e melhor uniformidade de emergência, como demonstrado por Rinaldi *et al.* (2009) e Tavares (2023). Por outro lado, velocidades muito baixas podem reduzir a eficiência operacional do conjunto mecanizado, aumentando o tempo de execução das atividades e elevando custos operacionais, conforme discutido por Júnior *et al.* (2017). Nesse sentido, as faixas intermediárias de velocidade apresentam melhor equilíbrio entre desempenho mecânico e qualidade de semeadura, uma vez que permitem adequada atuação dos mecanismos dosadores sem comprometer a estabilidade do processo de distribuição das sementes, conforme também observado por Riiter *et al.* (2017). Assim, os resultados sugerem que o ajuste da velocidade deve considerar simultaneamente aspectos agrônômicos e operacionais, buscando maximizar a eficiência do sistema produtivo sem prejudicar o estabelecimento inicial da cultura.

4.2. Umidade do solo no momento da semeadura

A umidade do solo é um fator importante para o bom desempenho da semeadura e para o estabelecimento inicial do feijoeiro em sistema de plantio direto. Estudos demonstram que a permanência da umidade do solo fora da faixa ideal compromete o desenvolvimento radicular e a produtividade do feijoeiro (Collares *et al.*, 2006), evidenciando a importância das condições hídricas no momento da semeadura.

Junior *et al.* (2011), avaliaram a influência de diferentes teores de água do solo no momento da semeadura sobre o estabelecimento inicial do feijoeiro em sistema de plantio direto. Os resultados indicaram que o teor de água do solo influenciou significativamente o índice de velocidade de emergência (IVE), sendo observado que o aumento da umidade reduziu esse índice.

O estudo de Junior *et al.* (2019) analisou os efeitos de diferentes teores de água do solo (28,7; 36,4 e 47,6%) na plantabilidade de uma semeadora-adubadora em sistema de plantio direto para a cultura do feijão. Os resultados indicaram que o teor de água do solo influenciou a profundidade de deposição das sementes, apresentando efeito linear e negativo, ou seja, o aumento da umidade reduziu a profundidade efetiva de deposição.

Os estudos analisados demonstram comportamento semelhante quanto à influência da umidade do solo sobre o processo de semeadura e o estabelecimento inicial do feijoeiro. De maneira geral, os resultados indicam que o excesso de umidade tende a prejudicar tanto os processos biológicos quanto a eficiência mecânica da semeadura, enquanto condições intermediárias de umidade favorecem o adequado posicionamento das sementes e o estabelecimento inicial da cultura.

4.3. Tipo de mecanismo dosador de sementes e fertilizantes

O tipo de mecanismo dosador de sementes e fertilizantes constitui uma das principais variáveis relacionadas à regulação da semeadora-adubadora, influenciando diretamente a uniformidade de distribuição, a profundidade de deposição e o estabelecimento inicial da cultura. Neto *et al.* (2001) analisaram o desempenho do mecanismo dosador tipo disco perfurado horizontal na distribuição de

sementes de feijão, considerando diferentes classificações dimensionais e velocidades de avanço. Verificou-se que o índice de enchimento do disco foi influenciado pela interação entre velocidade e tamanho das sementes, sendo observado melhor comportamento para sementes classificadas como grandes, que apresentaram valores próximos ao ideal independentemente da velocidade. Para sementes médias, pequenas e não classificadas, constatou-se tendência de redução do índice de enchimento com o aumento da velocidade, indicando limitações relacionadas ao dimensionamento do disco e à heterogeneidade do lote. Os autores destacam a necessidade de maior adequação entre as dimensões dos orifícios do disco e o tamanho das sementes, a fim de melhorar a eficiência do mecanismo dosador.

Reynaldo *et al.* (2017) compararam o desempenho de duas semeadoras-adubadoras para a cultura do feijão, uma equipada com mecanismo dosador pneumático e outra com mecanismo mecânico tipo disco perfurado horizontal. Verificou-se que o sistema pneumático apresentou maior percentual de espaçamentos aceitáveis (66,57%) em comparação ao sistema mecânico (49,83%), além de menor variação na profundidade de deposição das sementes. Não foram observadas diferenças estatísticas na produtividade da cultura entre os mecanismos avaliados, embora a semeadora pneumática tenha apresentado valor numericamente superior.

Tavares (2023) investigou a qualidade de semeadura do feijão-vagem utilizando discos dosadores com 28 e 72 furos operando em diferentes velocidades. Observou-se que a operação a $5,9 \text{ km h}^{-1}$ com disco de 28 furos e a $8,5 \text{ km h}^{-1}$ com disco de 72 furos resultaram em maior emergência das plântulas. O aumento da velocidade operacional elevou a ocorrência de espaçamentos falhos e reduziu a uniformidade de distribuição, sendo a velocidade de $8,5 \text{ km h}^{-1}$ a que apresentou maior irregularidade. O disco com 72 furos proporcionou melhor distribuição longitudinal das sementes, com maior percentual de espaçamentos aceitáveis e menor variabilidade do processo.

Os estudos indicam que o desempenho dos mecanismos dosadores está diretamente relacionado à uniformidade de distribuição das sementes e às condições operacionais de trabalho. De forma geral, observa-se tendência de melhor precisão de semeadura em sistemas com maior controle na liberação das sementes, como os mecanismos pneumáticos, que apresentaram menor variabilidade na deposição e maior percentual de espaçamentos aceitáveis em comparação aos sistemas

mecânicos com discos perfurados. Além disso, a eficiência do processo está associada à adequada relação entre o dimensionamento dos orifícios dos discos, o tamanho das sementes e a velocidade operacional, uma vez que o aumento da velocidade tende a reduzir a uniformidade de distribuição e aumentar a ocorrência de falhas no plantio.

4.4. Tipo de disco de corte

O tipo de disco de corte influencia diretamente a qualidade da abertura do sulco e a eficiência da semeadura em sistema de plantio direto, pois diferentes configurações apresentam variações na capacidade de corte da palhada, mobilização do solo e deposição de insumos, interferindo na plantabilidade e no estabelecimento inicial da cultura. O tipo de mecanismo de abertura de sulco, como disco ou haste, influencia diretamente o desempenho agrônômico da cultura, especialmente na distribuição de plantas, emergência e produtividade. Nesse sentido, Pereira *et al.* (2015) observaram que a utilização de diferentes combinações de mecanismos sulcadores (disco e haste) influenciou o estabelecimento do feijoeiro, sendo que a semeadura cruzada com disco em ambas as direções proporcionou maior emergência de plantas, população final e produtividade de grãos, evidenciando melhor desempenho desse mecanismo na abertura e acomodação do sulco de semeadura.

Arf *et al.* (2008) avaliaram o efeito de dois mecanismos de abertura de sulco para deposição de fertilizante, disco duplo e haste escarificadora, no cultivo do feijoeiro de inverno em sistema plantio direto. Os autores observaram que a utilização da haste escarificadora proporcionou maior população inicial e final de plantas, além de incrementos na produtividade de grãos, atribuídos principalmente à melhor distribuição do fertilizante em profundidade e à redução de possíveis danos salinos às sementes.

Kaneko *et al.* (2010) também verificaram que o mecanismo de abertura de sulco do tipo haste escarificadora promoveu maior população final de plantas quando comparado ao disco duplo desconstruído em sistema plantio direto. Em um dos anos avaliados, a utilização da haste resultou em incremento na produtividade de grãos, evidenciando que o tipo de mecanismo pode influenciar o estabelecimento inicial e o desempenho produtivo do feijoeiro.

Os estudos indicam que o tipo de disco ou mecanismo de abertura de sulco exerce influência direta sobre o estabelecimento inicial do feijoeiro e pode refletir no desempenho produtivo da cultura. De modo geral, observa-se que mecanismos que promovem maior mobilização do solo e melhor posicionamento do fertilizante em profundidade, como a haste escarificadora, tendem a favorecer a população inicial e final de plantas, especialmente em condições de maior resistência do solo. Por outro lado, sistemas com disco apresentam desempenho satisfatório quanto à uniformidade de emergência quando associados a adequada acomodação do sulco e manutenção da cobertura superficial. Assim, os resultados sugerem que a eficiência do mecanismo de abertura está relacionada à sua capacidade de adaptar-se às condições físicas do solo e da palhada, influenciando diretamente a qualidade do processo de semeadura em plantio direto.

4.5. Profundidade de deposição de sementes

A profundidade de deposição de sementes é diretamente influenciada pelas condições físicas do solo e pela regulação do conjunto semeadora-adubadora. Segundo Junior *et al.* (2019), variações na profundidade de deposição podem ocorrer em função das condições de operação da semeadora-adubadora e da interação entre os mecanismos de abertura e fechamento do sulco, evidenciando a importância da correta regulação do equipamento para garantir deposição adequada das sementes e melhor desempenho agrônomo da cultura.

Modolo *et al.* (2010) observaram que a profundidade de deposição das sementes influenciou significativamente o índice de velocidade de emergência, a população inicial e final de plantas e a produtividade do feijoeiro em sistema de plantio direto. Os autores verificaram que profundidades intermediárias de semeadura proporcionaram melhores resultados, sendo a profundidade de 5,0 cm associada ao maior índice de velocidade de emergência e maiores rendimentos da cultura, evidenciando a importância do adequado posicionamento das sementes no solo para garantir melhor estabelecimento inicial das plantas e maior desempenho produtivo.

Reynaldo *et al.* (2017) verificaram que diferentes tipos de semeadoras influenciam a precisão da profundidade de semeadura, sendo que a semeadora pneumática apresentou melhor uniformidade na deposição das sementes quando

comparada ao sistema mecânico com disco perfurado horizontal. Os autores destacaram que a menor variação na profundidade de plantio contribui para melhor qualidade do processo de semeadura, embora não tenham sido observadas diferenças significativas na produtividade do feijoeiro entre os sistemas avaliados, evidenciando que a qualidade da deposição das sementes está mais associada à uniformidade operacional do que ao tipo de dosador utilizado.

Os estudos indicam que a profundidade de deposição das sementes é um dos fatores mais importantes para a qualidade do estabelecimento inicial do feijoeiro, estando diretamente relacionada às condições físicas do solo e à precisão dos mecanismos da semeadora. De modo geral, observa-se que profundidades intermediárias de semeadura proporcionam melhor desempenho agrônomo, favorecendo a emergência das plântulas e a produtividade da cultura. Além disso, os resultados demonstram que a qualidade do processo está mais associada à uniformidade na deposição das sementes do que ao tipo específico de equipamento utilizado, sendo que sistemas que proporcionam menor variação na profundidade de plantio tendem a apresentar melhor desempenho operacional.

4.6. Pressão exercida pelas rodas compactadoras

A pressão exercida pela roda compactadora atua diretamente nas condições físicas do solo ao redor da semente, influenciando o contato solo-semente, a aeração e a disponibilidade de água, fatores essenciais para a germinação e o estabelecimento inicial das plantas. Nesse sentido, Modolo *et al.* (2010) observaram que, apesar da importância da compactação para o processo germinativo, as diferentes cargas aplicadas pela roda compactadora não influenciaram significativamente as variáveis produtivas e de emergência do feijoeiro, como número de legumes por planta, número de grãos por legume e peso de 100 grãos. Os autores destacaram que a produtividade da cultura esteve mais associada à profundidade de semeadura do que à pressão exercida pela roda compactadora, indicando que, dentro das condições avaliadas, a função desse componente mecânico deve priorizar apenas o fechamento adequado do sulco e o contato solo-semente, sem promover compactação excessiva que possa prejudicar a emergência das plântulas.

Corroborando esses resultados, Collares *et al.* (2008) observaram que o aumento da compactação do solo pode influenciar o desenvolvimento do feijoeiro, principalmente por modificar propriedades físicas como densidade, porosidade e resistência do solo à penetração. Os autores verificaram que maiores níveis de compactação restringiram o crescimento radicular, reduziram a área foliar e ocasionaram redução de 17% na produtividade do feijoeiro em condições de compactação adicional, evidenciando que alterações nas condições físicas do solo podem limitar o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, refletir no desempenho produtivo da cultura.

De forma semelhante, Junior *et al.* (2011) observaram que diferentes níveis de carga aplicados pela roda compactadora podem influenciar o estabelecimento inicial das plântulas de feijão, principalmente pela possível interferência na velocidade de emergência. Contudo, os autores destacaram que as cargas aplicadas não apresentaram efeito significativo isolado sobre todas as variáveis avaliadas, indicando que os efeitos da compactação estão associados à interação com as condições físicas do solo e ao correto ajuste operacional da semeadora-adubadora.

Os resultados indicam que a pressão exercida pelas rodas compactadoras influencia principalmente as condições físicas do solo e a qualidade do contato solo-semente, porém seus efeitos sobre a produtividade do feijoeiro tendem a ser dependentes de outros fatores do sistema. De maneira geral, observa-se que a compactação deve ser suficiente apenas para favorecer o fechamento do sulco e a manutenção da umidade ao redor da semente, sem causar restrições ao crescimento radicular ou à emergência das plântulas. Nesse sentido, os estudos demonstram que os efeitos da compactação estão mais relacionados às alterações nas propriedades físicas do solo e à interação com outras variáveis operacionais do que à pressão exercida isoladamente pelas rodas compactadoras.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que o desempenho da semeadura do feijoeiro em sistema de plantio direto é influenciado pela adequada configuração e regulação dos componentes da semeadora-adubadora, especialmente pela velocidade de deslocamento, profundidade de deposição, mecanismo dosador, sistema de abertura do sulco e pressão das rodas compactadoras. Para as condições avaliadas, velocidades entre 3 e 8 km h⁻¹ apresentaram resultados satisfatórios, com destaque para 6 km h⁻¹ entre as velocidades avaliadas. A profundidade de deposição em torno de 0,05 m apresentou resultados favoráveis ao estabelecimento da cultura, especialmente quanto ao índice de velocidade de emergência e ao rendimento. Quanto aos mecanismos dosadores, os sistemas pneumáticos apresentaram maior percentual de espaçamentos aceitáveis e menor variação na profundidade de deposição em comparação ao mecanismo mecânico com disco perfurado horizontal. Nos mecanismos com discos dosadores, o desempenho também foi influenciado pela relação entre o número de furos, o tamanho das sementes e a velocidade de operação, sendo recomendada a seleção do mecanismo de acordo com as características das sementes e as condições de operação. Para a abertura do sulco, o uso de disco duplo ou haste escarificadora mostrou-se adequado conforme as condições de palhada e de solo. A pressão das rodas compactadoras deve ser regulada de modo a proporcionar o fechamento adequado do sulco e o contato solo-semente, evitando compactação excessiva.

6. REFERÊNCIAS

- ANJOS, J. B. *et al.* Semeadora manual para plantio direto de milho e feijão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Salvador, 2002. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/131998/1/OPB982.pdf>.
- ARF, O. *et al.* Mecanismos de abertura do sulco e adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 499-506, 2008.
- ASSUNÇÃO, P. E. V.; WANDER, A. E. Desenvolvimento histórico da cadeia produtiva de feijão-comum: questões institucionais. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 54, eIE012023, 2024. DOI: <https://doi.org/10.56468/1678-832X.eie0123.2024>.
- COELHO, J. D. **Feijão: produção e mercados. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE**, ano 6, n. 197, dez. 2021.
- COLLARES, G. L. *et al.* Compactação de um latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 933-942, 2008.
- COLLARES, G. L. *et al.* Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1663-1674, nov. 2006.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Produção de grãos é estimada em 330,3 milhões de toneladas na safra 2024/25**. Brasília: CONAB, 10 abr. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-graos-e-estimada-em-330-3-milhoes-de-toneladas-na-safra-2024-25>. Acesso em: 17 maio 2025.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira – 12º Levantamento Safra 2024/25 Grãos**. Brasília: CONAB, 11 set. 2025. ISSN: 2318-6852. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/12o-levantamento-safra-2024-25/12o-levantamento-safra-2024-25>. Acesso em: 18 out. 2025.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da Safra Brasileira – 1º Levantamento Safra 2025/26 Grãos**. Brasília: CONAB, 14 out. 2025. ISSN: 2318-6852. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/1o-levantamento-safra-2025-26/1o-levantamento-safra-2025-26>. Acesso em: 18 out. 2025.
- COSTA, A. C. C. **Contribuição dos resíduos de milho (*Zea mays* L.) e feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.) na compactação do solo em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo**. 2024. Monografia (Trabalho de Conclusão de

Curso) – Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

DALACORT, R.; STEVAN JUNIOR, S. L. Gestão da distribuição agrícola de sementes e fertilizantes: técnicas e tecnologias para redução de falhas de distribuição. **Revista Espacios**, v. 38, n. 39, p. 32, 2017.

EMBRAPA. **Feijão – Preparo do solo**. 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/preparo-do-solo>. Acesso em: 17 maio 2025.

EMBRAPA. **Feijão – Semeadura**. 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/semeadura>.

EMBRAPA. **Plantio direto – Milho**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/sistema-de-manejo-do-solo/plantio-direto#:~:text=Fundamentos%20do%20Sistema%20de%20Plantio%20Direto&text=O%20plantio%20direto%20pode%20ser,herbicidas%20em%20uma%20%C3%BAnica%20opera%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 17 maio 2025.

FALAGAS, M. E. *et al.* Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar. **FASEB Journal**, v. 22, p. 338-342, 2008.

GOVERNO DE MINAS GERAIS. **Sistema de Plantio Direto completa 50 anos no Brasil, garantindo maior produtividade e sustentabilidade para agro**. Belo Horizonte, 29 nov. 2022.

JUNIOR, D. C. *et al.* Desempenho operacional do conjunto trator-semeadora em diferentes velocidades e sistemas de plantio. **Global Science & Technology**, v. 10, n. 3, p. 66-76, set./dez. 2017. Disponível em: <https://research.ebsco.com/c/iypcif/search/advanced/publications/BLEP?selectedDb=aphjnh>.

JUNIOR, F. A. R. *et al.* Efeito de diferentes teores de água do solo e cargas aplicadas pela roda compactadora de uma semeadora-adubadora no estabelecimento inicial do feijão. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 19, n. 5, p. 422-428, 2011.

JUNIOR, W. de A. O. **Desempenho de um conjunto trator-semeadora-adubadora em função da profundidade de deposição do adubo e do teor de água do solo para a cultura do feijão**. 2019. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.

KANEKO, F. H. *et al.* Mecanismos de abertura de sulcos, inoculação e adubação nitrogenada em feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 69, n. 1, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100017>.

KITCHENHAM, B. **Procedures for performing systematic reviews**. Keele University, 2004.

MAHL, D. **Desempenho operacional de semeadora em função de mecanismos de corte, velocidade e solos, no sistema plantio direto do milho**. 2006. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Campus de Botucatu.

MARQUES, H. G.; CORREA, P. R. R. Reguladores de crescimento na cultura do feijão. **Agroveterinária**, Varginha, MG, v. 7, n. 1, p. 30-46, 2025. ISSN: 2674-9661.

MILAGRES, R. S. **Demanda energética, produtividade e custos da cultura do feijão em função da velocidade e profundidade de fertilização em plantio direto**. 2023. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.

MODOLO, A. J. *et al.* Efeito de cargas aplicadas e profundidades de semeadura no desenvolvimento da cultura do feijão em sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 739-745, maio/jun. 2010.

MOHER, D. *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **BMJ**, v. 339, 2009.

NETO, P. H. W. *et al.* Distribuição de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), classificadas dimensionalmente, utilizando mecanismo dosador tipo disco perfurado horizontal. **Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, v. 7, n. 1, p. 7-20, 2001.

OLIVEIRA, E. M. *et al.* Effects of conventional, organic and conservation agriculture on soil physical properties, root growth and microbial habitats in a long-term field experiment. **Geoderma**, v. 447, 2024, 116927. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2024.116927>.

OLIVEIRA, G. M. D.; WANDER, A. E. Mapeamento da cadeia produtiva do feijão-comum no Brasil. **Revista de Economia Política do Desenvolvimento**, Maceió, v. 14, n. 32, p. 96-122, jul./dez. 2023. DOI: <https://doi.org/10.28998/2594-598X.2023v14n32p96-122>.

ORLANDO JUNIOR, W. de A. *et al.* Efeito da profundidade de deposição do adubo e teor de água no solo na plantabilidade de uma semeadora em sistema de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E

TECNOLOGIA, 3., 2022, evento on-line. **Anais do III CoBICET – Trabalho completo: Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia: “15 anos dos BIs e Lis: retrospectiva, resistência e futuro”**. Evento on-line, 29 ago. a 2 set. 2022. Disponível em: www.even3.com.br/cobicet2022.

PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement. **BMJ**, v. 372, n. 71, 2021.

PASSOS, A. M. A. dos; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, F. C. dos. Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação. **Brasília, DF: Embrapa**,

2018. cap. 3, p. 61-104. Disponível em:
[https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/browse?type=author&value=PASSO S%2C+A.+M.+A.+dos](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/browse?type=author&value=PASSO%2C+A.+M.+A.+dos).

PEREIRA, D. de S. *et al.* Semeadura cruzada do feijoeiro por combinações de mecanismos sulcadores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 44., 2015, São Pedro, SP. **XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2015**. 13 a 17 de setembro de 2015.

REYNALDO, E. F. *et al.* Avaliação da distribuição de sementes de feijão em semeadoras. **Nativa**, Sinop, v. 5, n. 4, p. 274-276, jul./ago. 2017. DOI: 10.5935/2318-7670.v05n04a08.

RINALDI, P. C. N. *et al.* Profundidade de adubação e velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora na cultura do feijão. **Revista Ceres**, v. 56, n. 3, p. 249-255, 2009. ISSN: 0034-737X.

RITTER, A. F. S. *et al.* Velocidade de semeadura da cultura do feijão. In: **4º Simpósio de Agronomia e Tecnologia em Alimentos**, 2017.

SAX, M. A.; CICHY, K. A.; GOMEZ, F. E.; PORCH, T. G.; HEITHOLT, J.; OSORNO, J. M.; KAMFWA, K.; SNAPP, S. S.; BALES, S. **Dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as a vital component of sustainable agriculture and food security – a review**. **Legume Science**, v. 5, n. 1, p. e155, 2023.

SENAR – SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. **Coleção Senar**, 241. 2022. 146 p. il. 21 cm. ISBN: 978-65-86344-79-0.

SILVA, A. C. de. **Desempenho dinâmico de uma semeadora-adubadora em função do mecanismo dosador e da carga aplicada pela roda compactadora**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.

SOUZA, P. J. O. *et al.* Yield gap in cowpea plants as function of water deficits during reproductive stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 6, p. 372-378, 2020.

TATAGIBA, S. D.; FIGUEIREDO, A. L. P.; BRANCALEONI, L.; CARELLI, C.; MODOLON, G. F. Crescimento e produção do feijoeiro comum, cultivar “Querência”, do grupo carioca, submetido à restrição hídrica em ambiente protegido. **Agropecuária Científica no Semiárido Centro de Saúde e Tecnologia Rural**, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.30969/acsa.v20i2.1414>.

TAVARES, J. F. **Semeadura de feijão-vagem com diferentes discos e velocidades operacionais**. 2023. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Olericultura, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Morrinhos.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. **Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge.** *British Journal of Management*, v. 14, p. 207-222, 2009.