

WILSON DE ALMEIDA ORLANDO JUNIOR

**PRODUTIVIDADE E CUSTOS DE PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO EM FUNÇÃO DE
IRRIGAÇÃO E VELOCIDADE OPERACIONAL EM SISTEMA DE PLANTIO
DIRETO**

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

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes

Coorientadores: Paulo Roberto Cecon
Fernando F. da Cunha

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

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

T

O71p
2022

Orlando Junior, Wilson de Almeida, 1987-

Produtividade e custos de produção do feijoeiro em função de irrigação e velocidade operacional em sistema de plantio direto / Wilson de Almeida Orlando Junior. – Viçosa, MG, 2022.
1 tese eletrônica (93 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Haroldo Carlos Fernandes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Agrícola, 2022.

Referências bibliográficas: f. 83-93.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.058>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Semeadeira-adubadeira. 2. Evapotranspiração.
3. Mecanização agrícola - Custos. 4. Produtividade agrícola.
5. Feijão - Semeadura. 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. 631.531


WILSON DE ALMEIDA ORLANDO JUNIOR

**PRODUTIVIDADE E CUSTOS DE PRODUÇÃO DO FEIJOEIRO EM FUNÇÃO DE
IRRIGAÇÃO E VELOCIDADE OPERACIONAL EM SISTEMA DE PLANTIO
DIRETO**


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

APROVADA: 25 de novembro de 2022

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 WILSON DE ALMEIDA ORLANDO JUNIOR
Data: 22/02/2023 16:30:56-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Wilson de Almeida Orlando Junior
Autor

Documento assinado digitalmente
 HAROLDO CARLOS FERNANDES
Data: 22/02/2023 16:42:02-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Haroldo Carlos Fernandes
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida!

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade de realização do curso de Pós-Graduação.

Ao professor Haroldo Carlos Fernandes pela oportunidade, orientação, amizade, paciência e pelas inúmeras contribuições dadas a minha formação profissional e pessoal.

Aos professores Fernando Cunha e Roberto Cecon pela disponibilidade, boa vontade, conselhos e coorientações.

Ao professor Marconi Ribeiro Furtado Junior, por toda ajuda e todo o conhecimento transmitido ao longo da minha jornada na Universidade Federal de Viçosa. Muito obrigado!

Ao professor José Eustáquio pela ajuda e contribuição.

Aos meus pais e irmãos, pelo apoio, torcida e por nunca me deixarem desistir.

À minha segunda família, Anísio, Janete e cunhados pelas conversas e conselhos.

À minha querida esposa, Isabella, pelo amor e companheirismo e a Clara, minha filha, minha luz, por me arrancar tantos sorrisos. Vocês são fundamentais!

Ao meu cunhado, Lucas, por toda ajuda durante a coleta dos dados.

Aos amigos do Laboratório de Mecanização Agrícola!

À todas as pessoas que contribuíram de alguma forma ou torceram pela realização desse trabalho, meu muito obrigado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

ORLANDO JUNIOR, Wilson de Almeida, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2022. **Produtividade e custos de produção do feijoeiro em função das lâminas de irrigação e velocidade operacional em sistema de plantio direto.** Orientador: Haroldo Carlos Fernandes. Coorientadores: Paulo Roberto Cecon e Fernando França da Cunha.

O feijão é uma leguminosa com grande importância econômica tanto no mercado Brasileiro quanto no internacional, sendo cultivado principalmente por pequenos e médios produtores. Com uma de suas safras ocorrendo em períodos de seca, onde a irrigação se torna necessária, existe uma grande preocupação quanto ao consumo de água tanto para efeitos econômicos quanto para preservação ambiental. Por isso, se torna necessário avaliar os efeitos da irrigação no feijoeiro e em seus componentes de rendimento, bem como avaliar os efeitos destes resultados sobre os custos de produção e retorno financeiro. Neste sentido, realizou-se um experimento em que foram avaliados os efeitos da irrigação em relação ao percentual da evapotranspiração da cultura e velocidade de semeadura. Utilizou-se um esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas as lâminas de irrigação (0; 33,3; 66,6; 100% da evapotranspiração da cultura) e nas subparcelas as velocidades de operação (3, 5 e 8 km h⁻¹) no delineamento inteiramente casualizado com três repetições, totalizando 36 unidades experimentais. Os efeitos dos tratamentos na qualidade da semeadura foram avaliados em relação aos espaçamentos entre sementes, sendo classificados como aceitáveis, falhos e múltiplos. Os efeitos no feijoeiro foram avaliados em relação aos componentes de rendimento (massa de 100 grãos, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e produtividade). Também foi avaliado o custo de produção, a receita líquida e a taxa interna de retorno sobre o investimento, que são parâmetros utilizados na avaliação econômica do cultivo. A velocidade de semeadura apresentou efeito linear positivo no consumo de combustível e na patinação dos rodados. A distribuição longitudinal de sementes não sofreu influência da velocidade de semeadura. A irrigação apresentou efeito quadrático em relação ao número de vagens por plantas, massa de cem grãos, assim como para a produtividade e efeito linear negativo no número de grãos por vagem. A combinação entre os tratamentos irrigação a 33,3% da evapotranspiração da cultura e velocidade de semeadura de 5

km h⁻¹ apresentaram o menor custo de produção por saca de feijão obtido, apresentando maior receita bruta, líquida e taxa interna de retorno do investimento.

Palavras-chave: Semeadora-adubadora. Viabilidade econômica. Evapotranspiração

ABSTRACT

ORLANDO JUNIOR, Wilson de Almeida, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, November, 2022. **Bean productivity and production costs as a function of irrigation blades and operating speed under no-till system.** Adviser: Haroldo Carlos Fernandes. Co-advisers: Paulo Roberto Cecon and Fernando França da Cunha.

The common bean is a vegetable legume with great economic importance both in the Brazilian and international markets, being cultivated mainly by small and medium producers. With one of its crops occurring in periods of drought, where artificial irrigation becomes necessary, there is great concern about water consumption both for economic effects and for environmental preservation. Therefore, it is necessary to evaluate the effects of irrigation on bean and its yield components, as well as to evaluate the effects of these results on production costs and financial return. In this sense, an experiment was developed in which the effects of irrigation were evaluated in relation to the percentage of crop evapotranspiration and sowing speed. A split-plot scheme was used, with irrigation depths in the plots (0; 33.3; 66.6; 100% of crop evapotranspiration) and in the sub-plots the operating speeds (3, 5 and 8 km h⁻¹) in a completely randomized design with three replications, totaling 36 experimental units. The effects of treatments on planting quality were evaluated in relation to the spacing between seeds, being classified as acceptable, flawed and multiple. The effects on common bean were evaluated in relation to yield components (mass of 100 grains, number of pods per plant, number of grains per pod and yield). The cost of production, net revenue and the internal rate of return on investment, which are parameters used in the economic evaluation of the crop, were also evaluated. The sowing speed had a positive linear effect on fuel consumption and wheel slip. The longitudinal distribution of seeds was not influenced by the sowing speed. Irrigation showed a quadratic effect in relation to the number of pods per plant, mass of one hundred grains, as well as for productivity and a negative linear effect on the number of grains per pod. The combination of treatments irrigation at 33.3% of crop evapotranspiration and sowing speed of 5 km h⁻¹ presented the lowest production cost per bag of beans obtained, with higher gross and net revenue and internal rate of return on investment.

Keywords: Seeder-fertilizer. Economic viability. Evapotranspiration

SUMÁRIO

1. Introdução	10
2. Revisão de Literatura	12
2.1. Aspectos gerais do feijoeiro	12
2.2. Plantio Direto	15
2.3. Desempenho das semeadoras-adubadoras	17
2.4. Irrigação por pivô central no Brasil	19
3. Material e Métodos	21
3.1. Tratamentos e delineamento experimental	21
3.2. Caracterização da área experimental	23
3.2.1. Análise química e textural do solo	23
3.2.2. Cobertura vegetal	23
3.2.3. Densidade e teor de água do solo	23
3.2.4. Resistência do solo a penetração	23
3.3. Máquinas	24
3.3.1. Trator	24
3.3.2. Semeadora-adubadora	25
3.4. Instrumentação do trator	27
3.4.1. Consumo de combustível	27
3.4.2. Velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora	28
3.4.3. Patinagem dos rodados motrizes	28
3.5. Teste de germinação das sementes	29
3.6. Semeadura, adubação e controle de plantas invasoras	29
3.7. Descrição do sistema de irrigação	30
3.8. Ensaio de precipitação e uniformidade de distribuição	30
3.9. Manejo da irrigação	32
3.10. Avaliações pós-emergência	35
3.10.1. Uniformidade de distribuição longitudinal de plantulas	35
3.10.2. Emergência de plântulas	36
3.10.3. Produtividade de grãos e componentes de rendimento	36
3.11. Custos de produção	37
3.11.1. Custo das operações mecanizadas	37

3.11.1.1. Custos fixos	38
3.11.1.1.1. Depreciação	38
3.11.1.1.2. Juros	39
3.11.1.1.3. Abrigo e seguro	40
3.11.1.2. Custos variáveis	40
3.11.1.2.1. Reparos e manutenções	41
3.11.1.2.2. Lubrificantes	41
3.11.1.2.3. Mão-de-obra	43
3.11.1.2.4. Custo do combustível	44
3.11.1.3. Custo da operação de plantio	45
3.12. Custo do sistema de irrigação	45
3.12.1. Custos fixos do sistema de irrigação	46
3.12.1.1. Depreciação	46
3.12.1.2. Custo de oportunidades (juros)	46
3.12.2. Custos variáveis do sistema de irrigação	47
3.12.2.1. Custos operacionais	47
3.12.2.2. Custo de manutenção	47
3.12.3. Custo total do sistema de irrigação	47
3.13. Custo dos insumos	47
3.14. Custo das operações manuais	48
3.15. Custo de produção	49
3.16. Indicadores de eficiência econômica	50
3.16.1. Receita bruta	50
3.16.2. Receita líquida	50
3.16.3. Taxa interna de retorno	50
3.17. Análise dos dados	51
4. Resultados e Discussões	52
4.1. Caracterização da área experimental	52
4.1.1. Cobertura vegetal	52
4.1.2. Densidade do solo e resistência mecânica a penetração antes do plantio	52
4.2. Consumo de combustível	54
4.3. Patinagem dos rodados motrizes	55

4.4. Avaliação pós-emergência	57
4.4.1. Uniformidade de distribuição longitudinal de plântulas	57
4.4.1.1. Espaçamento entre plântulas	57
4.4.1.2. Porcentuais dos espaçamentos aceitáveis, falhos e múltiplos entre plântulas	57
4.4.2. Emergência de plântulas	58
4.5. Componentes de rendimento	59
4.6. Custos de produção	67
4.6.1. Custo das operações mecanizadas	67
4.6.1.1. Custos fixos	67
4.6.1.2. Custos variáveis	68
4.6.1.3. Custo total das operações mecanizadas	68
4.6.2. Custos do sistema de irrigação	70
4.6.3. Custos dos insumos	71
4.6.4. Custos com operações manuais	72
4.6.5. Custos de produção	73
4.6.6. Indicadores de eficiência econômica: receita bruta, receita líquida e taxa interna de retorno	77
5. Conclusão	81
Referências	83

1. INTRODUÇÃO GERAL

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), é uma leguminosa cultivada em em todo território brasileiro, com destaque para o Paraná como maior produtor seguido por Minas Gerais, tendo safras durante todo o ano, com extrema importância econômica. Sendo considerada uma boa fonte nutricional de alimento, está presente na dieta da maioria dos brasileiros, é também muito popular em diversos países como China, Índia e México.

Sabe-se que a população mundial vem crescendo ano após ano e, conseqüentemente, há uma maior demanda por alimentos, o que vem sinalizando a preocupação de líderes mundiais quanto as questões do abastecimento, custos de produção e impactos ambientais. Estes temas refletem diretamente no cenário brasileiro e sua vocação agrícola. Sendo um país com alta capacidade produtiva, devido ao relevo, clima, extensão territorial e tecnologias, vem-se observando ótimos resultados no setor. Com este avanço, automaticamente, cria-se uma expectativa ainda maior com o agronegócio brasileiro e uma oportunidade aumentar os investimentos para maximizar a produção, exportações e o fornecimento de alimentos em escala global.

Para garantir uma safra rentável e com alta produtividade, diversos fatores são levados em consideração, sobretudo, a qualidade da operação de plantio, que pode ser um fator definitivo na produção e uniformidade do estande. A deposição da semente na profundidade adequada, respeitando o espaçamento e evitando danos é imprescindível para o sucesso da colheita, pois facilita a germinação e o desenvolvimento radicular.

O Brasil é rico também em termos pluviais e esta abundancia de água, muitas vezes, leva ao uso inconsequente, com desperdícios. O manejo hídrico de forma mais assertiva é extremamente importante para que se tenha uma agricultura sustentável e permanente. Grande parte da agricultura irrigada do Brasil é feita com o uso do equipamento de pivô central, e o feijoeiro cultivado na época da seca só é possível graças aos sistemas de irrigação. Por ser uma cultura que sofre tanto com a falta de água quanto seu excesso, muita energia tem sido gasta com estudos e técnicas de manejo visando otimizar o uso da água no seu cultivo.

O sistema de plantio direto, que é muito popular entre os agricultores, reduz os custos de produção por consequência do número de operações de preparo de solo serem menores, apresentando outros diversos fatores benéficos como: redução da

erosão, preservação da umidade do solo, maior cobertura, diminuição da incidência de plantas invasoras, entre outros. Também existem os efeitos indiretos, como por exemplo, em casos onde as operações são mecanizadas, há uma economia de combustíveis fósseis, já que processos como aração e gradagem não são praticados, diminuindo o tempo de funcionamento das máquinas e de seus motores de combustão. Tal economia contribui tanto para diminuir a emissão de gases de efeito estufa, oriundos da queima destes combustíveis, quanto para uma agricultura mais sustentável.

Além disto, toda esta evolução da agricultura e a complexidade dos processos, se faz necessário o gerenciamento dos custos operacionais para garantir retorno ao produtor e auxiliá-lo nas tomadas de decisão. Isso possibilita uma previsão dos riscos e a contração de dívidas. Do ponto de vista econômico, pode-se dizer que um método é eficiente se, quando comparado a outros, apresenta menor custo para produzir uma mesma quantidade.

Com base no que foi apresentado, objetivou-se com este trabalho avaliar o custo total de produção do feijoeiro, bem como seu desempenho em um sistema de plantio direto na palha em função de diferentes lâminas de irrigação e velocidades de semeadura, contribuindo com informações concretas para auxiliarem na tomada de decisão de qual tratamento é mais rentável economicamente.

2. Revisão de Literatura

2.1. Aspectos gerais do feijoeiro

Nos dias de hoje o Brasil conta com uma área cultivada de feijoeiro de cerca de 2,9 milhões de hectares anuais, e uma produção de 2,86 milhões de toneladas. Tendo produtividade média nacional de 977 kg ha⁻¹, Paraná, Minas Gerais e Mato Grosso ocupam o primeiro, segundo e terceiro lugar entre os estados com as maiores produções, com valores de 0,53, 0,52 e 0,36 milhões de toneladas produzidas, respectivamente (CONAB, 2021).

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma leguminosa de grande importância alimentar e socioeconômica não apenas para o Brasil, mas para todo o mundo. Sendo cultivada em todas as regiões do país, é um dos alimentos mais antigos do planeta e uma importante fonte de proteína (Vieira et al., 2006). É um dos componentes básicos da dieta do brasileiro, com seu teor de proteínas podendo chegar a 33% e com 341 calorias de valor energético por 100 gramas (POMPEU, 1987). Além da fonte de proteína, esta leguminosa também é importante fonte de outros nutrientes como ferro, zinco e fibra (KUTOS et al., 2003). Está presente também na dieta alimentar das populações com maior vulnerabilidade econômica, comumente a rural, que em sua maioria são agricultores familiares (ETENE, 2017).

Devido a facilidade de cultivo e a sua alta adaptação a diferentes condições como tipo de solo, clima e relevo; e também pela baixa demanda em mão de obra, o feijão vem sendo uma das principais culturas adotadas na entressafra, em sistemas irrigados, nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e parte do nordeste do Brasil (SILVEIRA et al., 2015).

Pertencente à família Fabaceae (Leguminosae), do gênero *Phaseolus* e espécie *Phaseolus vulgaris* L. é originária do continente americano, mais precisamente da região sul dos Andes (GEPTS & DEBOUCK, 1991). É uma cultura com possibilidades de se conseguir até 3 safras durante o ano. Sendo elas, a primeira safra ou safra das “águas” que ocorre de agosto a novembro, a segunda safra ou safra das “secas”, que ocorre de dezembro a abril e a terceira safra ou irrigada, que ocorre de abril a julho (SILVA & WANDER, 2012).

Esta leguminosa apresenta quatro tipos de raízes: a primária que é àquela com maior grau de desenvolvimento, que origina-se na radícula do embrião; as raízes

maus superficiais (basais) que emergem na zona axial e compõem a maior parte do sistema radicular; as raízes adventícias, que são as mais superficiais pois crescem horizontalmente na porção subterrânea do hipocótilo e por fim as raízes laterais que emergem de todas as outras raízes com a finalidade de se obter maior alcance e exploração do perfil do solo e que também possuem nódulos colonizados por bactérias fixadoras de nitrogênio (SANTOS et al., 2015). Geralmente 90% do volume radicular se encontra numa profundidade de 0 a 20 cm do perfil do solo, podendo sofrer variações na sua morfologia conforme o solo e suas características como areação, temperatura, umidade, porosidade, etc. (FANCELLI & DOURADO NETO, 1997).

Do meristema apical origina-se a haste, comumente chamada de caule, que é o eixo principal da parte aérea do feijoeiro, possuindo nós que são pontos onde as folhas se inserem e de onde saem suas ramificações primárias, secundárias e assim por diante. Nos pontos de inserção das folhas com os nós, encontram-se as gemas que podem ser do tipo florais, florais e vegetativas e completamente florais (BINOTTI, 2015). Possui dois tipos de classificação quanto ao crescimento. A primeira é chamada de determinado, que se caracteriza pelo surgimento de uma flor nos ramos e caule ao cessar o crescimento e a segunda, chamada de indeterminado, pois apresenta crescimento contínuo e as flores são apenas laterais e junto das folhas. É através do crescimento do caule que se determina se o feijoeiro é do tipo arbustivo, prostrado ou trepador (EMBRAPA, 2005).

A forma como ocorre seu desenvolvimento, também chamada hábitos de crescimento, pode ser classificada em quatro tipos: o Tipo I, que confere à planta crescimento determinado, arbustivo e porte ereto; Tipo II, com crescimento indeterminado, arbustivo, porte ereto e caule com poucas ramificações; Tipo III, com crescimento indeterminado, prostrado ou semiprostrado, com ramificação bem desenvolvida e aberta e Tipo IV, com crescimento indeterminado e trepador. Existem casos em que hábitos de crescimentos, chamados de intermediários, ocorrem entre os hábitos indeterminados tipo I, II, III e IV (EMBRAPA, 2005).

As primeiras folhas na fase de plântula são chamadas de flores primárias, já as demais folhas, que são constituídas de três folíolos, são denominadas trifolioladas. Dependendo da cultivar, idade, posição na planta, e condições do ambiente (VILHORDO et al., 1996).

A vagem é composta por um par de valvas, podendo ter uma forma retilínea, curva ou sinuosa. Sua coloração pode variar de acordo com a cultivar e estágio de maturação. Dentro das valvas encontram-se as sementes, albuminosas, com seu exterior constituído pelo tegumento, hilo, rafe e micrópila; e internamente formada pelo embrião (VIEIRA & RAVA, 2000), que podem apresentar variação de cores que vão do preto, bege, roxo, róseo, vermelho, marrom, amarelo até o branco (EMBRAPA, 2005).

O feijão é descrito como uma cultura sensível tanto para o estresse hídrico quanto para excesso de água no solo (NÓBREGA et al., 2001), portanto é fundamental conhecer a quantidade de água requerida pela cultura possibilitando um adequado manejo da irrigação e o bom desenvolvimento da planta (LOPES et al., 2004).

2.2. Plantio Direto

A técnica de plantio direto surgiu através de ensaios realizados por agricultores britânicos e americanos, em 1950, quando foram publicados os primeiros estudos sobre o plantio com o mínimo possível de revolvimento do solo, utilizando como alavanca os relatos dos agricultores pioneiros destes países, que viam o plantio direto como um avanço tecnológico (MOTTER et al., 2015).

No Brasil, as primeiras práticas com plantio direto na palha tiveram início no Estado do Paraná, no ano de 1971, devido a pesquisa e aos agricultores com suas experiências referentes à sucessão das culturas de trigo e soja. Cinco anos depois o IAPAR iniciou, no mesmo estado, um projeto de pesquisa onde buscava comparar o método de plantio direto com o plantio convencional, envolvendo rotação de culturas anuais (MUZILLI et al., 1983).

Com o passar dos anos o SPD (Sistema de Plantio Direto) foi se expandindo pelo país e, devido aos bons resultados, hoje é amplamente adotado. O Brasil possui atualmente mais de 32,8 milhões de hectares cultivados sob SPD, por isso se tornou o país com a maior área agrícola sob este sistema, que corresponde a 86% das áreas cultivadas com grãos (IBGE, 2017).

Diferentemente de outras formas de manejo, o SPD tem um revolvimento mínimo de solo, que ocorre mais especificamente no sulco de semeadura. Fundamenta-se em manter a palha e os restos vegetais da cultura anterior na superfície do solo, visando redução da evaporação da água retida no solo, diminuição da erosão, regular a temperatura do solo, preservação da microbiota do solo e da sua matéria orgânica além da redução nos custos de manejo (BIZARI et al., 2009; SALOMÃO et al., 2020). Ademais, possui menor custo de implantação, visto que operações de revolvimento e inversão do solo, como aração e gradagem, não são praticadas, economizando mão-de-obra e combustíveis (CRUZ et al., 2001).

Segundo Oliveira et al. (2002), a espécie utilizada com o intuito de produzir palha possui grande influência no rendimento do feijoeiro que é cultivado no inverno sob sistema irrigado. Tal fato é explicado pela dependência que o sistema de plantio direto tem de uma boa cobertura do solo, que é proveniente da espécie que foi cultivada anteriormente e também de sua longevidade. Desta forma, o uso de plantas de cobertura com alta capacidade de produzir biomassa é essencial e podem possibilitar sua persistência no campo por mais de 180 dias.

Vários trabalhos (Galvão et al., 1981; Stone & Silveira, 1999; Silva et al., 2001) foram realizados avaliando os efeitos das lâminas de irrigação em plantio direto sob os componentes de rendimento do feijão e constataram que houve economia de água, redução nas perdas devido a evaporação, além de reduzir os efeitos da erosão no solo, nutrientes e, também, matéria orgânica.

2.3. Desempenho das semeadoras-adubadoras

Durante uma operação agrícola, a utilização dos insumos é calculada com base em diversos fatores, como as necessidades da cultura, as condições do solo, tamanho da área, entre outros. No que tange a utilização de sementes para a semeadura é imprescindível uma boa distribuição de sementes no solo (BAUER et al., 2002), respeitando a quantidade, profundidade e os espaçamentos, buscando sempre a uniformidade, além da execução desta operação de forma cada vez mais rápida e econômica (PARISH & BRACY, 2003).

As semeadoras-adubadoras são classificadas de acordo com o mecanismo de distribuição de sementes na linha de plantio, sendo este de forma contínua ou de precisão. A forma de distribuição em linha, sem espaçamento regular é uma característica das semeadoras de fluxo contínuo, já as semeadoras de precisão distribuem as sementes uma a uma ou de forma agrupada, sob intervalos que são regulares, conferindo maior uniformidade durante o processo de semeadura (ABNT, 1994).

De todas as etapas que antecedem a colheita, podemos destacar a operação de semeadura, que é de extrema importância (DIAS et al., 2009). Por isso, o aperfeiçoamento das operações agrícolas é algo essencial, já que ela exerce influência direta sobre a germinação, desenvolvimento e capacidade produtiva das plantas (CAMPOS et al., 2008). Apesar das dificuldades de calcular todos os fatores capazes de interferir nas operações agrícolas o esforço se faz necessário pois trará resultados esperados com maior eficiência e eficácia (MILAN & FERNANDES, 2002). Dentre estes fatores capazes de influenciar na qualidade de implantação de uma cultura, evidencia-se a velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora, pois é ela quem determina a distribuição espacial das sementes na linha de plantio e a população final de plantas, podendo afetar significativamente na produção (FANTIN et al. 2016; SILVA et al., 2017).

A distribuição irregular das sementes na linha de plantio pode comprometer o aproveitamento de radiação solar, água e nutrientes, afetando seu desenvolvimento podendo também ocasionar competição intraespecífica (SANGOI et al., 2012), podendo também facilitar a ocupação de plantas invasoras nos espaços não ocupados por sementes (BOTTGA et al., 2014).

Cortez et al. (2020), ao compararem duas semeadoras-adubadoras, sendo uma de mecanismo pneumático e outra de disco vertical, sob quatro velocidades de

operação (3, 5, 7 e 9 km h⁻¹), concluíram que a semeadora pneumática apresentou melhor desempenho e conseguiu manter a precisão mesmo com o acréscimo nas velocidades de operação na distribuição de sementes de milho.

Bottega et al. (2018), avaliando o desempenho de semeadoras-adubadoras na distribuição de sementes de milho em sistema de plantio direto, observaram que os equipamentos dotados de sistema dosador pneumático apresentaram melhor desempenho, com melhor formação do estande, redução nos espaçamentos falhos e duplos. Entretanto, o aumento na velocidade da operação de semeadura causou falhas na distribuição longitudinal de sementes, observando maior incidência de espaçamentos duplos e falhos.

Paulo et al. (2018), verificaram o efeito de quatro velocidades de operação, sendo elas 4; 5; 6 e 7 km h⁻¹ durante a semeadura do milho e sistema de plantio direto e concluíram que o incremento na velocidade afetou diretamente nos espaçamentos entre plantas, onde o aumento na velocidade foi proporcional ao aumento nos espaçamentos.

Jasper et al. (2011) testaram dois sistemas dosadores de sementes, sendo um de disco horizontal e o outro pneumático, em quatro velocidades de semeadura (4; 6; 8; 10 e 12 km h⁻¹) e avaliaram a distribuição longitudinal de sementes e os componentes de rendimento da soja. Os autores concluíram que, independente do sistema adotado, não houveram alterações nos componentes de rendimento e, com relação a distribuição longitudinal de sementes, maiores velocidades ocasionaram um menor percentual de espaçamentos aceitáveis.

2.4. Irrigação por pivô central no Brasil

A agricultura irrigada foi implantada no Brasil pela primeira vez no início do século XX, na região Sul, com o intuito de ser utilizada no cultivo de arroz e acabou intensificando-se em outras regiões do país a partir de 1970 (ANA, 2019). Apresentando uma expressiva expansão, a área irrigada do Brasil entre os períodos de 1960 a 2015 passou de 462 mil hectares para 6,95 milhões de hectares e poderá expandir até 2030 para 10 milhões de hectares (AYRIMORAES, 2020).

Em 1952, no estado do Colorado, Estados Unidos, foi patenteado o sistema de irrigação por pivô central e 27 anos depois foi instalado o primeiro equipamento no Brasil, especificamente no município de Brotas, localizado no interior do Estado de São Paulo, irrigando uma área de 76 hectares. A expansão deste sistema de irrigação para a região dos Cerrados teve início nas proximidades da represa Três Marias e favorecida devido ao relevo com grandes áreas planas, abundância de água e solos profundos (ANA, 2019). Diante dos sistemas de irrigação, o pivô central está entre os mais comuns utilizados na agricultura Brasileira e do mundo (ANA, 2021).

Em um levantamento realizado por Guimarães e Lundau (2020), foram identificadas 22 292 unidades de pivô central em todo território nacional no ano de 2020, atingindo uma área de mais de 1,6 milhões de hectares com irrigação. Segundo estes mesmos autores, encontram-se no estado de Minas Gerais o maior número de sistemas de irrigação compostos por pivô central, com uma área irrigada de 501,18 mil hectares distribuídas em 8541 unidades do equipamento.

De uma forma geral, agricultura irrigada dota de quatro métodos de irrigação, geralmente classificados de acordo com a forma de aplicação da água, sendo eles: irrigação localizada, por superfície, subterrânea e por aspersão (TESTEZLAF, 2017).

No Brasil, segundo o levantamento feito pela Agência Nacional das Águas em 2017, se tinha aproximadamente uma área de 1,4 milhões de hectares irrigados por pivô central. Desse total de área, 31% se encontra em Minas Gerais, 18% em Goiás, 16% na Bahia, 14% em São Paulo, 6% no Mato Grosso e 6% no Rio Grande do Sul (ANA, 2017).

A água é um recurso natural essencial para a existência da vida e a preocupação sob sua disponibilidade no futuro é cada vez maior. Por isso, boas práticas de manejo, que garantem melhor gestão e eficiência na utilização da água, são fundamentais para uma agricultura mais sustentável (SILVEIRA et al., 2015).

A instalação de um pivô central envolve um elevado investimento num primeiro momento. Entretanto, exige uma menor mão de obra de operação e possui custo de aplicação de água menor quando é comparado a outros sistemas por aspersão (ORTÍZ et al., 2006; TARJUELO, 2005). Na ausência de restrições para instalação, tais como relevo inadequado, falta na disponibilidade de água, formato e tamanho da área, o sistema de irrigação por pivô central é geralmente mais adotado em áreas com tamanho maiores que 10 a 15 hectares (MONTERO et al., 2013).

Silva et al. (2018) avaliaram a produtividade de feijão-caupi, submetido a diferentes lâminas de irrigação (75, 100, 125 e 150% da evapotranspiração da cultura) e observaram que a aplicação de lâminas próxima a 125% da ETc provocou redução no tamanho médio das vagens, no número de grãos por vagem e, conseqüentemente, na sua produtividade.

Mendes et al. (2018) buscaram determinar as conseqüências da aplicação diferentes lâminas de irrigação na produtividade do feijoeiro comum, irrigado com o auxílio de um pivô central, sob diferentes lâminas de irrigação (50, 100, 150 e 200% da evapotranspiração da cultura) e cultivado em solo argiloso. Os autores observaram que lâminas acima de 100% da ETc provocavam lixiviação de nutrientes como nitrato e potássio, reduzindo sua eficiência e as menores lâminas aplicadas levaram a menores perdas destes nutrientes. Contudo, as menores lâminas levaram a reduções significativas no rendimento do feijoeiro.

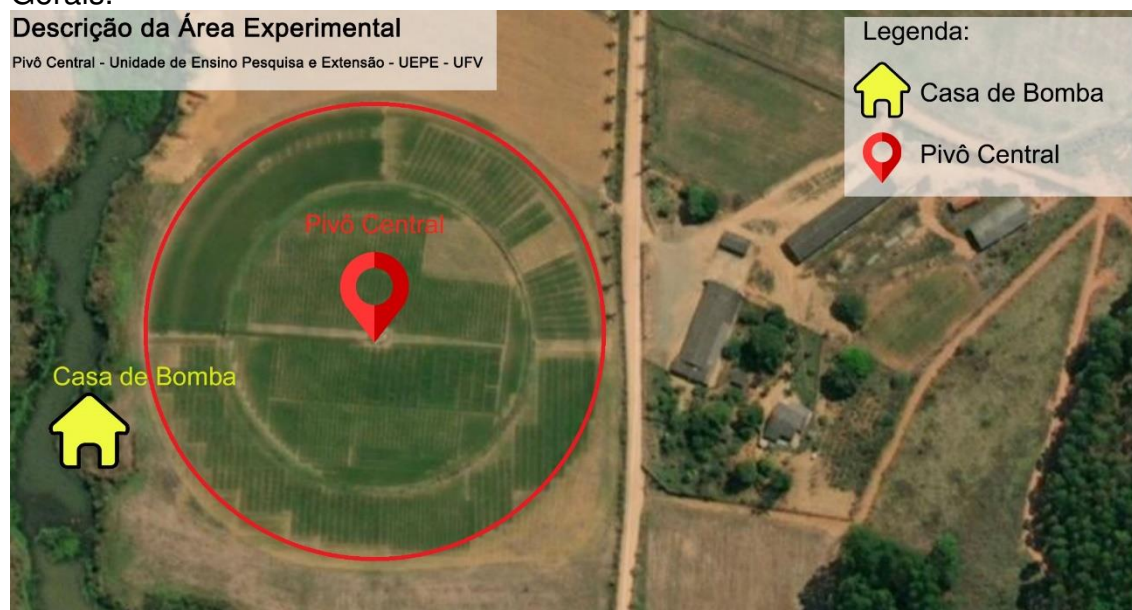
3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Unidade de Ensino Pesquisa e Extensão (UEPE), que pertence ao Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, no município de Coimbra, MG (Figura 1). Sua localização geográfica é determinada pelas coordenadas 20° 49' 50" de latitude sul e 42° 45' 54" de longitude oeste, com uma altitude 715 metros.

O relevo da região é classificado como montanhoso. O clima, conforme a classificação proposta por Köppen é mesotérmico úmido (Cwa), com verão quente e inverno seco (Alvares et al., 2013). A temperaturas máxima média e mínima média são de 27 °C e 15 °C, respectivamente.

O solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo câmbico (Embrapa, 2018).

FIGURA 1 - Área experimental e o Pivô Central - Unidade de Ensino Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Viçosa – UFV – Coimbra, Minas Gerais.

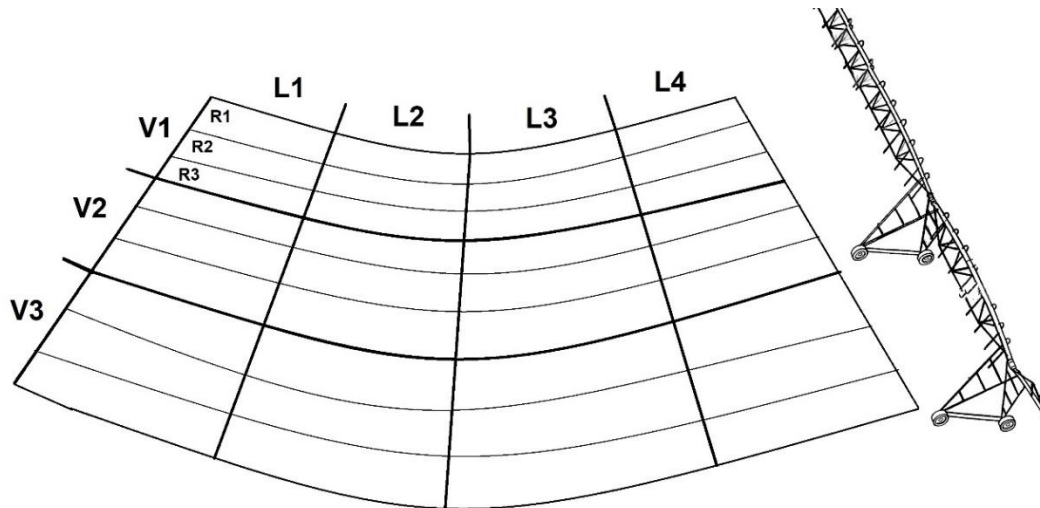


Fonte: do autor.

3.1. Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi montado em um esquema de parcelas subdivididas (Figura 2), tendo nas parcelas as lâminas de irrigação (0; 33,3; 66,6; 100% da evapotranspiração da cultura - ETC) e nas subparcelas as velocidades de operação (3, 5 e 8 km h⁻¹) no delineamento inteiramente casualizado com três repetições, totalizando 36 unidades experimentais, conforme Tabela 1.

FIGURA 2 - Croqui da área experimental. Nas parcelas (linhas verticais) estão atribuídas as lâminas de irrigação (L1 a L4) e dentro das parcelas, estão as subparcelas, com as velocidades de operação e suas repetições.



Fonte: do autor.

As avaliações experimentais foram conduzidas nos 10 m centrais de cada linha das subparcelas. Isso foi realizado para evitar possíveis erros devido a influência das lâminas dos tratamentos vizinhos, respeitando o diâmetro molhado do pivô central.

Tabela 1 - Tratamentos e descrição

Tratamento	Descrição
L1V1	Irrigação 0% da ETc na velocidade de operação de 3 km h ⁻¹
L1V2	Irrigação 0% da ETc na velocidade de operação de 5 km h ⁻¹
L1V3	Irrigação 0% da ETc na velocidade de operação de 8 km h ⁻¹
L2V1	Irrigação 33,3% da ETc na velocidade de operação de 3 km h ⁻¹
L2V2	Irrigação 33,3% da ETc na velocidade de operação de 5 km h ⁻¹
L2V3	Irrigação 33,3% da ETc na velocidade de operação de 8 km h ⁻¹
L3V1	Irrigação 66,6% da ETc na velocidade de operação de 3 km h ⁻¹
L3V2	Irrigação 66,6% da ETc na velocidade de operação de 5 km h ⁻¹
L3V3	Irrigação 66,6% da ETc na velocidade de operação de 8 km h ⁻¹
L4V1	Irrigação 100% da ETc na velocidade de operação de 3 km h ⁻¹
L4V2	Irrigação 100% da ETc na velocidade de operação de 5 km h ⁻¹
L4V3	Irrigação 100% da ETc na velocidade de operação de 8 km h ⁻¹

Fonte: do autor.

3.2. Caracterização da área experimental

3.2.1. Análise química e textural do solo

Retirou-se amostras simples na camada de 0,20 m de profundidade. Essas amostras foram misturadas para compor uma amostra composta, sendo levadas ao Laboratório de Análise de Solo, situado no Departamento de Solos (DPS) da Universidade Federal de Viçosa.

3.2.2. Cobertura vegetal

A cobertura vegetal no local do experimento foi oriunda dos restos culturais de um milharal implantado anteriormente na área. Para estimar a massa de cobertura vegetal, foi construído um quadrado de hastes de madeira de 0,25 m². As amostras foram coletadas antes do plantio. Esse amostrador (gabarito) foi lançado aleatoriamente por quatro vezes em cada unidade experimental. As amostras foram embaladas em sacos de papel e encaminhadas para estufa a 65 °C onde permaneceu até atingir massa constante. Após a secagem os valores foram expressos em t ha⁻¹.

3.2.3. Densidade e teor de água do solo

A densidade do solo foi obtida pelo método do anel volumétrico, conforme proposto pela Embrapa (2017). As amostras foram extraídas com um trado, nas camadas de 0 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30; 0,30 – 0,40; 0,40 – 0,50; 0,50 – 0,60 m de profundidade, sendo coletados 9 amostras por parcela.

O teor de água do solo foi determinado pelo método gravimétrico padrão, no qual as amostras foram secas em estufa a 105°C por 24 horas (EMBRAPA, 2017). As amostras para umidade também foram extraídas com auxílio de um trado nas camadas de 0 – 0,10; 0,10 – 0,20; 0,20 – 0,30; 0,30 – 0,40; 0,40 – 0,50; 0,50 – 0,60 m de profundidade.

3.2.4. Resistência do solo à penetração

Foi utilizado um penetrômetro digital de marca Falker, modelo PenetroLOG-PLG 1020 (Figura 3), com uma ponta de formato cônico e área de 129 mm², diâmetro de base 12,83 mm em concordância com a norma ASAE S313.3 (ASABE STANDARDS, 2018). Foram coletados de forma aleatória 4 pontos em todas as unidades experimentais, na profundidade máxima de 400 mm, sendo coletados e

armazenados os intervalos de resistência à penetração a cada 10 mm de profundidade.

FIGURA 3 - Penetrômetro utilizado no experimento.



Fonte: do autor.

3.3. Máquinas

3.3.1. Trator

Para tracionar a semeadora-adubadora, foi utilizado um trator agrícola de marca John Deere®, modelo 5705 4x2, com tração dianteira auxiliar (TDA), potência de 63 kW (85 cv) no motor de 4 cilindros a 2400 (Figura 4).

FIGURA 4 - Trator John Deere® modelo 5705.



Fonte: do autor.

3.3.2. Semeadora-adubadora

Para operação de semeadura utilizou-se a semeadora-adubadora pneumática de precisão, marca Jumil®, modelo POP JM2670PD SH EX, com três linhas de semeadura, espaçadas a 0,5 m. As sementes foram dosadas pelo mecanismo pneumático e sua distribuição, realizada por fluxo gravitacional (Figura 5).

Figura 5 - Semeadora-adubadora Jumil POP JM2670PD SH EX.



Fonte: do autor.

As especificações da semeadora-adubadora se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 - Especificações técnicas da semeadora-adubadora

Parâmetro/Função	Características
Corte da Cobertura Vegetal	Disco de corte liso de 17 polegadas.
Unidade para Fertilizantes	Reservatório único/linha com capacidade de 75L, sulcador do tipo haste sulcadora.
Unidade Semeadora	Pivotada, sulcador disco duplo desencontrado, reservatório com capacidade para 55L, sistema de seleção e distribuição de sementes pneumáticas por aspiração.
Controle da Profundidade	Fixo, com auxílio da barra de regulagem.
Rodas Compactadoras	Flutuantes em "V".
Sistema de Transmissão	Engrenagens substituíveis para acionamento dos sistemas adubador ou semeador.
Engate	Diretamente no sistema de levante hidráulico do trator

Fonte: do autor.

3.4. Instrumentação do trator

Foi instalado um sistema de aquisição de dados para a coleta de dados, de marca Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), modelo Spider 8[®], conduzido pelo software HBM Catman[®] 2.2 instalado em um notebook localizado na cabine de operação do trator. O sistema foi configurado para obter informações de todos os transdutores utilizados com uma taxa de amostragem de 50 dados coletados por segundo (50 Hz).

No decorrer do experimento, ao longo do processo de semeadura foram monitorados o consumo de combustível e a velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora-adubadora.

3.4.1. Consumo de combustível

O consumo horário de combustível do trator foi monitorado com um medidor de fluxo volumétrico Flowmate Oval[®] M-III, modelo LSF41C, instalado no sistema de alimentação do trator (Figura 6). A tubulação de retorno de combustível para o tanque foi reposicionada para entregar o combustível num sistema composto por câmara de compensação de pressão e válvula unidirecional. Dessa forma, o combustível proveniente do tanque, e medido pelo sensor, era totalmente consumido pelo motor.

Figura 6 - Fluxômetro para determinação do consumo de combustível do trator.



Fonte: do autor.

3.4.2. Velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora

A velocidade operacional real do trator foi obtida com o uso de uma unidade de radar de efeito Doppler, marca Dickey John®, modelo Radar II (Figura 7). Este equipamento é capaz de medir velocidades entre 0,53 e 96,6 km h⁻¹, apresentando uma precisão de $\pm 3\%$ para a faixa de velocidade que engloba a utilizada durante a semeadura.

Figura 7 - Radar utilizado para medição da velocidade do conjunto trator-semeadora-adubadora.



Fonte: do autor.

3.4.3. Patinagem dos rodados motrizes

Foi obtida por meio da relação entre velocidade translacional e rotacional para cada um dos rodados da máquina. A rotação dos rodados foi monitorada por transdutores indutivos instalados em cada uma das rodas motrizes. O sistema de aquisição de dados foi preparado para fazer a leitura da frequência de modo que cada alteração corresponde a 1 Hz, portanto, o sistema esteve calibrado para 45 Hz rps⁻¹. Com base nos parâmetros exibidos, a patinagem foi determinada pela Equação 1.

$$Prm = \frac{Vr - Vt}{Vr} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que,

Prm = Patinagem dos rodados motrizes (%);

Vr = Velocidade rotacional ($m s^{-1}$); e,

Vt = Velocidade translacional ($m s^{-1}$).

3.5. Teste de germinação das sementes

Efetuada antes do plantio, com auxílio de papel germitest, umedecido com água destilada na proporção de 2,5:1 (massa da água: massa do papel), com quatro repetições de 50 sementes, que foram colocadas em um germinador à temperatura constante de 25 °C. A avaliação dos resultados obedeceu às recomendações propostas pelas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). A germinação das sementes (plântulas normais), no quinto dia após o início do teste, foi de 100%.

3.6. Semeadura, adubação e controle de plantas invasoras

Para a dessecação da área utilizou-se o herbicida sistêmico glyphosate, na dosagem de 5,0L ha^{-1} . Posteriormente o plantio da cultivar Ouro Vermelho, do tipo II, de porte semiereto, grãos de coloração vermelha e ciclo entre 80 e 90 dias foi realizado por meio de uma semeadora-adubadora regulada para depositar 15 sementes por metro, a 0,03 m de profundidade. A adubação de plantio foi realizada com 350 kg ha^{-1} na formulação NPK 8-28-16, com base em análise química de solo.

Durante o desenvolvimento da cultura, o experimento recebeu aplicações dos herbicidas Flex 250, na dosagem de 600 mL ha^{-1} e Fusilade 250 EW, na dosagem de 900 mL ha^{-1} . Tais aplicações objetivaram o controle de plantas invasoras de folhas largas e de gramíneas, respectivamente. Após 27 dias do início da germinação, foi aplicado os micronutrientes: cobalto (Co) e molibdênio (Mo), na dose de 200 mL ha^{-1} , conforme as recomendações da CFSEMG (1999).

3.7. Descrição do sistema de irrigação

Foi utilizado um pivô central de marca Asbrasil PA3 Light, com lance de 57 metros de comprimento e tubulação de aço galvanizado com diâmetro de 168,3 mm (6 5/8"). O lance em balanço possui 27 m de comprimento e tubulação de aço galvanizado com diâmetro de 142 mm (5 9/16"). Assim, o pivô central possui raio total de 84 m cobrindo uma área de aproximadamente 2,17 ha. O equipamento se movia a uma velocidade de aproximadamente 112 m h⁻¹ devido a um moto redutor acoplado em sua torre. O tempo necessário para concluir uma volta à 100% é de 3,2 horas (3 horas e 12 minutos). O pivô possui 39 saídas, destas, as 3 primeiras foram fechadas para impedir uma elevada taxa de precipitação instantânea próximo à base. Cada saída possui tubos de descida que são conectadas a válvulas reguladoras de pressão PSR2, de marca Senninger®, com 69 kPa (10 psi) e um emissor à uma altura de aproximadamente 2,0 m da superfície do solo.

O sistema é composto com uma bomba KSB 32-160, de 3500 RPM e um motor Elétrico WEG de 7,5 cv. Está localizada na casa de bomba (Figura 1) à uma altitude de 712 m, enquanto o reservatório se encontra à uma altitude de 710 m e à 3 m de distância da entrada da bomba. A bomba está conectada ao pivô central por uma linha de recalque com comprimento de 120 metros.

3.8. Ensaio de precipitação e uniformidade de distribuição

As lâminas de irrigação do ensaio foram coletadas em coletores Fabrimar® de 80 mm de diâmetro. Os coletores foram espaçados equidistantemente a 3 m e instalados a 0,80 m de altura. Foram instaladas duas linhas de coletores distanciadas a um ângulo de 3°. Cada linha apresentava 84 metros de comprimento e 28 coletores, instalados nas parcelas (Figura 8).

Figura 8 - Ensaio de precipitação a campo com emissores de placa defletora rotativa oscilante.



Fonte: do autor.

O volume de água captado nos pluviômetros foi medido com uma proveta de vidro graduada, com precisão de 1 cm³ e capacidade total de 50 cm³. A leitura foi realizada logo após a conclusão da aplicação de água no ponto, para evitar problemas com perdas devido a evaporação. Em seguida, os valores encontrados foram convertidos em lâmina d'água e, posteriormente, utilizados no cálculo de lâmina média coletada. A eficiência de irrigação (Ei) do sistema foi avaliada conforme a Equação 2, proposta por Bernardo et al. (2019).

$$E_i = E_a * \frac{E_d}{100} \quad (\text{Equação 2})$$

em que,

E_i = Eficiência de irrigação (%);

E_a = Eficiência de aplicação (%); e

E_d = Eficiência de distribuição (%).

A uniformidade de distribuição de água do ensaio de precipitação foi analisada segundo o coeficiente de uniformidade de Christiansen (1942) conhecido também

como CUC e adaptada para pivô central conforme Heermann e Hein (1968) (Equação 3), resultando em uma uniformidade de irrigação igual a 90,28%.

$$CUC = 100 * \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n a_i * |X_i - \bar{X}|}{\sum_{i=1}^n a_i * X_i} \right) \quad (\text{Equação 3})$$

A lâmina média coletada é dada por:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i * X_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (\text{Equação 4})$$

em que,

CUC = Coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

a_i = Área representativa do coletor de ordem i (mm);

X_i = Lâmina coletada no coletor de ordem i (mm);

\bar{X} = Lâmina média coletada (mm); e

n – Número total de coletores (adimensional).

3.9. Manejo da irrigação

Nas sementes, a restrição hídrica pode atrasar a germinação, afetando a divisão celular e a mobilização de reservas, conseqüentemente afetar o estabelecimento da planta (Gomes et al., 2015). Portanto, a fim de evitar comprometer a germinação de um dos tratamentos em fase inicial de desenvolvimento, logo após a semeadura, todos os tratamentos receberam a mesma lâmina de água até o final do estágio de maturação V2, que é caracterizada pela abertura total das folhas primárias. Em seguida, passou-se a aplicar as lâminas referentes a cada um dos tratamentos propostos.

As irrigações ocorreram em períodos noturnos, com algumas exceções que foram realizadas as cinco horas da manhã. Para o cálculo das lâminas a serem aplicadas a cada tratamento utilizou-se a metodologia proposta por Mantovani et al. (2009).

A irrigação real necessária (IRN) para o tratamento com reposição de água de 100% da ETc foi definida em função de parâmetros climáticos, do sistema de irrigação adotado, de características da planta e do solo (Equação 5), representando a real

necessidade hídrica das culturas. O turno de rega (TR) foi variável utilizando um fator de disponibilidade (f) de 0,5, ou seja, foi utilizado 50% da caixa d'água do solo.

$$IRN = \sum_{\text{dia}1}^i ETo Kc Ks - P_E \quad (\text{Equação 5})$$

em que,

IRN = irrigação real necessária (mm);

ETo = evapotranspiração de referência (mm d⁻¹);

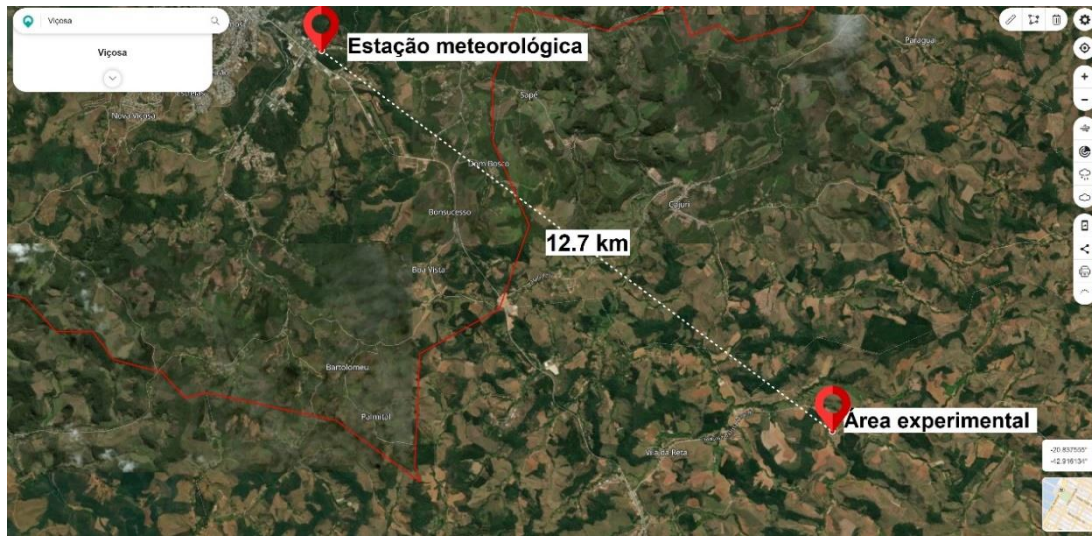
K_C = coeficiente da cultura (adm.);

K_S = coeficiente de umidade do solo (adm.);

P_E = precipitação efetiva no período (mm).

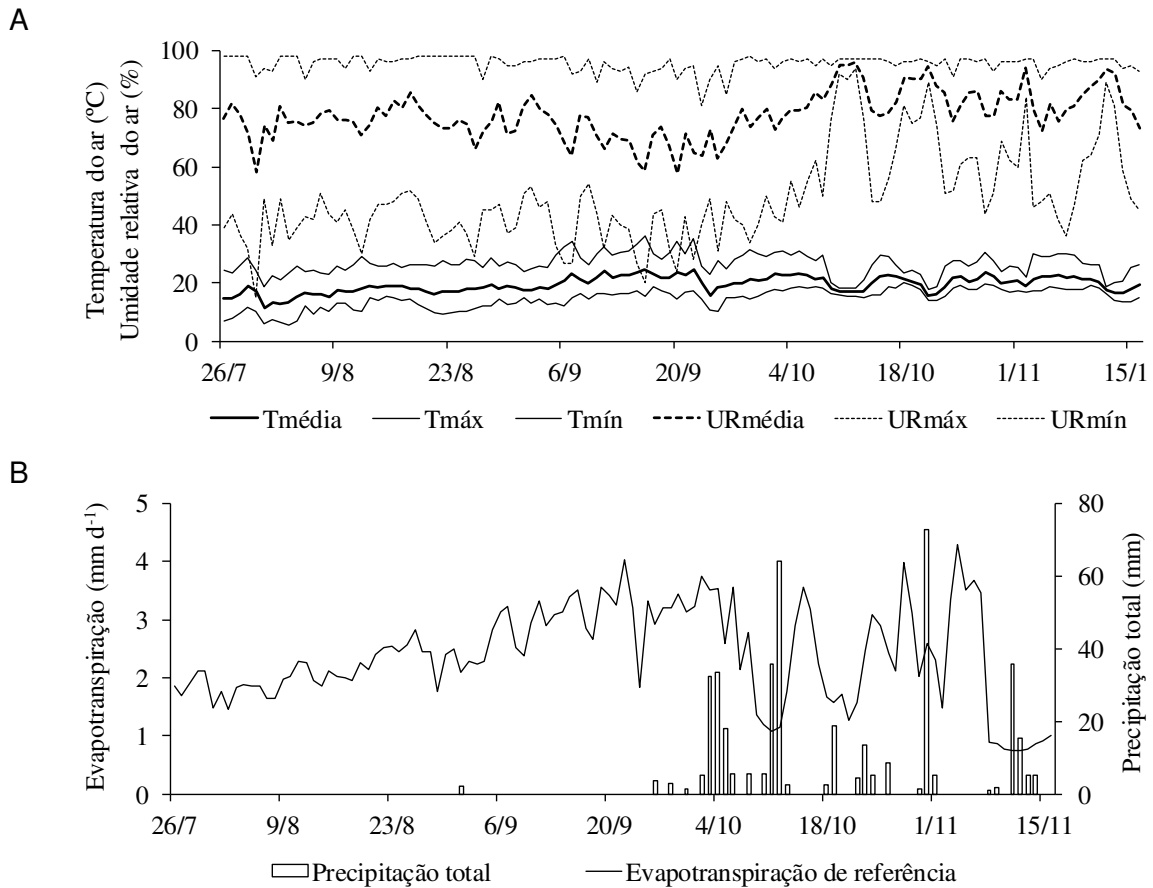
A metodologia de Penman-Monteith FAO 56 (ALLEN et al., 1998) foi utilizada para estimar a evapotranspiração de referência (ETo). Os dados meteorológicos diários para estimativa da ETo foram obtidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), da rede pertencente a estação de Viçosa, MG. Essa estação está instalada a uma altitude de 700 m, e a uma distância aproximada de 12,7 km da área experimental (Figura 9). As variações dos elementos meteorológicos diários estão apresentadas na Figura 10. A precipitação pluvial foi obtida por meio de um pluviômetro localizado na área experimental. A precipitação efetiva foi aquela utilizada diretamente pela cultura (BERNARDO et al., 2019), sendo a quantidade de água necessária para elevar o teor de umidade atual no momento da chuva para um teor de água equivalente à capacidade de campo.

Figura 9 - Visão de satélite exibindo a distância entre a estação meteorológica automática, em Viçosa - MG, e a área experimental em Coimbra - MG.



Fonte: do autor.

Figura 10 - Variação diária da (A) temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), (B) evapotranspiração de referência (mm d^{-1}) e precipitação pluvial (mm) referentes ao período experimental.



Fonte: do autor.

Os coeficientes de cultivo (K_c) utilizados foram de 0,70, 1,25 e 0,40 para os estádios I e III e final do IV, respectivamente. Para o estádio II foi utilizada ponderação linear entre o final do estádio I e início do estádio III. As durações dos estádios I, II, III e IV foram de 20, 30, 40 e 30 dias, respectivamente. O coeficiente de umidade do solo (K_s) foi calculado de acordo com a Equação 6.

$$K_s = \frac{\ln(LAA+1)}{\ln(CTA+1)} \quad (\text{Equação 6})$$

em que,

K_s = coeficiente de umidade do solo (adm.);

LAA = lâmina atual de água no solo (mm); e

CTA = capacidade total de água no solo (mm).

O valor da IRN foi corrigido em função da eficiência de irrigação do sistema, definindo a irrigação total necessária (ITN), conforme Equação 1. Após cada aplicação, com a utilização dos coletores instalados na área, foi feita a conferência e correção, quando houve necessidade, do volume bruto e do real da lâmina aplicada.

3.10. Avaliações pós-emergência

3.10.1. Uniformidade de distribuição longitudinal de plântulas

Imediatamente após a emergência de plântulas se estabilizar, foram medidos os espaçamentos (X_i) em 10 m, na linha central de semeadura de cada unidade experimental no centro do cultivo. Em seguida, os espaçamentos foram classificados em múltiplos, aceitáveis e falhos, conforme mostrado na Tabela 2, expressos em porcentagem e calculados sobre o número total verificado.

Tabela 2 - Limites de tolerância das variações dos espaçamentos (Xi) entre plântulas e o tipo de espaçamento considerado

Tipo de Espaçamento	Intervalo de Tolerância para Variação de Xi
Múltiplos	$X_i \leq 0,5 * X_{ref}$
Aceitáveis	$0,5 * X_{ref} < X_i < 1,5 * X_{ref}$
Falhos	$X_i \geq 1,5 * X_{ref}$

X_i = espaçamento entre plântulas obtido a campo. Fonte: adaptado de Kurachi et al. (1989).

X_{ref} = valor de referência obtido em função do espaçamento e da população.

Fonte: Kurachi et al.

O método utilizado para a classificação dos espaçamentos foi proposto por Kurachi et al. (1989). Os limites utilizados foram definidos com base na amplitude de variação em relação a um valor de referência, obtido em função do espaçamento e da população utilizados.

3.10.2. Emergência de plântulas

O tempo médio de emergência foi obtido com base na contagem de plântulas emergidas, nos dez metros centrais de cada linha de semeadura. A contagem teve início no primeiro dia de emergência das plântulas (sexto dia após a semeadura) e foi mantida até a estabilização do número de plantas (oitavo dia após a semeadura). No cálculo do tempo médio de emergência foi utilizada a Equação 7, proposta por Edmond e Drapala (1958).

$$N_m = \frac{E_1 \cdot T_1 + E_2 \cdot T_2 + \dots + E_n \cdot T_n}{E_1 + E_2 + \dots + E_n} \quad \text{Equação (7)}$$

em que,

N_m = Tempo médio de emergência (dias);

$E_{1...n}$ = Número de plântulas emergidas desde a primeira contagem; e

$T_{1...n}$ = Número de dias após a semeadura.

3.10.3. Produtividade de grãos e componentes de rendimento

Após atingir a maturação as plantas foram colhidas manualmente em uma área plantada de 5,0 m², no centro de cada unidade experimental. Depois de secadas naturalmente, toda esta quantidade foi trilhada também de forma manual.

Para os componentes do rendimento foram coletadas 50 plantas aleatórias na linha central de plantio, e destas plantas foi avaliado o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem, a massa de 100 sementes e a produtividade de grãos em kg ha⁻¹, com teor água ajustado para 13%. As amostras dos grãos foram obtidas de forma aleatória e colocadas na estufa em temperatura de 105 °C, seguindo-se a metodologia proposta por Brasil (2009). Os grãos foram pesados antes e após serem colocados na estufa para determinação, de acordo com a equação 8, do teor de água na amostra.

$$M_c = M_o \left[1 - \frac{U_o}{100} \right] / \left[1 - \frac{U_c}{100} \right] \quad \text{Equação (8)}$$

em que,

M_c = Massa corrigida (kg);

M_o = Massa observada (kg);

U_o = Teor de água (%); e

U_c = Teor de água de correção (%).

3.11. Custos de produção

O custo de produção do feijoeiro foi determinado por meio do levantamento das despesas envolvidas no processo, desde o preparo do solo até a colheita.

Estas despesas foram subdivididas em custos com operações mecanizadas, custos com operações manuais, custo com irrigação e custo dos insumos utilizados.

3.11.1. Custo das operações mecanizadas

Os custos foram separados em custos fixos e custos variáveis. A vida útil estimada em anos, a vida útil em horas e o valor residual das máquinas, foram obtidos a partir das informações disponibilizados por CONAB (2010) e são mostrados na Tabela 3, bem como com os valores de aquisição das máquinas.

Tabela 3 - Valores de aquisição, vida útil e valor residual das máquinas utilizadas.

Máquinas	Valor de aquisição (R\$)	Data da aquisição	Vida útil (anos)	Vida útil (horas)	Valor Residual (%)
Trator John Deere	91182,00	2009	10	15000	20
Semeadora-adubadora	25000,00	2013	15	1200	20

Fonte: do autor.

É importante ressaltar que tanto o trator quanto a semeadora-adubadora são equipamentos para utilização experimental, portanto, possuem poucas horas de funcionamento desde sua aquisição, sendo uma média anual equivalente a 150 horas. Os equipamentos estão em condições ótimas de funcionamento e fornecimento de potência.

3.11.1.1. Custos fixos

Os custos fixos são aqueles que não dependem do uso das máquinas e incluem a depreciação, juros, abrigo e seguro das mesmas.

3.11.1.1.1. Depreciação

Entende-se por depreciação a mudança no valor das máquinas agrícolas devido à idade, uso ou obsolescência, podendo ser distribuída uniformemente sobre o seu uso acumulado em horas ou hectares quando o objetivo da estimativa é prever os custos da produção agrícola (ASABE, 2011a; PAINTER, 2011). A depreciação foi calculada pelo método linear, subtraindo-se o valor residual da máquina pelo seu valor de aquisição e dividindo-se o resultado pelo tempo previsto de uso da mesma (ASABE, 2011a) (Equação 9).

$$D_{ma} = \frac{V_i - V_r}{V_u} \quad \text{Equação (9)}$$

em que,

D_{ma} = Depreciação média anual (R\$ ha⁻¹);

V_i = Valor de aquisição dos componentes (R\$);

V_r = Valor residual ao final da vida útil (R\$); e,

V_u = Vida útil estimada (horas).

3.11.1.1.2. Juros

Os juros referem-se ao custo de oportunidade, que são gerados pela imobilização do capital decorrente do investimento na compra das máquinas agrícolas, se fazendo necessário sua contabilização. Para se estimar os juros considerou-se a taxa anual de juros que é aplicada ao Programa Moderfrota para o ano agrícola 2021/2022, que foi de 8,5% a.a. (BRASIL, 2021). O custo de juros foi calculado como um percentual do investimento médio realizado em cada máquina (PAINTER, 2011), conforme Equação 10.

$$J = \frac{i (\text{IMM})}{H_a} \quad \text{Equação (10)}$$

em que,

J = Juros sobre o capital investido (R\$ h⁻¹);

i = Taxa de juros (decimal);

IMM = Investimento médio na máquina (R\$); e

H_a = número estimado de horas de trabalho por ano (h).

O investimento médio realizado em máquinas foi calculado pela Equação 11 (PAINTER, 2011) para cada uma das máquinas utilizadas no experimento.

$$\text{IMM} = \frac{\text{Va} + \text{Vr}}{2} \quad \text{Equação (11)}$$

em que,

IMM = Investimento médio na máquina (R\$);

Va = Valor de aquisição da máquina (R\$); e

Vr = Valor residual ao final da vida útil (R\$).

3.11.1.1.3. Abrigo e seguro

As parcelas que se referem a abrigos e seguros das máquinas e equipamentos são incluídas para determinar os gastos que o produtor tem na garantia da segurança e proteção das suas máquinas contra intempéries, roubos e acidentes. A ASABE (2011a) recomenda que esses custos sejam estimados como percentual do preço de aquisição das máquinas e que seja adotado os valores de 0,75% a.a. para abrigos e 0,25% a.a. para seguros. Portanto, assim foi feito neste trabalho. O custo horário referente a abrigos e seguros foi calculado por meio da Equação 12.

$$\text{CAS} = \frac{(\text{Ta} + \text{Ts}) \text{Va}}{\text{Ha}} \quad \text{Equação (12)}$$

em que,

CAS = Custo de abrigos e seguros (R\$ h⁻¹);

TA = Taxa referente a abrigo (decimal);

TS = Taxa referente a seguro (decimal);

Va = Valor de aquisição da máquina (R\$); e

Ha = número estimado de horas de trabalho por ano (h).

3.11.1.2. Custos variáveis

Os custos variáveis das máquinas agrícolas dependem da quantidade de uso que se faz da máquina, incluindo gastos com reparos, manutenção, combustíveis, lubrificantes e aqueles relativos à mão de obra utilizada nas operações.

3.11.1.2.1. Reparos e manutenções

Sendo uma das parcelas mais importantes referentes aos gastos, o custo com reparos e manutenções eleva-se à medida que se aumenta as horas de uso. Os mesmos foram estimados conforme a Equação 13, adaptada da relação proposta pela ASABE (2011a). Essa equação estima os custos totais de todas as peças de reposição, materiais e, também, da mão de obra para manter a máquina trabalhando sempre em boas condições. Os custos reais podem variar em função de diferenças na manutenção, gerenciamento e qualidade da máquina (ASABE, 2011a).

$$CRM = \frac{(RF1) Va \left[\frac{h}{1000} \right]^{(RF2)}}{h} \quad \text{Equação (13)}$$

em que,

CRM = Custo de reparo e manutenção (R\$ h⁻¹);

RF1 e RF2 = Fatores de reparo e manutenção (ASAE D497);

Va = Valor de aquisição da máquina (R\$); e,

h = Uso acumulado da máquina (horas)

Os fatores RF1 e RF2 foram obtidos na norma ASAE D497 (ASABE, 2011b) e são mostrados na Tabela 4. As horas acumuladas e o preço inicial de cada máquina foram apresentados na Tabela 3.

Tabela 4 - Fatores de reparo e manutenção das máquinas (ASABE, 2011b)

Máquinas	Fatores de reparo e manutenção	
	RF1	RF2
Trator John Deere	0,003	2,0
Semeadora-adubadora	0,32	2,1

Fonte: do autor.

3.11.1.2.2. Lubrificantes

Para o cálculo dos custos com lubrificantes utilizados no trator foram levados em consideração os gastos com lubrificantes líquidos, devido às trocas periódicas dos óleos e o consumo de graxa, por conta das aplicações que foram realizadas quando houve demanda.

Na Tabela 15 são apresentados os pontos de lubrificação do trator John Deere, bem como as características dos lubrificantes recomendados, volumes utilizados, intervalo de troca e preços.

O consumo de óleo lubrificante do trator, devido a trocas periódicas, foi estimado por meio da Equação 14, adaptada de Mialhe (1974), para os pontos de lubrificação que são apresentados.

$$COL = \frac{\left(\frac{h}{It}\right) Q}{h} \quad \text{Equação (14)}$$

em que:

COL = Consumo de óleo lubrificante ($L h^{-1}$);

h = Uso acumulado da máquina (horas);

It = Intervalo de troca de óleo (horas); e,

Q = Quantidade de óleo necessária (L).

O custo dos óleos lubrificantes, assim como da graxa foi determinado multiplicando-se os consumos estimados pelos preços dos respectivos produtos, mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Características relacionadas à lubrificação do trator

Local	Especificações	Volume (L)	Intervalo de troca (h)	Custo*
Motor	SAE 15W40	13,00	500	24,30 (R\$ L ⁻¹)
Caixa de câmbio, TDP, transmissão final, freios, SLH e direção hidráulica	Óleo multifuncional	66,00	500	20,75 (R\$ L ⁻¹)
Eixo dianteiro – diferencial	SAE 90	5,50	500	15,00 (R\$ L ⁻¹)
Eixo dianteiro – redutor planetário (cada lado)	SAE 90	0,75	500	15,00 (R\$ L ⁻¹)
Ponto de lubrificação com graxa	Graxa a base de lítio NGLI nº 2	Conforme necessidade	500	25,10 (R\$ kg ⁻¹)

Fontes: John Deere®; valores referentes à julho de 2021.

O consumo de graxa foi calculado com base nos parâmetros fornecidos por Balastreire (2004) e Pacheco (2000), apresentados a seguir:

- consumo de graxa de tratores: 0,05 kg h⁻¹;
- consumo de graxa para implementos: 0,03 kg h⁻¹.

O custo total da graxa utilizada foi calculado pela multiplicação dos respectivos consumos pelo preço da graxa, apresentados na Tabela 5.

3.11.1.2.3. Mão de obra

O custo da mão de obra dos tratoristas tem inclusos o salário mensal, benefícios e encargos que são pagos pelos empregadores. Foi adotado o valor do salário mensal brasileiro em 2021, ano de execução do experimento, no valor de R\$1100,00. Para incluir os encargos e benefícios trabalhistas, aplicou-se o percentual utilizado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) para trabalhadores contratados por meio de convenção coletiva, em que o valor total é de 41,59%

(CONAB, 2010). Considerou-se uma jornada de trabalho de 8 horas (com exceção de sábados) ou 44 horas semanais. O custo por hora com mão de obra de tratorista foi estimado de acordo com a Equação 15.

$$CMT = \frac{(S * 12) (1 + E)}{Ns \ Hs} \quad \text{Equação (15)}$$

em que,

CMT = Custo da mão de obra do tratorista (R\$ h⁻¹);

S = Salário mensal do tratorista (R\$);

E = Encargos e benefícios trabalhistas (decimal);

NS = Número de semanas do ano; e,

HS = Horas semanais trabalhadas.

3.11.1.2.4. Custo do combustível

Para o cálculo do custo com combustível, foi utilizado os valores médios de consumo horário de diesel, mensurados pelo fluxômetro, e determinados para cada uma das combinações entre os tratamentos avaliados, conforme (Equação 16).

$$C_{comb} = C_h \ P_d \quad \text{Equação (16)}$$

em que,

C_{comb} = Custo do combustível usado nas operações mecanizadas (R\$ h⁻¹);

C_h = Consumo horário de combustível (L h⁻¹); e,

P_d = Preço de revenda do óleo diesel n (R\$ L⁻¹).

O valor do Diesel S10 considerado para o cálculo foi de R\$4,727 L⁻¹. Este valor foi baseado na média dos preços cobrados nos municípios de Minas Gerais que tiveram os preços levantados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2022), na data da execução da operação de plantio (26/07/2021). Este levantamento da ANP não foi aplicado no município de Coimbra, onde o experimento foi conduzido.

3.11.1.3. Custo da operação de plantio.

O custo da operação mecanizada de semeadura foi determinado em função da área cultivada e dividindo-se o valor obtido pela sua capacidade operacional.

Os custos fixos foram determinados pela soma dos valores da depreciação, juros, abrigos e seguros. Já os custos variáveis com base na soma das parcelas referentes ao combustível, lubrificantes, reparos e manutenções e mão de obra. O custo total foi obtido pela soma dos custos fixos e variáveis.

3.12. Custo do sistema de irrigação

Foi adotado o valor médio de 12.500,00 R\$ ha⁻¹ para a aquisição do sistema de pivô central e o custo da lâmina de água, em milímetros, somada ao custo da energia elétrica de 2,50 R\$ ha⁻¹ (Oliveira et al., 2020).

O uso de mão de obra para o sistema de pivô central é de 0,2 horas/há/irrigação segundo Marouelli e Silva (2011).

O custo total anual do sistema foi calculado pela metodologia apresentada por Marouelli e Silva (2011), sendo constituído pelo custo fixo que inclui a depreciação do sistema e o custo de oportunidade do capital; e pelo custo variável, que é composto pelo custo operacional (gastos com energia elétrica ou combustível, mão de obra e água de irrigação) e pelo custo de manutenção. A vida útil e os fatores para estimar o custo com manutenção correspondem ao valor médio dos intervalos que foram propostos por Marouelli e Silva (2011), e são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Custo inicial, vida útil e fator de manutenção para os componentes do sistema de irrigação

Componente	Custo inicial (R\$ ha⁻¹)	Vida útil (anos)	Manutenção (% Custo inicial)
Sistema de Pivô Central	12500,00	15	5
Energia elétrica + mm água aplicado	2,50	-	-

Fonte: do autor.

3.12.1. Custos fixos do sistema de irrigação

3.12.1.1. Depreciação

A depreciação média anual dos componentes do sistema de irrigação foi determinada utilizando-se o método linear (Equação 17). Os valores residuais ao final da vida útil foram de 5% para os componentes, conforme proposto por Marouelli e Silva (2011).

$$DMA = \frac{Vi - Vr}{Vu} \quad \text{Equação (17)}$$

em que,

DMA = Depreciação média anual (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

Vi = Valor de aquisição dos componentes (R\$ ha⁻¹);

Vr = Valor residual ao final da vida útil (R\$ ha⁻¹); e,

Vu = Vida útil estimada (anos).

3.12.1.2. Custo de oportunidade (juros)

O custo de oportunidade foi estimado por meio da Equação 18, em que foi utilizado como taxa de juros anual o valor médio da remuneração dos depósitos de poupança para o ano de 2021, que foi de 2,48 % a.a. (BCB, 2022).

$$COma = \frac{Vi + Vr}{2} * i \quad \text{Equação (18)}$$

em que,

COma = Custo de oportunidade médio anual (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

Vi = Valor de aquisição dos componentes (R\$ ha⁻¹);

Vr = Valor residual ao final da vida útil (R\$ ha⁻¹); e,

i = Taxa de juros anual (decimal).

3.12.2. Custos variáveis do sistema de irrigação

3.12.2.1. Custos operacionais

Os custos operacionais do sistema de irrigação são àqueles gerados pela necessidade de energia elétrica para o funcionamento de todo sistema e ao custo da água utilizada para irrigar. Como mencionados, o valor para os custos, somados, de água mais energia elétrica foi de 2,50 R\$ ha⁻¹. Foram determinados os custos operacionais referentes ao cultivo de um ciclo da cultura.

3.12.2.2. Custo de manutenção

O custo com manutenção do sistema de irrigação corresponde a um percentual do seu custo de aquisição. Portanto, os valores de aquisição dos componentes do sistema foram multiplicados pelos seus respectivos fatores de manutenção apresentados na Tabela 6.

3.12.3. Custos total do sistema de irrigação

O custo total do sistema de irrigação foi obtido por meio da Equação 19, a seguir:

$$CT_{sr} = (DMA + CO_{ma}) + (CAE + CMS) \quad \text{Equação (19)}$$

em que,

CT_{sr} = Custo total anual do sistema de irrigação (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

DMA = Depreciação média anual (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

CO_{ma} = Custo de oportunidade médio anual (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹);

CAE = Custo da água de irrigação e energia elétrica (R\$ ha⁻¹); e,

CMS = Custo de manutenção do sistema (R\$ ha⁻¹).

3.13. Custo dos insumos

Os custos com fertilizantes, defensivos e sementes para a comercialização do feijão, foram calculados conforme as condições do experimento e com base nos preços médios das sacas do grão praticados no Brasil, nos meses de execução do experimento.

Os insumos aplicados durante o todo o cultivo são mostrados na Tabela 7. O custo total desses insumos (R\$ ha⁻¹) é determinado pela soma dos custos individuais de cada produto. O custo individual foi determinado multiplicando a quantidade necessária à adubação de um hectare pelo valor de compra do fertilizante.

Tabela 7 - Insumos utilizados durante o cultivo do feijão

Insumo	Quantidade aplicada
Adubo NPK 8-28-16	350 kg ha ⁻¹
Glyphosate	5 L ha ⁻¹
Flex 250	600 mL ha ⁻¹
Fusilade 250 EW	900 mL ha ⁻¹
CoMo 10	200 mL ha ⁻¹
Sementes	71 kg ha ⁻¹

Fonte: do autor.

O cálculo do custo com defensivos foi feito considerando as dosagens aplicadas, o número de aplicações e o preço unitário do produto. O custo total correspondeu a soma dos custos individuais dos produtos utilizados.

Para o cálculo da semente foi determinado a massa de sementes utilizadas no plantio experimental, encontrando-se a partir desta, a quantidade necessária por hectare. Como foi utilizado uma linhagem ainda não lançada para comércio, adotou-se o preço médio de variedades ouro vermelho vendidos na região, sendo o valor de R\$10,00 o quilo.

3.14. Custo das operações manuais

Durante o cultivo do feijoeiro, foram realizadas operações manuais de aplicação de defensivos, fertilização e colheita do feijão

O custo com as operações de aplicação de defensivos (CAD), utilizando-se um pulverizador costal, foi determinado com base no valor do salário mensal mínimo praticado do período do experimento (R\$ 1100,00), acrescido do adicional de insalubridade (20%), valor adotado na região experimental, onde é inexistente uma Convenção Coletiva de Trabalho. Portanto este valor é uma média do que é praticado por outras Convenções de outras regiões. Também é calculado um percentual de 41,59% sobre o valor do salário mensal que se refere a encargos e benefícios

trabalhistas (CONAB, 2010). Foi considerado no cálculo somente o período referente ao ciclo da cultura (feijoeiro) implantada com jornada diária de 8 horas.

O custo da operação de retirada de plantas invasoras (CRP) foi calculado multiplicando-se o número de diárias que foram necessárias à realização da operação na área ocupada pelo experimento e pelo valor pago por cada diária. Cada tratamento teve o valor da mão de obra extrapolado para hectare.

O custo da mão de obra para a operação de colheita (MOC) ao final do ciclo da cultura é normalmente negociado entre o produtor e os trabalhadores rurais, sendo definido em função do número de linhas. Este processo de colheita, segundo os produtores, é chamado de Tarefa e consistem na colheita de 2400 metros lineares, por um valor de R\$70,00. Considerando um hectare e o espaçamento adotado para plantio, são necessárias 8,33 tarefas por hectare, totalizando R\$ 583,33 por hectare colhido.

O custo total das operações manuais (COM) foi obtido por meio da Equação 20.

$$\text{COM} = (\text{CAD} + \text{CRP} + \text{MOC}) \quad \text{Equação (20)}$$

em que,

COM = Custo total das operações manuais (R\$ ha⁻¹);

CAD = Custo da mão de obra para aplicação de defensivos (R\$ ha⁻¹);

CRP = Custo da mão de obra para retirada de plantas invasoras (R\$ ha⁻¹); e,

MOC = Custo da mão de obra para colheita do feijão (R\$ ha⁻¹).

Os custos para aplicação de defensivos e com a retirada de plantas daninhas foram considerados os mesmos, independentes dos tratamentos avaliados.

3.15. Custo de produção

O custo de produção por hectare foi determinado pelo somatório dos custos com operações mecanizadas, operações manuais, custo de irrigação e insumos. O custo por saca de feijão foi calculado dividindo-se o custo de produção por hectare pelo respectivo número de sacas obtidos.

3.16. Indicadores de eficiência econômica

3.16.1. Receita bruta

A receita bruta da cultura foi calculada com base no preço médio pago aos produtores pela saca de feijão fornecidos pela Conab (2021) para comercialização no estado de Minas Gerais.

3.16.2. Receita líquida

A receita líquida por cada ciclo da cultura é dada pela renda obtida pelo produtor depois de descontado o custo total de produção. Desta forma, os tratamentos com a maior receita líquida foram considerados os mais favoráveis à implantação.

O cálculo da receita líquida foi feito por meio da Equação 21 para o ciclo da cultura.

$$RL = RB - CP$$

Equação (21)

em que,

RL = Receita líquida por ciclo da cultura (R\$ ha⁻¹);

RB = Receita bruta por ciclo da cultura (R\$ ha⁻¹); e,

CP = Custo total da produção de feijão (R\$ ha⁻¹).

3.16.3. Taxa interna de retorno

A taxa interna de retorno (TIR) consiste em uma medida percentual do rendimento sobre o capital inicial que foi investido na produção da cultura, sendo calculada conforme a Equação 22 (SILVA et al., 2012).

$$\sum_{j=0}^n RB_j (1 + TIR)^{-j} = \sum_{j=0}^n CP_j (1 + TIR)^{-j} \quad \text{Equação (22)}$$

em que,

TIR = Taxa interna de retorno (%);

RB = Receita bruta anual (R\$ ha⁻¹);

CP = Custo total de produção (R\$ ha⁻¹);

n = Número total de ciclos; e,

j = ciclo em que a receita ou o custo ocorrem.

Nos cálculos efetuados foi considerado apenas um ciclo de produção, portanto, n = j = 1.

A TIR foi utilizada para comparar as diferentes combinações entre tratamentos utilizados, uma vez que quanto maior for o valor desta taxa, mais rentável e eficiente foi o sistema adotado.

3.17. Análise dos dados

Os dados foram analisados por meio da análise da metodologia da superfície de resposta. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste “t” adotando o nível de 5% de probabilidade, no coeficiente de determinação ($R^2 = \frac{SQ_{reg}}{SQ_{trat}}$), no critério de back word e no comportamento do fenômeno em estudo. Todos os procedimentos estatísticos foram feitos utilizando o programa computacional R (R CORE TEAM, 2017).

Os dados referentes aos custos das operações mecanizadas foram submetidos a análise de variância. As médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Os indicadores econômicos receita bruta, receita líquida, taxa interna de retorno e o custo unitário de produção foram utilizados para avaliar a eficiência econômica do cultivo em função dos tratamentos avaliados.

4. Resultados e Discussões

4.1. Caracterização da área experimental

4.1.1. Cobertura vegetal

A cobertura vegetal que se encontra presente em sistema de plantio direto possui diversos benefícios, tais como: manutenção da umidade do solo, proteção contra erosão, disponibilizar nutrientes para culturas que serão implantadas posteriormente, suprimir plantas invasoras, entre outras.

O valor da massa seca média da cobertura vegetal (restos culturais do milho) na área experimental foi de 13.054,00 kg ha⁻¹.

4.1.2. Densidade do solo e resistência mecânica à penetração antes do plantio

Os resultados de densidade do solo foram representados pela média da área experimental, nas profundidades de 0 - 10, 10 - 20, 20 - 30, 30 - 40, 40 - 50 e 50 - 60 centímetros de profundidade (Tabela 8).

Tabela 8 - Densidade do solo na profundidade de 0 a 60 centímetros.

Amostra	Umidade atual (kg/kg)	Densidade (g/cm³)
0-10 cm	0,249	1,27
10-20 cm	0,252	1,02
20-30 cm	0,248	0,94
30-40 cm	0,277	1,09
40-50 cm	0,354	1,25
50-60 cm	0,380	1,24

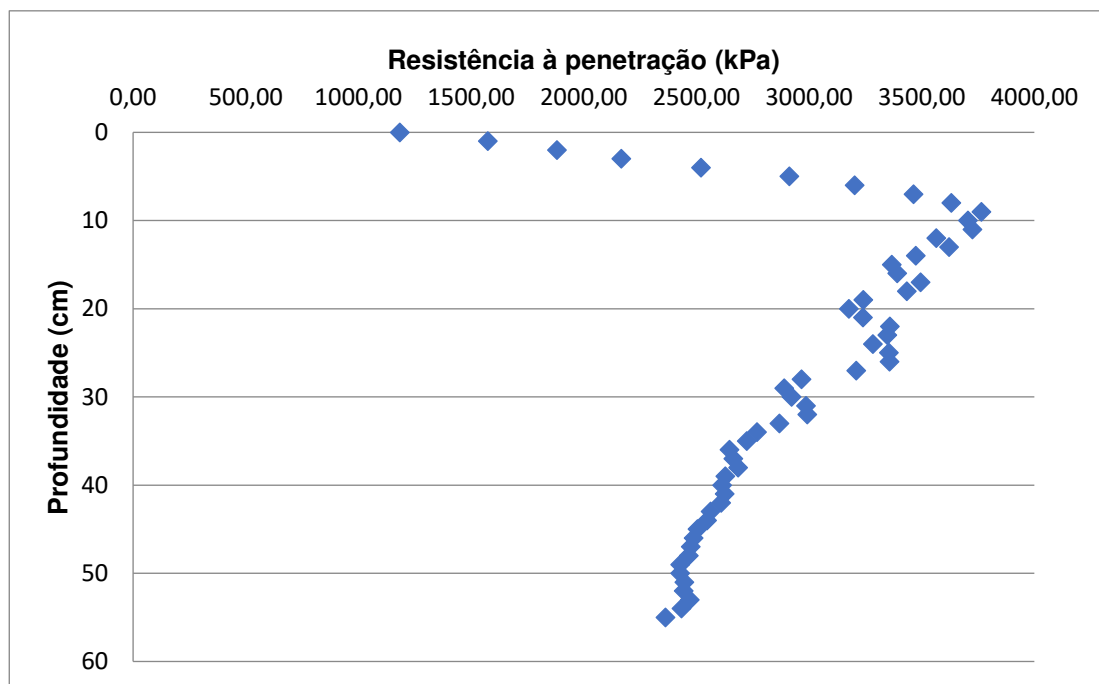
Fonte: do autor.

Na Figura 10 são exibidos os valores médios de resistência mecânica do solo à penetração, em kPa, na área experimental. Solos argilosos, isto é, com teores de

argila acima de 35%, são altamente susceptíveis à compactação (EMBRAPA, 2014). O solo da área experimental apresentava teor de argila médio nas camadas de 55%.

Observou-se que os maiores valores de compactação encontrados estão nas camadas de 10 a 30 centímetros de profundidade. O teor de água do solo encontrava-se abaixo da capacidade de campo (média de 45,34%bs na profundidade de 0 a 60 cm, o que contribui para aumento na resistência a penetração.

Figura 11 - Resistência do solo à penetração (kPa) antes do plantio, na área experimental.



Fonte: do autor.

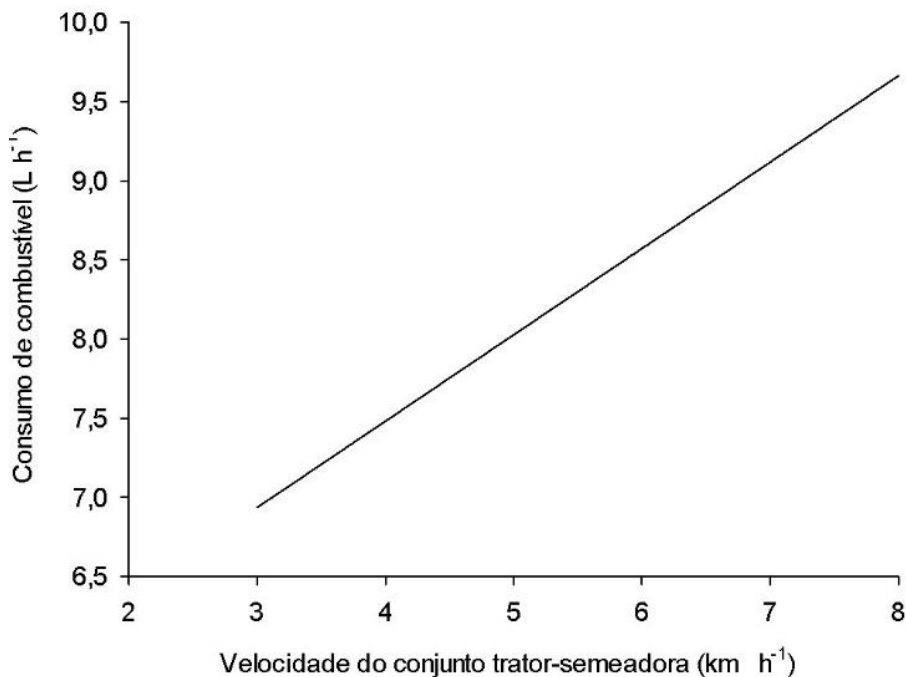
O valor de resistência mecânica a penetração de 2000 kPa é utilizada como fator limitante para indicar condições mais adequadas para o desenvolvimento radicular. Valores acima de 2000 kPa já são considerados suficientes para intervenção e aplicação de manejo buscando prevenir possíveis problemas de compactação do solo. Entretanto, alguns estudos sugerem que este valor limite seja alterado para 3500 kPa em solos consolidados em sistema de plantio direto, pois as raízes fazem uso dos espaços porosos e conseguem se desenvolver sem afetar a produtividade dos grãos (Tormena et al., 2007; Betioli Júnior et al., 2012).

4.2. Consumo de combustível

O consumo de combustível foi determinado apenas em função da velocidade de semeadura pois as aplicações das lâminas de irrigação começaram apenas após esta operação. A variável estudada apresentou efeito linear positivo e significativo (Figura 12).

FIGURA 12 - Consumo de combustível do conjunto trator-semeadora ($L h^{-1}$) em função da velocidade de deslocamento do conjunto trator-semeadora. Equação ajustada e coeficiente de determinação (r^2)* - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

$$\widehat{C}_{comb} = 5,29941 + 0,545562 * V \quad (r^2 = 0,9419)$$



Fonte: do autor.

Com o aumento da velocidade de semeadura tem-se maior consumo de combustível, isto é, para cada unidade adicionada na velocidade tem-se um aumento no consumo de combustível de $0,0545562 L h^{-1}$.

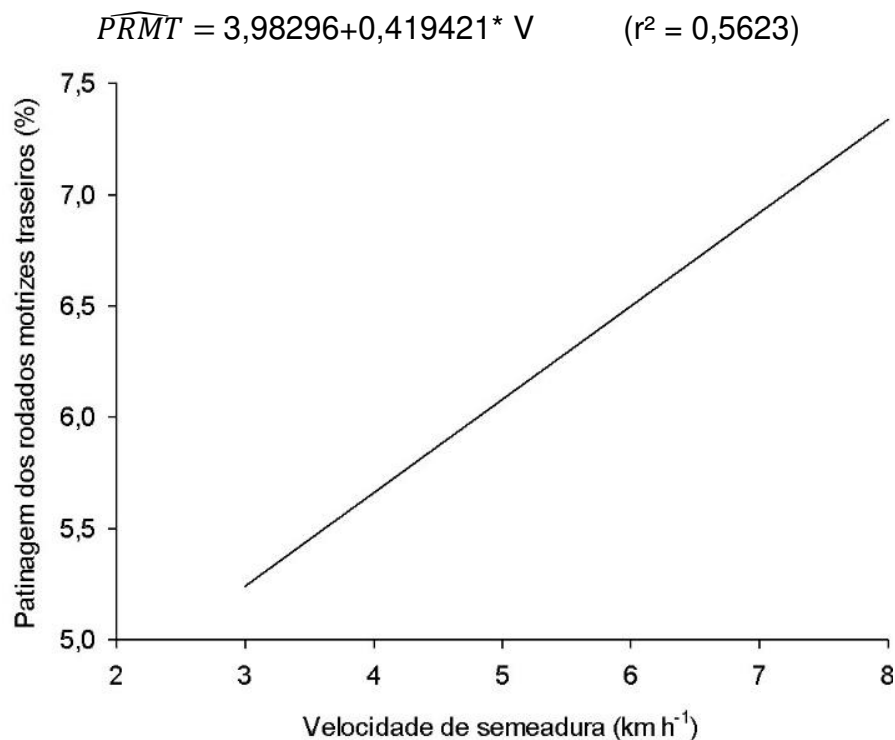
O aumento da velocidade do trator, que é provocado pelo incremento da rotação, gera maior necessidade de energia, conseqüentemente mais combustível é injetado na câmara de combustão para que se tenha mais geração de trabalho, fazendo com que se consuma mais combustível, conforme observado neste estudo.

Somando-se a isto, os mecanismos sulcadores da semeadora precisam de mais potência para romper a camada de solo quando se aumenta a velocidade. Souza et al. (2015) encontraram resultados semelhantes aos observados neste trabalho

4.3. Patinagem dos rodados motrizes

Em relação à patinagem dos rodados motrizes traseiros (PRMT) e dianteiros (PRMD) do trator, foi avaliado apenas o efeito da variável velocidade de semeadura. Pode se observar que houve efeito significativo pelo teste t a 1% de probabilidade (FIGURA 23 e 24).

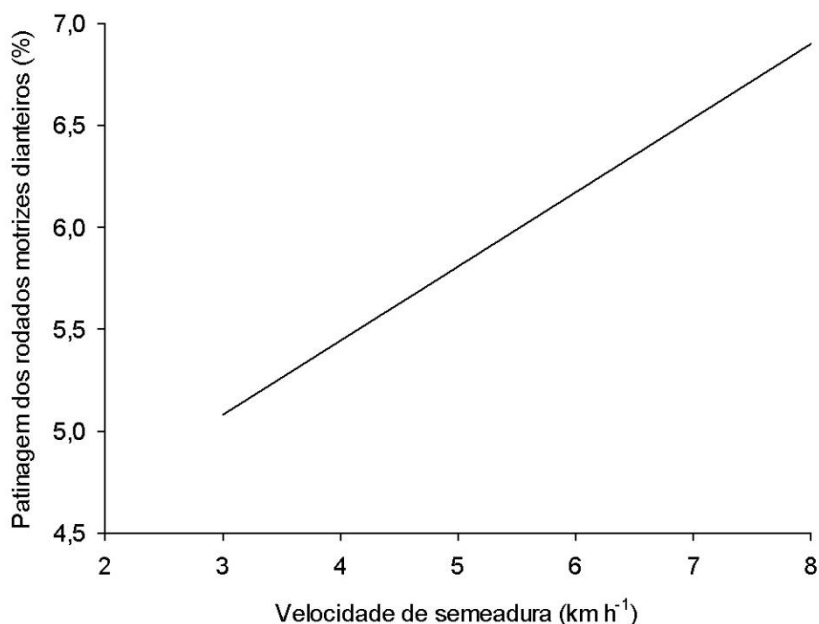
FIGURA 13 - Patinagem dos rodados motrizes traseiros (%) em função da velocidade de semeadura. Equação ajustada e coeficiente de determinação (r^2) * – significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.



Fonte: do autor.

FIGURA 14 - Patinagem dos rodados motrizes dianteiros (%) em função da velocidade de semeadura. Equação ajustada e coeficiente de determinação (r^2) * – significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

$$\widehat{PRMD} = 3,98847 + 0,363996 * V \quad (r^2 = 0,7593)$$



Fonte: do autor.

O incremento de uma unidade na velocidade de semeadura resulta no acréscimo de 0,41% na patinagem das rodas motrizes traseiras e 0,36% na patinagem das rodas motrizes dianteiras.

Quando não há conversão do perímetro total do rodado em deslocamento real da máquina diz-se que houve patinagem, ou seja, o movimento dos rodados que não foi convertido em deslocamento do conjunto trator-semeadora-adubadora.

O trator tracionou a semeadora-adubadora durante todo o plantio com o sistema de tração dianteira acionado (TDA), o que faz com que o trator divida o esforço tratório entre seus dois eixos motrizes, ocasionando em menor patinagem e facilitando o seu deslocamento.

Amorim et al. (2019) avaliaram o desempenho de um conjunto trator-semeadora-adubadora e, corroborando com os resultados encontrados neste estudo, observaram que o aumento na velocidade resultava em maiores percentuais de patinagem dos rodados motrizes do trator.

4.4. Avaliações pós-emergência

4.4.1. Uniformidade de distribuição longitudinal de plântulas

4.4.1.1. Espaçamento entre plântulas

As médias dos espaçamentos entre plântulas foram avaliadas e classificadas como aceitáveis, falhos ou múltiplos. De acordo com a regulação da semeadora-adubadora, foi determinado o espaçamento de referência teórico de 6,66 cm. Esse valor possibilitou que fossem classificados como espaçamentos aceitáveis quando $3,33 \text{ cm} < X_i < 9,99 \text{ cm}$, falhos quando $X_i \geq 9,99 \text{ cm}$ e múltiplos quando $X_i \leq 3,33 \text{ cm}$.

4.4.1.2. Porcentuais dos espaçamentos aceitáveis, falhos e múltiplos entre plântulas

Determinados em função da variável velocidade de semeadura, a qual não apresentou efeito significativo, com base no teste t a 1% de probabilidade, no percentual de espaçamentos aceitáveis (EA), espaçamentos falhos (EF) e espaçamentos múltiplos (EM) entre plântulas. Desta forma, a equação da reta é constituída pela média dos valores observados das variáveis (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores médios para os espaçamentos entre plântulas

EA	$\hat{Y} = 74,62$	$r^2 = 0,5063$
EF	$\hat{Y} = 10,27$	$r^2 = 0,5424$
EM	$\hat{Y} = 15,11$	$r^2 = 0,5816$

Fonte: do autor.

Para quaisquer que sejam os valores da variável velocidade de semeadura observados, as médias encontradas seriam de 74,62% para os espaçamentos aceitáveis, 10,27% para os espaçamentos falhos e 15,11% para os espaçamentos múltiplos.

Mesmo operando em três velocidades diferentes, sendo a maior velocidade de 8 km h^{-1} , semeando a uma densidade de 15 sementes por metro, não houve muita exigência da semeadora-adubadora, visto que o equipamento trabalhou dentro de faixas adequadas de configuração de profundidade de deposição da semente, densidade de plantio e velocidade semeadura, para as quais foi projetada.

Alguns erros de deposição da semente ocorrem devido a variações em sua trajetória até o sulco, que podem ser dentro do tubo condutor onde variações no

terreno causem vibrações no equipamento fazendo com que a semente ricocheteie pelas paredes do tubo condutor atrasando sua deposição no solo.

Outro fator capaz de explicar as variações nos espaçamentos avaliados deve-se ao momento em que a semente sai do tubo condutor, adquirindo um aumento de velocidade de queda causado pela variação da altura do mecanismo dosador e pela aceleração da gravidade, sofrendo influência de um componente horizontal pela velocidade de trabalho da própria semeadora, este evento faz com que a semente role dentro do sulco ou até mesmo saia para fora dele no momento do seu impacto com o solo (Pacheco et al. 1996).

O mecanismo dosador da semeadora é acionado pela rotação da sua roda em contato com o solo, caso haja patinagem, gerando ausência de rotação e com deslocamento da máquina, as sementes não serão depositadas gerando espaçamento falho.

Matos et al. (2021), avaliando o efeito de quatro velocidades de semeadura (4, 6, 8 e 10 km h⁻¹) na plantabilidade observaram que, na velocidade de 10 km h⁻¹ houve redução dos espaçamentos normais, no plantio da soja, justificando o resultado pela sobrecarga dos mecanismos dosadores, levando ao erro de deposição da semente. Os mesmos resultados foram observados por Santos et al. (2017), nas maiores velocidades testadas (10 e 12 km h⁻¹), diferentemente do ocorrido neste estudo, onde as velocidades trabalhadas não sobrecarregavam os mecanismos sulcadores e dosadores da semeadora.

4.4.2. Emergência de plântulas

Para avaliar o tempo médio de emergência de plântulas (TME) levou-se em consideração apenas o efeito da velocidade de semeadura, visto que todos os tratamentos receberam a mesma quantidade de água no processo de irrigação até atingirem o estágio de desenvolvimento V2, que é caracterizado pela abertura e o crescimento das folhas primárias.

A variável velocidade de semeadura não apresentou efeito significativo, com base no teste t a 1% de probabilidade, isto é, para quaisquer valores de velocidade observados, é obtido uma média de 9,30 dias para ocorrência da emergência.

Em alguns casos a velocidade de semeadura poder afetar diretamente a profundidade do sulco onde será depositado a semente. Sucos mais rasos ou mais

profundos podem influenciar no tempo médio gasto para a emergência de plântulas, entretanto, este efeito não foi observado no presente estudo.

Bottega et al. (2014) avaliaram o efeito da velocidade de semeadura e efeitos da profundidade de deposição da semente para a cultura do milho e constataram que a velocidade não teve influência no tempo de emergência das plântulas de milho, resultado semelhante ao encontrado neste estudo para as plântulas de feijão.

4.5. Componentes de rendimento

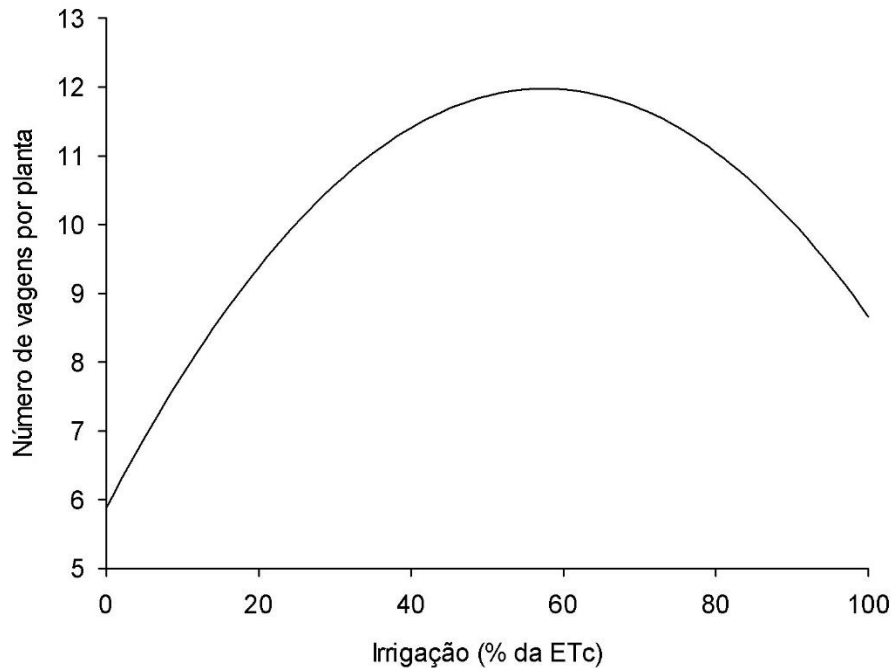
Os componentes de rendimento avaliados foram o número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGP), massa de 100 grão (M100) e produtividade (PROD).

Nenhum dos componentes de rendimento avaliados (NVP, NGP, M100 e PROD) apresentaram efeito significativo da variável velocidade de semeadura ao teste t a 5% de probabilidade. Somente a variável Irrigação (% da ETc) apresentou efeito significativo ao teste t a 5% de probabilidade.

Durante o processo de semeadura, em situações que a velocidade da operação é superior ao recomendado pelo fabricante da semeadora-adubadora ou mesmo quando ocorre sob condições inadequadas, pode causar danos latentes e mecânicos a semente e, conseqüentemente, prejudicar o seu desenvolvimento. Estes danos ou até um atraso no desenvolvimento da plântula, devido a sua deposição em maior profundidade do que o adequado, pode torna-la mais susceptível ao ataque de pragas e doenças, ocasionando perdas no seu potencial produtivo. Tais fatos não ocorreram neste experimento, pois os limites da semeadora foram respeitados, assegurando a qualidade de toda a operação. Para o NVP a variável irrigação (% da ETc) apresentou efeito quadrático e significativo (Figura 15). Na irrigação a 57,57% da ETc tem-se o ponto de máxima no NVP e, a partir de então, nota-se um decréscimo. A escassez hídrica durante os estádios R5 - R6 provocam o aborto e a queda das flores, reduzindo o número de vagens por planta e comprometendo a produção. Quando o estresse hídrico ocorre nos estádios R7 - R8 ele induzirá à queda das vagens recém-formadas (canivetinhos) e também prejudicará a formação das sementes, resultando na redução da massa e conseqüentemente na produtividade de grãos.

FIGURA 15 - NVP em relação a Irrigação (% da ETc). Equação ajustada e coeficiente de determinação (r^2) * – significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

$$\widehat{NVP} = 5,87808 + 0,211832*L - 0,0018397*L^2 \quad (R^2 = 0,93)$$

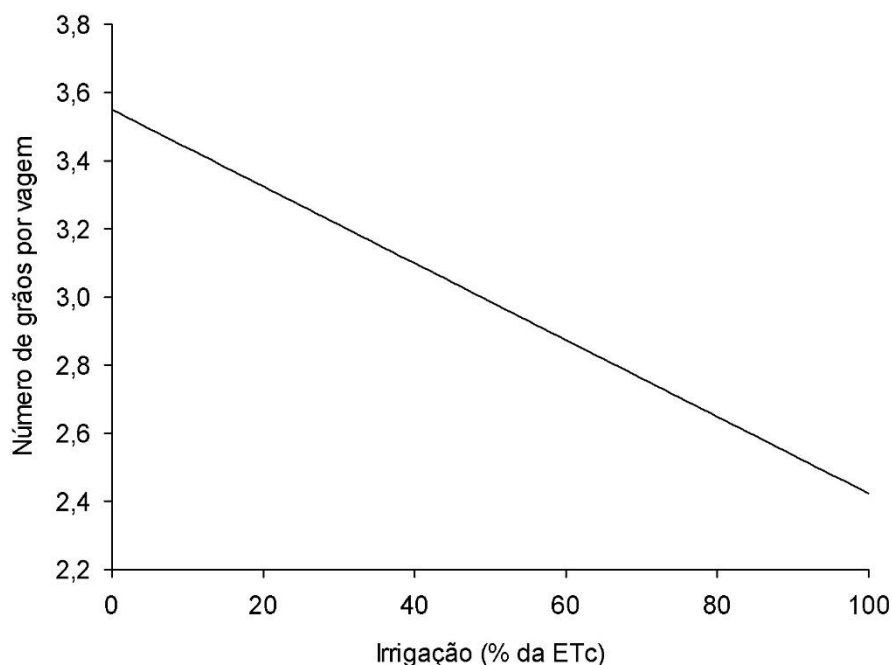


Fonte: do autor.

Com relação ao NGV (Figura 16), a variável irrigação (%da ETc) apresentou efeito linear negativo e significativo. Para cada unidade acrescida na lâmina de irrigação tem-se um decréscimo de 0,01 no número de grãos por vagem.

FIGURA 16 - NGV em relação a Irrigação (% da ETc). Equação ajustada e coeficiente de determinação (r^2) * – significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

$$\widehat{NGV} = 3,5501 - 0,0112741 * L \quad (R^2 = 0,74)$$



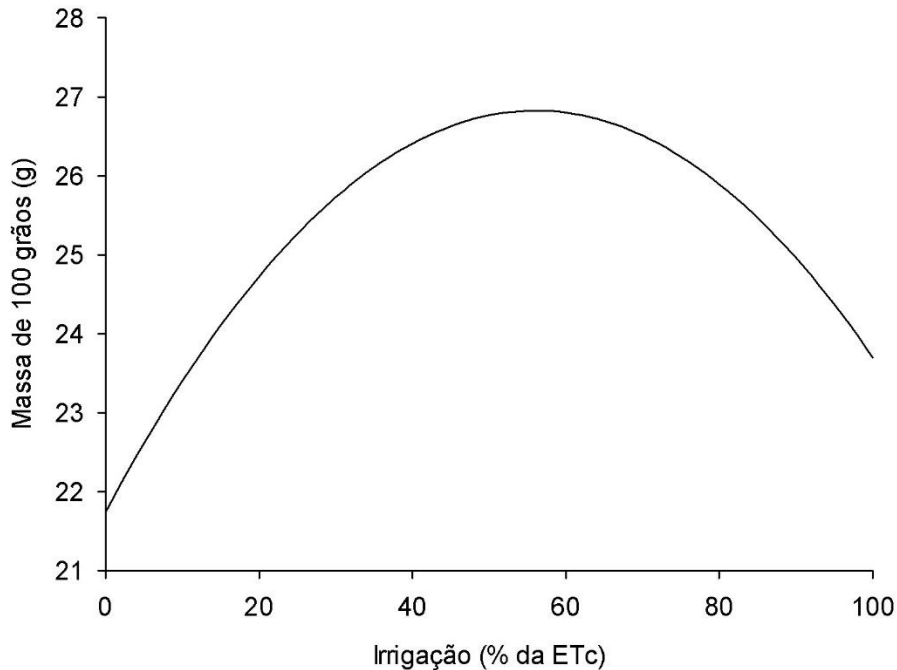
Fonte: do autor.

As plantas que apresentaram um menor NVP estavam sob estresse hídrico e concomitantemente apresentaram um maior NGV. Uma possível justificativa para explicar o ocorrido pode estar correlacionada com a energia dispendida pela planta para a produção das vagens. Como foram formadas menos vagens, uma possível compensação pode ter sido alcançada gerando vagens de maior comprimento e conseqüentemente com maior número de grãos.

Para M100, a variável irrigação (% da ETc) apresentou efeito quadrático e significativo (Figura 17). Na irrigação a 57,57% da ETc tem-se o ponto de máxima no peso dos grãos e, a partir de então, notamos um decréscimo na M100.

FIGURA 17 - M100 em relação a Irrigação (% da ETc). Equação ajustada e coeficiente de determinação (r^2) * – significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

$$\widehat{M100} = 21,7428 + 0,181412*L - 0,0018397*L^2 \quad (R^2 = 0,80)$$



Fonte: do autor.

O estresse hídrico, principalmente no estágio V4 (terceira folha trifoliolada) pode diminuir consideravelmente a área foliar do feijoeiro. Com uma área foliar reduzida a fotossíntese é prejudicada, acarretando em uma menor produtividade do feijoeiro. Também pode-se notar uma sensibilidade ao excesso de água, que é capaz de prejudicar a respiração das raízes e o desenvolvimento da planta.

Embora o feijoeiro seja uma cultura com ampla adaptação edafoclimática, sendo cultivada durante todo o ano, para garantir bons patamares de rendimento econômico algumas características climáticas são mais desejadas. Para a germinação do feijoeiro tem-se a temperatura em torno de 28°C é considerada como ótima (EMBRAPA, 2007). Neste estudo, durante o período de semeadura até a emergência das primeiras plântulas, a temperatura média foi de, aproximadamente, 15,4 °C.

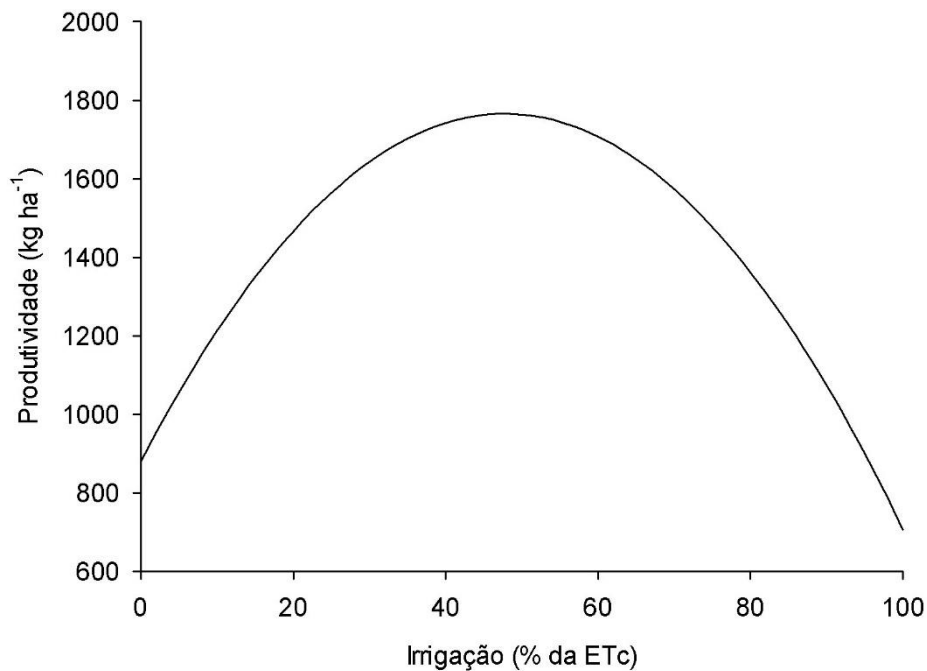
Outro fator capaz de afetar no desempenho do feijoeiro é a radiação solar, que é definida por radiação global, isto é, o acúmulo da radiação direta e difusa que atinge a superfície terrestre e está ligada diretamente com a taxa fotossintética da planta. Observou-se que durante o período experimental, a região recebeu uma massa de ar

polar que provocou queda de temperatura do ar e dias mais nublados. Esta situação pode ter provocado queda na radiação solar recebida pelas plantas de feijão e afetado negativamente sua capacidade fotossintética, resultando em uma menor produtividade.

Para a produtividade (PROD) o efeito da variável lâmina (% da ETc) sobre a produtividade do feijoeiro apresentou efeito quadrático significativo e negativo (Figura 18). O ponto de máxima produtividade, segundo o modelo, é com a irrigação a 47,8% da ETc.

FIGURA 18 - PROD em relação a Irrigação (% da ETc). Equação ajustada e coeficiente de determinação (r^2) * – significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t.

$$\widehat{PROD} = 21,7428 + 0,181412*L - 0,0018397*L^2 \quad (R^2 = 0,67)$$

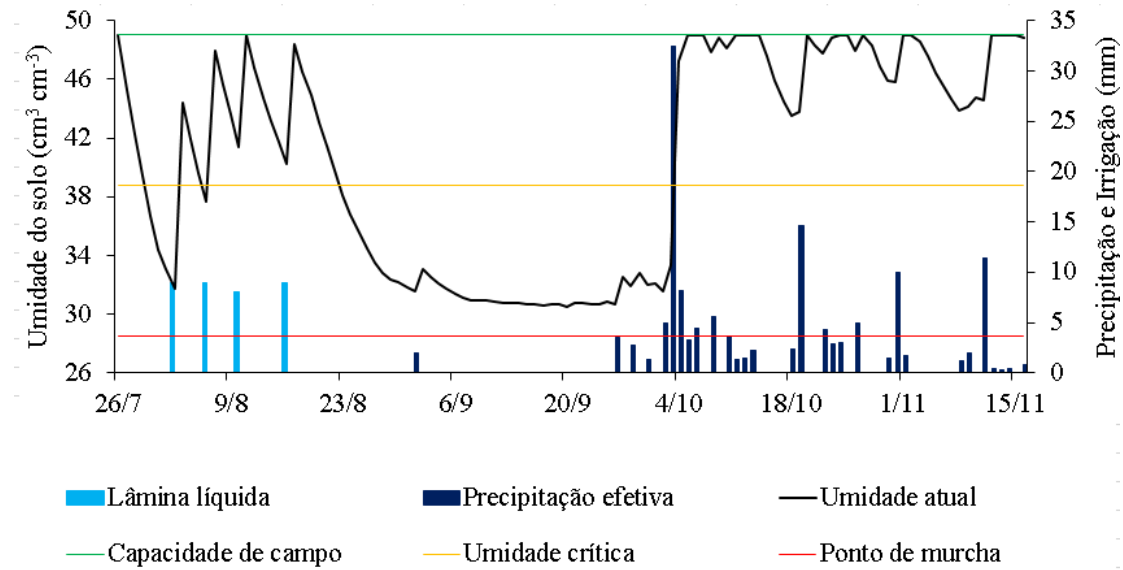


Fonte: do autor.

Essas reduções na produtividade também podem estar ligadas ao fato de que o estresse hídrico afeta diversos processos fisiológicos relacionados com a absorção de nitrato e fixação simbiótica de nitrogênio nas leguminosas, reduzindo o peso da matéria fresca dos nódulos e também da parte aérea das plantas (EMBRAPA, 2010). A alteração destes processos fisiológicos reflete no decréscimo da produtividade de grãos ou sementes, podendo também ser uma das razões do resultado encontrado.

Na Figura 16 pode-se observar que, na parcela L1 (Irrigação a 0% da ETc), durante os estádios R5-R6 que ocorreram entre os períodos de 13/9 a 27/9, a cultura sofreu grande estresse hídrico. Já nos estádios R7-R8, que ocorreram posteriormente, até 02/11, a cultura recebeu um grande volume de água devido da chuva, elevando a umidade do solo para sua capacidade de campo.

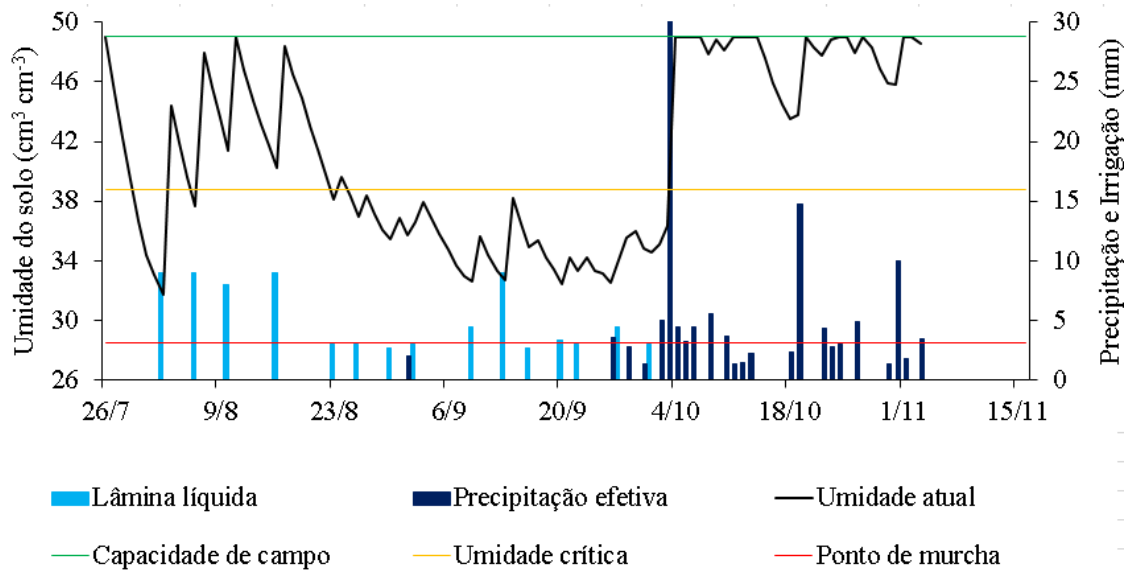
Figura 19 - Manejo hídrico da cultura do feijão para atender 0% da lâmina de referência.



Fonte: do autor.

Para a parcela L2 ocorreu uma situação semelhante a parcela L1, nos mesmos estádios de desenvolvimento, porém com efeito menos acentuado (FIGURA 20).

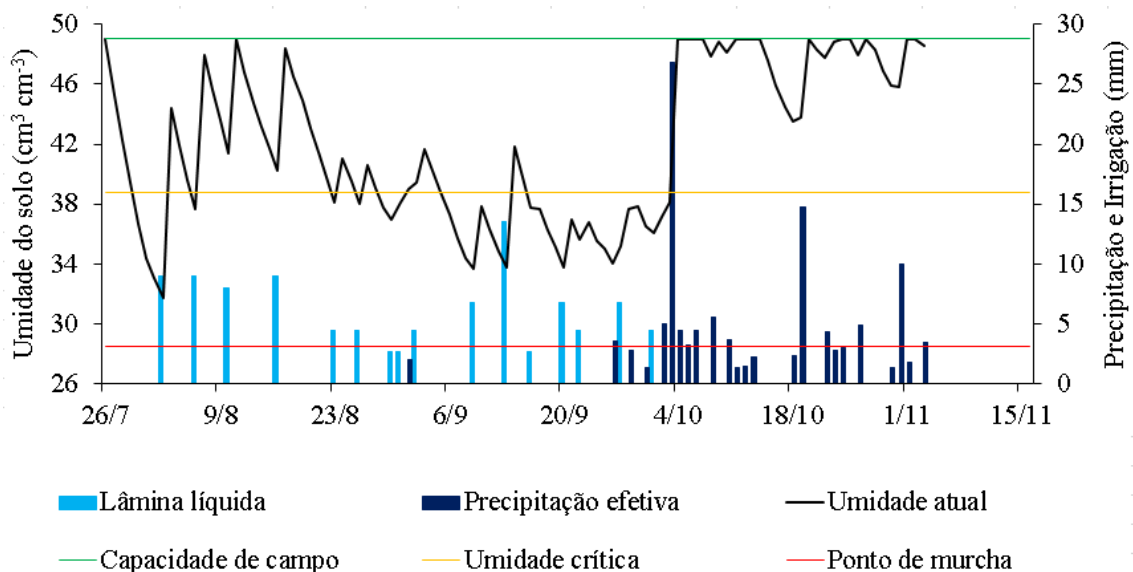
Figura 20 - Manejo hídrico da cultura do feijão para atender 33,3% da lâmina de referência.



Fonte: do autor.

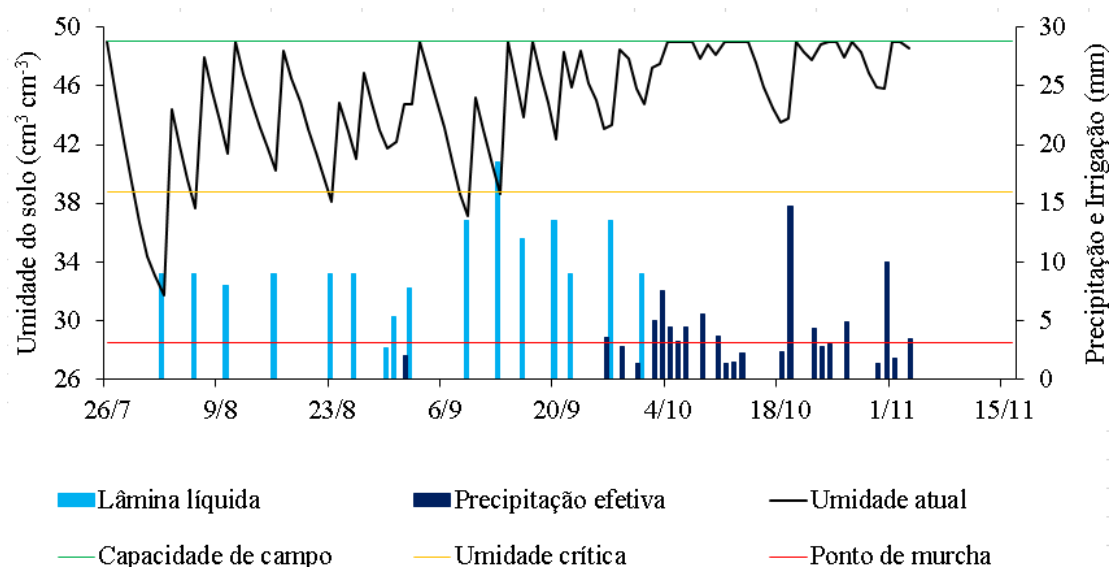
Em relação a parcela L3 (FIGURA 21) já se observa uma situação de menor déficit hídrico devido as maiores irrigações. Já em L4 (FIGURA 22), observa-se uma situação de maior umidade do que os demais tratamentos, visto que foi aplicado uma lâmina de irrigação equivalente a 100% da ETC.

Figura 21 - Manejo hídrico da cultura do feijão para atender 66,7% da lâmina de referência.



Fonte: do autor.

Figura 22 - Manejo hídrico da cultura do feijão para atender 100% da lâmina de referência.



Fonte: do autor.

Durante a condução do experimento, os tratamentos 0; 33,3; 66,6 e 100% receberam as lâminas líquidas de irrigação de 35,01; 76,78; 99,35 e 157,90 milímetros, respectivamente. Na Tabela 10 é apresentado de forma detalhada os valores acumulados e lâminas aplicadas durante o experimento.

Tabela 10 - Valores acumulados dos parâmetros do manejo hídrico do feijoeiro nos diferentes tratamentos

Parâmetros	Lâminas de irrigação (% ETC)			
	0%	33,3%	66,7%	100%
Evapotranspiração da cultura (mm)	174,09	197,12	216,21	255,49
Precipitação total (mm)	414,10	349,64	349,64	349,64
Precipitação efetiva (mm)	139,09	120,34	116,86	97,59
Lâmina líquida de irrigação (mm)	35,01	76,78	99,35	157,90
Lâmina bruta de irrigação (mm)	38,58	84,61	109,49	174,01
Lâmina total de água (mm)	174,09	197,12	216,21	255,49

Fonte: do autor.

4.6. Custos de produção

4.6.1. Custo das operações mecanizadas

Os custos da operação mecanizada (semeadura e adubação) não foi afetado pelo teor de água porque este tratamento foi aplicado posteriormente a etapa de semeadura. Neste sentido, foi analisado o efeito simples do tratamento velocidade de semeadura (V) no custo da operação mecanizada.

4.6.1.1. Custos fixos

Os valores médios do custo fixo total e de seus componentes são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Custos fixos da operação mecanizada utilizada na implantação da cultura do feijão.

V (km h ⁻¹)	Depreciação (R\$ ha ⁻¹)	Juros (R\$ ha ⁻¹)	Abrigo e seguros (R\$ ha ⁻¹)	Custo fixo (R\$ ha ⁻¹)
3	73,60 a	65,08	12,76 a	151,44 a
5	44,16 b	39,05	7,65 b	90,86 b
8	27,60 c	24,4	4,78 c	56,80 c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.
Fonte: do autor.

O sistema de plantio direto dispensa operações de preparo de solo como aração e gradagem. Portanto, apresenta custos reduzidos quando comparados aos sistemas convencionais de plantio. Mesmo se tratando de apenas um tipo de operação (semeadura) a velocidade tem influência direta no custo fixo por hectare, visto que a capacidade operacional é a produção de um conjunto por unidade de tempo.

Em relação ao sistema de semeadura de 3 km h⁻¹, que apresentou o maior custo fixo, o sistema na velocidade de 5 km h⁻¹ apresentou uma redução no custo fixo de 40% e na velocidade 8 km h⁻¹, uma redução de 62,5%. Nas três velocidades avaliadas, a depreciação foi responsável pela maior parcela do custo fixo, contribuindo com 48,6% deste custo (Tabela 11).

4.6.1.2. Custos variáveis

Os valores médios do custo fixo total e de seus componentes são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 - Custos variáveis da operação mecanizada utilizada na implantação da cultura do feijão.

V (km h ⁻¹)	Reparos e manutenção (R\$ ha ⁻¹)	Combustível (R\$ ha ⁻¹)	Lubrificantes (R\$ ha ⁻¹)	Mão de obra (R\$ ha ⁻¹)	Custo variável (R\$ ha ⁻¹)
3	3,10 a	111,18 a	19,03 a	27,93 a	161,24 a
5	1,86 b	78,73 b	11,42 b	16,75 b	108,77 b
8	1,16 c	58,36 c	7,13 c	10,47 c	77,13 c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: do autor.

A semeadura realizada na velocidade de 3 km h⁻¹ apresentou o maior custo. Como o trator fica mais tempo em funcionamento para realizar o mesmo trabalho, quando comparado com velocidades maiores, há um maior gasto com combustível e também com a mão-de-obra, que é paga por hora de trabalho. Além disto, quanto mais tempo em funcionamento, maiores serão os gastos com lubrificantes, reparos e manutenções. Por isso, à medida que a velocidade vai aumentando, os custos vão sendo reduzidos.

A redução nos custos causada pelo aumento de velocidade proporcionou uma economia de 32,54% na velocidade de 5 km h⁻¹ e de 52,16% na velocidade de 8 km h⁻¹, quando comparadas com os custos na velocidade de 3 km h⁻¹. O combustível foi o componente de maior impacto no valor dos custos variáveis, representando 68,95%; 72,38% e 49,73% dos custos nas velocidades de 3; 5 e 8 km h⁻¹ respectivamente (Tabela 12).

4.6.1.3. Custo total das operações mecanizadas

Como mencionado anteriormente, o custo das operações mecanizadas (semeadura e adubação), foram analisadas somente em função da velocidade da operação, visto que o tratamento com irrigação foi aplicado posteriormente a este processo.

O custo total da operação mecanizadas utilizadas na implantação da cultura do feijão é apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Custo total da operação mecanizada utilizada na implantação da cultura do feijão.

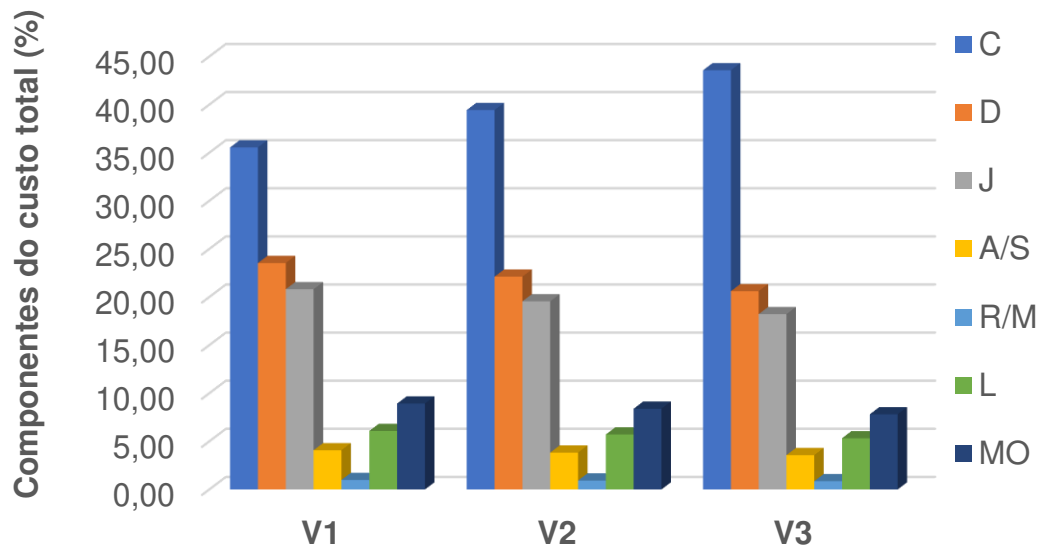
Velocidade de operação (km h⁻¹)	Custo total das operações mecanizadas (R\$ ha⁻¹)
3	312,70 a
5	199,64 b
8	133,93 c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Fonte: do autor.

O custo total da operação mecanizada na velocidade de 3 km h⁻¹ resulta num custo de 312,70 R\$ por hectare trabalhado. Quando realizada na velocidade de 5 km h⁻¹ valor fica em 199,64 R\$ ha⁻¹, que significa uma redução de 36,15% em relação a velocidade de 3 km h⁻¹ e, na velocidade de 8 km h⁻¹, temos um custo total de 133,93 R\$ ha⁻¹, representando uma redução de 57,17% em relação a velocidade de 3 km h⁻¹. Independente da velocidade utilizada, o maior componente do custo das operações mecanizadas foi o gasto com combustível. Em todas as demais parcelas, os custos com abrigos e seguros, lubrificantes e mão de obra tiveram menor importância na composição dos custos totais.

Figura 22 - Distribuição do custo total das operações mecanizadas para implantação da cultura do feijão de acordo com a velocidade de semeadura adotada. (C: Custo com combustível (%); D: Depreciação dos conjuntos mecanizados (%); Juros sobre o capital investido (%); A/S: Custo de abrigos e seguros (%); R/M: Custo de reparo e manutenção (%); L: Custo de lubrificantes (%); MO: Custo da mão de obra do tratorista (%)).



Fonte: do autor.

Corroborando com os resultados apresentados neste trabalho, Šarauski et al. (2014) avaliaram os custos de produção para cultura do milho, e concluíram que o combustível foi o fator que mais contribuiu dentro dos custos de operações mecanizadas, variando conforme o tempo das máquinas em funcionamento. O mesmo resultado também foi observado por Feitosa et al. (2020), ao avaliar os custos de implantação para a cultura da cebola.

4.6.2. Custos do sistema de irrigação

Os custos totais anuais para o sistema de irrigação foram calculados levando em consideração apenas a irrigação (% da ETc) aplicada e são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Custo total anual do sistema de irrigação com base na lâmina de irrigação aplicada.

Componentes	Custo (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹)
Custos fixos	
Depreciação	666,67
Custo de oportunidade	186,00
Total	852,67
Custos variáveis	
Manutenção	625
Água + Energia (0% da ETc)	96,45
Água + Energia (33,3% da ETc)	211,53
Água + Energia (66,6% da ETc)	273,73
Água + Energia (100% da ETc)	435,05
Irrigação (% da ETc)	Custo Total (R\$ ha⁻¹ ano⁻¹)
0	1574,12
33,3	1689,19
66,6	1751,39
100	1912,69

Fonte: do autor.

Cada lâmina de irrigação possui um custo variável relacionado com a quantidade de água utilizada e a energia consumida para realizar as irrigações. Portanto existem quatro valores para o custo total da irrigação, sendo eles R\$ 1574,12 para a irrigação de 0% da ETc, R\$1689,19 para 33,3% da ETc, R\$1750,39 para 66,6% da ETc e R\$1912,69 para 100% da ETc (Tabela 14).

4.6.3. Custo dos insumos

O custo dos insumos (Tabela 15) correspondem às despesas com fertilizantes, sementes e defensivos. Os insumos foram utilizados em quantidades iguais em todos os tratamentos, não havendo variação no seu custo.

Tabela 15 - Custo dos insumos utilizados na produção do feijão.

Fertilizantes	Sementes	Defensivos	Total (R\$ ha⁻¹)
1633,02	710,00	271,70	2614,72

Fonte: do autor.

Os fertilizantes representaram a maior parte do custo total dos insumos, correspondendo em média a 62,45% dos mesmos. Já os custos com sementes e defensivos agrícolas corresponderam a 27,16% e 10,39% respectivamente (Tabela 15).

4.6.4. Custos com operações manuais

Para o cultivo do feijão foram realizadas como operações manuais a aplicação de defensivos agrícolas e a colheita. Ambos os custos foram os mesmo para todos os tratamentos. Apesar da diferença na produtividade entre os tratamentos, os valores cobrados na colheita não são baseados em densidade e produtividade na região onde o experimento foi conduzido, mas sim pelo número de linhas para serem colhidas (Tabela 16).

Tabela 16 - Custos das operações manuais realizadas durante o experimento.

Colheita	Aplicação	Total (R\$ ha⁻¹)
583,33	26,93	610,26

Fonte: do autor.

Os custos com a colheita foram responsáveis por 95,59% do custo total das operações manuais e a aplicação de defensivos, apenas 4,41%. Esta diferença ocorreu porque os valores cobrados pela colheita eram consideravelmente maiores do que os de aplicação, pois após o processo de colheita existem também as operações de debulhamento e limpeza do feijão colhido. Além disto, não foi necessária capina manual na área, que seria outro valor que poderia elevar os custos da operação manual.

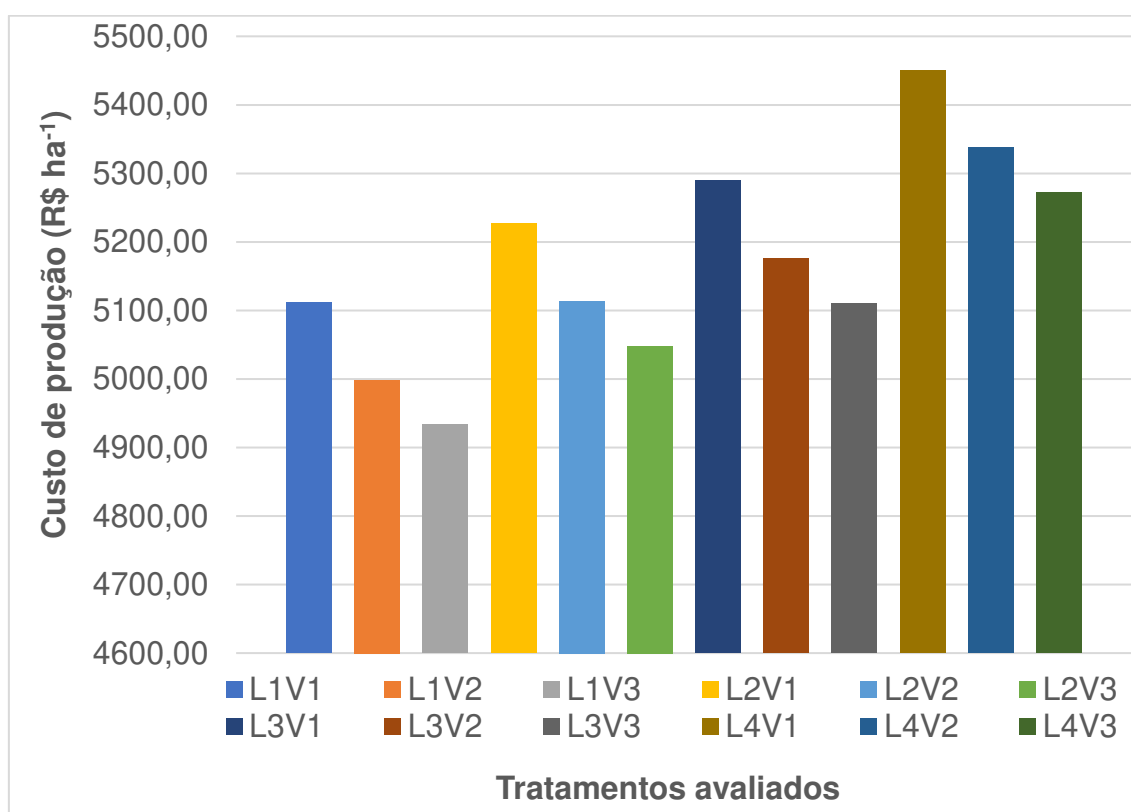
Devido à escassez de mão de obra na região para trabalhar na colheita, o produtor fica sem opções para negociar preços melhores. Então, uma alternativa que permita depender menos da mão de obra manual seria a mecanização da operação de colheita.

4.6.5. Custos de produção

O custo de produção de um hectare do feijoeiro (Figura 23) foi determinado como sendo o somatório das despesas com as operações mecanizadas, irrigação, insumos e operações manuais.

Dentre os tratamentos aplicados na produção do feijoeiro, a combinação entre a irrigação a 0% da ETc (L1) com a velocidade de semeadura de 8 km h⁻¹ (V3) apresentou o menor custo de produção (R\$ 4933,03 ha⁻¹). Já o maior custo de produção (R\$ 5450,38 ha⁻¹) foi resultado das combinações da irrigação a 100 % da ETc (V4) com a menor velocidade, V1 (3 km h⁻¹) (Figura 23).

Figura 23 - Custo de produção de um hectare de feijão de acordo com a irrigação % da ETc (L1, L2, L3 e L4: 0; 33,3; 66,6 e 100% respectivamente) e da velocidade de semeadura (V1, V2 e V3: 3; 5 e 8 km h⁻¹).



Fonte: do autor.

As variações observadas nos custos de produção são devidas aos maiores gastos com água, energia e a mão de obra do operador, que ao trabalhar em menores velocidades tem sua capacidade operacional reduzida, necessitando de mais tempo de trabalho para entregar os mesmos resultados. Já os demais componentes dos

custos de produção foram os mesmo em todos os tratamentos. Na Tabela 17 podemos observar os custos de produção de cada tratamento para produzir uma saca de feijão.

Tabela 17 - Custo médio de produção por saca de feijão colhida (R\$ saca⁻¹)

Tratamento	Custo médio (R\$ saca⁻¹)
L1V1	419,96
L1V2	346,28
L1V3	441,63
L2V1	145,49
L2V2	137,59
L2V3	169,27
L3V1	232,86
L3V2	252,14
L3V3	262,42
L4V1	353,36
L4V2	351,78
L4V3	483,11
Média	299,66

Fonte: do autor.

O maior custo médio por saca obtivo foi com a combinação dos tratamentos L4 (irrigação a 100% da ETc) e V3 (semeadura a 8 km h⁻¹), totalizando um valor de R\$ 483,11. Já o menor, foi obtido entre L2 (Irrigação a 33,3% da ETc) e V2 (semeadura a 5 km h⁻¹), totalizando R\$ 137,59; representando uma redução no custo médio por saca de 71,52%. Esta diferença se dá, em sua grande maioria, pela produtividade média entre os tratamentos, onde a maior quantidade de sacas colhidas situou-se na sob o tratamento L2.

Na Tabela 18 pode-se observar a distribuição dos componentes de produção e sua representação no custo total de produção do feijoeiro. O percentual dos custos das operações mecanizadas representou entre 3 a 6%, o custo do sistema de irrigação de 31 a 36%, os insumos de 48 a 53% e o custo das operações manuais representou 11 e 12% do custo total de produção.

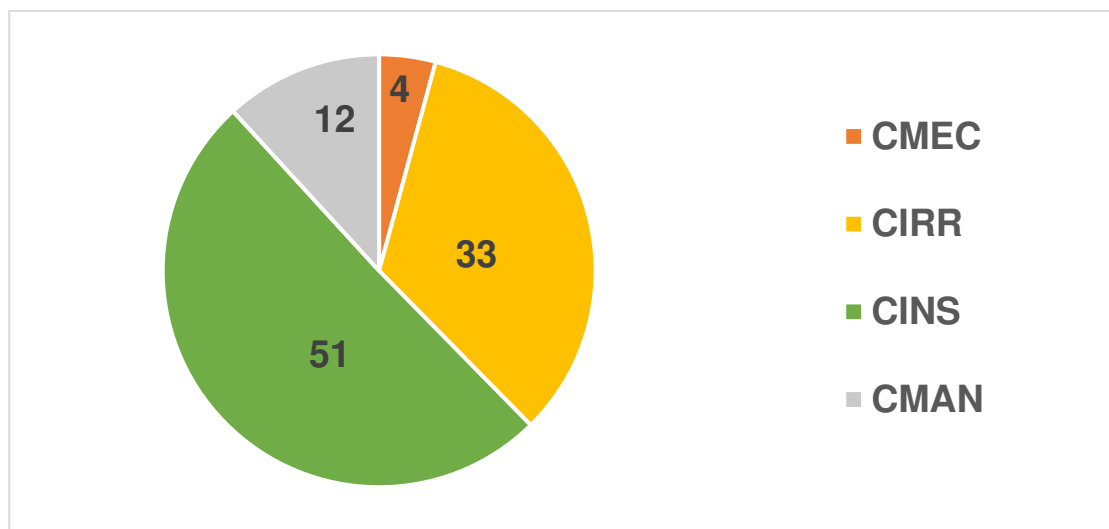
Tabela 18 - Distribuição dos componentes do custo de produção do feijoeiro.

Tratamento	Custo total das operações mecanizadas (%)	Custo do sistema de irrigação (%)	Custo dos insumos (%)	Custo total das operações manuais (%)
L1V1	6	31	51	12
L1V2	4	31	52	12
L1V3	3	32	53	12
L2V1	6	32	50	12
L2V2	4	33	51	12
L2V3	3	33	52	12
L3V1	6	33	49	12
L3V2	4	34	51	12
L3V3	3	34	51	12
L4V1	6	35	48	11
L4V2	4	36	49	11
L4V3	3	36	50	12
Média	4	33	51	12

Fonte: do autor.

Com relação aos valores médios, entre os tratamentos, da distribuição dos componentes no custo de produção do feijoeiro (Figura 24), os custos com insumos corresponderam a 51% dos quais 31,85% foram referentes aos fertilizantes, 13,85% às sementes e 5,30% aos defensivos. Cabe destacar que, no período do experimento, os insumos tiveram uma alta expressiva nos preços devido à desvalorização do Real perante ao Dólar Americano, já que boa parte são importados para o Brasil.

Figura 24 - Distribuição média dos componentes do custo de produção do feijoeiro nas condições em que o experimento foi realizado. CMEC: Custo total das operações mecanizadas; CIRR: Custo do sistema de irrigação; e CIN: Custo dos insumos; CMA: custo total das operações manuais.



Fonte: do autor.

Corroborando com este resultado SILVA & WANDER (2021), ao avaliarem a viabilidade econômica de uma cultivar de feijão-comum, observaram que os insumos foram os componentes que mais oneraram nos custos de produção, representando 54,06% dos gastos. Por outro lado, as operações com máquinas representaram 28,06%, devido a operações de preparo de solo, que não foram realizadas neste estudo, onde foi praticado o sistema de plantio direto na palha.

O custo com o sistema de irrigação, que inclui valores de aquisição, instalação e uso; e o custo com operações mecanizadas representaram 33% e 4% respectivamente. Destes 33% do sistema de irrigação, o que ocasionou maior despesa foi a depreciação (13%), seguida pelos custos de manutenção (12%), custos operacionais (5%) e custo de oportunidade (4%). Para os componentes das operações mecanizadas, que representaram apenas 4% do valor total, tem-se valores menores a 1% para cada um deles (custo do combustível, depreciação, mão de obra, lubrificantes, juros, abrigo e seguros, e reparos e manutenção).

4.6.6. Indicadores de eficiência econômica: receita bruta, receita líquida e taxa interna de retorno.

Na Tabela 19 são apresentados os valores de receita bruta, líquida e taxa interna de retorno que foram utilizados para avaliar a eficiência econômica dos tratamentos estudados.

Tabela 19 - Indicadores de eficiência econômica para o cultivo do feijão em função dos tratamentos estudados.

Indicadores de eficiência econômica*				
L	V	Receita bruta (R\$ ha ⁻¹)	Receita líquida (R\$ ha ⁻¹)	Taxa interna de retorno (%)
0	3	3249,98	-1861,82	-36%
0	5	3854,26	-1144,48	-23%
0	8	2982,39	-1950,64	-40%
33,3	3	9592,21	4365,34	84%
33,3	5	9923,65	4809,83	94%
33,3	8	7962,80	2914,70	58%
66,6	3	6064,58	775,50	15%
66,6	5	5481,12	305,10	6%
66,6	8	5199,50	89,19	2%
100	3	4118,30	-1332,08	-24%
100	5	4050,98	-1286,34	-24%
100	8	2913,45	-2358,16	-45%

*: indicadores obtidos com base no preço médio da saca de feijão no período do experimento; L: irrigação (% da ETc); V: velocidade de semeadura (km h⁻¹).

Fonte: do autor.

O maior valor de receita bruta (R\$ 9923,65) ocorreu com a combinação dos tratamentos irrigação a 33,3% da ETc e semeadura a 5km h⁻¹, enquanto o menor (R\$ 2913,45) ocorreu na irrigação de 100% da ETc e semeadura a 8 km h⁻¹.

O melhor tratamento, segundo a taxa interna de retorno e a receita líquida, foi aquele em que o feijoeiro foi cultivado sob a irrigação de 33,3% da ETc e semeado na

velocidade de 5 km h⁻¹, obtendo-se uma receita líquida de R\$ 4809,83 e uma TIR de 94%. Este resultado é justificado, principalmente, pela maior produtividade, mas também por ter um dos menores gastos com água e energia, além de ter um valor intermediário no que diz respeito ao gasto com operações mecanizadas.

Os menores valores de receita líquida e TIR ocorreram na maior irrigação (100% da ETc) e na maior velocidade de semeadura (8 km h⁻¹), sendo uma condição que o produtor ficou no prejuízo, isto é, a receita bruta não foi suficiente para cobrir os custos de produção.

Na Tabela 20 são apresentados os valores médios de receita líquida e da taxa interna de retorno em função da irrigação (% da ETc) e da velocidade de semeadura. A parcela na condição de irrigação a 33% da ETc apresentou a maior receita líquida (R\$ 4029,95) e maior TIR (78%). Dentre os intervalos de irrigação estudados, os valores intermediários mostraram-se mais adequados ao cultivo de feijão. Em relação as velocidades de semeadura, a maior eficiência econômica foi encontrada na velocidade de 5 km h⁻¹, que apresentou uma receita líquida de R\$ 671,03 e uma TIR de 13%.

Tabela 20 - Receita líquida e taxa interna de retorno nas diferentes irrigações (% ETc) e velocidades de semeadura

Índices	Irrigação (% da ETc)			
	0	33,3	66,6	100
Receita líquida (R\$ ha ⁻¹)	-1652,31	4029,95	389,93	-1658,86
Taxa interna de retorno (%)	-33	78	7	-31

Índices	Velocidade de semeadura (km h ⁻¹)		
	3	5	8
Receita líquida (R\$ ha ⁻¹)	486,74	671,03	-326,23
Taxa interna de retorno (%)	9	13	-6

Fonte: do autor.

O processo de formação do preço do feijão depende diretamente de fatores ligados a oferta regional e nacional, à demanda e, principalmente às condições climáticas. Em situações em que as safras anteriores alcançaram grande produtividade, por exemplo, a oferta será maior e, conseqüentemente, os preços praticados, menores. O inverso também pode ocorrer, acarretando em um aumento do preço final do produto (Fernandes, 2012; Silva et al.,2021). Portanto, planejar a época de cultivo e analisar os valores do preço de mercado se faz necessário.

Na Tabela 21 são apresentados os valores dos índices de receita bruta, líquida e taxa interna de retorno supondo que a venda do feijão tivesse sido realizada no primeiro semestre do ano seguinte ao experimento (2022).

Tabela 21 - Indicadores de eficiência econômica para o cultivo do feijão determinados para uma situação de vendas de grãos que ocorre no 1º semestre do ano seguinte ao experimento em função dos tratamentos estudados.

Indicadores de eficiência econômica*				
L	V	Receita bruta (R\$ ha⁻¹)	Receita líquida (R\$ ha⁻¹)	Taxa interna de retorno (%)
0	3	4187,24	-924,56	-18%
0	5	4965,79	-32,95	-1%
0	8	3842,48	-1090,55	-22%
33,3	3	12358,51	7131,63	136%
33,3	5	12785,52	7671,70	150%
33,3	8	10259,19	5211,08	103%
66,6	3	7813,54	2524,46	48%
66,6	5	7061,82	1885,80	36%
66,6	8	6698,98	1588,67	31%
100	3	5305,97	-144,41	-3%
100	5	5219,24	-118,08	-2%
100	8	3753,65	-1517,95	-29%

*: indicadores obtidos com base no preço médio da saca de feijão no período do experimento; L: irrigação (% da ETc); V: velocidade de semeadura (km h⁻¹).

Fonte: do autor.

O preço pago por saca de 60 kg ao produtor na época da colheita (novembro 2021) foi em média R\$ 267,00, enquanto o preço médio para o primeiro semestre de 2022 foi de R\$ 344,00, ou seja 28,84% a mais. A taxa interna de retorno média de todas as unidades experimentais referentes à novembro de 2021 foi de 6%, enquanto para a o primeiro semestre de 2022 foi de 36%. Isto significa que se o mesmo investimento fosse feito no semestre seguinte, daria um retorno muito maior ao produtor.

A venda, onde é pago um preço maior pela saca de feijão, obviamente influenciaria por igual todas as combinações de tratamento. Portanto, a melhor combinação ainda seria a irrigação a 33,3% da ETc com a velocidade de semeadura de 5 km h⁻¹, mas, desta vez, com uma TIR de 150%.

Diante do exposto, o preço dos insumos foi o maior responsável pela composição dos custos de produção. Durante o período de pandemia da Covid-19, a economia Global sofreu maiores variações onde houve enfraquecimento do Real brasileiro diante do Dólar americano e uma grande variação nos preços dos insumos, principalmente dos fertilizantes, que tiveram um aumento expressivo no valor de mercado, afetando os custos de produção dos alimentos que fazem uso deste insumo (Ilinova et al., 2021).

Para evitar a alta exposição aos riscos que envolvem a agricultura e a precificação dos insumos, é vital que se haja um planejamento que envolva todo o sistema produtivo, inclusive de mercado. Além de buscar reduzir os custos de produção, também se faz necessário planejar o plantio de forma que o produto final esteja em condições de ser comercializado nas épocas que seu preço esteja mais elevado.

5. Conclusão

O maior número de vagens por planta e a maior produtividade foram obtidos na combinação entre os tratamentos irrigação a 33,3% da ETc e velocidade de semeadura de 5 km h⁻¹.

A maior média em relação a massa de cem grãos foi obtida na combinação entre os tratamentos irrigação a 66,6% da ETc e velocidade de semeadura de 5 km h⁻¹.

A maior média para o número de grãos por vagem foi obtida com a combinação entre os tratamentos irrigação a 33,3% da ETc e velocidade de semeadura de 3 km h⁻¹.

O tratamento irrigação a 33,3% apresentou as melhores médias para todos os componentes de rendimento avaliados e a parcela contendo o tratamento irrigação a 0% as piores médias observadas.

Menores velocidades de semeadura resultaram em um menor consumo de combustível, menor capacidade de campo e maiores custos operacionais mecanizados.

O custo com insumos, principalmente fertilizantes, foi o componente que mais contribuiu para o custo total de produção, independente da irrigação (% da ETc) e velocidade de semeadura.

O maior custo de produção por saca de feijão foi obtido com a combinação entre os tratamentos irrigação a 100% da ETc na velocidade de semeadura de 8 km h⁻¹.

A combinação entre os tratamentos irrigação a 33% da ETc e velocidade de semeadura de 5 km h⁻¹ apresentaram a maior receita líquida e maior taxa interna de retorno.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto de norma 04: 015.06 – 004: Semeadora de precisão – ensaio de laboratório – método de ensaio**. São Paulo, 26 p., 1994.

AMORIM, M. Q.; DE ARAUJO NICOLAU, F. E.; DE ARAUJO MENDONÇA, C.; DOS SANTOS, P. R. A; CHIODEROLI, C. A. Desempenho operacional do conjunto trator semeadora adubadora de fluxo contínuo em função da pressão de inflação dos rodados e velocidade de deslocamento. **Energia na Agricultura**, v. 34, n. 2, p. 152-161, 2019.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Síntese dos preços praticados em Minas Gerais do óleo Diesel S10**. Período Julho/2021. Disponível em: https://preco.anp.gov.br/include/Resumo_Mensal_Municipio.asp Acesso: fevereiro de 2022.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO Irrigation and Drainage, 1998. 333p.

ALVARES, A. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p. 711-728, 2013.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil (1985-2017)**. 2. ed. revisão ampliada. Brasília, DF, 2019.

ASABE STANDARDS. **ASAE S313.3**: soil cone penetrometer. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2004

ASABE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Agricultural Machinery Management Data**: ASAE EP496.3. ASABE Standards. St. Joseph, Michigan, 2011a.

ASABE. AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Agricultural Machinery Management Data**: ASAE D497.7. ASABE Standards. St. Joseph, Michigan, 2011b

AYRIMORAES, Sérgio. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada/Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**. - 2. ed. Brasília: ANA, 130p., 2021.

BAUER, P. J., FREDERICK, J. R. & BUSSCHER, W. J. Tillage effect on nutrient stratification in narrow-and wide-row cropping systems. **Soil and Tillage**, v. 66, p. 175–182, 2002.

BCB. BANCO CENTRAL DO BRASIL. Sistema Gerenciador de Séries Temporais – v2.1. 2018. Disponível em: <https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries> Acesso em: 11 de fevereiro de 2022.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SOARES, A. A. **Manual de Irrigação**. Viçosa: Editora UFV, 2019. 545p.

BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W.H.; TORMENA, C.A.; FERREIRA, C.J.B.; SILVA, A.P. & GIAROLA, N.F.B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 971-982, 2012.

BINOTTI, F. F. S. **Descrição e fisiologia da planta**. In: **Orivaldo Arf et al. 2015. Aspectos gerais da cultura do feijão Phaseolus vulgaris L.** – Botucatu: FEPAF, p.433, 2015.

BIZARI, D. R.; MATSURA, E. E.; ROQUE, M. W.; SOUZA, A. L. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v. 39, p. 2073-2079, 2009.

BOTTEGA, E. L.; ROSOLEM, D. H.; OLIVEIRA NETO, A. M.; PIAZZETTA, A. V. L.; GUERRA, N. Qualidade da semeadura do milho em função do sistema dosador de sementes e velocidades de operação. **Global Science and Technology**, v. 7, n. 1, p. 107-114, 2014.

BOTTEGA, E. L.; BRAIDO, R.; VON LINSINGEN PIAZZETTA, H.; DE OLIVEIRA NETO, A. M.; GUERRA, N. Efeitos da profundidade e velocidade de semeadura na implantação da cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 19, n. 2, p. 74-78, 2014.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano agrícola e pecuário 2021/2022**. Brasília/DF, 2021.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Brasília, 395 p., 2009.

CAMPOS, C. M.; MILAN, M.; SIQUEIRA, L. F. F. Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 03, p. 554-564, 2008.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. California: University of California, 1942.

COBUCCI, T. Manejo integrado de plantas daninhas em sistemas de plantio direto. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Manejo Integrado Fitossanidade**: cultivo protegido, pivô central e plantio direto. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p.583-624, 2001;

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custos de Produção Agrícola: a metodologia da Conab**. Brasília, 2010.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.8– Safra 2020/21**, n.12 - Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-97, setembro 2021.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Custos de Produção Agrícola: a metodologia da Conab**. Brasília, 2010.

CORTEZ, J., W.; ANGHINONI, M; ARCOVERDE, S., N., S. Seed metering mechanisms and tractor-seeder forward speed on corn agronomic components. **Engenharia Agrícola**, v. 40, p. 61-68, 2020.

CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A.; ALVARENGA, R.C.; SANTANA, D.P. Plantio direto e sustentabilidade agrícola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.13-24, 2001.

DA SILVA, Osmira Fátima; WANDER, Alcido Elenor. **O feijão-comum no Brasil: passado, presente e futuro**. Embrapa Arroz e Feijão-Documentos 287, 63 p., 2013.

DIAS, V. O.; Alonço, A. D. S.; Baumhardt, U. B.; Bonotto, G. J. Distribuição de Sementes de Milho e Soja em Função da Velocidade e Densidade de Semeadura. **Revista Ciência Rural**, v.39, n.6, p. 1721-1728, 2009.

EDMOND, J. B.; DRAPALA, W. J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seed. **Proceedings of American Society for Horticultural Science**, v. 71, p. 428-434, 1958.

EMBRAPA. **Clima**, 2007. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/AG01_20_1311200215101.html. Acesso em: 9 de maio de 2022.

EMBRAPA. **Irrigação**, 2010. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_sisal/arvore/CONT000fcklneyu02wx5eo0a2ndxy4pfp0i9.html. Acesso: 9 de maio de 2022.

EMBRAPA. **Cultivo do Algodão irrigado**, 2014. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistema_sdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=7717&p_r_p_-996514994_topicold=1305. Acesso em: 1 de dezembro de 2021.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 3. ed. Revisada e ampliada. Brasília, DF, 573 p., 2017.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF, 5. ed., 590 p., 2018.

EMBRAPA. **Descritores Mínimos Indicados para Caracterizar cultivares/Varieties de Feijão Comum** (*Phaseolus vulgaris* L.), 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/194060/1/doc184.pdf>. Acesso em: 19/12/2021.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Ecofisiologia: implicações práticas de manejo**. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) Sistemas de produção de feijão irrigado. Piracicaba: Departamento de Produção Vegetal/ESALQ/USP, p. 196-211, 2001.

FANTIN, N. A. M.; MEERT L.; HANEL A.; Alencar, J. R. C. C.; PETEAN, L. P., Componentes de produção e qualidade de sementeira de soja em função de diferentes velocidades do conjunto trator + semeadora, **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.9, n.3, p.7-15, 2016. GEPTS, P; DEBOUCK, D. Origin, domestication and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In:

VAN SCHOONHOVEN, A.; VOYSEST, O. (Ed.), Common bean: **Research for crop improvement**. Cali: CIAT, p. 7-53, 1991.

GALVÃO, J. D.; RODRIGUES, J. J. D.; PURÍSSIMO, C. Sistemas de plantio direto e convencional, na cultura de feijão da seca, em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 28, n. 158, p. 412-416, 1981.

Gomes, G. R.; Almeida, L. H; C.; Takahashi, L. S. A. Efeito do estresse hídrico e salino no vigor e germinação de sementes de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Cultura Agrônômica**, v. 24, n. 1, p. 83-92, 2015.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. **Georreferenciamento dos pivôs centrais de irrigação no Brasil: ano base 2020**. Embrapa Milho e Sorgo, 63p., 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário, 2017**. Disponível em [https:// sidra.ibge.gov.br/Tabela/6856](https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/6856). Acesso em 30 de dezembro de 2021.

ILINOVA, A.; DMITRIEVA, D.; KRASLAWSKI, A. Influence of COVID-19 pandemic on fertilizer companies: The role of competitive advantages. **Resources Policy**, v. 71, p. 102019, 2021.

FEITOSA, J. R., FERNANDES, H. C., CECON, P. R., TEIXEIRA, M. M., COSTA, A. G., SILVA, E. C. D. Custos de produção de cebola em função do teor de água e preparo do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 5, p. 348-353, 2020.

FERNANDES, L. M. Retorno financeiro e risco de preço da cultura do feijão irrigado via pivô central na região noroeste de minas gerais. **Informações Econômicas**, v. 42, n. 1, 2012.

JASPER, R., JASPER, M., ASSUMPÇÃO, P. S., ROCIL, J., GARCIA, L. C. Velocidade de semeadura da soja. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 102-110, 2011.

KUTOS, T.; GOLOB, T.; KAC, M.; PLESTENJAK, A. Dietary fibre content of dry and processed beans. **Food Chemistry, Barking**, v. 80, n. 2, p. 231-235, 2003.

LOPES, A. S.; PAVANI, L. C.; CORÁ, J. E.; ZANINI, J. R.; MIRANDA, H. A. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**. v.24, n.1, p. 89-100, 2004.

MANTOVANI, E.C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L.F. **Irrigação - Princípios e Métodos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 355 p. 2009.

MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. *Scientia Agrícola*, v. 59, n. 02, p. 340-350, 2002.

PACHECO, E. P.; MANTOVANI, E. C.; MARTYN, P. J.; OLIVEIRA, A. C. Avaliação de uma semeadora-adubadora de precisão. **Revista da Pesquisa Agropecuária-PAB**. Brasília, v.31, n. 03, p. 209-214. 1996.

PAINTER, K. **Costs of owning and operating farm machinery in the Pacific Northwest: 2011**. Pacific Northwest Extension Publication, University of Idaho, p.106, 2011.

PARISH, R. L & BRACY, R. P. An attempt to improve uniformity of a Gaspardo precision seeder. **HortTechnology**, v. 13, n.1, p. 100–103, 2003.

PAULO, M. V., TIEPPO, R. C., MODOLO, A. J., DALLACORT, R., SANTI, A. Sowing speed in no tillage system on early development of maize crop. **Scientia Plena**, v. 14, n. 2, 2018.

VIEIRA, C.; PAULA JR, T. J., BORÉM, A. **Feijão**. Viçosa: Ed: UFV, 600p, 2006.

VILHORDO, B. W.; MIKUSINSHI, O. M. F.; BURIN, M. E.; GANDOLFI, V. H. Morfologia. In: ARAÚJO, R. S. (Coord.) **A cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, p. 71-99, 1996.

MARIN, F. R.; PILAU, F. G.; SPOLADOR, H. F. S.; OTTO, R.; PEDREIRA, C. G. S. Intensificação sustentável da agricultura brasileira: cenários para 2050. **Revista de Política Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 108-124, 2016.

MATOS, E. S.; MANTOVANI, A.; NASCIMENTO, J.; ARCORVERDE, S. N.; & SEGRETTI, M. L. Mecanismos sulcadores e velocidade de semeadura na plantabilidade e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 36-42, 2021.

MENDES, W. C.; JUNIOR, J. A.; CUNHA, P. C. R.; SILVA, A. R.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. Nitrate and potassium leaching and the response of the common bean to different irrigation blades. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 34, p. 3188-3196, 2016.

MONTERO, J. et al. Analysis of water application costs with a centre pivot system for irrigation of crops in Spain. **Irrigation Science**, v. 31, n. 3, p. 507–521, 2013.

MOTTER, P.; ALMEIDA, H. D.; VALLE, D.; MELLO, I. Plantio direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira. **Foz do Iguaçu: Parque Itaipu**. 144 p., 2015.

MUZILLI, O.; VIEIRA, M. J.; ALMEIDA, F. L. S.; NAZARENO, N. R. X. de; CARVALHO, A. O. R.; LAURENTI, A. E. & LLANILO. R. F. Comportamento e possibilidade da cultura do milho em plantio direto no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, n.1, p. 41-47, 1983.

NÓBREGA, J.Q.; RAO, T.V.R.; NAPOLEÃO, E.M.; BELTRÃO FILHO, J.F. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 3, p. 437-443, 2001

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1079-1087, 2002.

OLIVEIRA, J. T.; CUNHA, F. F.; OLIVEIRA, R. A.; SILVA JUNIOR, A. G.; BUFON, V. B. Economic analysis of two sprinkler irrigation systems for sugarcane and soybean crops in Brazil. **International Sugar Journal**, v. 122, n. 1464, p. 844-850, 2020.

ORTÍZ, José Nicolás Romero et al. Set Sprinkler Irrigation and Its Cost. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 132, n. 5, p. 445–452, 2006.

PAINTER, K. **Costs of owning and operating farm machinery in the Pacific Northwest: 2011**. Pacific Northwest Extension Publication, University of Idaho, 106 p., 2011.

POMPEU, A. S. Melhoramento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: BULISANI, E. A. (Coord.). **Feijão: fatores de produção e qualidade**. Campinas: Fundação Cargil, p.1-28, 1987.

R Core Team (2017). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SANGOI, L.; SCHMITT, A.; VIEIRA, J.; PICOLI JÚNIOR, G. J.; SOUZA, C. A.; CASA, R. T.; SCHENATTO, D. E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C. M.; MACHADO, G. C.; HORN, D. Variabilidade na Distribuição Espacial de Plantas na Linha e Rendimento de Grãos de Milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 11, n. 3, p. 268–277, 2012.

SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L.; VIEIRA, R. F.; PINHEIRO, L. R. Botânica. In. CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **FEIJÃO: do plantio à colheita**. Viçosa: Ed. UFV, p. 37-63, 2015.

SANTOS, T.D.; MEERT, L.; BORGHI, W.A.; SILVA, P.S.; FIGUEIREDO, A.S.T. Desenvolvimento inicial de plantas de soja e qualidade de semente em função da velocidade de deslocamento da semeadora e textura do solo. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, v.10, p.97-103, 2017.

SALOMÃO, P. E. A., KRIEBEL, W., DOS SANTOS, A. A., & MARTINS, A. C. E. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society and Development**, v.9, n.1, p. e154911870-e154911870, 2020.

ŠARAUSKIS, E.; BURAGI NÉ, S.; MASILIONY É, L.; ROMAN CKAS, K.; AÖIŽI NY É, D.; SAKALAUŠKAS, A. nergy balance, cost and CO2 analysis of tillage Technologies in maize cultivation. **Energy**, v. 69, p. 227-235, 2014.

SILVA, V. A.; ANDRADE, M. J. B.; RAMALHO, M. A. P. Efeitos de métodos de preparo do solo e doses de adubação NPK sobre o feijão da seca em sequência à cultura do milho. **Ciências Agrotécnicas**, v. 25, n. 2, p. 454-461, 2001.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia Florestal**. 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2012. 178 p.

SILVA, J. G.; NASCENTE, A. S.; SILVEIRA, P. M. Velocidade de semeadura e profundidade da semente no sulco afetando a produtividade de grãos do arroz de terras altas. **Colloquium Agrariae**, v. 13, n.1, p. 77-85, 2017.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. Viabilidade econômica da cultivar de feijão-comum superprecoce BRS FC104 no estado do Paraná. In: Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 59.; ENCONTRO BRASILEIRO DE PESQUISADORES EM COOPERATIVISMO, 6., 2021, Brasília, DF. Brasília, DF: UnB, 2021.

SILVA, T., LUQUINI, R. H., ALVES, A. F., & TONIN, J. M. Avaliação da viabilidade da implantação do contrato futuro de feijão comum no Brasil. **Gestão e Desenvolvimento em Revista**, v. 8, n. 2, p. 22-41, 2021.

Silva, W. C., de Moura, J. G., Viana, I. E. T., Nogueira, A. L. D. S. P., da Silva, T. M., & de Oliveira, A. B. Productivity of cowpea submitted to different irrigation blades with use biofertilizer. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 6, p. 3028, 2018.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L.F.; CUNHA, P.C.R.; **Práticas para economia de água na Irrigação do feijoeiro por Pivô-Central**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 8p., 2015.

SOUZA, L. H., RABELO, C. G., CABACINHA, C. D., PINTO, M. J. S., & DE MATOS, L. Consumo de combustível em trator agrícola em função da velocidade e profundidade de trabalho nas operações de aração e gradagem. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 23, n. 1, p. 65, 2015.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Manejo de Irrigação. 2012. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvoreCONTAG01_86_1311200215104.html> Acesso: 06 de janeiro de 2022.

TARJUELO, José María. **El riego por aspersión y su tecnología**. Ediciones Mundi-Prensa, 581 p., 2005.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Unicamp/FEAGRI. 215p., 2017.

TORMENA, C.A.; ARAÚJO, M.A.; FIDALSKI, J. & COSTA, J.M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 211-219, 2007.

VIEIRA, E. H. N; RAVA, C. A. **Sementes de feijão: produção e tecnologia**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e feijão, 270 p., 2000.