



Avaliação In Sílico da Adubação Nitrogenada no Feijoeiro nas Épocas das Águas e de Inverno no Estado de Goiás



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Arroz e Feijão
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
60**

**Avaliação In Sílico da Adubação Nitrogenada
no Feijoeiro nas Épocas das Águas e
de Inverno no Estado de Goiás**

*Ludmilla Ferreira Justino
Rafael Battisti
Luís Fernando Stone
Silvando Carlos da Silva
Alexandre Bryan Heinemann*

***Embrapa Arroz e Feijão
Santo Antônio de Goiás, GO
2022***

Embrapa Arroz e Feijão
Rod. GO 462, Km 12, Zona Rural
Caixa Postal 179
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO
Fone: (62) 3533-2105
Fax: (62) 3533-2100
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê de Publicações da
Embrapa Arroz e Feijão

Presidente
Roselene de Queiroz Chaves

Secretário-Executivo
Luiz Roberto Rocha da Silva

Membros
Ana Lúcia Delalibera de Faria, Luís Fernando Stone, Newton Cavalcanti de Noronha Júnior, Tereza Cristina de Oliveira Borba

Supervisão editorial
Luiz Roberto Rocha da Silva

Revisão de texto
Luiz Roberto Rocha da Silva

Normalização bibliográfica
Ana Lúcia Delalibera de Faria

Projeto gráfico da coleção
Fabiano Severino

Editoração eletrônica
Fabiano Severino

Foto da capa
Sebastião José de Araújo

1ª edição
Publicação digital - PDF (2022)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Arroz e Feijão

Avaliação in silico da adubação nitrogenada no feijoeiro nas épocas das águas e de inverno no estado de Goiás / Ludmilla Ferreira Justino [et al.]. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2022.

35 p. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9601 ; 60)

1. Feijão - Nitrogênio. 2. Feijão - Época de semeadura. 3. Modelo de simulação. 4. Análise econômica. 5. *Phaseolus vulgaris*. I. Justino, Ludmilla Ferreira. II. Battisti, Rafael. III. Stone, Luís Fernando. IV. Silva, Silvando Carlos da. V. Heinemann, Alexandre Bryan. VI. Embrapa Arroz e Feijão. VII. Série.

CDD 635.652894

Ana Lúcia Delalibera de Faria (CRB-1/324)

© Embrapa, 2022

Sumário

Resumo5

Abstract6

Introdução.....7

Material e Métodos8

Resultados e Discussão15

Conclusões.....30

Referências30

Avaliação In Sílico da Adubação Nitrogenada no Feijoeiro nas Épocas das Águas e de Inverno no Estado de Goiás

Ludmilla Ferreira Justino¹

Rafael Battisti²

Luís Fernando Stone³

Silvando Carlos da Silva⁴

Alexandre Bryan Heinemann⁵

Resumo – O trabalho objetivou avaliar, in sílico, o efeito de diferentes doses e épocas de aplicação de nitrogênio (N) na produtividade do feijoeiro, em duas épocas de cultivo, águas e seca, para as condições edafoclimáticas do estado de Goiás. O modelo de cultura CSM Cropgro-Dry Bean foi parametrizado, validado e aplicado na simulação da produtividade, considerando doses aplicadas na semeadura e em cobertura. A dose de N e a data de semeadura tiveram maior relevância na época das águas, cujas produtividades aumentaram com a semeadura precoce e altas doses de N. Na época de inverno, a dose de N também foi o fator mais importante para obtenção de altas produtividades. O maior retorno econômico da cultura foi obtido com doses de N de 60/180 kg ha⁻¹ e 40/120 kg ha⁻¹ (semeadura/cobertura) nas épocas das águas e de inverno, respectivamente, com o preço fixado em R\$ 4,74 kg⁻¹. Portanto, a melhor estratégia de manejo é a aplicação de altas doses de N e datas de semeadura precoces na época das águas, e altas doses de N na época de inverno. A época das águas teve maior lixiviação, logo, doses altas de N nessa época devem ser aplicadas, considerando práticas de manejo.

Termos para indexação: *Phaseolus vulgaris*, nitrogênio, modelagem agrometeorológica.

¹ Engenheira-agrônoma, doutoranda em Produção Vegetal, estagiária da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

² Engenheiro-agrônomo, doutor em Engenharia de Sistemas Agrícolas, professor adjunto da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO

³ Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

⁴ Engenheiro agrícola, mestre em Meteorologia Aplicada, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

⁵ Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO

In Silico Assessment of Nitrogen Management in Common Bean Crops at Rainy and Winter Seasons in the Goiás State

Abstract - The objective of this work was to evaluate, in silico, the effect of nitrogen rates and topdressing dates on bean yield in two growing seasons, rainy and winter, in Goiás State, Brazil. The CSM Cropgro-Dry Bean modelling was parameterized, validated and applied in the yield simulation, considering nitrogen rates and topdressing. The N rate and the sowing date were more relevant in the rainy season, whose yields increased with early sowing and high N rates. In the winter season, the N rate was also the most important factor for obtaining high yields. The highest economic return of the crop was obtained with N rates of 60/180 kg ha⁻¹ and 40/120 kg ha⁻¹ (planting/topdressing) in the rainy and winter seasons, respectively, with the price fixed at R\$ 4.74 kg⁻¹. Therefore, the best management strategy is the application of high doses of N and early sowing dates in the rainy season, and high doses of N in the winter season. The rainy season had the highest N leaching, so high doses of N at this time should be applied considering management practices.

Index terms: *Phaseolus vulgaris*, nitrogen, agrometeorology.

Introdução

O feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) é a leguminosa mais importante para consumo direto no mundo, essencial para a segurança alimentar e nutricional na África e na América Latina (Beebe et al., 2012). Tal importância decorre de um conteúdo significativo de proteínas, carboidratos e minerais, tornando-o alimento básico para populações de países em desenvolvimento (Broughton et al., 2003; Fageria et al., 2013).

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão-comum, com produção de, aproximadamente, 3 milhões de toneladas em 2020 (Conab, 2021). No estado de Goiás, terceiro maior produtor do Brasil, o feijão-comum é cultivado na mesma área geográfica, em três safras distintas, época das águas (semeadura de 1º de novembro a 31 de dezembro), época da seca (semeadura de 1º de janeiro a 28 de fevereiro) e época de inverno (semeadura de 1º de maio a 30 de junho). Nas épocas das águas e da seca o cultivo se dá em regime de sequeiro, enquanto o de inverno é totalmente irrigado (Heinemann et al., 2016).

Devido à variabilidade ambiental, o desempenho das cultivares varia substancialmente entre as safras, com rendimentos médios de 2.061 kg ha⁻¹, 1.855 kg ha⁻¹ e 2.714 kg ha⁻¹ nas épocas das águas, da seca e de inverno, respectivamente (IBGE, 2020). As diferenças de produtividade entre a época de inverno e as estações de crescimento chuvosas (das águas e da seca) se devem aos estresses que limitam a produtividade da cultura (Beebe et al., 2011). As épocas chuvosas sofrem mais do que a época irrigada com as restrições abióticas e bióticas.

As restrições abióticas mais frequentes para o feijoeiro são a baixa fertilidade do solo, a seca (Singh, 2001; Beebe et al., 2011; Müller et al., 2014) e a deficiência de N, dada a insuficiente fixação (Rao, 2001). O foco do estudo é minimizar os efeitos da baixa fertilidade do solo na produtividade do feijoeiro através da aplicação de N inorgânico em diferentes épocas de cultivo, e avaliar o impacto da adubação nitrogenada na rentabilidade do produtor, propondo possibilidades economicamente sustentáveis. Ao contrário da soja, muito eficiente na fixação simbiótica do N₂ atmosférico, o feijoeiro não dispensa a aplicação de fertilizante, pois a fixação biológica de N (FBN) parece ser incapaz de suplementar o total requerido pela cultura (Franzini et al., 2013). Em regime de sequeiro e irrigado a fertilização com N necessária para o feijoeiro na região

central do Brasil varia de 0 kg ha⁻¹ a 20 kg ha⁻¹ na semeadura, e de 20 kg ha⁻¹ a 90 kg ha⁻¹ na cobertura, de acordo com a produtividade esperada e a classe de resposta ao N (Posse et al., 2010).

Conforme o crescimento da planta, a assimilação e translocação de N são afetadas pela nutrição do N da planta e pelos estresses abióticos, principalmente deficiência hídrica, luminosidade e temperatura do ar. Tais estresses afetam esses processos de diferentes formas (Lodeiro et al., 2000). Assim, estabelecer um manejo adequado de N é essencial para atender às necessidades da cultura, garantindo altas produtividades, aumentando a eficiência de uso do nutriente e diminuindo os custos de produção e os riscos de poluição ambiental (Santos; Fageria, 2008; Fageria et al., 2011; Zhang et al., 2012). Este trabalho está alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, das Nações Unidas, contribuindo para o atendimento da meta do ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável.

A hipótese deste estudo é a de que as doses de N e as datas de adubação nitrogenada de cobertura variam de acordo com as datas de semeadura e épocas de cultivo, das águas e de inverno, e afetam a produtividade, para tanto foram avaliados, in silico, os efeitos de doses de N e datas de adubação nitrogenada de cobertura sobre a produtividade do feijoeiro em diferentes datas de semeadura e épocas de cultivo no estado de Goiás, Brasil (Justino et al., 2022).

Material e Métodos

Região de estudo

A região de estudo compreende o estado de Goiás, cujo bioma predominante é o Cerrado, com superfície de 340.086 km² (IBGE, 2020), altitude variando entre 0 m e 1.200 m acima do nível do mar, latitude de 19° (S) a 15° (S), longitude de 46° (O) a 51° (O) (Figura 1), predominando o clima tropical de savana (Aw), que representa 94% da área (Alvares et al., 2013). O regime de chuvas apresenta forte sazonalidade (padrão monomodal), predominando as estações chuvosa e seca. Mais de 80% do total anual das chuvas ocorre na estação chuvosa (outubro a março), com as maiores precipitações entre janeiro e março (Heinemann et al., 2021). Nessa região, a área cultivada com feijão-comum e a produção total anual de três safras,

em 2020, foram de 144,5 mil hectares e 353,9 mil toneladas (Conab, 2021). Para este estudo foram selecionados apenas os municípios que colheram 5 t ou mais de feijão em pelo menos dois anos e uma ou duas safras (das águas e/ou inverno) entre 2010 e 2018 (Figura 1). Tais informações foram obtidas do banco de dados oficial da produção de feijão, no nível municipal (IBGE, 2020).

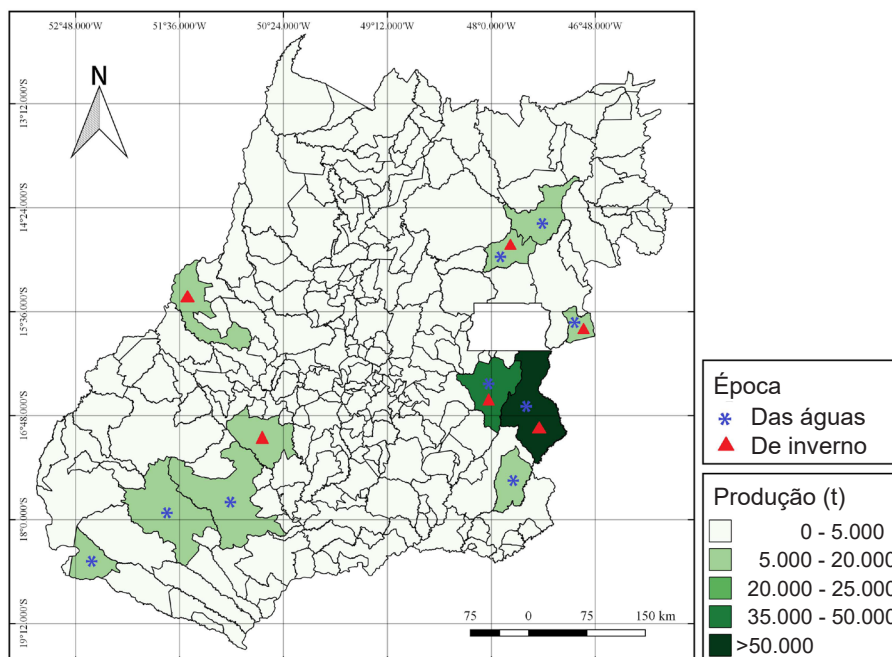


Figura 1. Distribuição geográfica da produção de feijão nos municípios avaliados nas épocas das águas e de inverno.

Dados observados

Experimentais com feijão-comum

A cultivar BRS Estilo, tipo de grãos carioca, foi selecionada, a qual possui hábito de crescimento II, indeterminado, recomendada para cultivo nas épocas das águas, da seca e de inverno. De acordo com o programa de melhoramento genético da Embrapa para o estado de Goiás, a produção esperada é de, aproximadamente, 2.100 kg ha⁻¹ (12 ensaios) e 2.900 kg ha⁻¹ (12 ensaios) para as épocas das águas e de inverno, respectivamente (Melo et al., 2009).

Para a parametrização do modelo CSM Cropgro-Dry Bean foram utilizados os dados de cinco experimentos de campo com a cultivar BRS Estilo, incluindo fertilização nitrogenada, observados da fenologia (datas de semeadura, emergência, florescimento, primeira vagem, primeira semente e maturação), do crescimento (massa seca de folha, caule e vagens) e da produtividade. O processo de parametrização do modelo CSM Cropgro-Dry Bean está descrito em detalhes em Justino et al. (2022). Para a validação do modelo foram utilizados 24 ensaios de variedades que fazem parte de ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) realizados pelo programa de melhoramento de feijão da Embrapa em três locais, Anápolis, GO, Santo Antônio de Goiás, GO e Distrito Federal, por seis anos (2012 a 2017), nas épocas das águas e de inverno, e 24 datas de semeadura, considerando ambas as épocas. Nos ensaios de VCU foram utilizadas apenas a data de semeadura e a produtividade da cultivar BRS Estilo. Cada ensaio foi composto de 20 genótipos, em delineamento de blocos ao acaso com três repetições. Os ensaios consistiram em parcelas de 3 m² com 12 sementes m⁻¹, aplicando-se, na semeadura, 240 kg ha⁻¹ de monoamônio fosfato (MAP). O N foi aplicado em cobertura, no estágio V3 (abertura da terceira folha trifoliolada), dose de 45 kg ha⁻¹.

Clima e solo

Os dados agrometeorológicos diários (temperaturas máxima e mínima do ar, radiação solar global e precipitação pluvial) foram inseridos no modelo CSM Cropgro-Dry Bean, obtidos de Xavier et al. (2016), que utilizou um grid 1 x 1 para uma série histórica de 35 anos (1980 a 2015). Foram criados dois cenários de solos (Latossolo Vermelho distrófico e Cambissolo Háplico Tb distrófico), representativos da região de estudo, conforme o mapa de solos do Brasil (IBGE, 2001; Santos et al., 2018). Os parâmetros físico-hídricos e os teores de carbono orgânico do solo foram obtidos em análises realizadas na Embrapa Arroz e Feijão, os quais são detalhados em Justino et al. (2022).

Modelo de cultura

O modelo CSM Cropgro-Dry Bean, da plataforma Sistema de Apoio à Decisão para Transferência de Agrotecnologia (DSSAT) (Hoogenboom et al., 2019), aplicado neste estudo, permite simulações de longo prazo, na escala diária da produtividade, do crescimento e do desenvolvimento do feijoeiro,

além de diversos processos associados à cultura, como fotossíntese, respiração, evapotranspiração e balanço hídrico do solo (Boote et al., 1998). Os processos simulados pelo modelo descrevem as respostas de uma cultivar em função de fatores climáticos, características do solo e práticas de manejo, sendo requeridos dados como temperaturas máxima e mínima do ar, radiação solar global e precipitação pluvial; propriedades físicas e químicas das camadas de solo; e datas de semeadura, adubação e irrigação. O módulo de solo integra informações de quatro submódulos: água; temperatura; dinâmica do solo e de carbono (C); e nitrogênio, este último computando os processos de N e de C, incluindo fertilizantes orgânicos e inorgânicos, colocação de resíduos, taxas de decomposição e fluxos de nutrientes entre os vários reservatórios e camadas de solo (Jones et al., 2003). O balanço de N da cultura inclui absorção diária do nutriente no solo, fixação de N_2 , mobilização e translocação nos tecidos vegetativos antigos para novo crescimento vegetativo ou reprodutivo, taxa de uso de N para crescimento de novos tecidos e a perda da taxa de N por abscisão de partes da planta (Boote et al., 2008). Os processos de equilíbrio do N do solo são os descritos por Godwin e Jones (1991) e Godwin e Singh (1998).

O modelo CSM Cropgro-Dry Bean tem sido amplamente avaliado e aplicado no Brasil em estudos sobre o feijoeiro, visando a otimização do manejo da irrigação (Heinemann et al., 2000, 2002; Teixeira et al., 2017; Justino et al., 2019), da caracterização ambiental (Heinemann et al., 2016), das mudanças climáticas (Heinemann et al., 2017; Antolin et al., 2021) e da previsão de produtividade (Oliveira et al., 2012) e sobre a soja, na avaliação da relação do teor de carbono orgânico e do N do solo (Silva et al., 2020).

Para a análise de desempenho do modelo de cultura, os indicadores estatísticos erro quadrático médio (RMSE) e erro médio absoluto (MAE) foram calculados para determinar o grau de ajuste entre os valores simulados e observados. As simulações foram realizadas nas épocas de cultivo das águas e de inverno, respectivamente nas três datas de semeadura: 1º, 15 e 30 de novembro; 15 e 30 de abril e 15 de maio. A simulação da produtividade do feijoeiro na época das águas foi realizada em sistema de sequeiro; na época de inverno realizou-se considerando um sistema de irrigação com a aplicação da água no solo a 70% da capacidade de campo (Justino et al., 2019). Nas simulações considerou-se como teores iniciais de N e de água no solo 20 kg ha⁻¹ e 80%, respectivamente, para a época de inverno, na condição

irrigada. Neste estudo, para todas as simulações, foi desativada a fixação de N, visto que o feijoeiro é considerado uma espécie com baixa capacidade de nodulação e FBN, comparada a outras leguminosas (Graham et al., 2003), havendo também tendência nas lavouras comerciais de privilegiar as variedades arbustivas de ciclo de crescimento curto, devido às preferências de manejo, negligenciando a FBN como característica importante para melhorar os aportes de N para a cultura (Pacheco et al., 2020). A simulação foi iniciada nas respectivas datas de semeadura para o inverno e, no ano anterior, independentemente das datas de semeadura, para a época das águas, sem irrigação, para permitir o estabelecimento do perfil hídrico do solo baseado nos padrões de precipitação pluvial.

Os tratamentos consistiram em seis doses de N e seis datas de aplicação em cobertura, sem considerar a fixação biológica (Tabela 1). As doses e as datas de adubação nitrogenada de cobertura foram definidas com base na recomendação descrita por Posse et al. (2010), variando entre 0 kg ha⁻¹ e 240 kg ha⁻¹, e a de cobertura dividida em, no máximo, duas vezes, a partir da emergência.

Tabela 1. Doses e datas de adubação nitrogenada de cobertura. Média recomendada de N para feijoeiro combina D3 e ID 21*.

ID	Doses de N (kg ha ⁻¹)		
	Semeadura	Cobertura	Total
D0	0	0	0
D1	5	15	20
D2	10	30	40
*D3	20	60	80
D4	40	120	160
D5	60	180	240

Cobertura ID	Adubação de cobertura única (DAE)	Adubação de cobertura parcelada (DAE)
7	7	-
14	14	-
*21	21	-
28	28	-
35	35	-
15/35	15	35

Fonte: Posse et al. (2010).

Análise de dados

Dada a importância das variáveis de produtividade simulada, realizou-se a análise exploratória *Predictive Power Score* (PPS) considerando: a) as duas épocas conjuntamente, das águas e de inverno; b) a época das águas; e c) a época de inverno. PPS é uma análise assimétrica e agnóstica que detecta relações lineares e não lineares entre duas variáveis e tem pontuação métrica normalizada, variando entre 0 (sem poder preditivo) e 1 (poder preditivo perfeito). Neste trabalho a PPS foi calculada com base em um regressor de árvore de decisão e erro absoluto médio (MAE) (Van der Laken, 2021).

Como critério para determinar as opções de manejo de N para maximizar a produtividade, foi aplicada a probabilidade de excedência e a eficiência agrônômica do N (EA). A probabilidade de excedência é dada pela soma das probabilidades de ocorrência de todos os eventos maiores que (excedência) ou menores que (não excedência) uma dada produtividade do feijoeiro, conforme definido na Equação 1.

$$E(x) = 1 - F(x), F(x) = P(X \leq x) \quad (\text{Equação 1}), \text{ onde:}$$

$E(x)$ - probabilidade de excedência (%);

$F(x)$ - função de distribuição cumulativa (%);

$P(X \leq x)$ - probabilidade da variável X ser menor ou igual a x .

De acordo com Fageria et al. (2013), a EA do N é o incremento da produtividade por quantidade de N aplicado (expressa em kg kg^{-1}) (Equação 2).

$$EA = (Y - Y_{D0}) / N \quad (\text{Equação 2}), \text{ onde:}$$

EA - Eficiência agrônômica do N (kg kg^{-1});

Y - Produtividade com fertilização (N kg ha^{-1});

Y_{D0} - Produtividade sem fertilização ($D0$ neste estudo);

N - Quantidade de N aplicada no tratamento (kg).

Viabilidade econômica

As produtividades obtidas nas simulações com o modelo CSM Cropgro-Dry Bean foram usadas para avaliar a viabilidade econômica das doses de N aplicadas no feijoeiro nas épocas das águas e de inverno, considerando os ganhos e os custos econômicos associados ao cultivo por um período de 30 anos.

Os custos de produção do feijão foram obtidos do Instituto para o Fortalecimento da Agropecuária de Goiás (IFAG, 2020), os quais são descritos em Justino et al. (2022). Os custos de cultivo nos períodos das águas (média de R\$ 4.420,30 ha⁻¹) e de inverno (média de R\$ 4.669,65 ha⁻¹) diferiram entre si devido aos gastos com irrigação (bombeamento, depreciação e manutenção do sistema) adicionados à produção no inverno (Justino et al., 2019). Os custos totais de cada sistema são apresentados na Tabela 2. Para cada tratamento e época foi avaliada a viabilidade econômica considerando três valores de venda do feijão, definidos a partir dos percentis 10, 50 e 90 dos valores de comercialização de 1º/08/2017 a 09/10/2020, respectivamente, de R\$ 1,42, R\$ 2,50 e R\$ 4,74 por quilograma de feijão. Também foram calculados os valores mínimos de venda do feijão para que o cultivo sob cada dose de N fosse considerado economicamente viável.

A viabilidade econômica foi realizada utilizando-se a planilha eletrônica AmazonSaf (Arco-Verde; Amaro, 2014), analisando-se os indicadores financeiros: Valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR), relação custo-benefício (RCB) e tempo de retorno do investimento (*payback*). Neste trabalho considerou-se a taxa mínima de atratividade de 12% ao ano.

Tabela 2. Custo total de produção do feijão-comum baseado em diferentes doses de N numa área de 1 ha⁻¹.

Dose de N	Época das águas	Época de inverno
D0	R\$ 3.935,37	R\$ 4.184,73
D1	R\$ 4.055,59	R\$ 4.304,94
D2	R\$ 4.138,47	R\$ 4.387,82
D3	R\$ 4.304,26	R\$ 4.553,61
D4	R\$ 4.635,81	R\$ 4.885,16
D5	R\$ 4.967,37	R\$ 5.216,72

Fonte: Ifag (2020).

Resultados e Discussão

Modelo de cultura

O modelo CSM Cropgro-Dry Bean teve bom desempenho na predição da fenologia do feijoeiro para a cultivar BRS Estilo (Figura 2). RMSE e MAE para florescimento, primeira semente e maturação fisiológica, foram de 1,67 dias e 1,2 dias; 6,54 dias e 5,2 dias; e 1,79 dias e 1,6 dias, respectivamente (Figuras 2A, 2B e 2C). Para todas as variáveis, florescimento, primeira semente e maturação fisiológica, o modelo de cultura tende a superestimar os valores observados. A porcentagem de debulha da vagem e o índice de área foliar (IAF) máximo também mostraram boa concordância com RMSE e MAE de 2,53% e 2,08% e 1,26 m² e 1,09 m² (Figuras 2D e 2E). A parametrização da produtividade de grãos mostrou desempenho razoável, RMSE = 508 kg ha⁻¹ e MAE = 454 kg ha⁻¹ (Figura 2F), com todos os dados dentro dos intervalos de confiança derivados dos dados observados ($\alpha = 95\%$).

A validação da produtividade de grãos mostrou desempenho aceitável para as épocas das águas (RMSE = 628 kg ha⁻¹ e MAE = 375 kg ha⁻¹ (Figura 3A) e de inverno (RMSE = 823 kg ha⁻¹ e MAE = 633 kg ha⁻¹ (Figura 3B). A diferença entre a produtividade simulada e a observada deve-se principalmente a doenças e pragas e, devido ao inverno, ter maior número de experimentos de campo. Com base nos resultados do processo de parametrização e validação, o modelo CSM Cropgro-Dry Bean simulou, com sucesso, o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade da cultivar de feijão BRS Estilo em diferentes épocas e localidades do estado de Goiás, podendo ser ferramenta de compreensão dos processos de interações entre genótipo e ambiente.

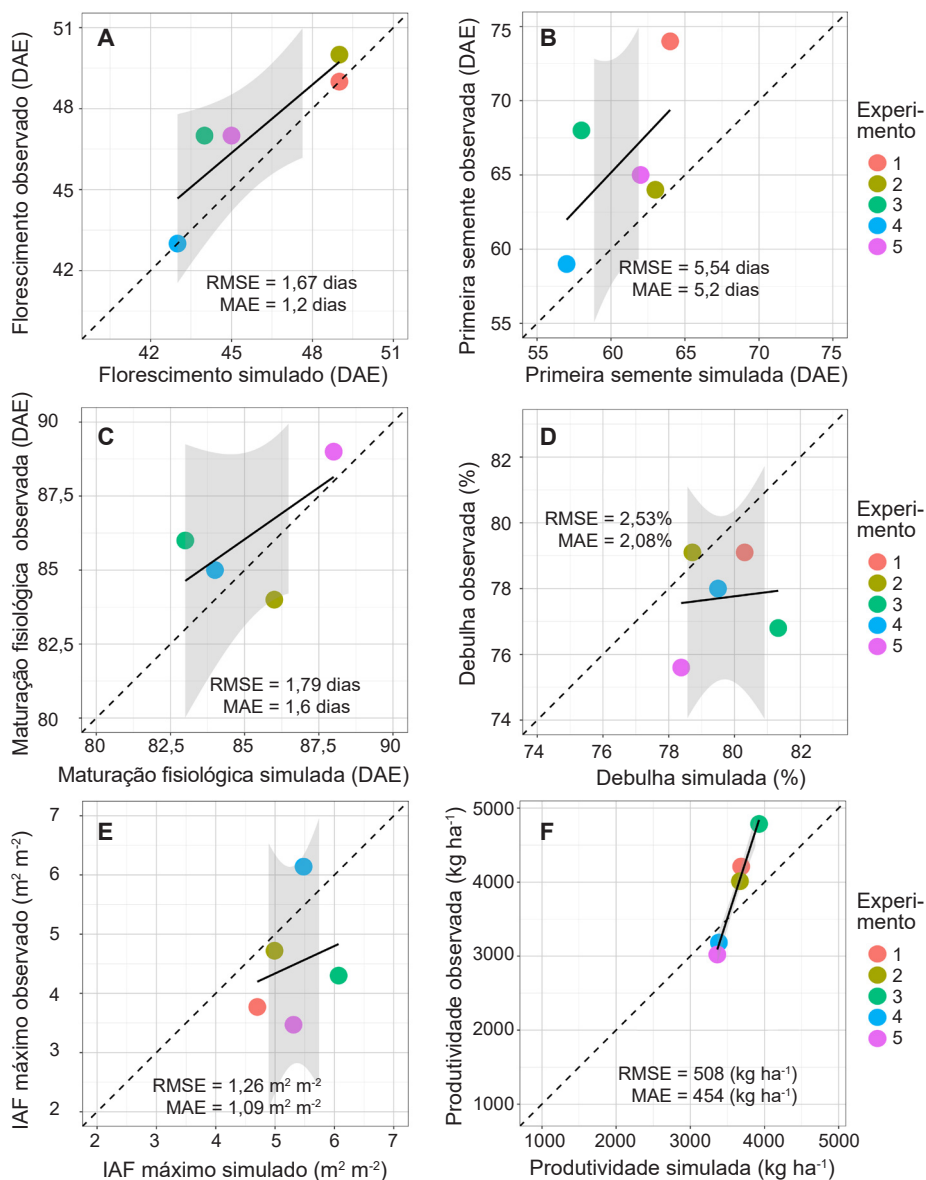


Figura 2. Predição da fenologia observada e simulada da cultivar BRS Estilo no processo de parametrização: dias para o florescimento (A); dias para a formação da primeira semente (B); dias para a maturação fisiológica (C); debulha da vagem (D); IAF máximo (E); e produtividade (F).

A faixa cinza representa o intervalo de confiança ($\alpha = 95\%$).

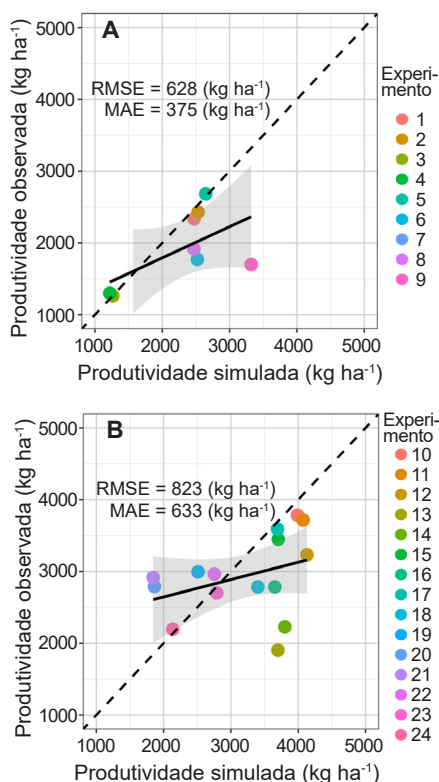


Figura 3. Produtividade média observada e simulada para a cultivar BRS Estilo no processo de validação: época das águas (A) e época de inverno (B).

A faixa cinza representa o intervalo de confiança ($\alpha = 95\%$).

Análise exploratória

A análise exploratória (PPS) apontou a dose de N como a variável mais importante para explicar as produtividades simuladas, considerando as duas safras, das águas e de inverno, com importância de 60% (Figura 4A). Os efeitos de outras influências bióticas e abióticas na dinâmica do N pelo sistema não são considerados pelo modelo de simulação. Quanto às demais variáveis, verificou-se importância de 0,1% para a data de semeadura e 0% para a época e a data de adubação nitrogenada de cobertura (Figura 4A).

Considerando cada época de forma isolada, a PPS mostrou a dose de N como variável mais importante em ambas, 48% na época das águas (Figura 4B) e 82% na de inverno (Figura 4C).

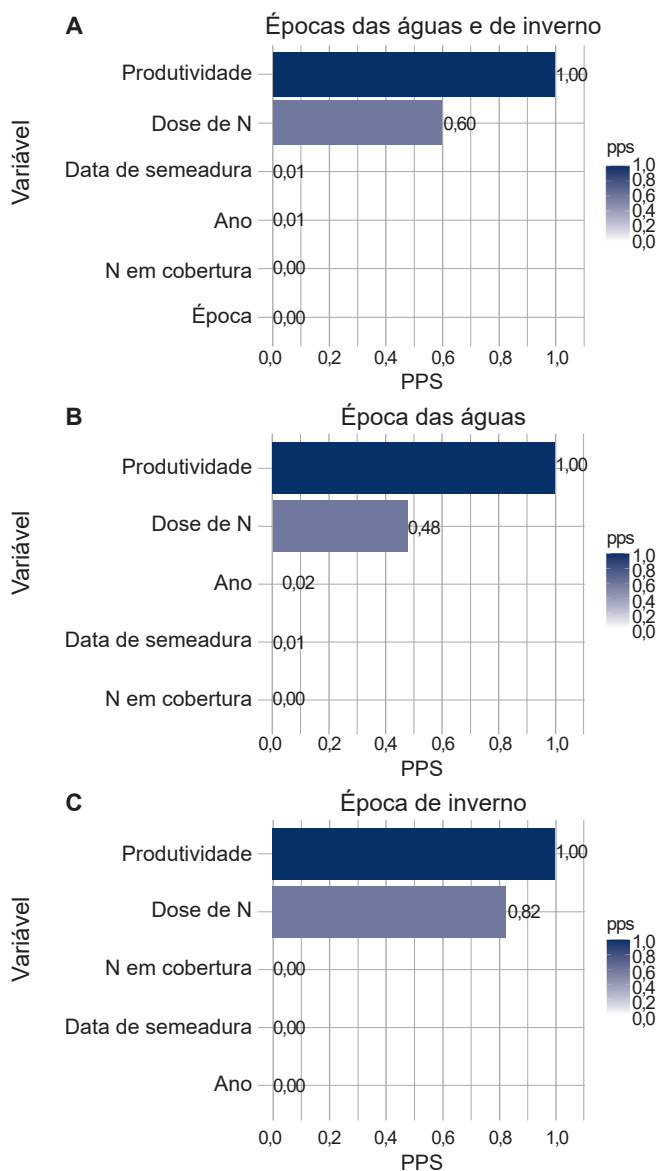


Figura 4. Análise exploratória de poder preditivo (PPS), considerando as épocas das águas e de inverno (A); das águas (B); e de inverno (C), para as doses de N de 0/0 kg ha⁻¹, 5/15 kg ha⁻¹, 10/30 kg ha⁻¹, 20/60 kg ha⁻¹, 40/120 kg ha⁻¹ e 60/180 kg ha⁻¹; épocas de adubação nitrogenada aos 7 dias, 14 dias, 21 dias, 28 dias, 35 dias e 15/35 dias após a emergência; e datas de semeadura (das águas: 1º de novembro, 15 de novembro e 30 de novembro, e de inverno: 15 de abril, 30 de abril e 15 de maio) entre os anos de 1980 e 2015.

Época das águas

A época das águas caracteriza-se como sistema de sequeiro com maior número de agricultores, comparada às outras duas, sendo eles de médio e pequeno portes e médios e baixos níveis tecnológicos (Heinemann et al., 2016). A semeadura se dá no início das chuvas, em novembro, estendendo-se até dezembro. Embora a produtividade tenha aumentado com a ampliação da dose de N, apenas os tratamentos D4 e D5 [40 kg ha^{-1} (semeadura) + 120 kg ha^{-1} (cobertura) e 60 kg ha^{-1} (semeadura) + 180 kg ha^{-1} (cobertura)] alcançaram produtividades iguais ou superiores a 2.100 kg ha^{-1} , esperada para a cultivar BRS Estilo na época das águas, de acordo com o programa de melhoramento (Melo et al., 2009) (Figura 5). Para todos os tratamentos, D0, D1, D2, D3, D4 e D5, o atraso na data de semeadura (30 de novembro) tendeu a diminuir a produtividade, o que ilustra interação entre produtividade e data de semeadura. Para a época das águas, a melhor combinação para produtividades elevadas é uma data de semeadura precoce (1º de novembro a 15 de novembro) e altas doses de N (tratamentos D4 e D5). A comparação das doses de N com D0 mostrou alta na produtividade de 56% (D1), 117% (D2), 227% (D3), 384% (D4) e 465% (D5). Tal aumento, para cada kg de N aplicado, foi de 13 kg ha^{-1} , 14 kg ha^{-1} , 13 kg ha^{-1} , 11 kg ha^{-1} e 9 kg ha^{-1} de produtividade para os tratamentos D1, D2, D3, D4 e D5, respectivamente. Nesse período de semeadura, as maiores produtividades médias foram obtidas com a adubação de cobertura de N aos 35 DAE, para as doses D1, D2, D3 e D4, e aos 28 DAE, para D5 (Figura 6A). As doses de N tiveram impacto maior na produtividade que as datas de semeadura (Figura 5). Altas doses de N (tratamentos D4 e D5) podem minimizar os efeitos deletérios (estresses abióticos) causados pelo atraso na data de semeadura, demonstrando interação entre doses de N, data de semeadura e produtividade.

Apesar de elevadas doses de adubo nitrogenado ser um dos fatores responsáveis pelas altas produtividades na cultura do feijoeiro, o uso exagerado relaciona-se à poluição ambiental, ao aumento das concentrações de ozônio na atmosfera, à perda de biodiversidade nos ecossistemas terrestres e aquáticos, e à acidificação do solo e da água, dentre outros problemas (Silva; Silveira, 2000; Erisman et al., 2013).

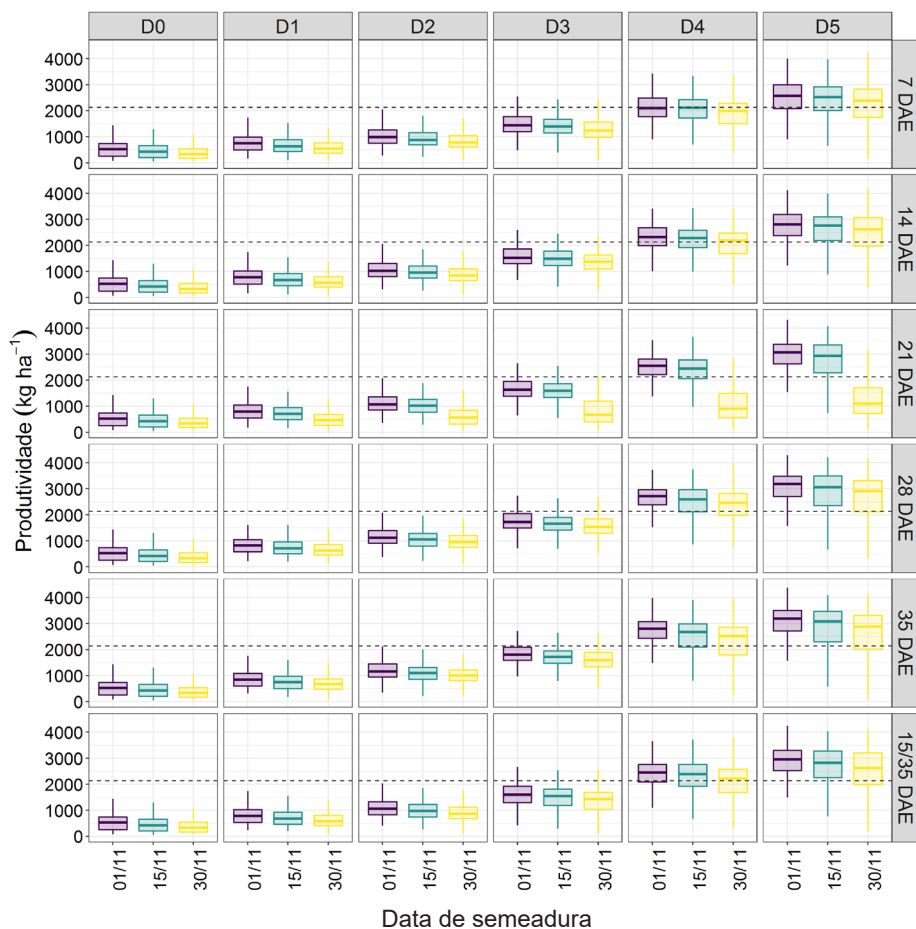


Figura 5. Produtividade simulada do feijoeiro, cultivar BRS Estilo, para doses e épocas de cobertura de N no período das águas no estado de Goiás (1980 a 2015).

A linha pontilhada representa a produtividade esperada pelo programa de melhoramento para a época das águas (2.100 kg ha⁻¹). D0: 0/0 kg ha⁻¹; D1: 5/15 kg ha⁻¹; D2: 10/30 kg ha⁻¹; D3: 20/60 kg ha⁻¹; D4: 40/120 kg ha⁻¹; e D5: 60/180 kg ha⁻¹, dado que o primeiro número representa a quantidade de N aplicada na semeadura, e o segundo, na cobertura. A linha horizontal, no meio do diagrama de caixa, é a mediana (a caixa se estende até os 25º e 75º percentis, e as barras por 5% a 95% dos dados).

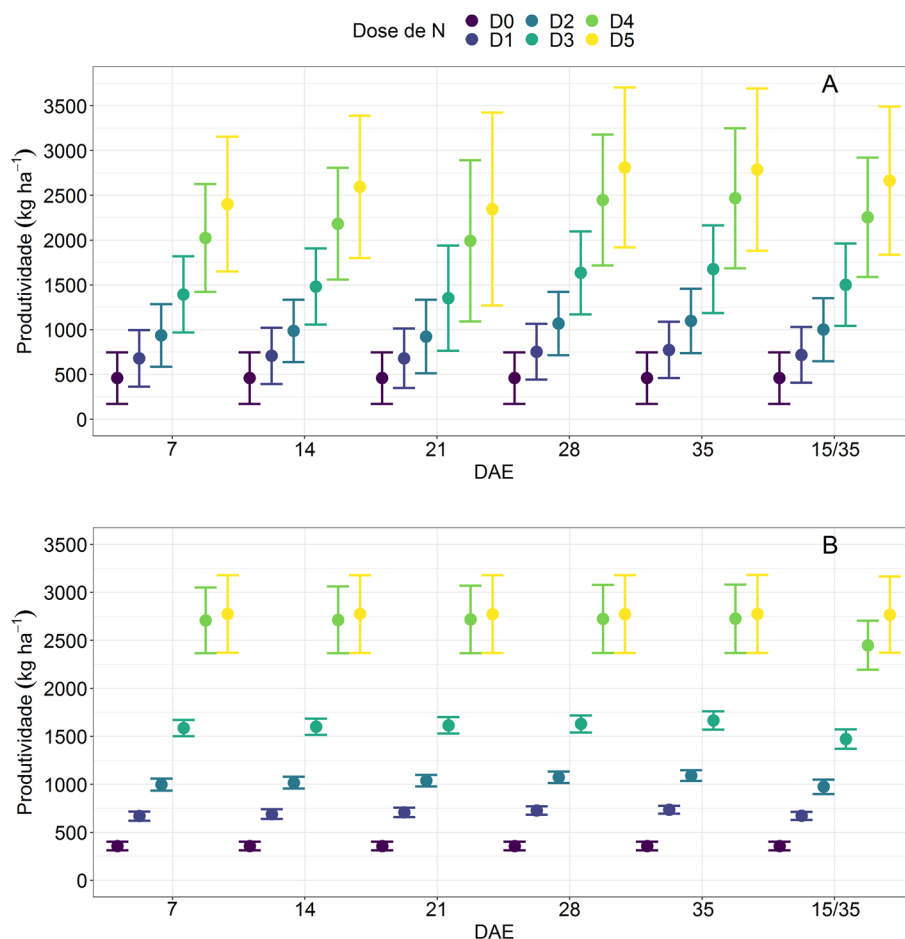


Figura 6. Produtividade média simulada do feijoeiro submetido a doses de N em diferentes datas de cobertura: época das águas (A); época de inverno (B). D0: 0/0 kg ha⁻¹; D1: 5/15 kg ha⁻¹; D2: 10/30 kg ha⁻¹; D3: 20/60 kg ha⁻¹; D4: 40/120 kg ha⁻¹; e D5: 60/180 kg ha⁻¹, dado que o primeiro número representa a quantidade de N aplicada na semeadura, e o segundo, na cobertura.

A probabilidade de excedência para a obtenção de alta produtividade do feijoeiro diminuiu, de acordo com o atraso nas datas de semeadura, para 1.338 kg ha⁻¹, 1.208 kg ha⁻¹ e 971 kg ha⁻¹ (1º, 15 e 30 de novembro), considerando todos os tratamentos (Figura 7A), com o maior impacto ocorrendo no atraso para 15 de novembro.

Comparando as curvas de probabilidade de excedência na produtividade para a dose de N e a data de semeadura (Figuras 7A e 7B), a dose de N teve maior impacto do que a data de semeadura. Quanto às datas de aplicação do N (Figura 7C), o menor rendimento (50% de probabilidade) foi aos 21 DAE, 1.000 kg ha⁻¹. As datas de aplicação, 28 DAE e 35 DAE, resultaram nas maiores produtividades, 1.278 kg ha⁻¹ e 1.292 kg ha⁻¹, respectivamente. A data de semeadura e a dose de N são importantes componentes de manejo, os quais dependem da decisão do agricultor.

Nessa época de cultivo, aumentos nas doses de N diminuem a eficiência agrônômica (EA) desse elemento e aumentam a variabilidade da produção (Figura 8A). A maior EA foi obtida em D2 (10 kg⁻¹ na semeadura e 30 kg⁻¹ na cobertura), com a semeadura em 1º de novembro, a qual apresentou tendência quadrática.

Na época das águas a melhor estratégia é antecipar a semeadura e elevar as doses de N para aumentar a produtividade. Doses elevadas de N são utilizadas para explorar o potencial produtivo das cultivares e alcançar altas produtividades, nem sempre associadas a altas lucratividades, visto que, dependendo do custo da adubação nitrogenada, o crescimento da produtividade pode não ser rentável, não superando o custo da aplicação de N. Meireles et al. (2003) e Heinemann et al. (2016) constataram que épocas tardias de semeadura no período das águas podem causar baixa produtividade do feijoeiro, pois aumentam a probabilidade de deficits hídricos. Justino et al. (2019) encontraram resultados semelhantes, sugerindo a semeadura no início de novembro para aumentar a produtividade. Tais resultados reforçam os dados apresentados, podendo-se obter altas produtividades do feijoeiro na época das águas com a semeadura no início de novembro e com altas doses de N (D4: 40/120 kg ha⁻¹; D5: 60/180 kg ha⁻¹).

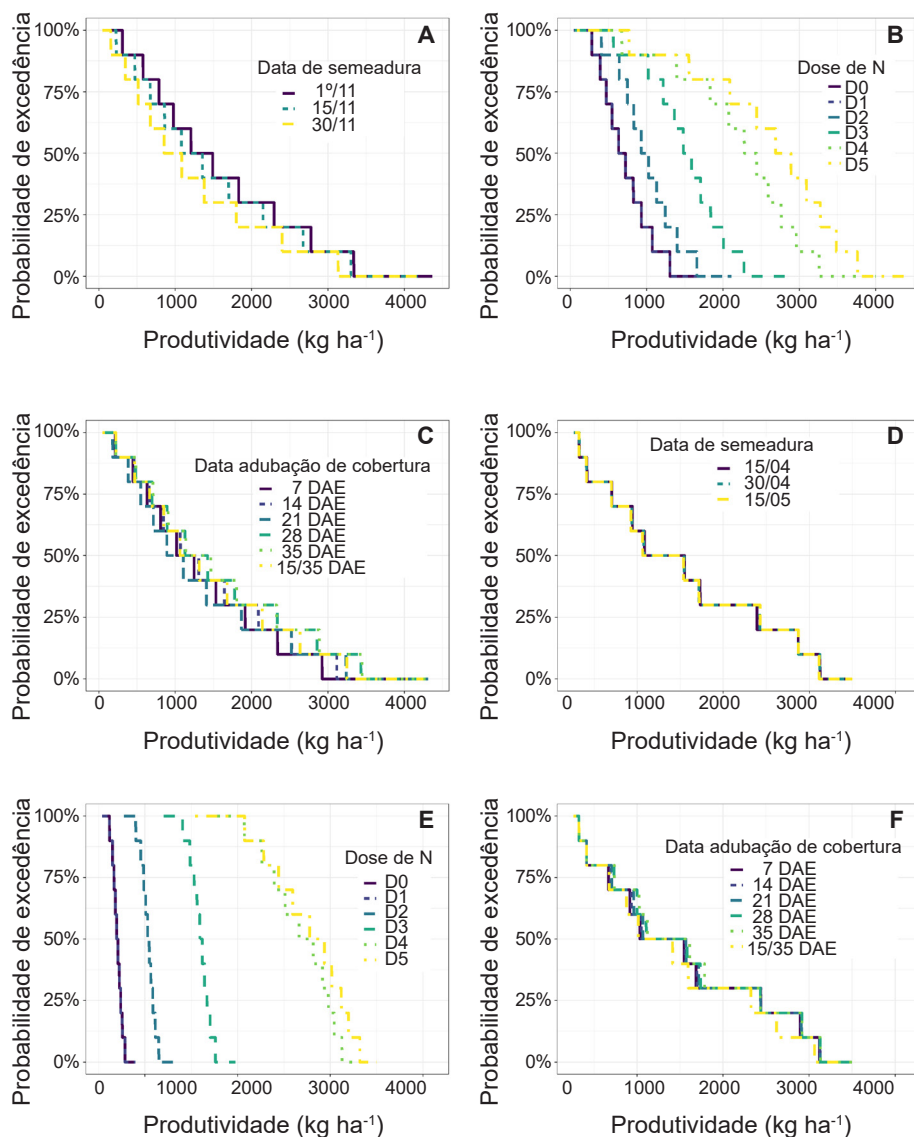


Figura 7. Probabilidade de excedência (%) de produtividades simuladas de feijão-comum (kg ha^{-1}) para datas de semeadura (A), doses de N (B), datas de cobertura de N (C) para a época das águas, e datas de semeadura (D) doses de N (E) datas de cobertura de N (F) para a época de inverno.

D0: 0/0 kg ha^{-1} ; D1: 5/15 kg ha^{-1} ; D2: 10/30 kg ha^{-1} ; D3: 20/60 kg ha^{-1} ; D4: 40/120 kg ha^{-1} ; e D5: 60/180 kg ha^{-1} (o primeiro número representa a quantidade de N aplicada na semeadura, e o segundo, na cobertura).
DAE: dias após a emergência.

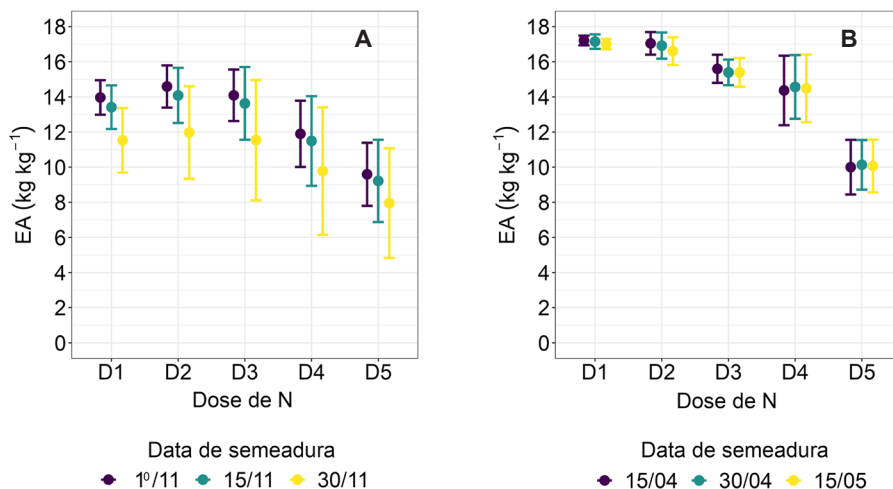


Figura 8. Eficiência agrônômica (EA) de N em diferentes doses e datas de semeadura nas épocas das águas (A) e de inverno (B).

D1: 5/15 kg ha⁻¹; D2: 10/30 kg ha⁻¹; D3: 20/60 kg ha⁻¹; D4: 40/120 kg ha⁻¹; e D5: 60/180 kg ha⁻¹, dado que o primeiro número representa a quantidade de N na semeadura, e o segundo, na cobertura.

Embora a seca não seja a principal restrição na época das águas (Heinemann et al., 2016), alguns anos com chuvas irregulares podem causar déficit hídrico e, conseqüentemente, prejudicar a absorção de N (Spera et al., 2002; Lisar et al., 2012). O feijoeiro responde a altas doses de N com rendimentos crescentes, à medida que a dose aumenta. Alvarez et al. (2005) compararam as doses de N em cobertura para o feijoeiro e encontraram aumento da produtividade com o aumento da dose, atingindo a máxima aplicando-se 125 kg ha⁻¹, indicando resposta da cultura a altas doses do nutriente. Esses resultados corroboram os de Meira et al. (2005), Binotti et al. (2009), Pelegrin et al. (2009), Valderrama et al. (2009), Moreira et al. (2013), Soratto et al. (2017), Lacerda et al. (2019) e Khondoker et al. (2020), os quais observaram que doses altas de N aumentam a produtividade de grãos do feijão, entretanto, a data de aplicação tem baixo impacto na produção, comparando-se às doses. Os melhores resultados para a época das águas foram com a data de adubação de cobertura de 28 DAE (D4) ou 35 DAE (D5). A data da adubação nitrogenada de cobertura para feijoeiro é controversa, com muitos trabalhos (Soratto et al., 2003; Meira et al., 2005; Binotti, 2006) relatando que não afeta significativamente a produtividade. Outros estudos (Henson; Bliss, 1991 e Santi et al., 2003) dizem que a data de aplicação aos 28 DAE, dividida em duas vezes, 30% aos 7 DAE e 70% aos

35 DAE, aumentam os rendimentos, e alguns (Rosolem, 1987; Almeida et al., 1999; Silva et al., 2000) argumentam que a cobertura de N pode ser aplicada em qualquer data, até 36 DAE.

Conforme os dados simulados, o cenário de maior produtividade para a época das águas foi o da semeadura no início de novembro, 240 kg ha⁻¹ de N, com a cobertura aplicada aos 35 DAE (D5), e rendimento médio simulado de 2.993 kg ha⁻¹.

Época de inverno

Período caracterizado como sistema irrigado, com nível mais alto de tecnologia, ou seja, infraestrutura adequada para cultivo mecânico, irrigação via pivô central, aplicação de altos níveis de N, abertura a novas tecnologias e produção de feijão em escala comercial. A semeadura começa em maio, estendendo-se até junho. A época de inverno teve as menores variações de produtividade por causa do abastecimento de água por irrigação, o que evita deficits hídricos por longos períodos (Figura 9). A estação tem menos pressões abióticas e bióticas porque é uma transição climática entre os períodos quente e chuvoso, e o frio e o seco do ano (Meireles et al, 2003; Teixeira et al., 2017). Apenas os tratamentos D4 e D5 [40 kg ha⁻¹ (semeadura) + 120 kg ha⁻¹ (cobertura) e 60 kg ha⁻¹ (semeadura) + 180 kg ha⁻¹ (cobertura)] alcançaram produtividade igual ou superior a 2.931 kg ha⁻¹, esperada para a cultivar BRS Estilo, de acordo com o programa de melhoramento (Figura 9).

A produtividade cresceu conforme o aumento da dose de N (Figura 7E e Figura 9). Assim como na época das águas, na de inverno a dose de N teve maior importância que as datas de semeadura e de cobertura. Os aumentos de produtividade para cada dose de N em relação a D0 foram de 96% (D1), 188% (D2), 345% (D3), 646% (D4) e 674% (D5), aumentando 17 kg ha⁻¹ para D1 (5 kg ha⁻¹ + 15 kg ha⁻¹), 17 kg ha⁻¹ para D2 (10 kg ha⁻¹ + 30 kg ha⁻¹), 15 kg ha⁻¹ para D3 (20 kg ha⁻¹ + 60 kg ha⁻¹), 14 kg ha⁻¹ para D4 (40 kg ha⁻¹ + 120 kg ha⁻¹) e 10 kg ha⁻¹ para D5 (60 kg ha⁻¹ + 180 kg ha⁻¹).

A melhor data de cobertura de N foi aos 35 DAE para todas as doses (Figura 6B). A data de semeadura não influenciou a produtividade do feijoeiro na época de inverno, a 50% de probabilidade (Figura 7D), de 1.255 kg ha⁻¹, 1.250 kg ha⁻¹ e 1.207 kg ha⁻¹ em 15 e 30 de abril e 15 de maio, respectivamente. A dose de N foi o fator preponderante na produtividade (Figura 7E), variando de 700 kg ha⁻¹ (D0) para 2.867 kg ha⁻¹ (D5). A probabilidade de obtenção de produtividades

próximas a 1.500 kg ha^{-1} foi de 0% para D0, D1 e D2, de 82% para D3 e de 100% para D4 e D5. Quanto às datas de aplicação (Figura 7F) do N, as produtividades alcançadas foram de 1.207 kg ha^{-1} (15/35 DAE) e 1.410 kg ha^{-1} (35 DAE), nas probabilidades de 40% e 50%, respectivamente, para obtenção de produtividade próxima a 1.500 kg ha^{-1} .

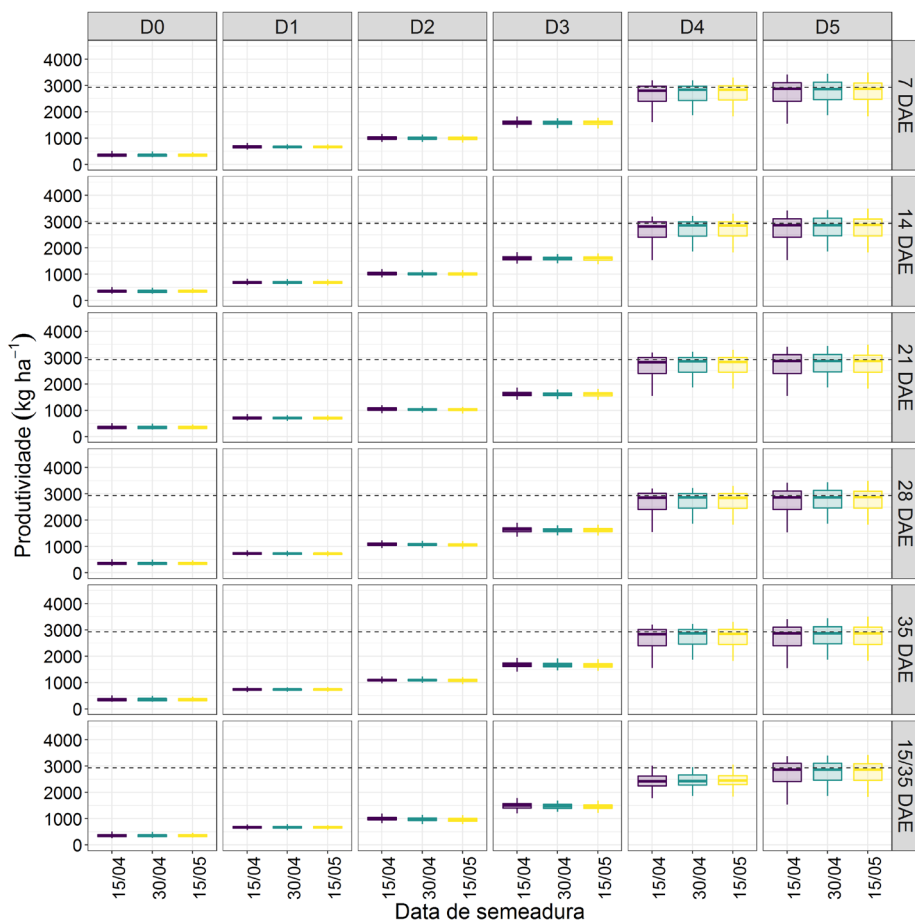


Figura 9. Produtividade simulada do feijoeiro, cultivar BRS Estilo, para doses e épocas de cobertura de N no período de inverno no estado de Goiás (1980 a 2015).

A linha pontilhada representa a produtividade esperada pelo programa de melhoramento para a época de inverno (2.900 kg ha^{-1}). D0: 0/0 kg ha^{-1} ; D1: 5/15 kg ha^{-1} ; D2: 10/30 kg ha^{-1} ; D3: 20/60 kg ha^{-1} ; D4: 40/120 kg ha^{-1} ; e D5: 60/180 kg ha^{-1} , dado que o primeiro número representa a quantidade de N aplicada na semeadura, e o segundo, na cobertura. A linha horizontal no meio do diagrama de caixa, é a mediana (a caixa se estende até os 25º e 75º percentis, e as barras por 5% a 95% dos dados).

Fonte: Melo et al. (2009).

Assim como na época das águas, na de inverno o aumento das doses de N diminui a EA (Figura 8B), com a maior eficiência dada na D1 (5 kg ha⁻¹ na semeadura e 15 kg ha⁻¹ na cobertura) em todas as datas de semeadura (15/04, 30/04 e 15/05).

O melhor cenário para produtividade nessa época foi com a semeadura no dia 30 de abril, dose de N D5, aplicada aos 35 DAE, média de 2.791 kg ha⁻¹. A aplicação de altas doses de N na época de inverno (D4: 40/120 kg ha⁻¹ e D5: 60/180 kg ha⁻¹) visa explorar o potencial produtivo da cultivar. O período de inverno tem a menor pressão abiótica e biótica, em razão da transição climática entre os períodos quente e chuvoso, e frio e seco do ano.

Viabilidade econômica

O preço mínimo de venda do feijão para as épocas de semeadura das águas e de inverno, no qual o valor presente líquido (VPL) de cada dose de N torna-se positivo e, portanto, economicamente viável, é ilustrado na Figura 10. Na época das águas, esse preço diminuiu com a elevação da dose de N, mostrando que altas doses aumentam a produtividade e, consequentemente, a lucratividade. A utilização das maiores doses de N nessa época resultou na certeza de rentabilidade, uma vez que o preço mínimo de venda ficou próximo dos valores usualmente encontrados no mercado.

O retorno econômico obtido com a comercialização do feijão a R\$ 1,42 (kg) não contemplou o custo de produção somado ao de aplicação das doses de N em nenhuma das épocas de cultivo, havendo VPL negativo para a comercialização por R\$ 2,50 para D0, D1, D2 e D3, nas épocas das águas e de inverno, ou seja, os custos foram maiores que as receitas, tornando o cultivo economicamente inviável, nesse caso. Entretanto, para as doses D4 e D5 foram verificados VPLs positivos, TIR maior que a taxa mínima de atratividade (12%), *payback* de um ano e relação custo-benefício (RCB) aproximado de 1,4, em ambas as épocas, tornando-as economicamente viáveis. O VPL para 30 anos foi de R\$ 10.301,46 e R\$ 14.999,77 por hectare na época das águas, para D4 e D5, respectivamente, e de R\$ 16.597,94 e R\$ 16.048,42 na de inverno. D4 mostrou-se mais viável que D5 na época de inverno, dada a mesma produtividade, basicamente.

Considerando o preço de venda do feijão-comum (kg) a R\$ 4,74, as doses D2, D3, D4 e D5 tiveram viabilidade econômica crescente na época das águas. O VPL em 30 anos variou entre R\$ 8.126,49 (D2) e R\$ 62.459,06 (D5), e a RCB variou entre 1,3 (D2) e 2,6 (D5). Na época de inverno, D2, D3, D4 e D5 foram viáveis, com maior retorno econômico encontrado na D4, apresentando VPL de R\$ 64.906,39 e RCB 2,7.

O preço mínimo de venda do feijão-comum na época das águas variou entre R\$ 7,56 (D0) e R\$ 1,81 (D5), reduzindo com o aumento da dose de N. O VPL para ambas, D4 e D5, é quase o mesmo (Figura 10), portanto, D4 é mais adequada. No entanto, o valor mínimo de venda na época de inverno diminuiu de R\$ 10,42 (D0) para R\$ 1,74 (D4), e aumentou para R\$ 1,79 (D5), mostrando efeito sobre o rendimento para diferentes doses de N, não cobrindo os aumentos nos custos de aplicação (Figura 10).

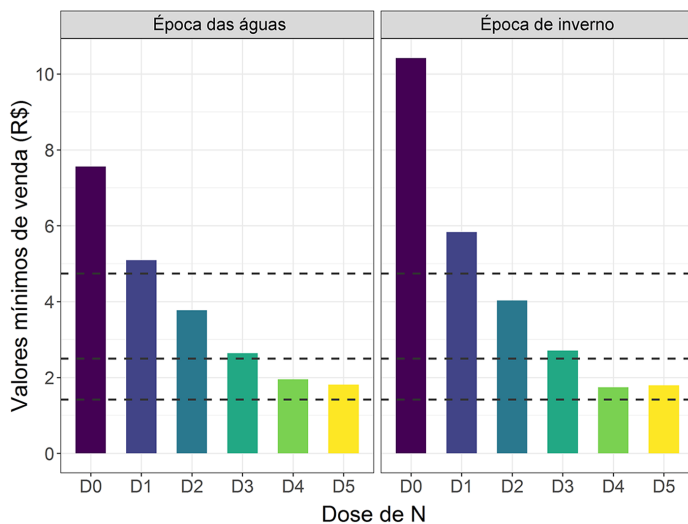


Figura 10. Preço mínimo de venda do feijão-comum nas doses de N D0, D1, D2, D3, D4 e D5 (VPL positivo nas épocas das águas e de inverno).

A linha pontilhada superior representa o percentil 90 (R\$ 4,74); a do meio o percentil 50 (R\$ 2,50); e a inferior o percentil 10 (R\$ 1,42) dos valores da cotação diária do feijão, obtidos do sistema IFAG (2020). D0: 0/0 kg ha⁻¹; D1: 5/15 kg ha⁻¹; D2: 10/30 kg ha⁻¹; D3: 20/60 kg ha⁻¹; D4: 40/120 kg ha⁻¹; e D5: 60/180 kg ha⁻¹, dado que o primeiro número representa a quantidade de N aplicada na semeadura, e o segundo na cobertura.

Embora o aumento nas doses de N, na época das águas, esteja relacionado com o aumento da produtividade e, conseqüentemente, da lucratividade,

também pode acarretar alta poluição ambiental por lixiviação (Figura 11). Na época das águas, a maior lixiviação ocorre devido ao período chuvoso. Para minimizar ameaças ao solo, a elevação das doses de N deve ser feita com práticas de manejo como cobertura vegetal, cobertura morta orgânica, rotação de culturas, plantio direto (FAO, 2021), fertilização inorgânica de liberação lenta do nutriente e cobertura parcelada.

A produtividade potencial do feijoeiro varia conforme a época de cultivo e a resposta à fertilização com N. Embora seja caracterizada pela redução das chuvas, redução da radiação acumulada e pela elevada frequência de temperaturas mínimas abaixo do ideal na fase vegetativa da cultura, a irrigação converte a época de inverno na mais produtiva (Heinemann; Stone, 2015).

Como os preços de venda do feijão são variáveis, deve-se utilizar manejos visando aumentar a produtividade durante o crescimento, reduzindo os custos de produção e viabilizando economicamente a atividade agrícola. Altas doses de N fornecem altos rendimentos, não obstante alta lucratividade, como mostrado na D5, na época de inverno. Binotti et al. (2010) relataram a maior produtividade do feijoeiro com dose de N de 80 kg ha⁻¹, contudo, a maior lucratividade foi alcançada com 40 kg ha⁻¹, corroborando que a elevação da produtividade não cobre o custo da aplicação do N.

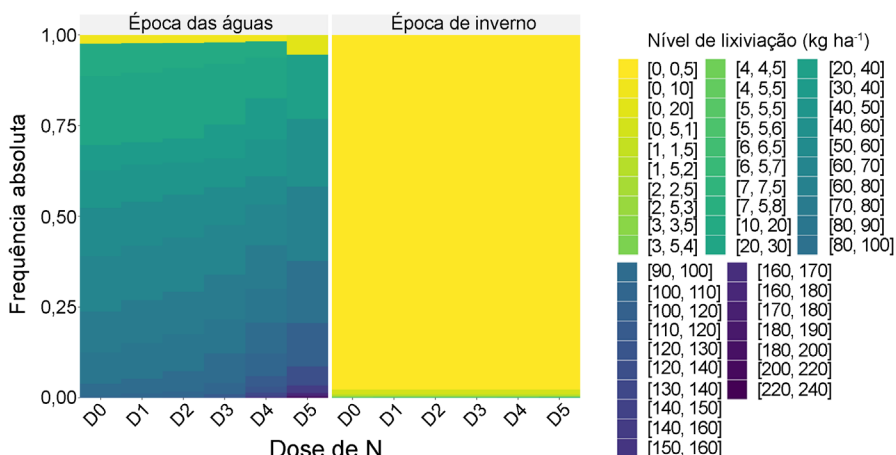


Figura 11. Frequência absoluta de ocorrência de lixiviação simulada por N (kg ha⁻¹) nas doses D0 a D5, nas épocas das águas e de inverno, entre os anos de 1980 e 2015.

Conclusões

- a) A dose de N é o fator de maior relevância da produtividade para as épocas das águas e de inverno;
- b) A época de inverno tem o maior incremento de produtividade por kg de N;
- c) A data de semeadura tem o menor impacto na produtividade, na época de inverno;
- d) O maior risco de lixiviação do N foi observado na época das águas.

Referências

- ALMEIDA, C.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. Adubação nitrogenada em cobertura e via foliar em feijoeiro. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Salvador. **Resumos expandidos...** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. v. 1, p. 737-740. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 99).
- ALVARES, C. 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, Dec. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ALVAREZ, A. C. C.; ARF, O.; ALVAREZ, R. C. F.; PEREIRA, J. C. R. Resposta do feijoeiro à aplicação de doses e fontes de nitrogênio em cobertura no sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 1, p. 69-75, jan./mar. 2005. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v27i1.1927>.
- ANTOLIN, L. A. S.; HEINEMANN, A. B.; MARIN, F. R. Impact assessment of common bean availability in Brazil under climate change scenarios. **Agricultural Systems**, v. 191, 103174, June 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103174>.
- ARCO-VERDE, M. F.; AMARO, G. C. Cálculo de indicadores financeiros para sistemas agroflorestais. 2. ed. Boa Vista, RR: Embrapa Roraima, 2014. 36 p. (Embrapa Roraima. Documentos, 57). <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1033617>.
- BEEBE, S.; RAMÍREZ, J.; JARVIS, A.; RAO, I. M.; MOSQUERA, G.; BUENO, J. M.; BLAIR, M. W. Genetic improvement of common beans and the challenges of climate change. In: YADAV, S. S.; REDDEN, R. J.; HATFIELD, J. L.; LOTZE-CAMPEN, H.; HALL, A. E. (ed.). **Crop adaptation to climate change**. Oxford: Wiley-Blackwell, 2011. p. 356-369. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470960929.ch25>.
- BEEBE, S.; RAO, I.; MUKANKUSI, C.; BURUCHARA, R. Improving resource use efficiency and reducing risk of common bean production in Africa, Latin America, and the Caribbean. In: HERSHEY, C.; NEATE, P. (ed.). **Eco-efficiency: from vision to reality**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2012. p. 117-134.
- BINOTTI, F. F. S. **Fontes, doses e parcelamento do nitrogênio em feijoeiro de inverno no sistema plantio direto**. 2006. 94 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Ilha Solteira, SP.

BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; CARDOSO, E. D.; SÁ, M. E.; BUZZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Fontes e doses de nitrogênio em cobertura no feijoeiro de inverno irrigado no sistema plantio direto. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 5, p. 770-778, Sept./Oct. 2010.

BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZZETTI, S.; ALVAREZ, A. C. C.; KAMIMURA, K. M. Fontes, doses e modo de aplicação de nitrogênio em feijoeiro no sistema plantio direto. **Bragantia**, v. 68, n. 2, p. 473-481, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052009000200022>.

BOOTE, K. J.; HOOGENBOOM, G.; JONES, J. W.; INGRAM, K. T. Modeling nitrogen fixation and its relationship to nitrogen uptake in the CROPGRO model. In: MA, L.; AHUJA, L. R.; BRUULSEMA, T. W. (ed.). **Quantifying and understanding plant nitrogen uptake for systems modeling**. Boca Raton: CRC Press, 2008. p. 13-46.

BOOTE, K. J.; JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G. Simulation of crop growth: CROPGRO model. In: PEART, R. M.; CURRY, R. B. (ed.). **Agricultural systems modeling and simulation**. New York: Marcel Dekker, 1998. p. 651-691.

BROUGHTON, W. J.; HERNÁNDEZ, G.; LAIR, M.; BEEBE, S.; GEPTS, P.; VENDERLEYDEN, J. Bean (*Phaseolus* spp) - model food legumes. **Plant and Soil**, v. 252, p. 55-128, May 2003.
DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1024146710611>.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Boletim da safra de grãos: safra 2020/21**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/index.php/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 01 set. 2021.

ERISMAN, J. W.; GALLOWAY, J. N.; SEITZINGER, S.; BLEEKER, A.; DISE, N. B.; PETRESCU, A. M. R.; LEACH, A. M.; DE VRIES, W. Consequences of human modification of the global nitrogen cycle. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 368, n. 1621, 20130116, July 2013. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0116>.

FAGERIA, N. K.; MELO, L. C.; OLIVEIRA, J. Nitrogen use efficiency in dry bean genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 36, n. 14, p. 2179-2190, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2013.836225>.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; MELO, L. C.; OLIVEIRA, J. P. Eficiência de uso de nitrogênio por genótipos de feijão. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 10., 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Embrapa Arroz e Feijão, 2011.
<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/916051>.

FAO. **Recarbonizing global soils: a technical manual of recommended management practices: cropland, grassland, integrated systems and farming approaches - practices overview**. Rome, 2021. v. 3, 650 p. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb6595en>.

FRANZINI, V. I.; MENDES, F. L.; MURAOKA, T.; TREVISAM, A. R.; ADU-GYAMFI, J. J. Biological nitrogen fixation efficiency in Brazilian common bean genotypes as measured by ¹⁵N methodology. In: OPTIMIZING productivity of food crop genotypes in low nutrient soils. Vienna: FAO: IAEA, 2013. p. 299-309. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/979298>.

GODWIN, D. C.; JONES, C. A. Nitrogen dynamics in soil-plant systems. In: HANKS, J.; RITCHIE, J. T. (ed.). **Modeling plant and soil systems**. Madison: American Society of Agronomy, 1991. p. 287-321. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr31.c13>.

GODWIN, D. C.; SINGH, U. Nitrogen balance and crop response to nitrogen in upland and lowland cropping systems. In: TSUJI, G. Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P. K. (ed.). **Understanding options for agricultural production: system approaches for sustainable agricultural development**. Dordrecht: Kluwer, 1998. p. 55-77.
DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-017-3624-4_4.

GRAHAM, P. H.; ROSAS, J. C.; JENSEN, C. E.; PERALTA, E.; TLUSTY, B.; ACOSTA-GALLEGOS, J.; PEREIRA, P. A. A. Addressing edaphic constraints to bean production: the Bean/Cowpea CRSP Project in perspective. **Field Crops Research**, v. 82, n. 2/3, p. 179-192, May 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00037-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00037-6).

HEINEMANN, A. B.; STONE, L. F. Requirement of supplemental irrigation for dry season common bean in Goiás. **Irriga**, v. 1, n. 2, p. 57-66, 2015. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2015v1n2p57>.

HEINEMANN, A. B.; HOOGENBOOM, G.; FARIA, R. T. Determination of spatial water requirements at county and regional levels using crop models and GIS: an example for the State of Paraná, Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 52, n. 3, p. 177-196, Jan. 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(01\)00137-8](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00137-8).

HEINEMANN, A. B.; HOOGENBOOM, G.; GEORGIEV, G. A.; FARIA, R. T. Center pivot irrigation management optimization of dry beans in humid areas. **Transactions of the ASAE**, v. 43, n. 6, p. 1507-1516, 2000. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.3050>.

HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; STONE, L. F.; DIDONET, A. D. Climate change determined drought stress profiles in rainfed common bean production systems in Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 246, p. 64-77, Nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.06.005>.

HEINEMANN, A. B.; RAMIREZ-VILLEGAS, J.; STONE, L. F.; SILVA, A. P. G. A.; MATTA, D. H.; DIAZ, M. E. P. The impact of El Niño Southern oscillation on cropping season rainfall variability across Central Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 41, n. S1, p. E283-E304, Jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.6684>.

HEINEMANN, A. B.; VILLEGAS, J. R.; SOUZA, T. L. P. O.; DIDONET, A. D.; DI STEFANO, J. G.; BOOTE, K. J.; JARVIS, A. Drought impact on rainfed common bean production areas in Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 225, p. 57-74, Sept. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.05.010>.

HENSON, R. A.; BLISS, F. A. Effects of N fertilizer application timing on common bean production. **Fertilizer Research**, v. 29, p. 133-138, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01048951>.

HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; BOOTE, K. J.; SHELIA, V.; WILKENS, P. W.; SINGH, U.; WHITE, J. W.; ASSENG, S.; LIZASO, J. I.; MORENO, L. P.; PAVAN, W.; OGOSHI, R.; HUNT, L. A.; TSUJI, G. Y.; JONES, J. W. The DSSAT crop modeling ecosystem. In: BOOTE, K. J. (ed.). **Advances in crop modelling for a sustainable agriculture**. Cambridge: Burleigh Dodd's Science Publishing, 2019. p. 173-216. <http://dx.doi.org/10.19103/AS.2019.0061.10>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de solos 2001**. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos>. Acesso em: 02 dez. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 19 ago. 2020.

IFAG. Instituto para o Fortalecimento da Agropecuária em Goiás. **Cotações**. Disponível em: <http://ifag.org.br/>. Acesso em: 12 out. 2020.

JONES, J. W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C. H.; BOOTE, K. J.; BATCHELOR, W. D.; HUNT, L. A.; WILKENS, P. W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A. J.; RITCHIE, J. T. The DSSAT cropping system model. **European Journal of Agronomy**, v. 18, n. 3/4, p. 235-265, Jan. 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00107-7](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00107-7).

JUSTINO, L. F.; ALVES JÚNIOR, J.; BATTISTI, R.; HEINEMANN, A. B.; LEITE, C. V.; EVANGELISTA, A. W. P.; CASAROLI, D. Assessment of economic returns by using a central pivot system to irrigate common beans during the rainfed season in Central Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 224, 105749, Sept. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105749>.

JUSTINO, L. F.; BATTISTI, R.; STONE, L. F.; HEINEMANN, A. B. In silico assessment of sowing dates and nitrogen management in common bean crops. **European Journal of Agronomy**, v. 133, 126434, Feb. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126434>.

KHONDOKER, N. A.; UDDIN, F. M. J.; SARKER, M. A. R. Influence of nitrogen and phosphorus level for the performance of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Acta Scientifica Malaysia**, v. 4, n. 1, p. 34-38, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26480/asm.01.2020.34.38>.

LACERDA, M. C.; NASCENTE, A. S.; PEREIRA, E. T. L. Adubação nitrogenada afeta a produtividade e a qualidade comercial de grãos do feijoeiro em sistema plantio direto. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 369-378, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.19084/rca.15649>.

LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M.; RAHMAN, I. M. M. Water stress in plants: causes, effects and responses. In: RAHMAN, I. M. M.; HASEGAWA, H. (ed.). **Water stress**. Rijeka: Intechopen, 2012. p. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.5772/39363>.

LODEIRO, A. R.; GONZÁLEZ, P.; HERNÁNDEZ, A.; BALAGUÉ, L. J.; FAVELUKES, G. Comparison of drought tolerance in nitrogen-fixing and inorganic nitrogen-grown common beans. **Plant Science**, v. 154, n. 1, p. 31-41, May 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00246-0](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00246-0).

MEIRA, F. A.; SÁ, M. E.; BUZZETTI, S.; ARF, O. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 383-388, abr. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000400010>.

MEIRELES, E. J. L.; PEREIRA, A. R.; SENTELHAS, P. C.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, F. J. P. Risco climático de quebra de produtividade da cultura do feijoeiro em Santo Antônio de Goiás, GO. **Bragantia**, v. 62, n. 1, p. 163-171, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052003000100020>.

MELO, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; PEREIRA, H. S.; FARIA, L. C. de; COSTA, J. G. C. da; CABRERA DÍAZ, J. L.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A.; CARVALHO, H. W. L. de; COSTA, A. F. da; ALMEIDA, V. M. de; MELO, C. L. P. de; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; FARIA, J. C. de; SOUZA, J. F.; MARANGON, M. A.; CARGNIN, A.; ABREU, Â. de F. B.; MOREIRA, J. A. A.; PEREIRA FILHO, I. A.; GUIMARÃES, C. M.; BASSINELLO, P. Z.; BRONDANI, R. P. V.; MAGALDI, M. C. de S. **BRS Estilo**: cultivar de grão tipo comercial carioca, com arquitetura de planta ereta associada com alto potencial produtivo. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 4 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Comunicado técnico, 186). <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/748395>.

MOREIRA, G. B. L.; PEGORARO, R. F.; VIEIRA, N. M. B.; BORGES, I.; KONDO, M. K. Desempenho agrônômico do feijoeiro com doses de nitrogênio em semeadura e cobertura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 8, p. 818-823, ago. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000800003>.

MÜLLER, B. S. F.; SAKAMOTO, T.; SILVEIRA, R. D. D.; ZAMBUSSI-CARVALHO, P. F.; PEREIRA, M.; PAPPAS, G. J.; COSTA, M. M. C.; GUIMARÃES, C. M.; PEREIRA, W. J.; BRONDANI, C.; VIANELLO-BRONDANI, R. P. Differentially expressed genes during flowering and grain filling in common bean (*Phaseolus vulgaris*) grown under drought stress conditions. **Plant Molecular Biology Reporter**, v. 32, p. 438-451, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11105-013-0651-7>.

OLIVEIRA, E. C.; COSTA, J. M. N.; PAULA JÚNIOR, T. J.; FERREIRA, W. P. M.; JUSTINO, F. B.; NEVES, L. O. The performance of the CROPGRO model for bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield simulation. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 34, n. 3, p. 239-246, set. 2012. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v34i3.13424>.

PACHECO, R. S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; FERREIRA, E. P. B.; STRALIOTTO, R.; ARAÚJO, A. P. Differences in contribution of biological nitrogen fixation to yield performance of common bean cultivars as assessed by the ^{15}N natural abundance technique. **Plant and Soil**, v. 454, n. 1/2, p. 327-341, Sept. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04654-6>.

PELEGRIN, R.; MERCANTE, F. M.; OTSUBO, I. M. N.; OTSUBO, A. A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 219-226, fev. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000100023>.

POSSE, S. C. P.; RIVA-SOUZA, E. M.; SILVA, G. M.; FASOLO, L. M.; SILVA, M. B.; ROCHA, M. A. M. (coord.). **Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na região central-brasileira**: 2009-2011. Vitória: Incaper, 2010. 245 p. (Incaper. Documentos, 191).

RAO, I. M. Role of physiology in improving crop adaptation to abiotic stresses in the tropics: the case of common bean and tropical forages. In: PESSARAKLI, M. (ed.). **Handbook of plant and crop physiology**. 2nd ed. New York: CRC Press, 2001. p. 583-613.

ROSOLEM, C. A. **Nutrição e adubação do feijoeiro**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987. 93 p. (POTAFOS. Boletim técnico, 8).

SANTI, A. L.; DUTRA, L. M. C.; JAUER, A.; BONADIMAN, R.; BELLÉ, G. L.; DELLA FLORA, L. P. Parcelamento e épocas de aplicação do nitrogênio no feijoeiro cultivado em semeadura direta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003.

SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K. Características fisiológicas do feijoeiro em várzeas tropicais afetadas por doses e manejo de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 1, p. 23-31, fev. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000100003>.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SILVA, B. O.; SANTOS, G. A. A.; SANTOS, M. G.; MORAIS FILHO, L. F. F.; FARIA, R. T. Simulating crop yield, soil nitrogen, and organic carbon in no-tillage crop sequences in a subtropical climate in Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 4, p. 536-544, jul./ago. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n4p536-544/2020>.

SILVA, C. C.; SILVEIRA, P. M. Influência de sistemas agrícolas na resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado à adubação nitrogenada em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 30, n. 1, p. 86-96, jan./jun. 2000. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/209400>.

SILVA, T. R. B.; SORATTO, R. P.; CHIDI, S. N.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do feijoeiro de inverno. **Cultura Agrônômica**, v. 9, p. 1-17, 2000.

SINGH, S. P. Broadening the genetic base of common bean cultivars: a review. **Crop Science**, v. 41, n. 6, p. 1659-1675, Nov./Dec. 2001. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2001.1659>.

SORATTO, R. P.; ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; BUZETTI, S.; SILVA, T. R. B. Resposta do feijoeiro ao preparo do solo, manejo de água e parcelamento do nitrogênio. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 89-96, 2003.

SORATTO, R. P.; CATUCHI, T. A.; SOUZA, E. F. C.; GARCIA, J. L. N. Plant density and nitrogen fertilization on common bean nutrition and yield. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 670-678, jul./set. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252017v30n315rc>.

SPERA, S. T.; REATTO, A.; MARTINS, E. S.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F. **Solos e aptidão agrícola das terras da área de proteção ambiental de Cafuringa, Distrito Federal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 54 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 45). <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/568939>.

TEIXEIRA, G. C. S.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B.; SILVA, S. C.; HEINEMANN, A. B. Early sowing can improve irrigation water use efficiency and yield of common bean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 1, p. 118-126, jan./mar. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632016v4743193>.

VALDERRAMA, M.; BUZETTI, S.; BENETT, C. G. S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 3, p. 191-196, jul./set. 2009.

VAN DER LAKEN, P. **PPSR: Predictive Power Score R package version 0.0.1**. Disponível em: <https://paulvanderlaken.com/2021/01/12/ppsr-r-package-predictive-power-score/>. Acesso em: 10 jul. 2021.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, May 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4518>.

ZHANG, F.; CUI, Z.; CHEN, X.; JU, X.; SHEN, J.; CHEN, Q.; LIU, X.; ZHANG, W.; MI, G.; FAN, M.; JIANG, R. Integrated nutrient management for food security and environmental quality in China. **Advances in Agronomy**, v. 116, p. 1-40, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394277-7.00001-4>.



Arroz e Feijão

