

Article

Efeito Residual do Herbicida Glifosato sobre a Germinação de Sementes de Feijão em Condição de Campo e Ambiente Controlado

Marcus Vinicius Sperandio¹, Brenda Vinhalki², Honeyde Jose Kunzler Junior³, Divanilde Guerra⁴, Ramiro Pereira Bisognin⁵, Eduardo Lorensi de Souza⁶, Danni Maisa da Silva⁷, Mastrangelo Evivar LanzaNova⁸

¹ Discente do curso de Bacharelado em Agronomia. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. ORCID: 0009-0005-7247-2183. Email: marcus-sperandio@uergs.edu.br

² Engenheira Agrônoma. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. ORCID: 0009-0006-5153-4178. Email: brenda-vinhalki@uergs.edu.br

³ Engenheiro Agrônomo. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. ORCID: 0009-0007-1877-6471. Email: honeyde-kunzler@uergs.edu.br

⁴ Engenheira Agrônoma. Doutora em Fitotecnia. Docente na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. ORCID: 0000-0001-5136-2763. Email: divanilde-guerra@uergs.edu.br

⁵ Engenheiro Ambiental. Doutor em Engenharia Civil. Docente na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. ORCID: 0000-0002-1052-3521. Email: ramiro-bisognin@uergs.edu.br

⁶ Engenheiro Agrônomo. Doutor em Ciência do Solo. Docente na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. ORCID: 0000-0003-4834-0066. Email: eduardo-souza@uergs.edu.br

⁷ Engenheira Agrônoma. Doutora em Ciência do Solo. Docente na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. ORCID: 0000-0002-3600-0462. Email: danni-silva@uergs.edu.br

⁸ Engenheiro Agrônomo. Doutor em Engenharia Agrícola. Docente na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul. ORCID: 0000-0003-2285-1052. Email: mastrangelo-lanzanova@uergs.edu.br

RESUMO

O glifosato geralmente resulta em baixo efeito residual no campo. No entanto, em condições específicas de ambiente controlado ou a campo, as doses podem ser determinantes e impactar na germinação e no desenvolvimento inicial de sementes de feijão. Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo avaliar, tanto em condições naturais de cultivo (campo), como em condições controladas (laboratório) a interferência do residual do herbicida glifosato sobre a germinação de plântulas de feijão preto em diferentes intervalos de aplicação. Foram avaliados os intervalos de 21 dias (T1), 14 (T2), 7 (T3) e 0 dias (T4) antes da semeadura, além do Controle (TC), sem aplicação. Analisou-se a Taxa de Germinação (TG), Velocidade de Emergência (VE) e Índice de Velocidade de Emergência (IVE). A campo, apenas VE apresentou diferença significativa (TC, T2, T4 vs. T1, T3), sugerindo influência de fatores ambientais, como a umidade do solo. Em ambiente controlado, os resultados evidenciaram efeito temporal, em que o T4 (aplicação no dia da semeadura) apresentou os menores valores, com redução significativa em todos os parâmetros, enquanto TC e T1 (aplicação mais antecipada) destacaram-se com os maiores valores, o que permite inferir uma possível degradação do glifosato ao longo do



Submissão: 25/11/2025



Aceite: 27/01/2026



Publicação: 18/03/2025





tempo e a redução do seu impacto fitotóxico. Conclui-se que aplicações próximas à semeadura comprometem a germinação, reforçando a necessidade de intervalos seguros.

Palavras-chave: *Phaseolus Vulgaris*; herbicida; dessecação; leguminosa.

ABSTRACT

Glyphosate generally results in a low residual effect in the field. However, under specific conditions in a controlled environment or in the field, the doses can be decisive and impact the germination and early development of bean seeds. In light of the above, the present study aimed to evaluate, both under natural cultivation conditions (field) and controlled conditions (laboratory), the interference of residual glyphosate herbicide on the germination of black bean seedlings at different application intervals. The intervals evaluated were 21 days (T1), 14 (T2), 7 (T3), and 0 days (T4) before sowing, in addition to the Control (TC), with no application. Germination Rate (GR), Emergence Speed (ES), and Emergence Speed Index (ESI) were analyzed. In the field, only VE showed a significant difference (TC, T2, T4 vs. T1, T3), suggesting the influence of environmental factors, like the soil moisture. In a controlled environment, the results showed a temporal effect, with T4 (application on the day of sowing) presenting the lowest values, with a significant reduction in all parameters, while TC and T1 (earlier application) stood out with the highest values, which allows us to infer a possible degradation of glyphosate over time and a reduction of its phytotoxic impact. It is concluded that applications close to sowing compromise germination, reinforcing the need for safe intervals.

Keywords: *Phaseolus Vulgaris*; herbicide; desiccation; legume.

Introdução

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é um alimento culturalmente consolidado no Brasil (Silva et al. 2016). O país apresenta relevância mundial como único produtor a nível comercial de feijão carioca, o qual representa cerca de 40% de todo feijão produzido nacionalmente, enquanto os demais tipos, com destaque para o feijão preto, representam os 60% restantes; ademais, o grão apresenta alto consumo interno, está presente em mais de 70% das casas brasileiras, se configurando como uma cultura altamente importante no cenário agrícola (IBRAFE 2018).

O feijão é uma cultura de ciclo curto, o que possibilita a abertura de três safras anuais, e é cultivado em todo território nacional, em diferentes regiões, com distintas épocas de semeadura, geralmente na entressafra da soja, o que possibilita sua rotação com outras espécies, diversificando a produção e gerando maior opção de renda ao produtor (Silva et al. 2016). Apesar da sua importância, o rendimento é baixo e está relacionado a diversos fatores, como mercado, condições climáticas irregulares, uso inadequado de materiais, problemas fitossanitários e práticas de manejo inapropriadas. Nesse contexto, a preparação adequada do solo, especialmente os métodos pré-plantio, são de extrema significância para um bom desempenho na fase inicial da cultura (Lopes & Faria 1995; Nova 2019).

Sabendo-se da relevância alimentar e econômica que a cultura do feijoeiro possui no Brasil, e os entraves internos da produção, se torna necessário a adoção de investimentos em tecnificação na área, através de implementos agrícolas, com o intuito de elevar a produtividade das lavouras e minimizar riscos e custos (Ramos et al. 2022). Nesse sentido, o uso de defensivos se consolida como uma das ferramentas mais usuais no campo, considerando que, nesse contexto, os herbicidas se apresentam como indispensáveis na tecnologia de produção (Silva et al. 2012).

Dentre os principais herbicidas utilizados para dessecação de áreas em pré-semeadura, aqueles formulados à base de Glifosato são os mais utilizados (EMBRAPA 2005), pois tem como proposta interferir no florescimento de plantas daninhas e bloquear sua capacidade de absorver nutrientes. Versátil e de alto rendimento, o glifosato atua em um curto espaço de tempo e inibe uma alta diversidade de plantas espontâneas, além de proporcionar baixo risco tóxico aos animais, o que populariza sua escolha na agricultura (Gomes et al. 2020).

O Glifosato (N-(fosfonometil)-glicina), é um herbicida de ação sistêmica, seletivo condicional (seletivo as culturas modificadas geneticamente com tecnologia RR), com aplicação pré e pós emergência, para diversas culturas, dentre elas o feijoeiro. Seu mecanismo de ação inibe a enzima EPSPs (5-enolpiruvato-chiquimato-3-



fosfato sintase) da via metabólica do ácido chiquímico, impedindo a síntese de determinados aminoácidos essenciais ao crescimento das plantas (Ribeiro et al. 2023). Além disso, possui característica de forte ligação em solos ricos em argila, o que lhe confere redução da lixiviação e baixa mobilidade no solo, bem como alta solubilidade em água e pouca volatilidade (Villa et al. 2019).

Alguns estudos realizados testando diferentes dosagens de glifosato aplicados em pré-semeadura apontam interferência do herbicida sobre a germinação de determinadas espécies, indicando um menor percentual germinativo quando expostas ao princípio ativo (Silva et al. 2012). No entanto, os poucos estudos existentes testando dias de aplicação do glifosato pré-semeadura denotam inibição na germinação das sementes e desenvolvimento inicial das plântulas, nos casos em que o intervalo entre a aplicação e a semeadura são reduzidos (Rocha Filho 2021).

A germinação das sementes pode ser influenciada por muitos fatores, tais como luz, temperatura, umidade relativa do ar, substrato e água disponível no solo. Dentre eles o último pode ser considerado o mais significativo, visto sua importância no processo de embebição embrionária, capaz de realizar reativações metabólicas e mobilização de reservas dos cotilédones; nesta etapa, quando na solução do solo encontram-se substâncias químicas não naturais pode ocorrer a inibição ou estimulação da germinação, dependendo do composto e/ou quantidade (Santos et al. 2021).

Alguns estudos apontam que o herbicida glifosato tem efeitos nocivos ao potencial fisiológico em sementes não portadoras do gene de resistência, podendo ocasionar problemas de fitotoxicidade, refletindo baixo desempenho das sementes (Daltro et al. 2010). Isso é notável segundo Duke et al. (1979) em sementes de soja convencional, que quando expostas ao glifosato até iniciam o processo de germinação, no entanto seu desenvolvimento se torna insignificante, até cessar por completo.

O uso indiscriminado do herbicida glifosato é simulado em diversos experimentos, objetivando maiores explicações de como o princípio ativo afeta na brotação das culturas e fase inicial de seus ciclos, e na sua maioria, estes estudos são realizados em casas de vegetação, sob ambientes controlados (Silva et al. 2012). Todavia, em condições de campo pouco se sabe sobre as interferências ocasionadas pelo defensivo, havendo ainda uma discordância entre pesquisadores, muito possivelmente pelas variáveis não controladas existentes em ambientes naturais (Silva et al. 2012; Melhorança Filho et al. 2011).

Diante do cenário apresentado e tendo em vista a escassez de estudos voltados à compreensão dos efeitos da aplicação em pré-semeadura e consequente efeito do residual do herbicida glifosato sobre as sementes e plântulas de feijão, o estudo em questão teve como propósito a investigação, tanto em condições naturais de cultivo (campo), como em condições controladas (laboratório) da interferência residual do herbicida glifosato sobre a germinação de plântulas de feijão preto em diferentes intervalos de aplicação.

Metodologia

Foram conduzidos dois experimentos complementares: um a campo e outro em laboratório, utilizando delineamento experimental e tratamentos padronizados.

Experimento conduzido em condições naturais de cultivo

O experimento em campo foi conduzido em uma propriedade rural localizada no distrito de Feijão Miúdo, no município de Três Passos-RS (27°26'02.2"S, 53°56'43.4"W). O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho (Santos et al. 2018), caracterizado por ser profundo, bem drenado, friável, com textura argilosa (mais de 60% de argila) e uma pequena fração de areia (menos de 10%).

Como etapa preliminar à instalação do experimento, realizou-se o preparo inicial da área, que se encontrava em pousio, mediante a remoção mecânica da vegetação espontânea com o auxílio de uma roçadeira. Na sequência, procedeu-se à demarcação do delineamento experimental, com 20 parcelas de dimensão de 3 m² cada (2 m x 1,5 m), espaçadas por 0,5 m entre si, para evitar contaminação entre os tratamentos. A área total ocupada pelo experimento foi de 77,43 m², considerando-se tanto o espaço das parcelas quanto os corredores de isolamento.

Testou-se a interferência do herbicida na germinação das sementes do feijoeiro, em 4 diferentes épocas de aplicação pré-semeadura, sendo elas: tratamento controle (TC), onde não houve aplicação do herbicida, T1: 21 dias pré-semeadura (21 DPS), T2: 14 dias pré-semeadura (14 DPS), T3: 7 dias pré-semeadura (7 DPS) e T4: 0 dias pré-semeadura (0 DPS). Cada tratamento contou com 4 repetições, utilizando o delineamento experimental DBC (Delineamento de Blocos Casualizados).

O herbicida utilizado foi o ZAPP QI 620, registrado pelo MAPA sob nº 12908. A dosagem utilizada seguiu a recomendação constante na bula do produto, sendo de 2,8 L/ha (recomendação para plantas infestantes anuais de difícil controle, o que caracterizava a área em estudo). A aplicação do produto foi realizada com pulverizador costal de 20 L, nas horas mais frescas do dia.

As aplicações ocorreram 21, 14, 7 e 0 dias antes da semeadura, que foi realizada conforme o Zoneamento Agrícola para a cultura do feijão (MAPA 2022). A semeadura foi feita de forma manual, com espaçamento de 40 cm entre linhas, totalizando 5 linhas por parcela, com uma população média de 15 plantas por metro linear, ou seja, 75 plantas por parcela. Não houve dessecação no tratamento Controle (TC); entretanto, foi realizada uma pré-limpeza da vegetação com roçadeira, permitindo o plantio nas parcelas correspondentes.

Os tratamentos foram avaliados quanto aos parâmetros: Taxa de Germinação (TG), Índice de Velocidade de Emergência (IVE) e Velocidade de Emergência (VE) de plântulas.

A TG foi determinada pela contagem das plântulas emergidas, consideradas normais, no 24º dia após a semeadura. Plântulas normais são aquelas com aptidão para se desenvolver e originar plantas normais sob condições favoráveis (Brasil 2009). Ainda, avaliou-se IVE e VE, que estimaram, respectivamente, o número médio de plântulas normais emergidas a cada dia, e o número médio de dias necessário para a emergência (Eicholz et al. 2012).

A VE foi realizada com a contagem de plântulas emergidas aos 15, 18, 21 e 24 dias após a semeadura. Para o cálculo de IVE utilizou-se a equação proposta por Maguire (1962): $IVE = (G1/N1) + (G2/N2) + \dots$, onde IVE=Índice de Velocidade de Emergência; G= nº de plântulas normais em cada contagem; N=nº de dias após a semeadura. Assim, com os dados de IVE foi possível calcular VE aplicando a equação proposta por Edmond & Drapala (1958): $VE = [(N1 G1) + (N2 G2) + \dots + (Nn Gn)] / (G1 + G2 + \dots + Gn)$, onde VE = Velocidade de Emergência (dias); G=nº de plântulas emergidas em cada contagem; N = nº de dias da semeadura.

Experimento conduzido em ambiente controlado

O experimento a campo, foi instalado no mesmo experimento em incubadora BOD (Demanda bioquímica de oxigênio) no laboratório da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, unidade de Três Passos-RS. A metodologia utilizou os parâmetros já descritos para o experimento a campo, contudo, em laboratório as sementes foram submetidas a um processo de germinação em incubadora do tipo BOD (temperatura de 25°C e fotoperíodo de 12 horas) e germinadas em areia peneirada (malha de 1,8 mm), esterilizada por 24 horas a 120°C, conforme o Regramento para Análise de Sementes (RAS). Cada repetição foi conduzida em bandejas descartáveis nº 10, com 320 g de areia.

As aplicações ocorreram 21, 14, 7 e 0 dias antes da semeadura. Em cada bandeja, foram depositadas 30 sementes de feijão com espaçamento uniforme entre elas. Posteriormente, as bandejas foram regadas (simulando as mesmas condições de campo) e procedeu-se a avaliação da TG, VE e IVE seguindo metodologia descrita acima.

Os dados coletados a campo e em ambiente controlado foram inicialmente submetidos à análise de variância (ANOVA) para verificação dos pressupostos estatísticos e, posteriormente, ao teste de comparação de médias de Tukey, adotando-se um nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Essa análise foi conduzida por meio do programa estatístico Sisvar (Ferreira 2019).

Resultados e Discussão

Taxa de Germinação, Velocidade de Emergência e Índice de Velocidade de Emergência de sementes de feijão conduzidas a campo

No experimento conduzido em campo, não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos para o parâmetro TG, embora haja uma tendência de maior germinação nos tratamentos onde não houve aplicação do herbicida ou quando esta foi realizada com maior antecedência em relação à semeadura. O Tratamento Controle (TC) apresentou a maior taxa de germinação (69%), seguida dos tratamentos T1 (62%) e T2 (61,3%). Já o T3 obteve 40% de germinação, enquanto o T4 (aplicação no dia da semeadura) apresentou um aumento inesperado, alcançando 53,3%.

Tabela 1 - Taxa de Germinação (TG), Velocidade de Emergência (VE) e Índice de Velocidade de Emergência (IVE) na cultura do feijão em condições de campo, Três Passos-RS

Tratamento	TG (%)	VE (dias)	IVE ¹
TC	69,0 a	19,9 a*	8,4 a
T1	62,0 a	27,7 b	8,6 a
T2	61,3 a	20,1 a	7,8 a
T3	40,0 a	28,3 b	7,6 a
T4	53,3 a	20,2 a	7,3 a

TC: Controle; T1: 21 dias pré-semeadura; T2: 14 dias pré-semeadura; T3: 7 dias pré-semeadura; T4: 0 dias pré-semeadura. CV: 14,76%. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.

Para o parâmetro Velocidade de Emergência (VE), os tratamentos TC (Controle), T2 (14 DPS) e T4 (0 DPS) apresentaram diferenças significativas em relação a T1 (21 DPS) e T3 (7 DPS). Segundo Edmond & Drapala (1958), valores elevados de VE refletem maior potencial fisiológico das sementes, uma vez que a rapidez na germinação está diretamente associada ao vigor. Contudo, para o Índice de Velocidade de Emergência (IVE), calculado conforme a equação de Maguire (1962), não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabela 1).

Essa dissociação entre VE e IVE é relevante, pois embora o IVE, apesar de adimensional, seja frequentemente correlacionado ao número médio de plântulas normais emergidas por dia e interpretado como indicador de vigor (Borgghetti & Ferreira 2004), neste estudo ele não refletiu as variações detectadas na VE. O fenômeno alinha-se a críticas históricas sobre limitações do IVE em discriminar diferenças sutis de vigor, conforme

observado por Brown & Mayer (1986) em sementes de outras espécies, e corrobora com os achados de Ávila et al. (2005) em canola, reforçando a necessidade de análise conjunta de múltiplos parâmetros para avaliação robusta do vigor.

No entanto, ao analisar os resultados para Índice de Velocidade de Emergência (IVE), mesmo que sem diferenças estatísticas, observa-se que os seus valores estão em conformidade com os estudos apresentados, seguindo uma crescente lógica entre dias de aplicação e vigor. Bem como evidenciado por Rocha Filho (2021) em sua tese, testando a aplicação pré-semeadura (2,4D + glifosato), sob a cultura do feijão caupi, onde constatou a influência positiva entre os intervalos mais espaçados.

O tratamento Controle (TC) obteve a melhor performance em VE, corroborando com estudos como o de Silva et al. (2012), que observaram maior velocidade de emergência em sementes de soja não expostas a herbicidas. O tratamento T2 (14 DPS) também se mostrou superior em VE, reforçando indícios de que a antecipação da dessecação em duas semanas antes da semeadura está associada a um bom desenvolvimento produtivo de plantas anuais (Bervald et al. 2010). Esse intervalo reduz riscos de interferência do glifosato residual no solo, além de minimizar problemas como deriva do herbicida e transferência entre plantas via sistema radicular, conforme observado em estudos anteriores (Bervald et al. 2010; Rodrigues et al. 1982; Yamada & Castro 2007).

Contudo, os resultados do tratamento T4 (0 DPS) foram contraditórios: mesmo com a dessecação pré-semeadura imediata, sua eficácia (VE) se equipaleou ao Controle, divergindo de Santos et al. (2007), que reportaram menor desempenho em dessecações próximas à semeadura na soja. Ainda, no feijão, T4 (0 DPS) e T2 (14 DPS) superaram T1 (21 DPS) e T3 (7 DPS), contrastando também com o mesmo estudo, onde se observou que a aplicação antecipada em 7 e 21 dias obteve melhores resultados em desenvolvimento de planta em comparativo àqueles dissecados 15 dias antes e no dia do plantio.

Taxa de Germinação, Velocidade de Emergência e Índice de Velocidade de Emergência de sementes de feijão conduzidas em condições controladas

Em laboratório, diferenças estatísticas significativas foram registradas na TG (Tabela 2). Observou-se uma variação marcante entre os tratamentos, especialmente entre T1 (21 DPS) e T4 (0 DPS). O tratamento Controle (TC) obteve a maior taxa de germinação (90,9%), seguido por T1 (85,5%), T2 (81,7%) e T3 (78,8%). O menor índice foi registrado em T4 (52,7%), diferindo estatisticamente dos demais.

Tabela 2. Taxa de Germinação (TG), Velocidade de Emergência (VE) e Índice de Velocidade de Emergência (IVE) na cultura do feijão em condições controladas, Três Passos-RS.

Tratamento	TG (%)	VE (dias)	IVE ¹
TC	90,9 a	42,3 b	4,5 a*
T1	85,5 a	39,5 b	4,6 a
T2	81,7 a	37,1 ab	4,6 a
T3	78,8 ab	36,4 ab	4,6 a
T4	52,7 b	24,3 a	4,5 a

TC: Controle; T1: 21 dias pré-semeadura; T2: 14 dias pré-semeadura; T3: 7 dias pré-semeadura; T4: 0 dias pré-semeadura. ¹IVE: relacionado ao número médio de plântulas normais emergidas a cada dia. *Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.



Esses resultados de TG corroboram com estudos prévios, como o de Rocha Filho (2021), que identificou redução dos efeitos fitotóxicos do herbicida com o aumento do intervalo entre sua aplicação e a semeadura do feijão Catuípe. De forma semelhante, Bervald et al. (2010) reportaram maior desempenho em cultivares de soja quando o herbicida foi aplicado com antecedência. Tais resultados podem ser explicados pela hipótese de Nagata et al. (2000), segundo a qual o glifosato desencadeia deficiência de aminoácidos aromáticos e compostos fenólicos, inibindo a formação de órgãos vegetais e a diferenciação de raízes, resultando na redução da germinação.

Além disso, a redução do impacto negativo do glifosato na germinação das sementes, observada com maiores intervalos entre sua aplicação e a semeadura, pode ser atribuída à interação do herbicida com o solo. Após a aplicação, o glifosato é rapidamente adsorvido, diminuindo sua disponibilidade na solução do solo e, consequentemente, sua ação como herbicida ao longo do tempo (Moraes & Rossi 2010; Toni et al. 2006). Além disso, a degradação microbiana desempenha um papel significativo nesse processo, com 50% da molécula sendo metabolizada em 28 dias e até 90% em 90 dias (Rodrigues & Almeida 2005).

Contudo, um comportamento atípico foi observado no T4 (0 DPS) no experimento de campo (Tabela 1), que apresentou um aumento na TG comparado ao T3. A volatilização do herbicida pode ser uma explicação plausível, devido às condições climáticas na época do experimento, com altas temperaturas e ausência de chuvas, favorecendo a evaporação e a redução da ação do glifosato (EMBRAPA 2005). Ainda, uma vez em que sabe-se que a adsorção é um processo dinâmico físico-químico da interação herbicida-sedimento-água e tem-se as condições ambientais desfavoráveis, é possível presumir que as moléculas do herbicida tenham ficado retidas ao solo seco, sem condições de serem absorvidas pela semente no processo de embebição no T4 (0 DPS), pois de acordo com Moraes & Rossi (2010), 90% de toda porção de glifosato aplicado é sorvida no solo quase que instantaneamente, tendo os restantes 10% adsorvidos em até 10 minutos (Moraes & Rossi 2010).

Em condições controladas de laboratório, os resultados obtidos para o parâmetro VE apresentaram algumas distinções em relação aos observados no experimento conduzido a campo. Para tal parâmetro, as médias mantiveram a mesma lógica da TG, em que TC (controle) e T1 (21 DPS) obtiveram diferença significativa dos tratamentos T2 (14 DPS) e T3 (7 DPS), já T4 (0 DPS) manteve o menor índice de VE. Tais resultados evidenciam que em ambientes controlados, a proximidade da dessecação à semeadura intensifica os efeitos fitotóxicos do glifosato, retardando a emergência. Contudo, semelhante ao experimento a campo, o parâmetro IVE não evidenciou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos (Tabela 2).

Os resultados desse estudo condizem aos obtidos por Rocha Filho (2021), que avaliou a atividade residual de herbicidas em feijão-caupi. O autor observou que o glifosato tem um impacto significativo tanto na TG quanto na VE e IVE. Isso sugere que quanto menor o intervalo de dias após a aplicação em relação à semeadura, menor será o IVE e VE, sem diferenciação estatística após o período de 21 dias. Para os autores, com o tempo ocorre a diluição do efeito fitotóxico e a degradação da molécula glifosato, a qual não interfere ou interfere menos no alongamento e na divisão celular das plântulas devido sua concentração reduzida no meio de cultivo. Hipótese essa que poderia estar associada aos resultados observados no estudo (Tabela 2).

O glifosato possui seu sítio de ação na enzima EPSPs (5-enolpiruvilchiquimato 3-fosfato sintase), que desempenha sua função no cloroplasto, levando a manipulação dessa enzima pelo herbicida, o que resulta na interrupção através dos vacúolos da planta, e bloqueia a síntese de produção de três aminoácidos aromáticos (tirosina, fenilalanina e triptofano), os quais tem inúmeras responsabilidades como de regulação de crescimento, defesa das plantas, desenvolvimento vegetal, produção de proteínas, entre outros (Velini et al. 2009). Portanto, os sintomas são óbvios e incluem, a paralisação do crescimento dentro de poucas horas após a



aplicação, e o amarelecimento das folhas e morte lenta (após 1 a 3 semanas) por ele ser de ação sistêmica (Marchi et al. 2008).

De acordo com Taiz & Zeiger (2009) e Barbosa et al. (2017), o glifosato influencia na formação de diversos compostos, sendo responsável por danos ao processo de germinação de sementes de milho. Destaca-se o desequilíbrio na relação entre o ácido indolacético (AIA) e o ácido abscísico (ABA), com a redução pelo glifosato, resultando em maior inibição da germinação devido ao aumento do ABA. Já Duke et al. (1979) e Melhorança Filho et al. (2011), observaram que na presença do glifosato, as sementes de soja convencional iniciam o processo de germinação, porém seu desenvolvimento se torna insignificante, levando à produção de plântulas anormais que eventualmente param de crescer, devido a interação do glifosato com a enzima α -amilase. Ainda, segundo Bewley (1994), essa enzima é responsável pela quebra do amido da semente em moléculas menores, para servir de energia para desenvolvimento da planta, sendo ativada pela presença de umidade e temperatura.

Bertoncelli et al. (2018) observaram que o comprimento da raiz é afetado pela ação do glifosato, reduzindo a produção e translocação de auxina, e diminuição do teor de giberelinas, o qual afeta o processo de germinação e desenvolvimento vegetativo. Contudo, no presente estudo o sistema radicular não foi avaliado.

Silva et al. (2009) ao avaliarem doses menores do herbicida glifosato em cana-de-açúcar e feijão, respectivamente, mostraram um detalhe chamado de "efeito hormético". Esse efeito é observado quando uma substância, em doses baixas, estimula o crescimento ou a atividade de um organismo, ao invés de inibir. No contexto do glifosato, isso sugere que, para os tratamentos com aplicação recente a semeadura (0 DAS), o herbicida está começando a se decompor inicialmente, mas ainda tem uma concentração significativa no solo, o que pode resultar em um estímulo ao crescimento das plantas. Segundo Velini et al. (2009), os estímulos em baixas dosagens têm uma associação entre a molécula do glifosato e enzima EPSPs menor que em doses mais concentradas, o qual não atua em plantas entre 0 a 1,8 g/ha. Acima desta dosagem pode ocorrer o estímulo, e entre a dosagem de 7,2 a 36 g/ha de glifosato, verifica-se efeitos inibitórios sobre as plantas. E doses sobressalentes a 36 g/ha não há grandes ganhos de controle do herbicida.

A alta qualidade do IVE está associada a uma melhoria na resposta das plântulas durante o estabelecimento da cultura. Isso promove uma emergência mais rápida e uniforme das sementes no campo (Dan et al. 2012), reduzindo a exposição a fatores bióticos e abióticos que poderiam interferir no desenvolvimento do embrião (Santos et al. 2018).

Desta forma, o uso inadequado do glifosato pode ter impactos negativos no cultivo do feijão, resultando em prejuízos já no estabelecimento da cultura. Isso pode afetar tanto as taxas de germinação quanto os índices de velocidade de emergência e a emergência das plantas. Observa-se que um intervalo superior de 21 dias entre a aplicação do glifosato e a semeadura têm um efeito positivo, resultando em maior taxa de germinação e melhores índices de velocidade e emergência para a variedade de feijão Urutau.

Efeitos do Glifosato no Solo e na Germinação: Interações e Variáveis

A partir dos resultados, pode-se realizar algumas relações para tentar explicar os resultados incomuns para as diferentes épocas de aplicação do herbicida glifosato sobre os parâmetros estabelecidos no experimento a campo. Logo, se na interação das moléculas do glifosato com os colóides do solo, há liberação de compostos húmicos, é possível que estas substâncias tenham interferido positivamente nos tratamentos, pois neles possuem propriedades que estimulam a síntese de hormônios vegetais, como a auxina, e ainda de enzimas, que promovem outros efeitos e favorecem a germinação, florescimento e crescimento da parte aérea (Caron et al. 2015).



O trabalho realizado em BOD e com substrato de areia permitiu testar os efeitos do glifosato sobre a germinação de sementes, de maneira mais clara, obtendo-se resultados representativos para a influência residual sobre a germinação da cultura. No entanto, de maneira prática, esta disfunção seria dificilmente observada, principalmente em solos com textura argilosa e altos teores de matéria orgânica (Yamada & Castro 2007). Assim como caracteriza-se o experimento realizado em campo.

Ainda, além disso, como já citado anteriormente, os microrganismos possuem o principal meio de degradação da molécula de glifosato, além das vias de lixiviação do composto quando presente na solução do solo (Prata 2002). Logo, existem muitas variáveis possíveis as quais podem determinar a relação do glifosato no sistema solo-planta e sua influência na germinação do feijoeiro.

Considerações Finais

Ainda que sutilmente, a germinação do feijoeiro, sofre influência residual do herbicida glifosato presente em solos onde é realizada dessecação pré-semeadura, principalmente quando o intervalo entre um manejo e outro é menor de 21 dias. Da mesma forma, esta correlação positiva da aplicação antecipada foi notada no desenvolvimento inicial das plântulas, dado por IVE. No entanto, no que se refere ao vigor das sementes, as melhores épocas para dessecação foram 14 dias pré-semeadura e 0 dias (aplique-plante).

Os resultados em laboratório, sugerem interferência do residual do glifosato na germinação de sementes do feijoeiro, com valor superior em intervalo entre aplicação e semeadura maior (21 dias) ou onde não houve aplicação de glifosato (TC). Somado a isso, houve maior velocidade de emergência em tratamentos com intervalos prolongados entre aplicação e semeadura. Ainda, o índice de velocidade de emergência foi mais elevado nos tratamentos TC e T1.

Desta forma, novos estudos são indicados, principalmente na condição de campo e em anos com bom índice pluviométrico.

Referências Bibliográficas

- Ávila MR, Braccini AL, Scapim CA, Martorelli DT, Alberch LP 2005. Testes de laboratório em sementes de canola e a correlação com a emergência das plântulas em campo. *Revista Brasileira de Sementes* 27(1):62-70.
- Barbosa AP, Zucareli C, Freiria GH, Gomes GR, Bazzo JHB, Takahashi LSA 2017. Subdoses de glifosato no processo germinativo e desenvolvimento de plântulas de milho. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo* 16(2):240-250.
- Bertoncelli DJ, Alves GAC, Furlan FF, Freiria GH, Bazzo JHB, Faria RT 2018. Efeito do Glifosato no cultivo in vitro de *Cattleya nobilior* Rehb. *Ceres* 65(2):165-173.
- Bervald CMP, Mendes CR, Timm FC, Moraes DM, Barros ACSA, Peske ST 2010. Desempenho fisiológico de sementes de soja de cultivares convencional e transgênica submetidas ao glifosato. *Revista Brasileira de Sementes* 32(2):09-18.
- Bewley JD 1994. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell* 9(7):1055-1066.
- Borghetti F, Ferreira AG 2004. *Interpretação de resultados de germinação. Germinação: do básico ao aplicado*. Artmed, Porto Alegre, 222pp.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) 2009. *Regras para análise de sementes*. Mapa/ACS, Brasília, 399pp.

Brown RF, Mayer DG 1986. A critical analysis of Maguire's germination rate index. *Journal of Seed Technology* 10(2):101-110.

Caron VC, Graças J.P, Castro PRC 2015. *Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos*. ESALQ/USP, Piracicaba, 49pp.

Daltro EMF, Cristina MF, Albuquerque BJF, Carneiro NSG 2010. Aplicação de dessecantes em pré-colheita: efeito na qualidade fisiológica de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes* 32(1):111-122.

Dan LGM, Dan HÁ, Piccinin GG, Ricci T'T, Ortiz AHT 2012. Tratamento de sementes com inseticida e a qualidade fisiológica de sementes de soja. *Revista Caatinga* 25(1): 45-51.

Duke SO, Hoagland RE, Elmore CD 1979. Effect of glyphosate on metabolism of phenolic compounds. IV. Phenylalanine ammonia-lyase activity, free amino acids, and soluble hydroxyphenolic compounds in axes of light-grown soybean. *Physiol Plant* 46(4):307-317.

Edmond JB, Drapala WJ 1958. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination of okra seeds. *Proceedings of American Society of Horticultural Science* 71(2):428-434.

Eicholz MD, Fonseca, ER, Harter A, Eicholz E, Anjos e Silva, SD 2012. Qualidade física e fisiológica de sementes de Tungue (*Aleurites Fordii* Hemsl.). *Simpósio Estadual de Energia, IV Reunião Técnica de Agroenergia/RS*. Anais.

Embrapa 2005. *Tecnologia de aplicação de defensivos*. Available from: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Ameixa/AmeixaEuropeia/tecnologia.htm#:~:text=Altas%20temperaturas%20po-dem%20provocar%20a,plantas%20e%20dificultar%20a%20absor%C3%A7%C3%A3o>.

Ferreira DF 2019. Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria* 37(4):529-535.

Gomes N, Mallet ACT, Da Silva Martins AL 2020. Glifosato no alimento. *Episteme Transversalis* 11(3):1-13.

Ibrafe – Instituto Brasileiro Do Feijão. 2018. *Bom futuro para o feijão do Brasil*. Available from: <http://www.ibrafe.org/artigo/bom-futuro-para-o-feijao-do-brasil/>

Lopes LHO, Faria CMB 1995. *Recomendações técnicas para o cultivo do feijoeiro comum*. Embrapa. Petrolina. 64pp.

Maguire JD 1962. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2(2):176-77.

Ministério da Agricultura e Abastecimento (MAPA) 2022. *Zoneamento agrícola do feijão 2ª safra para 2022/2023*. Mapa, Brasília, 198pp.



- Marchi G, Marchi ECS, Guimaraes TG 2008. *Herbicidas: mecanismos de ação e uso*. Embrapa Cerrados, Brasília. 48pp.
- Melhorança Filho AL, Pereira MRR, Martins D 2011. Efeito de subdoses de glyphosate sobre a germinação de sementes das cultivares de soja rr e convencional. *Bioscience Journal* 27(5): 686-691.
- Moraes PVD, Rossi P 2010. Comportamento ambiental do glifosato. *Scientia Agraria Paranaensis* 9(3):22-35.
- Nagata RT, Dusky JÁ, Ferl RJ, Torres AC, Cantliffe DJ 2000. Evaluation of glyphosate resistance in transgenic lettuce. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 125(6):669-672.
- Nova TB 2019. *Manejo correto garante a qualidade do feijão*. Embrapa Clima Temperado. Available from: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/42704896/manejo-correto-garante-a-qualidade-do-feijao>
- Prata F 2002. *Comportamento do glifosato no solo e deslocamento miscível de atrazina*. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 122pp.
- Ramos AT, Assis KC, Do Livramento DE 2022. Influência do tratamento de sementes de feijão nas características de germinação e desenvolvimento inicial de plântulas. *Research, Society and Development* 11(17):e56111738714-e56111738714.
- Ribeiro DF, Côrrea FR, Silva NF, Cavalcante WSS 2023. Alternativas de herbicidas para dessecação de áreas em pousio. *Revista Brasileira de Ciências* 2(2):71-85.
- Rocha Filho JN 2021. *Atividade residual de herbicidas em feijão-caupi*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 59pp.
- Rodrigues BN, Almeida FS 2005. Guia de herbicidas. 5. ed., Londrina, 592pp.
- Rodrigues JJV, Worsham AD, Corbin FT 1982. Exudation of glyphosate from wheat (*Triticum aestivum*) plants and its effects on intraplanting corn (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*). *Weed Science* 30(3):316-320.
- Santos HG Dos, Jacomine PKT, Anjos LHC Dos, Oliveira VA, Lumbrellas JF, Coelho MR, Almeida JÁ, Araujo Filho JC, Oliveira JB, Cunha TJF 2018. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. Brasília. 356 pp.
- Santos JB, Santos EA, Fialho CMT, Silva AA, Freitas MAM 2007. Época de dessecação anterior à semeadura sobre o desenvolvimento da soja resistente ao glifosato. *Planta Daninha* 25(4):869-875.
- Santos NHS, Silveira ACD, Fernandes VO, Machado LP 2021. Effect of algae extract on germinative performance and root growth of BRS Estilo bean seeds in response to different application methods. *Hoebnea* 48(1):1-26.
- Silva JC, Gerlach GAX, Rodrigues, RAF, Arf O, 2016. Influência de doses reduzidas e épocas de aplicação sobre o efeito hormético de glyphosate em feijoeiro. *Revista de la Facultad de Agronomía* 115(2):191-199.



Silva MA, Aragão NC, Barbosa MA, Jeronimo EM, Bragança SD 2009. Efeito hormótico de glifosato no desenvolvimento inicial de cana-de-açúcar. *Bragantia* 68(4):973-978.

Silva RG, Silva JEN, Melhorança Filho AL, Silva CFC, Bezerra JCS 2012. Efeito de subdoses de glifosato sobre germinação e desenvolvimento inicial do feijoeiro. *Enciclopédia Biosfera* 8(14):475-485.

Taiz L, Zeiger E 2009. *Fisiologia vegetal*. 4.ed. Artmed, Porto Alegre 820 pp.

Toni LRM, Santana H, Zaia DAM 2006. Adsorção de glyphosate sobre solos e minerais. *Química Nova* 29(4):829-833.

Velini ED, Duke SO, Trindade MLB, Meschede DK, Carbonari CA 2009. *Modo de ação do glyphosate*. FEPAF, Botucatu, 133pp.

Villa FB, Godoy G, Monteiro J, Souza DSS 2019. Estudo da Toxicidade do Glifosato na Germinação de Couve e Rabanete. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas* 13(4):282-289.

Yamada T, Castro PDC 2007. Efeitos do glifosato nas plantas: implicações fisiológicas e agronômicas. *Informações Agronômicas* 119(2):1-32.