

2026

Terbutilazina na entressafra: período de segurança pré-semeadura e seletividade para soja em solos de textura contrastantes

Osipi, Carlos Botelho Pereira

Universidade Estadual do Norte do Paraná

OSIPI, Carlos Botelho Pereira. Terbutilazina na entressafra: período de segurança pré-semeadura e seletividade para soja em solos de texturas contrastantes. Orientador: Oriel Tiago Kölln. 2026. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Campus Luiz Meneghel, Universidade Estadual do Norte do Paraná, Bandeirantes, 2026.

<https://repositorio.uenp.edu.br/handle/123456789/858>

Baixado de Repositório Institucional UENP



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE DO PARANÁ
CAMPUS LUIZ MENEGHEL
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

CARLOS BOTELHO PEREIRA OSIPI

**TERBUTILAZINA NA ENTRESSAFRA: PERÍODO DE
SEGURANÇA PRÉ-SEMEADURA E SELETIVIDADE PARA SOJA EM
SOLOS DE TEXTURA CONTRASTANTES**

BANDEIRANTES, PR, BRASIL

2026

CARLOS BOTELHO PEREIRA OSIPI

**TERBUTILAZINA NA ENTRESSAFRA: PERÍODO DE
SEGURANÇA PRÉ-SEMEADURA E SELETIVIDADE PARA SOJA EM
SOLOS DE TEXTURA CONTRASTANTES**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Agronomia, da Universidade
Estadual do Norte do Paraná, *Campus* Luiz
Meneghel.

Orientador(a): Prof. Dr. Oriel Tiago Kolln

Coorientador(a): Dr. Jethro Barros Osipe

BANDEIRANTES, PR, BRASIL

2026

Ficha catalográfica elaborada na Biblioteca Campus “Luiz Meneghel”, vinculada ao Sistema de Bibliotecas Universitárias da Universidade Estadual do Norte do Paraná (SBU-UENP)

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

O827t Osipi, Carlos Botelho Pereira.
Terbutilazina na entressafra: período de segurança pré-semeadura e seletividade para soja em solos de textura contrastantes / Carlos Botelho Pereira Osipi. – 2026.
56 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Oriel Tiago Kolln.
Coorientador: Dr. Jethro Barros Osipe.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Agronomia, 2026.
Inclui bibliografia.

1. Latossolo - Dissertação. 2. Dessecação - Dissertação. 3. Pré-semeadura - Dissertação. 4. Fitotoxicidade - Dissertação. 5. Cultivar - Dissertação. 6. Rotação de culturas - Dissertação. I. Kolln, Oriel Tiago. II. Universidade Estadual do Norte do Paraná. Campus Luiz Meneghel. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-graduação em Agronomia. III. Título.

CDD: 632 (22.ed)

Bibliotecário Elisio Custodio Brentan Junior (CRB-9/1955)

CARLOS BOTELHO PEREIRA OSIPI

**TERBUTILAZINA NA ENTRESSAFRA: PERÍODO DE
SEGURANÇA PRÉ-SEMEADURA E SELETIVIDADE PARA SOJA EM
SOLOS DE TEXTURA CONTRASTANTES**

Dissertação apresentada ao Programa de
Mestrado em Agronomia, da Universidade Estadual
do Norte do Paraná, *Campus* Luiz Meneghel.

COMISSÃO EXAMINADORA

Dr. Jethro Barros OsipeEstação Dashen

Prof. Dr. Gustavo DárioUENP/CLM

Prof. Dr. Roque DiasUFTM/Iturama

Dr. Jethro Barros Osipe

Coorientador

Prof. Dr. Oriel Tiago Kolln

Orientador

Universidade Estadual do Norte do Paraná

Campus Luiz Mengehel

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, pelo dom da vida e por ter me conduzido até aqui; à minha família, pelo incentivo, apoio e amor; à Estação Dashen, por todo o suporte proporcionado para a execução deste trabalho; ao meu orientador, Prof. Dr. Oriel Kolln; ao meu coorientador, Dr. Jethro Barros Osipe; e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado. Agradeço, ainda, aos membros da banca examinadora.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVO.....	13
2.1 Objetivo Geral:	13
2.2 Objetivos Específicos:	13
3 REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1 Manejo outonal.....	14
3.2 Herbicidas inibidores do fotossistema II	15
3.3 Efeito residual dos herbicidas no solo	17
3.4 Sensibilidade da soja à herbicidas	19
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 O Estudo de campo – carryover da terbutilazina	21
4.2 Estudo em estufa – sensibilidade de cultivares à terbutilazina	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1 Estudo I - Campo (Solo arenoso)	28
5.2 Estudo I - Campo (Bandeirantes-PR)	40
5.3 Estudo II - Casa de vegetação (Bandeirantes-PR).....	42
6 CONCLUSÃO	49
7 REFERÊNCIAS.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Temperatura média e precipitação pluvial mensal durante o período de condução do experimento (Bandeirantes-PR/Solo Argiloso).....	25
Figura 2 -Temperatura média e precipitação pluvial mensal durante o período de condução do experimento (Assis-SP/Solo Arenoso).....	26
Figura 3 -Estande de plantas aos 7 DAE nas doses de 0,6 e 0,8 kg ha ⁻¹ de terbutilazina (Solo arenoso).	30
Figura 4 -Estande de plantas aos 22 DAE nas doses de 0,6 e 0,8 kg ha ⁻¹ (Assis-SP/Arenoso).	32
Figura 5 -Fitointoxicação das plantas de soja por terbutilazina aos 7 DAE nas doses de 0,6 e 0,8 kg ia ha ⁻¹ (Solo arenoso).	34
Figura 6 -Fitotoxicidade das plantas de soja aos 21 DAE nas doses de 0,6 e 0,8 kg ia ha ⁻¹ Assis-SP/Arenoso.	36
Figura 7 -Produtividade média de soja estimada nas doses de 0,6 e 0,8 kg i.a ha ⁻¹ em solo arenoso.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -Análise química e física do solo de Bandeirantes/PR [Solo Argiloso] (0-20cm)	22
Tabela 2 -Análise química e física do solo de Assis/SP [Solo Arenoso] (0-20cm).....	22
Tabela 3 -Épocas de aplicação e condições meteorológicas no momento da aplicação (Bandeirantes-PR/Solo Argiloso).	23
Tabela 4 -Épocas de aplicação e condições meteorológicas no momento da aplicação (Assis-SP/Solo Arenoso).....	24
Tabela 5 -Análise de variância (teste F) para as variáveis da soja em função dos períodos de aplicação anteriores à semeadura nas doses de 0,6 e 0,8 kg ha ⁻¹ de terbutilazina em solo arenoso.	28
Tabela 6 -Estimativas dos parâmetros a, b e X ₀ , coeficiente de determinação (R ²) do modelo ajustado para avaliação de estande aos 7DAE. Solo arenoso, 2024.	30
Tabela 7 -Estimativas dos parâmetros a, b e X ₀ , coeficiente de determinação (R ²) do modelo ajustado para avaliação de estande aos 22 DAE. Assis-SP, 2024	32
Tabela 8 -Altura (cm) média das plantas de soja em função da época de aplicação de terbutilazina (0,6 e 0,8 kg ha ⁻¹) aos 7 DAE (Assis-SP/Arenoso).	33
Tabela 9 - Estimativas dos parâmetros a, b e X ₀ , coeficiente de determinação (R ²) do modelo ajustado para avaliação de fitointoxicação aos 7 DAE. Assis-SP/Arenoso, 2024.	34
Tabela 10 - Estimativas dos parâmetros a, b e X ₀ , coeficiente de determinação (R ²) do modelo ajustado para avaliação de fitointoxicação aos 21 DAE. Assis-SP/Arenoso, 2024. ...	36
Tabela 11 - Estimativas dos parâmetros a, b e X ₀ , coeficiente de determinação (R ²) do modelo ajustado para avaliação de fitointoxicação aos 22 DAE. Assis-SP/Arenoso, 2024. ...	39
Tabela 12 -Análise de variância (teste F) para as variáveis da soja em função dos períodos de aplicação anteriores à semeadura nas doses de 0,6 e 0,8 kg ha ⁻¹ em solo argiloso.	40
Tabela 13 - Fitointoxicação aos 14 DAE em solo argiloso nas doses de 0,6 e 0,8 kg ha ⁻¹	41
Tabela 14 -Análise de variância (teste F) para as variáveis da soja avaliadas em casa de vegetação	43
Tabela 15 -Emergência (plantas emergidas) de soja aos 8 dias após a semeadura.	43
Tabela 16 -Fitointoxicação (%) de soja aos 7, 14 e 21 dias após emergência (DAE).	45
Tabela 17 -Teor de clorofila nas plantas de soja aos 14DAE em diferentes cultivares de soja.	46
Tabela 18 -Massa fresca (g) das plantas de soja aos 21DAE.	47
Tabela 19 -Massa seca (g) das plantas de soja.	48

OSIPI, CARLOS BOTELHO PEREIRA. **TERBUTILAZINA NA ENTRESSAFRA: PERÍODO DE SEGURANÇA PRÉ-SEMEADURA E SELETIVIDADE PARA SOJA EM SOLOS DE TEXTURAS CONTRASTANTES**. 2026. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Norte do Paraná, Campus Luiz Meneghel, Bandeirantes, 2026.

RESUMO - O controle químico de plantas daninhas na entressafra permite intervir quando as plantas estão menores e amplia o leque de opções de mecanismos de ação, o que favorece a rotação de herbicidas. No entanto, surge um desafio quanto ao residual sobre a cultura subsequente e o potencial risco de fitointoxicação. A terbutilazina desponta como potencial substituto da atrazina. Compreender o seu comportamento em solos de texturas distintas e seu potencial de dano aos atuais cultivares de soja é crucial para recomendações seguras. Este trabalho teve por objetivos (i) determinar o período mínimo entre a aplicação de terbutilazina e a semeadura da soja em solos de textura arenosa e argilosa (ii) identificar diferenças de sensibilidade de cultivares de soja à terbutilazina. Para o objetivo (i) foram conduzidos dois experimentos em campo: Assis-SP (Latossolo arenoso, 15% de argila) e Bandeirantes-PR (Latossolo Vermelho eutroférico, 60% de argila), com doses de terbutilazina de 0,6 e 0,8 kg i.a. ha⁻¹ aplicadas aos 48, 36, 24, 12 e 0 dias antes da semeadura (DAS) da soja (cultivar NK 6630). Para o objetivo (ii) foi avaliado a sensibilidade de cinco cultivares de soja em casa de vegetação mediante avaliações como fitointoxicação, teor de clorofila (SPAD), massa fresca e massa seca das amostras. No solo arenoso, o período de segurança mínimo foi de 32 dias para ambas as doses. No solo argiloso, não houve interferência na produtividade, independentemente da dose e do período. Observou-se variabilidade do genótipo dos cultivares: o material NK 6630 apresentou maior sensibilidade (maior fitointoxicação e menores valores do índice SPAD), enquanto o Monsoy 6601 foi mais tolerante (menor fitointoxicação).

Palavras-chave: Triazinas; Seletividade; *Glycine max*; Carry-over; Plantback

OSIPI, CARLOS BOTELHO PEREIRA. **Terbuthylazine in the Off-Season: Plant-Back Interval and Soybean Selectivity across Contrasting Soil Textures**. 2026. Dissertation (Master's in Agronomy) – State University of Northern Paraná, Bandeirantes, 2026.

ABSTRACT - Chemical weed control during the off-season allows interventions when weeds are still at earlier growth stages and broadens the range of available herbicide modes of action, which supports herbicide rotation. However, this practice also raises concerns about residual activity on the succeeding crop and the potential risk of crop injury. Terbuthylazine has emerged as a potential alternative to atrazine. Understanding its behavior in soils with contrasting textures, as well as its potential to injure currently used soybean cultivars, is essential for establishing safe recommendations. This study aimed to: (i) determine the minimum interval required between terbuthylazine application and soybean sowing in sandy- and clay-textured soils; and (ii) identify differences in soybean cultivar sensitivity to terbuthylazine. To address objective (i), two field experiments were conducted in Assis, São Paulo State, Brazil (sandy Oxisol, 15% clay) and Bandeirantes, Paraná State, Brazil (clayey Rhodic Eutrudox, 60% clay), using terbuthylazine rates of 0.6 and 0.8 kg a.i. ha⁻¹ applied at 48, 36, 24, 12, and 0 days before soybean sowing (cultivar NK 6630). For objective (ii), the sensitivity of five soybean cultivars was evaluated under greenhouse conditions based on crop injury, chlorophyll content (SPAD index), fresh mass, and dry mass. In the sandy soil, the minimum safe interval was 32 days for both herbicide rates. In the clayey soil, no effect on yield was observed, regardless of rate or application timing. Genotypic variability in cultivar response was observed: NK 6630 was the most sensitive material, showing greater crop injury and lower SPAD values, whereas Monsoy 6601 was the most tolerant, with lower levels of crop injury.

Key-words: Triazines; Selectivity; *Glycine max*; Carry-over; Plantback

1 INTRODUÇÃO

As plantas daninhas quando não controladas trazem prejuízos para a produção agrícola, visto que boa parte delas são altamente eficientes na competição, agressividade e otimização dos recursos. Dessa forma é de suma importância não permitir que elas possuam vantagem competitiva com as culturas (Albrecht et al., 2021).

O “manejo outonal” visa a diminuição do banco de sementes e controle das plantas daninhas emergidas no período da entressafra (período a partir da colheita da cultura até a semeadura da próxima). Nesse momento, o seu controle é oportunizado, principalmente por estarem em estágio de desenvolvimento inicial (Albrecht et al., 2021).

Herbicidas inibidores do fotossistema II têm sido amplamente utilizados no manejo de plantas daninhas durante o manejo outonal. Uma das principais ferramentas empregadas é a atrazina. Devido às propriedades físico-químicas da molécula, a atrazina apresenta alta solubilidade em água (33mg L^{-1}) e contribui para um alto potencial de lixiviação para a subsuperfície. Em decorrência desses aspectos, esse herbicida foi proibido em vários países da Europa desde 2004, pelo fato de ter sido encontrado em águas subterrâneas. As propriedades da atrazina resultam em moderada mobilidade e elevada persistência, contribuindo para a sua acumulação com níveis contaminantes tanto na superfície como em profundidade nos solos, atingindo potencialmente águas superficiais e subterrâneas (PROSEN, 2012).

Por sua vez, a terbutilazina em função de sua menor solubilidade em água ($8,5\text{ mg L}^{-1}$) (WSSA, 2014), apresenta um menor potencial de lixiviação, podendo vir a ser uma interessante ferramenta a ser empregada numa possível proibição da atrazina.

Tanto a atrazina como a terbutilazina são herbicidas inibidores do fotossistema II, possuindo atividade no solo, com longo período de efeito residual. O comportamento dos herbicidas no ambiente vai depender principalmente de características físico-químicas do produto, propriedades do solo e condições ambientais no momento da aplicação (Christoffoleti et al., 2008, Monquero e Silva, 2021).

A textura do solo influencia fortemente na disponibilização do herbicida. Solos com maior teor de argila tendem a reter mais as moléculas dos herbicidas nos coloides do solo. Os minerais de argila podem aumentar a sorção do produto no solo, fornecendo uma grande área de superfície para adsorção. Solos com alto teor de argila tendem a ter maior capacidade de sorção quando comparados com solos arenosos, conseqüentemente a maior quantidade de argila

e matéria orgânica causam redução da disponibilidade de produto na solução do solo (Tantarawongsa e Ketrot, 2020).

Hoje, o Brasil conta com mais de duas mil cultivares de soja registradas no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA, 2025). O controle químico continua sendo pilar do manejo, porém sua eficácia e segurança dependem da seletividade. Quanto maior a diferença de tolerância entre a cultura e a espécie daninha, maior a margem de uso do herbicida (Oliveira e Inoue, 2011).

Os herbicidas desencadeiam estresses bioquímicos e oxidativos, assim, materiais geneticamente distintos podem reagir de modo bastante diferente a um mesmo ativo. Com isso, surge uma dificuldade prática e um vazio de informação: apesar do grande número de cultivares disponíveis ainda é escassa a literatura que documenta, de forma sistemática, a sensibilidade de cultivares de soja aos principais herbicidas usados no sistema produtivo (Oliveira e Inoue, 2011).

Conhecer o comportamento de diferentes cultivares frente a um determinado ativo ajuda a reduzir o risco de fitotoxicidade e, por consequência, mitigar perdas de produtividade. Ao mesmo tempo, esses resultados oferecem subsídios a programas de melhoramento e às empresas de sementes, incorporando tolerância a herbicidas como critério adicional de seleção.

Portanto, o presente estudo teve dois objetivos: determinar o período mínimo entre a aplicação de doses de terbutilazina e a semeadura da cultura da soja em solos com diferentes texturas em condição de campo, e avaliar a sensibilidade de cinco cultivares de soja em casa de vegetação.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral:

Avaliar o efeito residual da terbutilazina em aplicações antes da semeadura da soja no manejo outonal e a sensibilidade de diferentes cultivares de soja ao herbicida.

2.2 Objetivos Específicos:

Determinar o período mínimo entre a aplicação de doses de terbutilazina e a semeadura da cultura da soja em solos com diferentes texturas.

Identificar diferenças de sensibilidade ao herbicida terbutilazina em cinco diferentes cultivares de soja.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Manejo outonal

No passado, o manejo outonal ou manejo de entressafra já foi uma ferramenta bastante utilizada para o controle de plantas daninhas. Nesse contexto, especialmente na região Sul do Brasil, a operação de “manejo outonal” era conduzida logo após a safra de verão (tipicamente pós-soja) e antes do estabelecimento das culturas de inverno (por exemplo, trigo), associando herbicidas não seletivos e residuais para controlar e reduzir a produção de sementes de daninhas durante o longo período de pousio estabelecido. Por tradição, o termo manteve-se mesmo quando a operação passou a ocorrer após o milho segunda safra (inverno/ primavera), caracterizando-se tecnicamente como manejo de entressafra ou manejo antecipado (Albrecht et al., 2021).

No cenário agrícola atual, com a intensificação de problemas como a resistência de algumas plantas daninhas ao glyphosate, por exemplo a Buva (*Conyza* sp), esse modelo de manejo voltou a tomar lugar de importância, especialmente em áreas onde ocorre o cultivo de milho na segunda safra. As regiões Oeste e Norte do Paraná, que cultivam o milho de segunda safra possuem um período de 45 a 90 dias que antecedem o cultivo de verão. Nessa época torna-se viável a introdução do manejo outonal (Constantin et al, 2013; Matte et al, 2018).

O manejo outonal facilita o controle das plantas daninhas, devido à aplicação dos herbicidas no momento em que as plantas se encontram em menor estágio de desenvolvimento, além da vantagem de uma menor população de daninhas estabelecida. Dessa forma aumenta-se o leque de moléculas a serem empregadas, além de oportunizar a redução de doses a fim de alcançar um controle eficiente (Constantin et al, 2013).

É importante ressaltar que, além de reduzir a produção e a dispersão de propágulos, diminuindo o banco de sementes, o manejo outonal entrega seu maior ganho prático facilitando as dessecações na pré-semeadura da cultura de verão. Entregando uma menor densidade e porte de plantas a serem controladas, ampliando opções de mecanismos de ação a serem empregados e permitindo o uso de doses mais baixas com maior eficiência (Constantin et al., 2013).

Nessa janela da entressafra, é comum o posicionamento de inibidores do Fotossistema II (FSII), como a atrazina e terbutilazina, isolados ou associados a inibidores da HPPD, como o mesotrione, combinação sinérgica que amplia o espectro e auxilia no manejo de biótipos de buva (*Conyza* spp.). Em pós-emergência inicial, a mistura [atrazina+mesotrione] (Calaris®),

isolada ou em associação ao glifosato, atingiu $\geq 90\%$ de controle de plantas de *Conyza bonariensis* de 4 a 6 folhas aos 7 DAA e 100% aos 14–28 DAA, enquanto o glyphosate isolado foi insuficiente, reforçando a utilidade dessa estratégia para chegar à pré-semeadura com a área limpa (Matte et al., 2018).

3.2 Herbicidas inibidores do fotossistema II

Os herbicidas inibidores da fotossíntese, mais precisamente, os inibidores do fotossistema II (FSII), podem ser chamados também de inibidores da síntese de Hill. Como eles bloqueiam o fluxo de elétrons no fotossistema II, vão impedir a transferência de elétrons da água para o acceptor, dessa forma, ocorrerá a inibição da produção de oxigênio observada na reação de Hill (Ross; Childs, 1996).

O FSII é um conjunto de proteínas receptoras e doadoras de elétrons e estão envolvidas no processo da fotossíntese. A energia absorvida pela clorofila migra por entre as moléculas captadoras até o centro de reação do fotossistema II (P680), onde um elétron é excitado para um maior estado energético. A partir dali o elétron passará por uma série de moléculas transportadoras (Ross; Childs, 1996).

O percurso do elétron se inicia do centro de reação (P680) para a feofitina, de onde se desloca para a plastoquinona (Qa) que está ligada à proteína D1. O elétron é transferido da Plastoquinona Qa para Plastoquinona Qb. A plastoquinona Qb ao receber o primeiro elétron de Qa fica reduzida, após receber o segundo elétron, ela fica protonada, pois dois prótons H^+ se deslocam do estroma e se ligam à Qb, tornando-se Plastohidroquinona (QbH₂) (Ross; Childs, 1996).

Os inibidores do FSII vão agir se acoplando na proteína D1, sítio onde se liga a plastoquinona (QB). Ao se ligarem nessa região, esses herbicidas vão impedir que a plastoquinona se acople no seu sítio de ação e realize o transporte de elétrons, uma espécie de competição pelo sítio de ligação. Dessa forma ocorre uma interrupção no fluxo de elétrons, promovendo a formação de radicais livres que irão reagir com a membrana e as proteínas do cloroplasto, resultando em peroxidação dos lipídeos (Hess, 2000).

A peroxidação dos lipídeos da membrana ocorre basicamente devido à interrupção do fluxo de elétrons, promovendo uma sobrecarga energética que afeta o sistema de atenuação do excesso de energia, os carotenoides. Dessa forma, a clorofila entra em um estado altamente energizado (clorofila triplete) que pode induzir o processo de peroxidação dos lipídeos por duas

formas. Pela formação direta de radicais lipídicos nos ácidos graxos insaturados das membranas ou a clorofila triplete pode reagir com o oxigênio, produzindo oxigênio singlete. Esse mesmo oxigênio pode reagir com os radicais lipídicos, resultando também na peroxidação dos lipídios (Hess, 1994a).

Esse mecanismo de ação que surgiu na década de 50 é composto por diferentes grupos químicos como as uréias, benzotiadiazol, triazinona e as triazinas (Silva, 2013a). O grupo das triazinas detém moléculas extremamente relevantes na agricultura, como por exemplo a atrazina e a terbutilazina. Esses dois herbicidas são importantes para o controle de plantas daninhas dicotiledôneas e algumas monocotiledôneas, nas culturas da cana de açúcar, milho e sorgo (Campos; Vitorino; Martins, 2012).

Produtos inibidores do fotossistema II são moderadamente solúveis em água, alguns mais do que outros. A solubilidade (S_w) interfere em outros fatores como por exemplo, a lixiviação. A atrazina (S_w de 33 mg L^{-1} em pH 7 a 22°C ; $\log K_{ow}$ de 2,58) foi um herbicida proibido na Europa em 2004 devido à detecção da molécula e do seu produto de degradação N- alquilado em águas superficiais e subterrâneas, um reflexo do seu potencial em lixiviar no perfil do solo e atingir a água na subsuperfície (Struthers; Jayachandran; Moorman, 1998; Drevenkar et al, 2004; Bohn et al., 2011; Vieira et al, 2020; Neiverth, 2022). Após o banimento da atrazina na União Europeia (UE), a terbutilazina veio como seu herbicida substituto em decorrência a sua menor solubilidade em água, maior hidrofobicidade e maior potencial de retenção no solo (WSSA, 2014; Possamai, 2013).

A terbutilazina também é um herbicida inibidor do fotossistema II, pertencente ao grupo químico das triazinas. É uma molécula seletiva para o milho, milheto e sorgo, posicionado em pré e pós-emergência para o controle de monocotiledôneas e eudicotiledôneas (WSSA, 2014).

Quanto às propriedades físico-químicas da terbutilazina, possui valor de pressão de vapor (P_v) de $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ mPa}$ (20°C), solubilidade (S_w) de $8,5 \text{ mg L}^{-1}$ de água, pK_a de 2,0, comportando-se como base fraca, \log de K_{ow} de 3,04 e apresenta K_{oc} de 162 a 278 mL g^{-1} (WSSA, 2014).

Os resultados da aplicação de terbutilazina ou atrazina em pós-emergência da cultura do milho segunda safra durante o período 2020/21 e 2021/22, foram equivalentes no controle das folhas largas, mas, com destaque superior para a terbutilazina sobre o controle de gramíneas como *Digitaria insularis* e *Sorghum spp* (Albrechet et al., 2025).

Atualmente no contexto nacional a discussão sobre a restrição do princípio ativo atrazina avançou para a esfera legislativa, com propostas regulatórias do uso da molécula. O proposto Projeto de lei nº 5.080/2023, de autoria do Deputado Padre João, visa a 'proibição do uso e

aplicação do princípio ativo atrazina em todo o território nacional', baseando-se nos riscos de contaminação ambiental e nos potenciais danos à saúde humana (BRASIL, 2023).

No Brasil, caso a atrazina seja proibida, antecipando a sua demanda no manejo da entressafra, a terbutilazina é uma ferramenta que deve permanecer no mercado por mais tempo, devido a suas características físico-químicas que proporcionam um menor potencial de lixiviação. Portanto, é muito importante conhecer melhor o comportamento do herbicida terbutilazina.

3.3 Efeito residual dos herbicidas no solo

Os herbicidas possuem características físico-químicas muito específicas, e a sua interação com as propriedades do solo e condições climáticas podem afetar o seu poder residual. Os principais atributos que irão afetar o comportamento dos herbicidas são as propriedades do solo, condições ambientais e características físico-químicas das moléculas (Blanco, 2013; Gonçalves et al, 2021).

Fatores como a textura, teor de matéria orgânica e pH do solo vão ter influência sobre a dinâmica de um herbicida quando este chega ao solo. No Brasil ocorre o predomínio de solos fortemente intemperizados. A porção mineral é integrada por partículas provenientes do processo de intemperização dos materiais de origem. A argila é proveniente de minerais derivados de minerais primários ou secundários. Em função da alta superfície específica, a argila é o material que mais contribui para o processo de retenção de nutrientes, moléculas orgânicas e água (capacidade sortiva). A capacidade de troca de cátions (CTC) e a capacidade de troca de ânions (CTA) vão indicar a quantidade de cargas retidas na argila por unidade de massa ou volume do solo (mmolc Kg^{-1}) (Oliveira; Brighenti, 2011).

A retenção refere-se ao processo de um solo reter uma molécula em uma situação onde um produto está retido, ele está menos disponível na solução do solo. Solos de texturas mais arenosas, tendem a reter menos os herbicidas, por outro lado, solos com alto teor de argila possuem maior grau de sorção para essas moléculas, resultando em maior capacidade de retenção aos colóides do solo (Gomes et al, 2009; Silva et al, 2022; Novais et al, 2023).

A sorção de algumas moléculas pode variar em função do conteúdo de matéria orgânica, pH, textura e mineralogia dos solos. O teor de matéria orgânica no solo vai interferir consideravelmente no comportamento dos herbicidas com atividade residual. A matéria orgânica do solo (M.O.S) contém grupos funcionais como carboxílicos e fenólicos que

conferem aumento das cargas negativas dependentes do pH, além de alta superfície específica. Muitos herbicidas de caráter lipofílico são adsorvidos a essa matéria orgânica, o que reduz a sua disponibilidade e conseqüentemente o matocontrole (Gonzales, Ukrainczyk, 1996; Oliveira; Prates; Sans, 2005).

No Brasil, os minerais de argila mais comuns são os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio e minerais silicatados do tipo 1:1 como por exemplo a caulinita. As cargas de origem permanentes nesses minerais de argila são extremamente baixas. Nos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio predominam-se cargas variáveis, que são altamente dependentes do pH. Ou seja, a depender do pH do meio pode haver um predomínio de cargas positivas ou negativas nos hidróxidos de ferro e alumínio, o que pode contribuir para a retenção de moléculas de herbicidas (Oliveira; Brighenti, 2011). Em solos com pH menor, ou menor que o valor do PCZ dos hidróxidos de ferro e alumínio os óxidos, esses mesmos hidróxidos de Fe e Al serão os principais sítios de sorção de herbicidas aniônicos, como os pertencentes ao grupo químico das imidazolinonas (imazapyr e imazapic) (Christoffoleti et al, 2008).

O pH também tem influência sobre as cargas da matéria orgânica, devido aos grupos funcionais carboxílicos e fenólicos, as cargas da M.O.S serão afetadas pelas mudanças de pH da solução do solo (Oliveira; Brighenti, 2011).

Os herbicidas podem ser classificados em iônicos e não iônicos, sendo que esse modelo de classificação determina se o fator pH da solução terá ou não influência sobre o comportamento daquela molécula. Os herbicidas não-iônicos não serão afetados por mudanças de pH do meio. Por outro lado, as formas iônicas, conforme ocorre uma mudança de pH do meio, a molécula tende a se dissociar mais ou menos na solução (Cobos et al, 2024).

A constante de ionização ácido/base (pK_a e pK_b), irá representar o comportamento do herbicida iônico em determinada faixa de pH, sua tendência a se dissociar ou manter-se na forma molecular (Oliveira; Brighenti, 2011).

Algumas moléculas possuem maior afinidade pela fase apolar, isso vai influenciar diretamente na dinâmica do herbicida no ambiente. O coeficiente de distribuição octanol-água (K_{ow}) mensura numericamente o quão lipofílico é determinado produto. Essa é uma constante para herbicidas não iônicos, porém para os herbicidas iônicos esse valor vai depender do pH da solução, visto que esses tendem a estar mais ou menos dissociados em determinada faixa de pH (Oliveira; Brighenti, 2011).

A solubilidade em água (S) indica a quantidade máxima de um produto que é possível se dissolver na água em determinada temperatura. A solubilidade pode interferir em fatores como

o potencial de lixiviação. Herbicidas altamente solúveis tendem a estar mais disponíveis na solução do solo e para as plantas, por outro lado, possuem maior potencial de serem lixiviados (Oliveira; Brighenti, 2011).

A interação com o ambiente também é muito importante para prever a dinâmica do herbicida. A umidade presente no solo vai ser proporcional a quantidade de herbicida presente na solução do solo. É preciso de água para que a molécula esteja dissolvida naquela solução e esteja disponível para quando as plantas absorverem. Além disso, fatores como a quantidade de palhada, comunidade microbiana também pode influenciar no desempenho de algumas moléculas (Akpomie, Ekanem, Akpomie, 2016; Monquero, Silva, 2021).

Inoue et al. (2008) observaram que em solos de textura argilosa a persistência do diuron foi maior do que nos de textura arenosa, visto que as moléculas retidas tornam-se menos disponíveis às plantas e aos microrganismos.

Jaremtchuk et al. (2009), avaliando o efeito residual de flumioxazina sobre a emergência de plantas daninhas em solos com diferentes texturas, observaram que o controle variou com o tipo de solo, o intervalo aplicação-semeadura e a dose. No solo arenoso, manteve-se o controle para algumas espécies mesmo com maior antecedência de aplicação, ao passo que, no solo argiloso, o melhor desempenho concentrou-se em aplicações próximas à semeadura para parte das espécies. Esses achados indicam que a textura do solo influencia a atividade residual do herbicida, coerente com diferenças de adsorção entre solos.

Silva et al. (2011) verificaram que o efeito residual de 2,4-D ficou mais evidente nas plantas de soja, cultivar V-Max, em solo de textura média, apresentando alta fitointoxicação e redução da biomassa seca, principalmente no tratamento onde o herbicida foi aplicado e a soja semeada logo em seguida.

As condições ambientais nas quais os herbicidas são expostos também influenciam em sua dinâmica no ambiente. Por exemplo, a umidade relativa do ar, umidade do solo e as chuvas subsequentes às aplicações vão ser importantes para o funcionamento dos ativos. Em algumas situações a exposição direta à luz contribui para fotodegradação das moléculas, interferindo na sua eficiência (Mancuso; Negrisoni; Perim, 2011). Com um entendimento mais profundo dessas particularidades, é possível realizar um posicionamento mais eficiente para cada situação.

3.4 Sensibilidade da soja à herbicidas

Atualmente, a soja se enquadra como uma das principais culturas de importância econômica cultivadas no Brasil e no mundo. Segundo o décimo segundo levantamento da safra 2024/25, a produção estimada foi de 171,5 milhões de toneladas, 13,3% superior à da safra de 2023/24. A produtividade, também recorde, atingiu 3561 kg ha⁻¹ (Conab, 2025). A agricultura brasileira virou peça central da economia e do abastecimento global. Em poucas décadas, o país saiu da condição de importador para ocupar o topo entre produtores e exportadores, muito por conta da ciência aplicada e do fortalecimento das instituições públicas de pesquisa e das universidades (Embrapa, 2018).

O avanço nos estudos quanto ao melhoramento genético da soja permitiu a criação de uma grande quantidade de diferentes genótipos disponíveis no mercado com alta capacidade produtiva e resistência a pragas e doenças. No Brasil existem mais de 2 mil cultivares de soja registradas no Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) com características específicas e adaptadas para cada região (MAPA, 2025).

Um dos principais fatores negativos capazes de reduzir a produtividade de uma lavoura é a presença de plantas daninhas, essas invasoras são eficientes em otimizar recursos essenciais para o seu desenvolvimento. Além disso, servem como plantas hospedeiras para pragas e doenças. Uma das principais e mais importantes ferramentas empregadas no controle de plantas daninhas é o controle químico. Uma das bases para o sucesso do controle químico é a seletividade. Portanto, é muito importante conhecer e entender o comportamento de um herbicida a fim de que ele não perca sua seletividade para a cultura de interesse (Albrecht et al, 2021). De acordo com Oliveira e Inoue (2011), quanto maior for a diferença de tolerância entre a cultura e a planta daninha, maior a segurança para aplicação dos herbicidas.

A forma como diferentes cultivares de uma mesma espécie respondem ao estresse oxidativo causado pelos herbicidas pode variar. De modo geral, a diferença de sensibilidade dos cultivares é atribuída por se tratar de materiais genéticos específicos (Oliveira; Inoue, 2011). Diversos estudos demonstram variação na sensibilidade de diferentes variedades, cultivares ou híbridos de uma mesma espécie.

Em soja, a sensibilidade varia entre alguns cultivares e é particularmente evidente frente às sulfonilureias (inibidores da ALS). Esses herbicidas bloqueiam a síntese de aminoácidos de cadeia ramificada (valina, leucina e isoleucina) ao inibir a acetolactato sintase. Um estudo desenvolvido com cultivares da Embrapa investigou diferentes materiais genéticos de soja para classificar a sensibilidade a sulfonilureias e avaliar o uso de ethoxysulfuron e halosulfuron no controle de soja voluntária em sucessão com o feijoeiro. Os resultados confirmaram diferença

na sensibilidade de alguns cultivares aos inibidores da ALS, ao passo que também contribuíram para enquadrar o cultivar BRS 7380RR como tolerante às sulfonilureias (RR/STS) (Correia et al, 2021).

Ao passo em que novas cultivares de soja são registradas, novos herbicidas também são inscritos e liberados para o uso. Porém, informações como a sensibilidade das cultivares aos ativos comumente utilizados é por muitas vezes escassa, evidenciando maior necessidade de explorá-los.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 O Estudo de campo – carryover da terbutilazina

Os experimentos foram conduzidos em duas localidades, cujas áreas permaneceram em pousio por aproximadamente 55 dias entre a colheita do milho segunda safra e a semeadura da soja. Em ambas, adotou-se o sistema de preparo convencional do solo, com aração seguida de gradagem.

Em Bandeirantes/PR, o experimento foi instalado na Estação Dashen (23°04'24" S, 50°23'58" W; 389 m), em solo classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico, de textura muito argilosa. Em Assis/SP, o estudo foi conduzido na propriedade Água da Fortuna (22°38'38" S, 50°29'04" W; 543 m), em solo classificado como Latossolo arenoso (EMBRAPA, 2018). As características físico-químicas dos solos, na camada de 0–20 cm, estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1-Análise química e física do solo de Bandeirantes/PR [Solo Argiloso] (0-20cm)

P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V	Argila	Silte	Areia
mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	CaCl ₂							(%)		g kg ⁻¹	
19,2	22,8	5,1	0,60	7,1	2,3	4,3	0	14,95	66,9	600	360	40

*P = fósforo; M.O = Matéria Orgânica; pH CaCl₂ = Potencial hidrogeniônico, medido em cloreto de cálcio; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; H + Al = Hidrogênio + Alumínio; Al = Alumínio; CTC = Capacidade de troca catiônica; V% = saturação por base

Tabela 2-Análise química e física do solo de Assis/SP [Solo Arenoso] (0-20cm)

P	MO	pH	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	V	Argila	Silte	Areia
mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	CaCl ₂							(%)		g kg ⁻¹	
29,6	10,0	5,7	0,07	2,4	0,9	3,3	0	6,2	55,7	150	110	740

*P = fósforo; M.O = Matéria Orgânica; pH CaCl₂ = Potencial hidrogeniônico, medido em cloreto de cálcio; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; H + Al = Hidrogênio + Alumínio; Al = Alumínio; CTC = Capacidade de troca catiônica; V% = saturação por base

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados (DBC), com onze tratamentos e quatro repetições (Tabela 3). Cada parcela mediu 2,5 m de largura por 5,0 m de comprimento, totalizando 12,5 m². O esquema fatorial adotado foi de 2 × 5 + 1, constituído por duas doses do herbicida Click 500 SC® (terbutilazina), 0,6 e 0,8 kg i.a ha⁻¹, e cinco intervalos entre a aplicação e a semeadura da soja (48, 36, 24, 12 e 0 dias), além de uma testemunha adicional. Ao longo da condução experimental, as áreas foram mantidas livres de plantas daninhas, de forma que, por ocasião das aplicações realizadas antes da semeadura da soja, as unidades experimentais não apresentavam cobertura vegetal.

A terbutilazina foi aplicada com pulverizador costal pressurizado com CO₂, equipado com barra de cinco pontas MagnoJet BD 110.02, espaçamento de 0,50 m (faixa 2,5 m), volume de 200 L ha⁻¹ e pressão de 196,1 kPa. Os dados referentes às condições meteorológicas no momento das aplicações em solo argiloso e arenoso estão contidos nas tabelas 3 e 4 respectivamente.

Tabela 3-Épocas de aplicação e condições meteorológicas no momento da aplicação (Bandeirantes-PR/Solo Argiloso).

Época de aplicação	Data	Horário da aplicação	Temperatura (°C)	Umidade relativa (UR%)	Precipitação acumulada após aplicação até a semeadura (mm)
48 DAS	07/Set	08:15	24,8	54,0	160,2
36 DAS	19/Set	09:40	27,4	59,0	137,4
24 DAS	01/Out	10:10	29,0	49,0	126,3
12 DAS	13/Out	16:30	30,2	65,0	78,3
Semeadura	25/Out	09:20	26,4	72,0	0

DAS: Dias antes da semeadura.

Tabela 4–Épocas de aplicação e condições meteorológicas no momento da aplicação (Assis-SP/Solo Arenoso).

Época de aplicação	Data	Horário da aplicação	Temperatura (°C)	Umidade relativa (UR%)	Precipitação acumulada após aplicação até a semeadura (mm)
48 DAS	14/Set	09:35	27,8	66,27	69,28
36 DAS	26/Set	16:15	30,1	78,1	49,89
24 DAS	08/Out	16:30	27,5	87,7	48,32
12 DAS	20/Out	10:20	28,4	53,6	18,69
Semeadura	01/Nov	11:40	30,7	57,6	0

DAS: Dias antes da semeadura.

A semeadura da soja foi realizada em 25/10/2024 (Bandeirantes) e 01/11/2024 (Assis). Utilizou-se a cultivar NK 6630 i2X (GMR 6.6), semeada em 5 linhas espaçadas 0,45 m, com densidade de 15 sementes m⁻¹ e profundidade de 3 cm. As sementes foram tratadas com piraclostrobina + tiofanato-metílico + fipronil (0,05 + 0,45 + 0,5 g i.a. kg⁻¹). A adubação de base foi 300 kg ha⁻¹ de 02-23-23 (N-P-K) para o experimento conduzido em Assis e de 350 kg ha⁻¹ de 02-23-23 (N-P-K) para o experimento conduzido em Bandeirantes.

Para o controle pós-emergência de plantas daninhas, realizou-se uma aplicação glifosato 1080 g i.a. ha⁻¹ + clethodim 108 g i.a. ha⁻¹. O manejo de pragas incluiu três intervenções com acefato 750 g i.a. ha⁻¹ e bifentrina 16 g i.a. ha⁻¹ e o controle de doenças foi realizado com duas aplicações de mancozebe 1125 g i.a. ha⁻¹ e (bixafem + protioconazol + trifloxistrobina, 62,5 + 87,5 + 75 g i.a. ha⁻¹). As práticas culturais foram uniformes entre os tratamentos.

Aos 7 e 22 dias após a emergência (DAE) foi avaliado o estande de plantas aos 7, 14 e 22 DAE, mediante contagem de plantas em 6 m lineares nas duas linhas centrais (descartando 1 m do início e do fim de cada parcela). Foram realizadas as avaliações de fitointoxicação aos 7 e 22 DAE, usando escala visual de 0–100% (0 = ausência de sintomas; 100 = morte da planta) conforme a metodologia da Sociedade Brasileira de Ciência das Plantas Daninhas (SBCPD, 1995). Também a altura de plantas foi avaliada aos 7 DAE, medindo-se da base ao ápice da última folha expandida em 10 plantas por linha nas três linhas centrais.

A colheita na área de Assis foi realizada no dia 15 de março de 2025 enquanto em Bandeirantes na data de 22 de março de 2025. Foi colhida a porção útil de 4,05 m² (três metros centrais de três linhas) por parcela. A produtividade foi expressa em kg ha⁻¹ e a quantidade de mil grãos foi determinada com amostras medidas por uma contadora automática CSP-5SEED. A massa de mil grãos MMG determinada foi pesada em balança de precisão de 0,001 g.

Os dados climáticos durante a condução do experimento foram monitorados pela estação meteorológica na Estação Dashen (Bandeirantes-PR) conforme a Figura 1. Em Assis, os dados climáticos foram obtidos pela base de dados de uma estação meteorológica próxima ao experimento (Figura 2).

Figura 1-Temperatura média e precipitação pluvial mensal durante o período de condução do experimento (Bandeirantes-PR/Solo Argiloso).

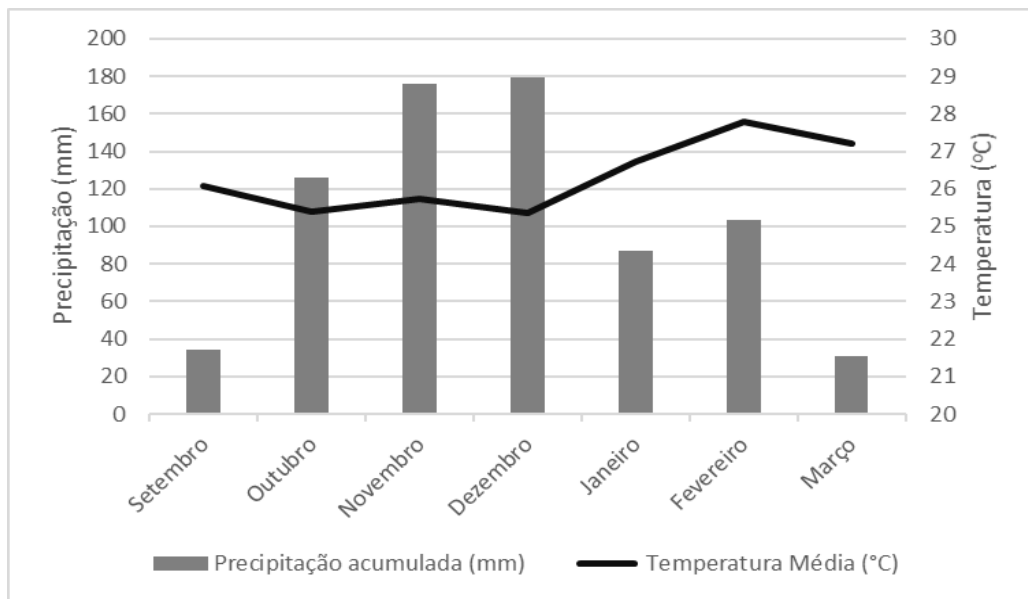
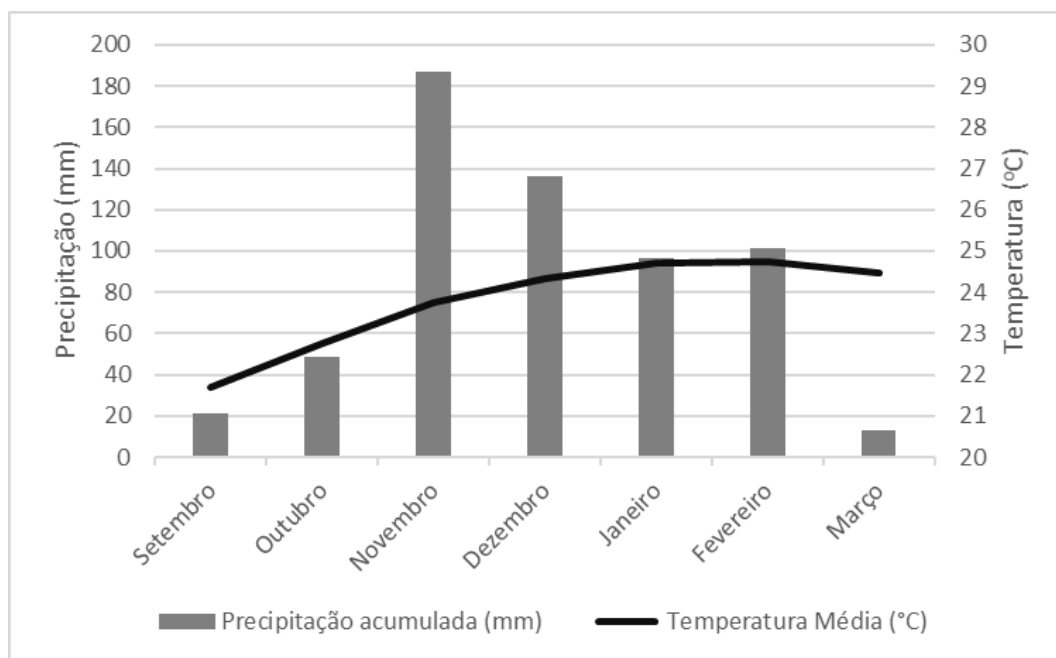


Figura 2- Temperatura média e precipitação pluvial mensal durante o período de condução do experimento (Assis-SP/Solo Arenoso).



Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com a testemunha comparada via teste de Dunnett (5%). Em caso de interação significativa, houve desdobramento das doses dentro de cada período. O fator “período” foi tratado como quantitativo, sendo ajustados modelos de regressão quando apropriado. As análises foram realizadas no ASSISTAT 7.7, adotando $\alpha = 0,05$. Os modelos de regressão selecionados para descrever os dados foram ajustados no programa SigmaPlot.

Para a variável estande no experimento de campo em solo arenoso o modelo não linear ajustado foi Exponential Rise to Maximum; Single, 3 Parameter.:

$$y = y_0 + a(1 - e^{-bx})$$

Os parâmetros acima indicam:

y — Estande pl m^{-1}

x — intervalos em dias entre a aplicação e a semeadura da soja.

y_0 : estande de plantas quando a aplicação foi feita no dia da semeadura ($x=0$).

a : É a amplitude do aumento. O estande máximo que o modelo prevê é a soma de $y_0 + a$.

b : É a taxa, ou a "velocidade", com que o estande aumenta e se aproxima do máximo.

Para a variável fitotoxicidade no experimento de campo em Assis-SP o modelo não linear ajustado foi Exponential Decay; Single, 3 Parameter:

$$f = y_0 + ae^{-bx}$$

Os parâmetros acima indicam:

y — percentual de fitotoxicidade.

x — intervalos em dias entre a aplicação e a semeadura da soja.

y_0 — assíntota inferior: é o nível de fitotoxicidade que “sobraria” após intervalos muito longos entre aplicação e semeadura.

a — amplitude inicial (é a diferença entre a injúria no dia 0 e a assíntota).

b — controla o quão rápido a injúria cai com os dias.

Para a variável produtividade o modelo linear ajustado foi:

$$y = mx + b$$

y = produtividade ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

x = dias de intervalo.

m = coeficiente angular (ganho médio de produtividade por dia de intervalo)

b = intercepto (produtividade estimada quando $x = 0$ dia)

4.2 Estudo em estufa – sensibilidade de cultivares à terbutilazina

O ensaio foi instalado em 20 de janeiro de 2025, em estufa climatizada da empresa de pesquisa Estação Dashen, em Bandeirantes. Vasos de 8 L (28 cm de diâmetro \times 24 cm de altura) foram preenchidos com solo arenoso de Assis, peneirado em malha de 4 mm, e adubados com 2,5 g do formulado 02-23-23. Quinze dias antes da semeadura, aplicou-se terbutilazina na dose de $0,6 \text{ kg ha}^{-1}$ com pulverizador costal pressurizado com CO_2 , equipado com barra de cinco pontas MagnoJet BD 110.02, espaçadas em 0,50 m, volume de calda de 200 L ha^{-1} e pressão de 196,1 kPa. O intervalo entre a aplicação e a semeadura foi definido a partir dos resultados do experimento anterior em campo, de modo a viabilizar a discriminação da sensibilidade entre os cultivares.

Após a aplicação, os vasos foram cobertos com lona plástica de polietileno até a semeadura. Em seguida, foram semeadas cinco sementes de soja por vaso, à profundidade de 3 cm. A irrigação foi automatizada com lâmina de 5 mm, aplicada duas vezes ao dia, mantendo o solo próximo a 60% da capacidade de retenção. O experimento foi conduzido sob temperatura média de $28 \text{ }^\circ\text{C}$ durante o dia e $20 \text{ }^\circ\text{C}$ à noite, com umidade relativa próxima de 75%.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado (DIC) com cinco repetições e dez tratamentos, arranjados em um esquema fatorial duplo 5×2 , com cinco

cultivares (BMX Lótus, BASF CZ 26B55, Monsoy 6601, NK 6630 e 64IX66), com e sem a aplicação de herbicida.

A intoxicação da soja foi avaliada aos 7, 14 e 21 dias após a emergência (DAE), utilizando-se escala visual de 0 a 100% proposta pela SBCPD (1995). O índice SPAD foi determinado no estádio V3, com leituras realizadas no trifólio mais novo e mais velho de duas plantas por vaso, utilizando-se aparelho SPAD-502, sendo posteriormente calculada a média por vaso. Aos 28 DAE, a parte aérea das plantas foi cortada ao nível do solo para determinação da massa fresca e da massa seca. A massa fresca foi obtida imediatamente após a coleta, enquanto a massa seca foi determinada após secagem em estufa com circulação de ar a 60 °C, até peso constante. Os dados foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estudo I - Campo (Solo arenoso)

Os resultados da análise de variância, referentes a todas as variáveis analisadas no experimento em solo arenoso, encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5-Análise de variância (teste F) para as variáveis da soja em função dos períodos de aplicação anteriores à semeadura nas doses de 0,6 e 0,8 kg ha⁻¹ de terbutilazina em solo arenoso.

Variáveis	DAS	Dose	DAS X Dose	Fat X Contr	CV (%)
Estande 7 DAE	138,65**	15,82**	4,09**	38,8**	3,94
Estande 22 DAE	74,2**	3,84 ns	1,97 ns	36,73**	9,56
Altura 7 DAE	0,95 ns	0,97 ns	2,82 *	0,29 ns	6,78
Fitointoxicação 7 DAE	297,05**	49,54**	13,91**	63,34**	26,36
Fitointoxicação 22 DAE	669,11**	41,34**	13,21**	179,19**	15,67
Produtividade	60,86**	2,33ns	0,67 ns	39,00**	15,34
Massa de mil grãos	0,20 ns	0,79 ns	1,28 ns	0,56 ns	6,16

DAS: Dias antes da semeadura; DAE Dias após a emergência; ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$); * Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$); ns não significativo ($p \geq .05$); Fat X Contr Fatorial versus Controle; CV Coeficiente de variação

A análise de variância indicou que tanto o intervalo de aplicação antes da semeadura quanto a dose de terbutilazina tiveram efeitos significativos sobre o estande de plantas de soja aos 7 dias após a emergência, assim como a interação entre esses fatores ($p < 0,01$).

Observa-se na Figura 3 que a aplicação de $0,6 \text{ kg ha}^{-1}$ realizada no mesmo dia da semeadura (0 DAS) reduziu significativamente o estande em relação aos demais intervalos testados. Já as aplicações feitas a partir de 12, 24, 36 e 48 dias de antecedência, por sua vez, não diferiram entre si nem em comparação à testemunha (controle sem herbicida). Já para a dose de $0,8 \text{ kg ha}^{-1}$ (Figura 3), a redução no estande ficou clara quando a aplicação ocorreu em intervalos de até 12 dias antes da semeadura, atingindo o valor mais baixo quando a herbicida foi aplicada no dia da semeadura (0 DAS). Nesse período (0 DAS), inclusive, o estande obtido com $0,8 \text{ kg ha}^{-1}$ foi significativamente inferior ao observado com $0,6 \text{ kg ha}^{-1}$. Verificou-se ainda que, para intervalos de aplicação superiores a 14 dias, para a dose de $0,8 \text{ kg ha}^{-1}$, não diferiram do tratamento controle. Os valores referentes a cada parâmetro do modelo escolhido assim como o coeficiente de determinação estão representados na Tabela 6.

Figura 3-Estande de plantas aos 7 DAE nas doses de 0,6 e 0,8 kg ha⁻¹ de terbutilazina (Solo arenoso).

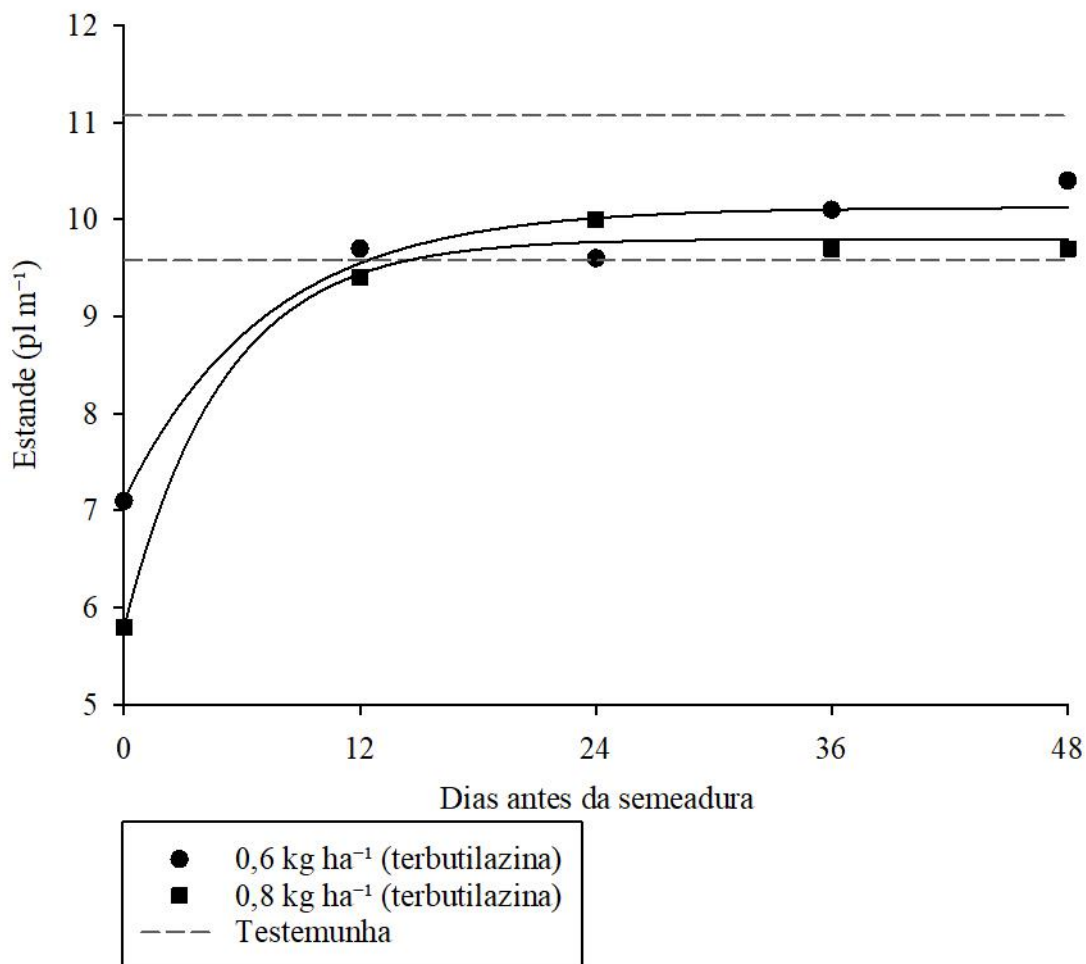


Tabela 6-Estimativas dos parâmetros a, b e X₀, coeficiente de determinação (R²) do modelo ajustado para avaliação de estande aos 7DAE. Solo arenoso, 2024.

HERBICIDA	a	b	y ₀	R ²
Terbutilazina à 0,6 kg i.a ha ⁻¹	3,00	0,138	7,11	0,96
Terbutilazina à 0,8 kg i.a ha ⁻¹	4,0	0,81	5,79	0,98

A análise de variância da variável estande aos 22 DAE indicou efeito significativo apenas para o fator intervalo entre aplicação e semeadura. A comparação do conjunto de tratamentos com herbicida versus a testemunha também foi significativa.

Quando comparado com a testemunha, pelo teste de Dunnett (5%), observou-se que os tratamentos com aplicação de terbutilazina até 24 dias antes da semeadura resultaram em

estandes significativamente menores que o da testemunha, ou seja, em intervalo superior a 24 dias a aplicação da terbutilazina não afetou o estande da cultura.

De acordo com o modelo, a partir de aproximadamente 24,35 dias de intervalo o estande previsto atingiria cerca de 8,41 plantas pl m^{-1} , valor que se insere no intervalo de confiança da testemunha. Portanto, por volta de pouco mais de 24 dias após a aplicação já não haveria redução significativa do estande em relação à testemunha. A curva de regressão ajustada (Figura 4) representa o comportamento do estande em função da aplicação dias antes da semeadura, tornando mais clara a tendência observada. Os valores referentes a cada parâmetro do modelo escolhido assim como o coeficiente de determinação estão representados na Tabela 7.

Resultados obtidos por Peruzzo et al. (2020) mostram que a aplicação de 2 kg i.a ha^{-1} de atrazina não reduziu o estande em nenhum dos intervalos avaliados no campo que variaram com aplicações desde 56 até 14 DAS. Levando em consideração o alto regime de chuvas na última quinzena entre a aplicação e o plantio, aliado à maior mobilidade da atrazina (solubilidade $\approx 33 \text{ mg L}^{-1}$; $K_{oc} \approx 100 \text{ mL g}^{-1}$), pode-se inferir que com muita água perto da semeadura, a concentração de herbicida na zona da semente tende a diminuir rapidamente por processos de perda como a lixiviação. O presente estudo conduzido em solo arenoso (M.O baixa), a terbutilazina mostrou comportamento distinto. Por ser menos solúvel ($\approx 8,5 \text{ mg L}^{-1}$) e apresentar K_{oc} maior ($\approx 162\text{--}278 \text{ mL g}^{-1}$), ela tende a ser menos móvel e a permanecer nos primeiros centímetros do solo quando as chuvas posteriores não são altas a ponto de provocar lixiviação do produto. O baixo regime de chuvas (69 mm) durante o período das aplicações somado às características físico-químicas da terbutilazina que conferem menor mobilidade do produto no solo, podem ter contribuído para maior concentração do herbicida na porção inicial do solo, interferindo no estande estabelecido no experimento. Além de características ligadas ao produto e volume de chuva acumulado durante o período anterior à semeadura, é importante levar em consideração fatores como a presença ou ausência de palhada sobre o solo e preparo realizado antes do início das aplicações que podem influenciar na dinâmica desse herbicida no solo.

Figura 4-Estande de plantas aos 22 DAE nas doses de 0,6 e 0,8 kg ha⁻¹ (Assis-SP/Arenoso).

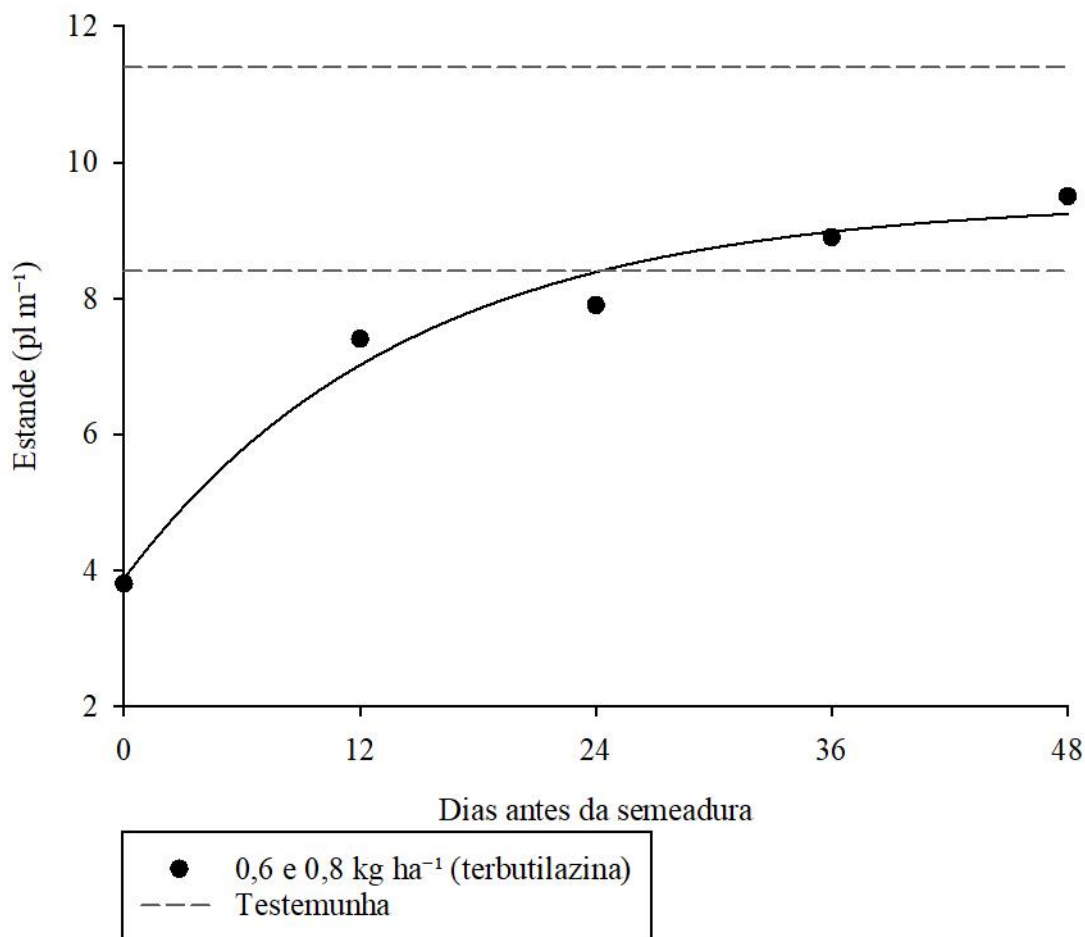


Tabela 7-Estimativas dos parâmetros a, b e X0, coeficiente de determinação (R²) do modelo ajustado para avaliação de estande aos 22 DAE. Assis-SP, 2024

HERBICIDA	a	b	Y0	R ²
Terbutilazina à 0,6 e 0,8 kg i.a ha ⁻¹	5,56	0,06	3,87	0,97

Para altura aos 7 DAE, houve interação significativa entre período e dose. No desdobramento da interação, observou-se diferença entre doses apenas no período de 0 dias, em que a dose de 0,8 kg i.a ha⁻¹ resultou em menor altura do que a dose de 0,6 kg i.a ha⁻¹ (Tabela 8). Nos demais períodos, não houve diferença entre doses. Além disso, não se verificou diferença pelo teste de Dunnett entre os tratamentos com herbicida e a testemunha.

Tabela 8-Altura (cm) média das plantas de soja em função da época de aplicação de terbutilazina (0,6 e 0,8 kg ha⁻¹) aos 7 DAE (Assis-SP/Arenoso).

Períodos	Dose kg i.a ha ⁻¹	
	0,6	0,8
48	7,36 a	7,38 a
36	6,84 a	7,50 a
24	7,48 a	6,92 a
12	7,32 a	7,27 a
0	7,35 a	6,51 b
DMS (linha)	0,7038	
C.V. (%)	6,78	

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Toda sigla de tabela precisa estar a descrição.

Para a variável fitotoxicidade, aos 7 DAE, a ANOVA mostrou efeitos significativos para a interação períodos × dose, além de diferença em relação à testemunha. Na análise do teste de Dunnett, (5%), apenas três combinações se destacaram como diferentes da testemunha, os tratamentos 0 dias nas duas doses (0,6 kg i.a. ha⁻¹ = 59,0%; 0,8 kg i.a. ha⁻¹ = 82,5%) e 12 dias na maior dose (0,8 kg i.a. ha⁻¹ = 35,0%); os demais tratamentos não diferiram do controle. Examinando o desdobramento da interação (Tukey, 5%), a fitotoxicidade manteve-se próxima de zero nos intervalos de 36 e 48 dias, sem diferença entre doses e permaneceu baixa no período de 24 dias (6,25% e 8,75%). No intervalo de 12 dias entre a aplicação e a semeadura foi observada diferença significativa entre as doses, 9,0% à 0,6 kg i.a. ha⁻¹ comparado a 35,0% à 0,8 kg i.a. ha⁻¹. As maiores médias de fitotoxicidade ocorreram quando a terbutilazina foi aplicada no dia da semeadura da soja 59,0% e 82,5%, respectivamente.

Essas respostas se alinham às curvas do gráfico (Figura 5), queda acentuada da injúria à medida que o intervalo pré-semeadura aumenta e sugerem maior disponibilidade do ativo no solo na dose maior, evidenciada pela diferença que já aparece em 12 dias e se intensifica na condição de aplicação no dia da semeadura. Os valores referentes a cada parâmetro do modelo escolhido assim como o coeficiente de determinação estão representados na Tabela 9.

Figura 5-Fitointoxicação das plantas de soja por terbutilazina aos 7 DAE nas doses de 0,6 e 0,8 kg ia ha⁻¹ (Solo arenoso).

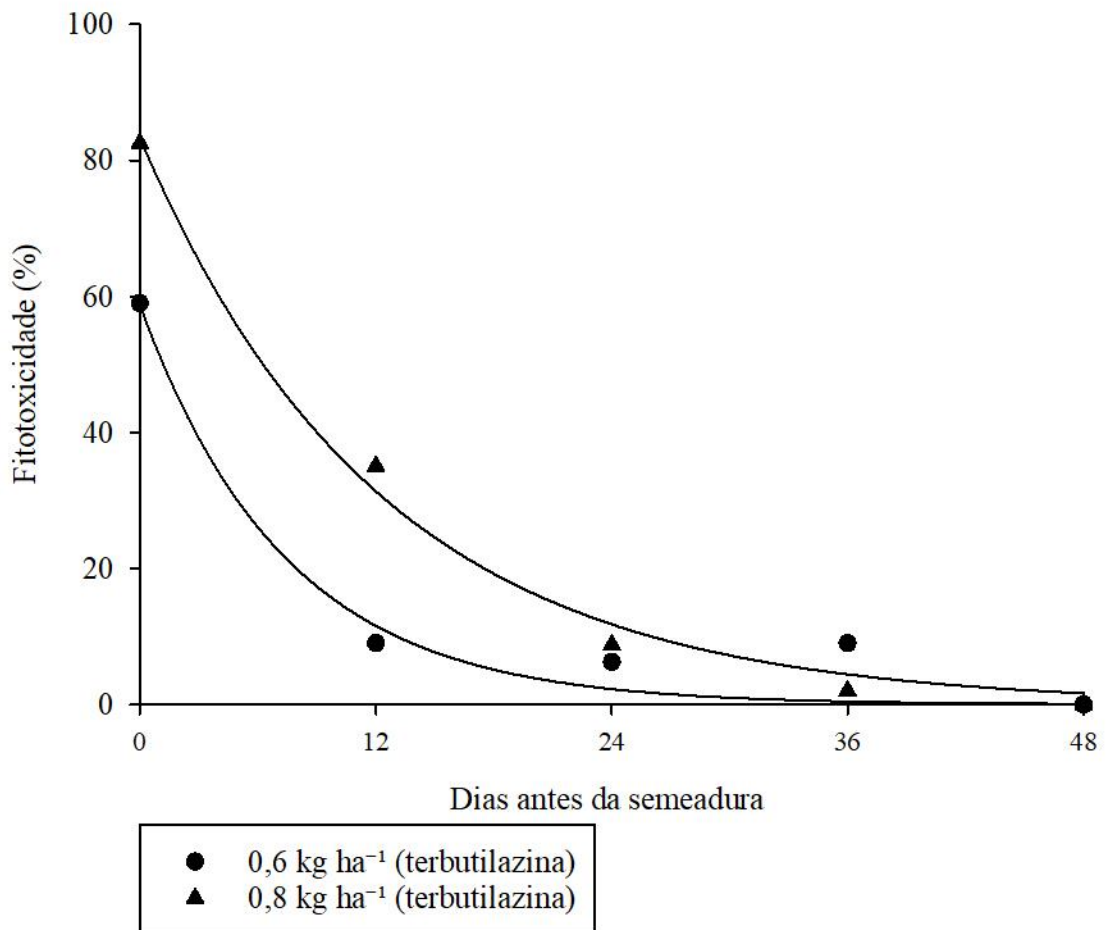


Tabela 9- Estimativas dos parâmetros a, b e X₀, coeficiente de determinação (R²) do modelo ajustado para avaliação de fitointoxicação aos 7 DAE. Assis-SP/Arenoso, 2024.

HERBICIDA	a	b	y ₀	R ²
Terbutilazina à 0,6 kg i.a. ha ⁻¹	83,28	0,08	0	0,99
Terbutilazina à 0,8 kg i.a. ha ⁻¹	58,71	0,13	0	0,95

Aos 21 DAE, a fitotoxicidade respondeu tanto ao período entre a aplicação da terbutilazina e a semeadura (DAS) quanto à dose, com interação significativa entre os fatores.

O desdobramento da interação mostra que a diferença entre doses é mais impactante nos menores intervalos entre a aplicação e a semeadura da soja (Figura 6). Aos 0 DAS, 95,5% (0,8

kg i.a ha⁻¹) versus 85,5% (0,6 kg i.a ha⁻¹); em 12 DAS, 53,0% versus 26,75%. A partir de 24 DAS, as doses não diferiram entre si (9,5% vs 13,0%), e em 36–48 DAS ambas ficaram próximas de zero. Na comparação por Dunnett (5%), os tratamentos de 0, 12 e 24 DAS diferiram do controle; já 36 e 48 DAS não diferiram. A tendência é de decaimento rápido da fitotoxicidade com o aumento do intervalo aplicação/semeadura e com efeito de dose concentrado nos períodos mais curtos (0–12 DAS). Os valores referentes a cada parâmetro do modelo escolhido assim como o coeficiente de determinação estão representados na Tabela 12.

No estudo realizado em solo arenoso a maior fitotoxicidade observada é compatível com o menor potencial de mobilidade da terbutilazina, sua tendência a permanecer concentrada nos primeiros centímetros do solo favorece o contato e a absorção radicular nas fases iniciais da soja. Estudos de campo indicam que a terbutilazina se move menos que a atrazina e que os maiores resíduos ficam na camada superficial do solo. Em estudos na Nova Zelândia não foram detectados resíduos abaixo de 10 cm, e as meias-vidas em campo foram da ordem de 23 dias (solo arenoso) e 34–39 dias (solo mais argiloso), indicando, ao mesmo tempo, maior persistência e maior tempo para degradação em solos argilosos em comparação aos arenosos (James et al, 1998; Carretta et al, 2018).

A disponibilidade e o comportamento da terbutilazina no perfil do solo são fortemente modulados pelo teor de carbono orgânico seguido de sua textura. A matéria orgânica e argila apresentam elevada capacidade de adsorção, imobilizando moléculas nos colóides e reduzindo a fração do herbicida na solução do solo (Silva et al., 2021).

Carretta et al. (2018) observaram tempos de meia-vida (DT50) maiores no solo de textura argilosa, em todas as profundidades avaliadas, em comparação ao solo arenoso. Em ambientes mais argilosos e ricos em matéria orgânica, a maior adsorção diminui a disponibilidade imediata do herbicida para a fase aquosa e, por consequência, a exposição microbiana, contribuindo para maior persistência. Já em solos arenosos, com menor teor de matéria orgânica, a fração em solução é mais elevada, o que favorece a absorção por sementes e raízes, torna a molécula mais suscetível à degradação microbiana e aumenta o risco de lixiviação.

Somado a isso, as condições meteorológicas locais reforçam a diminuição do produto ao longo do tempo. Os intervalos de aplicação de 0 e 12 DAS acumularam menos de 20 mm de até a semeadura, enquanto os períodos 24 e 36 DAS receberam chuvas acumuladas em torno de 48–50 mm, e 48 DAS 69 mm. Em cenários de temperaturas mais altas, solos arenosos pobres em matéria orgânica e maior umidade, a meia-vida da terbutilazina tende a encurtar. Segundo o estudo de Ismail e Dan-Lin (2003), a meia-vida foi menor a 35 °C do que a 20 °C e também

menor em maior teor de umidade, com papel claro da atividade microbiana. A umidade, portanto, tem papel importante ao estimular a atividade microbiológica do solo que promove a degradação da terbutilazina.

Figura 6-Fitotoxicidade das plantas de soja aos 21 DAE nas doses de 0,6 e 0,8 kg ia ha⁻¹ Assis-SP/Arenoso.

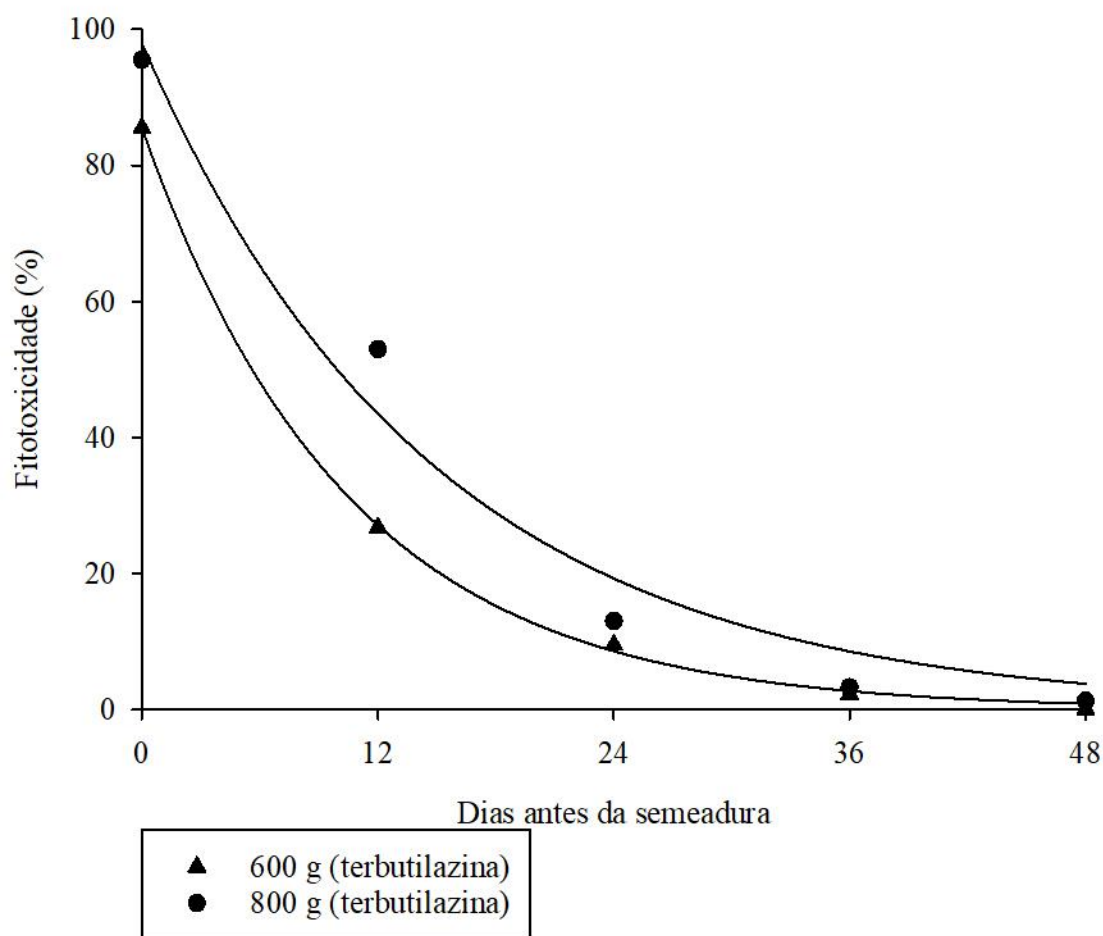


Tabela 10- Estimativas dos parâmetros a, b e X0, coeficiente de determinação (R²) do modelo ajustado para avaliação de fitointoxicação aos 21 DAE. Assis-SP/Arenoso, 2024.

HERBICIDA	a	b	y0	R ²
Terbutilazina à 0,6 kg i.a ha ⁻¹	85,46	0,09	0	0,99
Terbutilazina à 0,8 kg i.a ha ⁻¹	97,94	0,06	0	0,96

Para a variável produtividade, a análise de variância indicou efeito significativo apenas para o fator período sobre a produtividade da soja, além de diferenças significativas entre os tratamentos e a testemunha (sem herbicida) segundo o teste de Dunnett (5%) (Figura 7). Não houve efeito significativo da dose do herbicida nem interação significativa entre os fatores intervalo e dose. De acordo com o teste de Dunnett, os tratamentos com intervalos mais curtos (0, 12 e 24 dias) apresentaram produtividades de soja significativamente inferiores às da testemunha, por outro lado, os intervalos de 36 e 48 dias não se diferenciaram da testemunha. Observou-se redução no rendimento da soja à medida que o intervalo entre aplicação e semeadura diminuía. Em resumo, os maiores intervalos (36 e 48 dias) resultaram nas maiores produtividades, estatisticamente equivalentes entre si e semelhantes à testemunha, enquanto que os intervalos menores que 24 dias promoveram reduções drásticas na produtividade em relação à testemunha, com destaque para o intervalo 0 dia, que teve o menor rendimento médio.

A relação linear entre o intervalo de aplicação e a produtividade de soja mostrou-se significativa, com coeficiente de determinação $R^2 = 95,14\%$. O coeficiente angular estimado foi de 39,29, indicando um incremento médio de 39,3 kg ha⁻¹ na produtividade a cada dia adicional de intervalo entre a aplicação da terbutilazina e a semeadura da soja. A equação ajustada do modelo foi: $y = 39,294x + 781,12$, em que y representa a produtividade (kg ha⁻¹) e x o número de dias de intervalo. Considerando a faixa de não-diferença da testemunha definida por média \pm DMS de Dunnett, o limite inferior foi de 2065,48 kg ha⁻¹. Igualando esse valor à equação, encontra-se que o ponto em que a produtividade prevista das parcelas tratadas se equivale à testemunha seria em torno de 32 dias de intervalo. Em outras palavras, a partir de 32 dias entre a aplicação da terbutilazina e a semeadura, o rendimento da soja nos tratamentos deixa de diferir estatisticamente do rendimento da testemunha. Os valores referentes a cada parâmetro do modelo escolhido assim como o coeficiente de determinação estão representados na Tabela 11.

Caratti et al. (2013), por exemplo, investigaram o efeito residual da atrazina quando aplicada em diferentes intervalos antes da semeadura da soja. Os autores relataram uma redução de aproximadamente 22% na produtividade quando a soja foi semeada 18 dias após a aplicação de atrazina, diferença significativa em relação à área sem atrazina. Por outro lado, nos intervalos de 36 e 54 dias após a aplicação, não houve diferença na produtividade comparados à testemunha.

Caratti et al. (2013) atribuem esses resultados de dissipação de atrazina no solo ao longo do tempo, favorecido por condições de precipitação elevada durante o intervalo entre a

aplicação e as semeaduras mais tardias. Um acúmulo de cerca de 250 mm de chuva no mês após a aplicação teria contribuído para lixiviar o herbicida e acelerar sua degradação, reduzindo o residual para os intervalos de 36 e 54 dias.

Por sua vez, Peruzzo et al. (2020) confirmaram uma situação na qual o residual de 2 kg i.a ha⁻¹ de atrazina não resultou em efeitos fitotóxicos nem prejuízos na produtividade, mesmo nos menores intervalos testados. Nesse estudo, avaliaram períodos que variaram de 14 até 56 dias entre a aplicação de atrazina isolada ou atrazina + simazina e a semeadura da soja.

Os autores também atribuem a ausência de impacto residual a fatores edafoclimáticos do experimento. O solo apresentou textura argilosa (60% de argila) e considerável teor de matéria orgânica (3,2%) ocorreu grande quantidade de chuvas (490 mm) no intervalo entre a aplicação dos herbicidas e o plantio da soja. Esse alto volume de precipitação teria promovido a dissipação do herbicida por lixiviação e escoamento superficial. Dessa forma, nas condições de Peruzzo et al. (2020), o residual das triazinas foi provavelmente removido das camadas superficiais ou degradado antes de atingir as raízes da soja, de modo que mesmo um intervalo curto (14 dias) não causou injúrias visíveis ou perda no rendimento.

Esse resultado se diferencia com o experimento de Assis, evidenciando como o regime de chuvas pode influenciar o efeito residual de herbicidas. Em uma condição de ambiente de chuva intensa, o potencial residual do herbicida é afetado drasticamente, por outro lado em ambiente de baixa chuva, a molécula pode persistir ativa por tempo maior, ocasionando fitotoxicidade se a cultura for semeada precocemente.

Carretta et al. (2018) destacam que as condições de umidade do solo influenciam fortemente a taxa de degradação da terbutilazina. Solos com maior teor de água favorecem a dissipação, pois a umidade reduz a adsorção do herbicida às partículas do solo e estimula a atividade microbiana. Foi observado, por exemplo, que logo após eventos de chuva a degradação da terbutilazina e do metolaclo-ro se acelerou.

Do ponto de vista das propriedades físico-químicas, a terbutilazina apresenta menor mobilidade no ambiente comparada à atrazina. Sua solubilidade em água é de 8,5 mg L⁻¹, muito inferior à da atrazina (34 mg L⁻¹), e o coeficiente de partição orgânico (K_{oc}) varia de 162 a 278 mL g⁻¹, significativamente mais alto que o da atrazina (100 mL g⁻¹). Além disso, o coeficiente de partição octanol-água (log K_{ow}) da terbutilazina é 3,04, indicando caráter mais hidrofóbico que o da atrazina (log K_{ow} ~2,3–2,6).

Esses dados indicam que a terbutilazina tende a adsorver-se moderadamente ao solo e tem menor tendência à lixiviação, permanecendo na camada superficial na ausência de chuva

forte. No solo arenoso de baixa matéria orgânica com apenas 15% de argila em Assis, a capacidade de retenção do herbicida pelas partículas do solo é limitada; entretanto, isso não resultou em dissipação rápida, provavelmente devido à limitada quantidade de chuva que impediu a sua degradação e/ou percolação do herbicida para camadas mais profundas.

Com pouca matéria orgânica, argila para adsorvê-lo e água para transportá-lo ou degradá-lo, pode-se inferir que o herbicida permaneceu em solução ou na fase aquosa do solo superficial, estando altamente disponível para o contato com as raízes da soja germinada nos tratamentos com a aplicação em intervalos curtos. Conseqüentemente, as plantas sofreram intensa fitotoxicidade inicial, refletida nas produtividades extremamente baixas em 0 e 12 dias de intervalo. Apenas após um período ≥ 32 dias, as perdas de herbicida foram suficientes permitindo que a soja semeada nesses intervalos mais longos se desenvolvesse sem diminuição de rendimento em comparação à área sem herbicida.

Figura 7-Produtividade média de soja estimada nas doses de 0,6 e 0,8 kg i.a ha⁻¹ em solo arenoso.

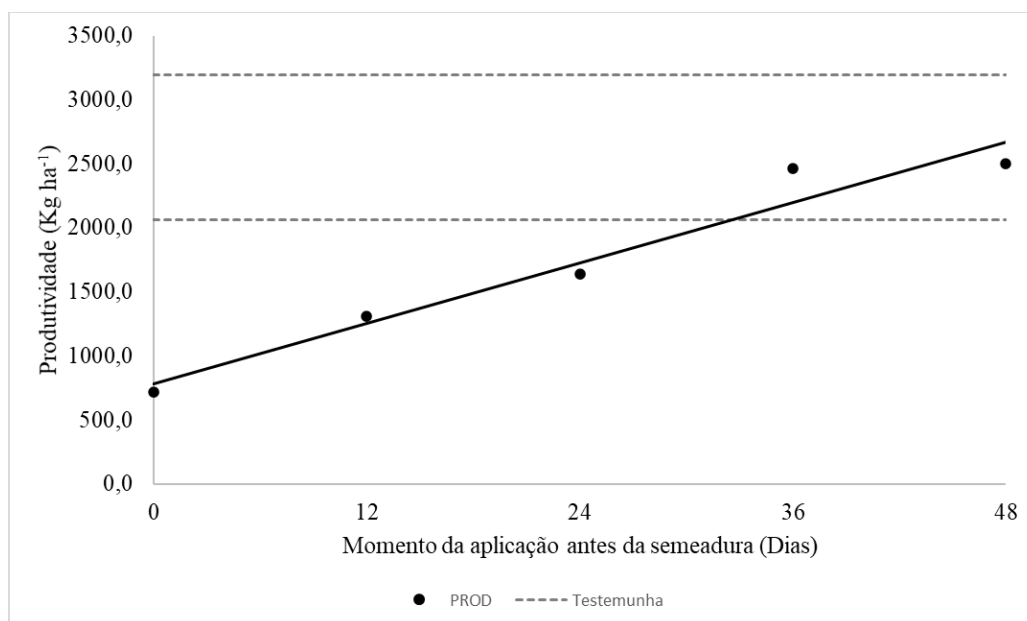


Tabela 11- Estimativas dos parâmetros a, b e X0, coeficiente de determinação (R²) do modelo ajustado para avaliação de fitointoxicação aos 22 DAE. Assis-SP/Arenoso, 2024.

HERBICIDA	m	b	R ²
Terbutilazina à 0,6 e 0,8 kg i.a ha ⁻¹	39,29	781,12	0,95

Para a massa de mil grãos (MMG), a ANOVA não detectou efeito significativo nem do período entre aplicação e semeadura, nem das doses de terbutilazina, tampouco da interação entre esses fatores; da mesma forma, as comparações com a testemunha pelo teste de Dunnett também não indicaram diferenças. As médias por período variaram em torno de 160–164 g. 1000 grãos⁻¹, todas estatisticamente equivalentes; para as doses, as médias oscilaram de 162,88 a 160,07 g 1000 grãos⁻¹, também semelhantes. A média geral foi de 161,83 g. 1000 grãos⁻¹, com CV = 6,16%.

5.2 Estudo I - Campo (Bandeirantes-PR)

Os resultados da análise de variância, referentes a todas as variáveis analisadas no experimento em solo argiloso, encontram-se na Tabela 12.

Tabela 12-Análise de variância (teste F) para as variáveis da soja em função dos períodos de aplicação anteriores à semeadura nas doses de 0,6 e 0,8 kg ha⁻¹ em solo argiloso.

Variáveis	DAS	Dose	DAS X Dose	Fat X Contr	CV (%)
Estande 22 DAE	0,25 ns	0,32 ns	0,80 ns	<0,01 ns	7,36
Altura 14 DAE	1,54 ns	0,02 ns	0,63 ns	0,02 ns	8,79
Fitointoxicação 14 DAE	1070,71 **	75,36 **	75,36 **	97,33 **	21,26
Produtividade	1,70 ns	0,55 ns	0,51 ns	1,36 ns	9,04
Massa de mil grãos	0,47 ns	0,01 ns	1,18 ns	0,001 ns	4,52

DAS: Dias antes da semeadura; DAE Dias após a emergência; ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$); * Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$); ns não significativo ($p \geq .05$); Fat X Contr Fatorial versus Controle; CV Coeficiente de variação

Na avaliação do estande aos 22 DAE não se detectou efeito significativo do período entre aplicação e semeadura, das doses de terbutilazina, nem da interação entre esses fatores; também não houve diferença em relação à testemunha pelo teste de Dunnett (dados não apresentados).

Aos 14 DAE, a variável altura das plantas não apresentou diferenças estatísticas para o período entre aplicação e semeadura, nem para a dose de terbutilazina, nem para a interação entre esses fatores alteraram a altura, e as comparações com a testemunha também não indicaram diferenças (dados não apresentados).

Para fitointoxicação aos 14 DAE (%) foram observadas diferenças apenas quando a aplicação coincidiu com o dia da semeadura. A média foi de 9,0% na dose de 0,6 kg i.a ha⁻¹ e 15,5% na de 0,8 kg i.a ha⁻¹. Para os demais intervalos (12, 24, 36 e 48 dias antes da semeadura),

as notas permaneceram em 0% para ambas as doses. A ANOVA indicou efeito da interação período × dose (Tabela 13).

Tabela 13- Fitointoxicação aos 14 DAE em solo argiloso nas doses de 0,6 e 0,8 kg ha⁻¹.

Períodos	Dose kg i.a ha ⁻¹	
	0,6	0,8
48	0,0 a	0,0 a
36	0,0 a	0,0 a
24	0,0 a	0,0 a
12	0,0 a	0,0 a
0	9,0 b	15,5 a
DMS (linha)	0,6843	
C.V. (%)	21,26	

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A produtividade da soja não foi influenciada pelo período entre aplicação e semeadura nem à dose de terbutilazina (Dados não apresentados), e também não houve interação entre esses fatores. No comparativo com a testemunha nenhum tratamento diferiu, confirmando que, nas condições avaliadas, a produtividade se manteve estatisticamente equivalente entre doses e aos intervalos de antecedência de semeadura.

Analisando os ensaios de forma conjunta, nota-se que em solo arenoso, 15% de argila e 1,0% de M.O, a soja apresentou fitotoxicidade mesmo quando a terbutilazina foi aplicada 24 dias antes da semeadura. Por outro lado, em Bandeirantes, PR, (solo argiloso, 60% de argila; 2,28% de MO), só houve fitotoxicidade quando a aplicação ocorreu no dia da semeadura. O maior regime de chuvas acumuladas (160 mm) entre a aplicação e a semeadura em Bandeirantes podem ter acelerado a degradação e redução da persistência da molécula, fator esse aliado à textura do solo, que devido ao maior teor de argila contribui para maior retenção das moléculas aos coloides do solo. A umidade presente no solo induz a atividade microbiana do meio que age como agente degradador da molécula terbutilazina disponível em solução (Carretta et al., 2018).

Em um estudo com imazethapyr em milho que buscou entender a interação de fatores como tipo de solo, irrigação e períodos de aplicação antes da semeadura, observou-se menor fitotoxicidade sob irrigação diária em solo argiloso e maior toxicidade em solo arenoso, evidenciando que a água aumenta a atividade microbiana e acelera a degradação do herbicida, além de reforçar o possível efeito de lixiviação (Carretta et al., 2018; Carvalho et al., 2018).

Ao mesmo tempo, o maior teor de matéria orgânica presente no ensaio em Bandeirantes pode também ter provocado aumento da sorção da molécula à fração orgânica que culminou na diminuição da disponibilidade de terbutilazina na solução do solo. Um estudo avaliando a sorção da atrazina em diferentes tipos de solos brasileiros deixou evidente o papel dominante da matéria orgânica na retenção de triazinas, que mostraram que a maior parte da atrazina fica associada à fração orgânica (74%), enquanto a contribuição dos óxidos de Fe e da fração mineral é secundária (26%) (Dick et al, 2010).

Apesar do leve efeito residual de fitotoxicidade observado, esse nível não foi suficiente para reduzir o potencial produtivo da cultura. Resultado semelhante foi descrito por Peruzzo et al. (2020) com atrazina, atribuindo a ausência de efeito deletério às chuvas intensas ocorridas durante o período de aplicação. De modo geral, o resultado observado no presente estudo decorre da ação conjunta de múltiplos fatores do ambiente como textura (fração argila), teor de matéria orgânica, regime de chuvas e umidade do solo, aliados às características intrínsecas do herbicida, que juntos modulam a disponibilidade da terbutilazina no solo e, por consequência, a expressão de fitotoxicidade em cada local.

A variável massa de mil grãos (MMG) não sofreu influência pelos fatores analisados isoladamente e nem para sua interação (Dados não apresentados). O efeito de blocos não foi significativo. Quando comparado à testemunha (Dunnett, 5%), nenhum tratamento diferiu. Em síntese, nas condições avaliadas, o MMG não sofreu alterações em resposta aos fatores aplicados, intervalos de aplicação antecedentes à semeadura e doses de terbutilazina.

5.3 Estudo II - Casa de vegetação (Bandeirantes-PR)

Os resultados da análise de variância referentes a todas as variáveis analisadas no experimento em casa de vegetação encontram-se na Tabela 14.

Tabela 14- Análise de variância (teste F) para as variáveis da soja avaliadas em casa de vegetação

Variáveis	ANOVA FATORIAL			ANOVA	CV (%)
	Cultivar	Não APP/APP	APP X Cultivar		
Emergência	4,13 **	0,01 ns	0,38 ns	-	39,86
SPAD	5,00 **	197,39 **	2,99 *	-	6,82
Fitointoxicação 7 DAE	-	-	-	41,81 **	6,46
Fitointoxicação 14 DAE	-	-	-	18,01 **	7,68
Fitointoxicação 21 DAE	-	-	-	17,28 **	8,12
Massa Fresca	1,34 ns	87,85 **	0,55 ns	-	41,61
Massa Seca	0,89 ns	167,40 **	1,26 ns	-	29,84

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$); * Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$); ns não significativo ($p \geq .05$); APP Aplicado; APP X Cultivar Aplicação versus Cultivar; CV Coeficiente de variação; ANOVA Análise de variância; DAE Dias após a emergência

Na avaliação de emergência de plantas, a interação entre os fatores cultivares e aplicação de terbutilazina foi não significativa. Apenas para o fator cultivares observou-se efeito da aplicação dos herbicidas. Nesse caso, verificou-se maior emergência para o material Monsoy 6601 IPRO (4,3) em relação ao BMX Lótus IPRO (2,0). BASF CZ 26B55 IPRO (3,5), NK 6630 IPRO (3,1) e 64IX66 (3,6) compuseram um grupo intermediário, equivalentes entre si (Tabela 15). Dessa forma, devido à ausência de efeitos causados pelo herbicida, os dados sugerem que as diferenças observadas são em decorrência das características inerentes de cada material.

Tabela 15- Emergência (plantas emergidas) de soja aos 8 dias após a semeadura.

Cultivares	Emergência
BMX Lótus	2,0 b
BASF CZ 26B55	3,5 ab
Monsoy 6601	4,3 a
NK 6630	3,1 ab
64IX66	3,6 ab
C.V.(%)	39,86
DMS	1,68

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Já para a variável fitointoxicação (%), avaliada aos 7, 14 e 21 dias após a emergência (DAE), os resultados mostraram diferenças entre as cultivares. Aos 7 DAE, o cultivar NK 6630 foi o que apresentou a maiores níveis de injúrias, enquanto o cultivar Monsoy 6601 manteve a menor fitointoxicação, (Tabela 20).

A evolução temporal manteve desempenho semelhante entre os cultivares analisados. Aos 14 DAE, o NK 6630 alcançou 99,0%, BMX Lótus, BASF CZ 26B55 e 64IX66 permaneceram estatisticamente equivalentes entre si (82,2–85,0%), e o Monsoy 6601 como o cultivar menos afetado (65,0%). Aos 21 DAE, o padrão de diferença entre os cultivares continuou com o NK 6630 (99,0%) superior quanto ao maior grau de fitointoxicação, BMX Lótus e BASF CZ 26B55/64IX66 (81,8–85,5%) seguiram estatisticamente equivalentes entre si, e o material Monsoy 6601 (64,0%) caracterizado como o cultivar com menor efeito deletério causado pela terbutilazina quando comparado aos demais.

Em síntese, o ranking de sensibilidade foi NK 6630 > (BMX Lótus = BASF CZ 26B55 = 64IX66) > Monsoy 6601, e esse padrão se manteve estável durante as avaliações de 7 a 21 DAE conforme representado na Tabela 16.

Conforme Ramanathan et al. (2025), ao trabalharem com cinco genótipos de soja e avaliar a sensibilidade destes a doses de atrazina em pré-emergência, os autores confirmaram que as diferentes respostas dos materiais de soja à atrazina são em função da concentração do herbicida no solo e da tolerância específica de cada genótipo.

O alto grau de fitointoxicação observado no cultivar NK 6630 (99,0%) resultou em injúria severa. Esse nível de dano é comparável à injúria severa observada no estudo de Correia (2021) com herbicidas inibidores da ALS para cultivares de soja sensíveis ou tolerantes. Por exemplo, metsulfuron-methyl, em pré emergência, e ethoxysulfuron, em pós emergência, causaram injúrias com notas superiores a 80%, chegando a 98,12% em cultivares sensíveis como BRS 5980IPRO, BRS 7581RR e BRS 7481. Enquanto a maioria dos cultivares foram altamente sensíveis ao metsulfuron (98% para BRS 5980 IPRO), um material genético distinto apresentou resposta diferencial de sensibilidade ao herbicida (40% para BRS 7380 RR) no experimento de campo conduzido por Correia (2021). De forma similar, no presente estudo, o cultivar Monsoy 6601 destacou-se entre os demais por apresentar menor fitointoxicação (64%).

Tabela 16-Fitointoxicação (%) de soja aos 7, 14 e 21 dias após emergência (DAE).

Cultivares	7DAE	14DAE	21DAE
BMX Lótus	68,6 b	84,4 b	85,5 b
BASF CZ 26B55	76,6 b	82,2 b	81,8 b
Monsoy 6601	53,0 c	65,0 c	64,0 c
NK 6630	90,4 a	99,0 a	99,0 a
64IX66	75,3 b	85,0 b	84,6 b
C.V(%)	6,46	7,68	8,12

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Na leitura do teor de clorofila (SPAD), a ANOVA fatorial indicou efeito para a interação entre os fatores. Como houve interação, a interpretação foi feita dentro de cada cultivar. Como resposta à aplicação em todos os cultivares, a terbutilazina reduziu o SPAD em todos os cultivares (Tabela 17) Entre os controles (não aplicados) não houve diferença entre cultivares, enquanto, entre os tratados, o NK 6630 apresentou SPAD inferior aos demais.

O maior decréscimo de SPAD em NK 6630 (-33,7%) acompanha as maiores notas de injúria (90–99%), indicando maior intensidade do estresse. Esse padrão é compatível com a inibição do Fotossistema II provocado por herbicidas deste mecanismo de ação. O bloqueio do fluxo de elétrons favorece a formação de espécies reativas de oxigênio, intensifica a peroxidação das membranas dos tilacóides e acelera a degradação das clorofilas. Como consequência, os tecidos exibem clorose seguida de necrose e os índices SPAD diminuem, confirmando uma leitura fisiológica coerente com os sintomas visuais. Em termos de sensibilidade, o desempenho do NK 6630 sugere menor capacidade de mitigação do estresse, o que explica a associação entre fitotoxicidade elevada e redução de SPAD (Ramanathan et al., 2025).

Tabela 17-Teor de clorofila nas plantas de soja aos 14DAE em diferentes cultivares de soja.

Cultivares	Aplicação	
	Não	Sim
BMX Lótus	33,0 aA	24,5 aB
BASF CZ 26B55	30,6 aA	25,5 aB
Monsoy 6601	31,5 aA	25,1 aB
NK 6630	31,5 aA	20,9 bB
64IX66	33,8 aA	26,1 aB
DMS (linha)	2,4655	
DMS (coluna)	3,4827	
C.V. (%)	6,82	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Para a massa fresca de parte aérea (Tabela 18), o fatorial mostrou efeito da aplicação e ausência de diferenças entre cultivares e de interação entre os fatores. O fator cultivar não foi significativo, assim como a interação cultivar×aplicação. Já a terbutilazina reduziu de forma consistente a massa fresca. A média caiu de 3,54 g na testemunha para 1,02 g nos vasos tratados, uma redução próxima de 71%. Como não houve interação, a ênfase recai sobre as médias dos níveis do fator ``aplicação``, ou seja, independentemente do material genético, a aplicação 15 dias antes da semeadura diminuiu a massa fresca das plantas.

Para a variável massa seca (Tabela 19), repetiu-se o mesmo padrão: sem efeito de cultivar e sem interação entre os fatores, porém, com efeito significativo para o fator aplicação. A massa seca média passou de 1,652 g nos controles para 0,485 g nos tratados, correspondendo a uma redução em torno de 70,6%. Assim, para esta variável também, as médias marginais do fator aplicação indicam que a terbutilazina aplicada 15 dias antes da semeadura reduziu a massa acumulada de forma semelhante em todos os cultivares.

Apesar da ausência de interação entre os fatores analisados, a leitura isolada de massa fresca ou seca pode induzir equívocos na comparação entre os materiais de soja analisados. As avaliações fotossintéticas são valiosas por captarem desajustes fisiológicos que não aparecem

em notas visuais ou na biomassa. No presente estudo, o SPAD distinguiu cultivares, indicando diferenças reais de resposta à terbutilazina que a biomassa não revelou. Assim, a interpretação da seletividade deve incorporar, além da biomassa, para representar com maior fidelidade a sensibilidade dos materiais (Ramanathan et al., 2025).

Tabela 18-Massa fresca (g) das plantas de soja aos 21DAE.

Cultivares	Aplicação	
	Não	Sim
BMX Lótus	3,12	0,67
BASF CZ 26B55	3,48	1,10
Monsoy 6601	3,81	1,80
NK 6630	3,29	0,80
64IX66	3,98	0,74
Médias do fator Aplicação	3,54 a	1,02 b
DMS	0,54272	
C.V. (%)	41,61	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 19-Massa seca (g) das plantas de soja.

Cultivares	Aplicação	
	Não	Sim
BMX Lótus	1,74	0,40
BASF CZ 26B55	1,67	0,70
Monsoy 6601	1,50	0,63
NK 6630	1,56	0,28
64IX66	1,79	0,42
Médias do fator Aplicação	1,65 a	0,49 b
DMS	0,18236	
C.V. (%)	29,84	

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

6 CONCLUSÃO

O período de segurança mínimo para aplicação da terbutilazina e a semeadura da soja (cultivar NK 6630) para o experimento em solo arenoso foi de 32 dias para as duas doses avaliadas (0,6 e 0,8 kg i.a ha⁻¹). Para o experimento conduzido em solo argiloso, as aplicações da terbutilazina não afetaram a produtividade da soja (cultivar NK 6630) em nenhum dos períodos avaliados.

Dentre os materiais de soja avaliados, o mais sensível ao herbicida terbutilazina foi o NK 6630, enquanto o cultivar MONSOY 6601 se mostrou mais tolerante ao herbicida.

7 REFERÊNCIAS

AKPOMIE, T. M., EKANEM, E. O., AKPOMIE, J. O. "Estimando a meia-vida de degradação de herbicidas no solo usando modelos desenvolvidos por computador." **World Journal of Analytical Chemistry** 4, no. 2 (2016): 17-18.

ALBRECHT, L. P. et al. (2021). **Métodos de controle de plantas daninhas**. In: BARROSO, A. A. M.; MURATA, A. T. Matologia: Estudos sobre plantas daninhas. Jaboticabal: Editora Fábrica da Palavra, p. 145-169.

ALBRECHT, L. P. et al. Terbutilazina, atrazina e atrazina + mesotriona para o controle de plantas daninhas em milho de segunda safra no Brasil. **Revista Ceres** , v. 72, p. e72002, 2025.

BARROS, A. C. et al. Tolerância de cultivares de soja aos herbicidas imazaquin, diclosulam e sulfentrazone, aplicados em solo de textura arenosa. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 4, n. 1, p. 1-8, 2005.

BATTAGLINO, B.; GRINZATO, A.; PAGLIANO, C. Binding properties of photosynthetic herbicides with the QB site of the D1 protein in plant photosystem II: a combined functional and molecular docking study. **Plants**, v. 10, n. 8, p. 1501, 2021.

BLANCO, F. M. G.; ALMEIDA, S. D. B.; MATALLO, M. B. Herbicide-soil interactions applied to maize crop under Brazilian conditions (Cap. 3). In: PRICE, A. J.; KELTON, J. A. (Eds.). **Herbicides – Current research and case studies in use**. Rijeka: Intech, 2013. p. 47-73.

BOHN, T. et al. Determination of atrazine and degradation products in Luxembourgish drinking water: origin and fate of potential endocrine-disrupting chemicals. **Food Additives & Contaminantes: Part A**, v. 28, p. 1041-1054, 2011.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Projeto de Lei nº 5.080, de 19 de outubro de 2023. Dispõe sobre a proibição do uso e aplicação do princípio ativo atrazina em todo o território nacional. Brasília, DF: Câmara dos Deputados, 2023. Disponível em:

<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=2397900>.

Acesso em: 8 set. 2025.

CAMPOS, C. F.; VITORINO, H. S.; MARTINS, D. Controle de plantas daninhas com diuron em diferentes condições de luz. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 11, n. 3, p. 258-268, 2012.

CARRETTA, L. et al. Dissipation of terbuthylazine, metolachlor, and mesotrione in soils with contrasting texture. **Journal of Environmental Science and Health**, Part B, v. 53, n. 10, p. 661-668, 2018.

CARVALHO, L.B. **Plantas daninhas**. 1. ed. Lages-SC, 2013.

CARVALHO, S. J. P. et al. Persistência de imazethapyr no solo e toxicidade ao milho semeado em sucessão. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 2, p. 583-1-7), 2018.

CHRISTOFFOLETI, P. J. et al. **Comportamento dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar**. Edição pelos autores: Piracicaba, 2008. 90p.

COBOS, E. M. et al. Profoxydim in Focus: A Structural Examination of Herbicide Behavior in Gas and Aqueous Phases. **Molecules**, v. 29, n. 18, p. 4371, 2024.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. Brasília, DF, v. 12, safra 2024/25, n. 12, décimo segundo levantamento, set. 2025. Disponível em: https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/12o-levantamento-safra-2024-25/e-book_boletim-de-safras-12o-levantamento_2025.pdfAcesso em: 12 jan. 2026.

CONCENÇO, G. et al. **Ciência das plantas daninhas: histórico, biologia, ecologia e fisiologia**. In: MONQUERO, P.A. (Ed.). Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas. São Carlos: Editora Rima – SBCPD, 2014. P. 1-29.

CONSTANTIN, J et al. **Manejo da buva na entressafra**. In: CONSTANTIN, J et al. Buva: fundamentos e recomendações para manejo. Curitiba: Omnipax, p. 104, 2013.

CORREIA, N. M. **Sensibilidade de cultivares de soja da Embrapa a herbicidas do grupo químico das sulfoniluréias**. Planaltina, DF: Embrapa cerrados, 2021. 24p.

DICK, D. P. et al. Matéria orgânica em quatro tipos de solos brasileiros: composição química e sorção de atrazina. **Química Nova**, v. 33, p. 14-19, 2010.

DREVENKAR, V. et al. Levels of atrazine and simazine in Waters in the rural and urban áreas of north-west Croatia. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, v. 84, p. 207-216, 2004.

DUQUE, T. S. et al. Uso de bioindicadoras vegetais para identificação de resíduos de herbicidas no solo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. 1-32, set. 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.8123. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i9.8123>. Acesso em: 8 Jan. 2025.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Trajetória da agricultura brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 8 set. 2025.

GAZZIERO, D. L. P et al. **Resistência das plantas daninhas**. In: KARAM, D.; MAGALHÃES, P.C. (Ed.). Eficiência nas cadeias produtivas e o abastecimento global. Sete Lagoas: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2014. cap. 21, p. 229-234.

GOMES, M. et al. Movimento do herbicida imazetapir em um neossolo quartzarênico típico e em um latossolo de textura média das nascentes do rio Araguaia, município de mineiros (GO). Pesticidas: **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, América do Sul, v.18, 2009.

GONÇALVES, V.A et al. Sorção do indaziflam em solos do Brasil com diferentes valores de pH. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 3, p. 494-504, 2021.

GONZALES, J. M.; UKRAINCZYK, L. Adsorption and desorption of nicosulfuron in soils. **J. Environ. Qual.**, v. 25, p. 186-1192, 1996.

Heril, W. et al. **Production, Development, and Registration of Triazine Herbicides**. in: LeBaron, H. M. The triazine herbicides. 50 years revolutionizing agriculture Elsevier, San Diego, CA, USA (2008).

HESS, F. D. **Mode of action oh photosynthesis inhibitors**. In: Purdue University (ed.). Herbicide Action Course. West Lafayette: CRC Press, 1994a. p. 85-102.

HESS, F. D. Light-dependent herbicides: an overview. **Weed Science**, v. 48, n. 2, p. 160-170, 2000.

INOUE, M.H. et al. Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante. **Acta Sci. Agron.**, v. 30, p. 613-638, 2008.

JAMES, T. K. et al. **Degradation and movement of terbuthylazine in soil**. In: Proceedings of the New Zealand Plant Protection Conference. 1998. p. 157-161.

JAREMTCHUK, C.C. et al. Efeito residual de flumioxazin sobre a emergência de plantas daninhas em solos de texturas distintas. **Planta Daninha**, v.27, n.1, p.191-196, 2009.

LEITE, C. R. F.; ALMEIDA, J. C. V.; PRETE, C. E. C. Sensibilidade de cultivares de soja (Glycine max) aos herbicidas diclosulam e flumetsulam. **Planta Daninha**, v. 18, n. 1, 2000.

MANCUSO, M.A.C.; NEGRISOLI, E.; PERIM, L.A.C. Efeito residual de herbicidas no solo. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 2, p. 151 -164, 2011.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO.

Registro Nacional De Cultivares – RNC. Disponível em: <Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento>. Acesso em: 1 Fev. 2025.

MARCHESAN, E. D. et al. Seleção de espécies bioindicadoras para uso em bioensaios de lixiviação e persistência de atrazina no solo. **Pesticidas: ecotoxicológico e meio ambiente**, Curitiba, v. 21, p. 47-54, dez. 2011. DOI: 10.5380/pes.v21i0.25937. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/pes.v21i0.25937>.

MATTE, W.D et al. Eficácia de [atrazina + mesotrione] para o controle de plantas daninhas na cultura do milho. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 2, p. 587 -1-15, 2018.

MONQUERO, P.A.; SILVA, P.V. (2021). **Comportamento de Herbicidas no Ambiente**. In: BARROSO, A. A. M; MURATA, A. T. *Matologia: Estudos sobre plantas daninhas*. Jaboticabal: Editora Fábrica da Palavra, p.145 -169 .

MOREIRA, K. L. et al. Aplicabilidade de métodos da agricultura de precisão no manejo integrado de vassourinha-de-botão (*Spermacoce verticillata*) e poia-branca (*Richardia brasiliensis*). **Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 21, n. 9, p. e8404, 2024.

NEIVERTH, C. Lixiviação do herbicida atrazina em solos não hidromórficos do estado do Paraná. **EVINCI-UniBrasil**, v. 8,n. 1, p. 288 -299, 2022.

NOVAIS, J.R et al. Residual effect of pyroxasulphone and pyroxasulphone + flumioxazin on contrasting soils: Efeito residual de pyroxasulfone e pyroxasulfone + flumioxazin em solos contrastantes. **Concilium**, v.23 , n .5 , p .15 -32 ,2023.

OLIVEIRA, M. F.; PRATES, H. T.; SANS, L. M. A. Sorção e hidrólise do herbicida flazasulfuron. **Planta Daninha**, v. 23, p. 101-113, 2005.

Oliveira M. F, Brighenti A. M. 2011. Comportamento dos herbicidas no ambiente. In: Oliveira Júnior R. S, Constantin J, Inoue M. H. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax. p.263-304.

OLIVEIRA, R. S.; INOUE, M. H. 2011. Seletividade de herbicidas para culturas e plantas daninhas. In: OLIVEIRA Jr. Et al. (Ed.). **Biologia e manejo de plantas daninhas**. Curitiba: Omnipax. p.243-262.

PERUZZO, F. T. et al. Efeito do resíduo de atrazina e atrazina+ simazina em soja. **Revista De Ciências Agroveterinárias** , v. 1, pág. 64-72, 2020.

POSSAMAI, A. C. S et al. Eficácia da mistura de mesotriona e terbutilazina para o controle de plantas daninhas na cultura do milho. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 14, n. 2, p. 1-10, 2023.

RAMANATHAN, S. S. et al. A sensibilidade à atrazina varia entre cultivares de soja. **Agrosystems, Geosciences & Environment** , v. 8, n. 1, p. e70032, 2025.

ROSS, M. A.; CHILDS, D. J. **Herbicide mode-of-action summary**. Cooperative Extension Service Publication WS-23, Purdue University, West Lafayette, IN. 1996. Disponível em: <<http://www.btny.purdue.edu/weedscience/moa/index.html>>. Acesso em: 02 Dez. 2024

SILVA, A. F., BATISTA, A.C., SILVA , R.S.(2023). **Dispersão de plantas daninhas resistentes a glifosato no Brasil**: recomendações de manejo. Embrapa, Sete Lagoas, MG, 2023.

SILVA, C.C.D et al. Sorption, desorption, half-life and leaching of sulfometuron-methyl in different soil classes. **Revista Caatinga**, v .35 , p .557 -566 ,2022.

SILVA, F. H. K. P. et al. Pesticides in Brazil: an understanding of the current scenario of use and the properties of the soil that act on the dynamics and retention of these molecules. Research, **Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 9, p. e7911931614, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v11i9.31614.

SILVA, F. M. L. et al. Atividade residual de 2, 4-D sobre a emergência de soja em solos com texturas distintas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 10, n. 1, p. 29-36, 2011.

SILVA, I. P. D. F. et al. Herbicidas inibidores do fotossistema II – parte I / Photosystem II inhibitor herbicides - part I. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 7, n. 1, p. 1-11, 2013a.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS (SBCPD) **Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas**. Londrina: SBCPD ,1995 .42p.

STRUTHERS, J.K.; JAYACHANDRAN,K.; MOORMAN,T.B. Biodegradation of atrazine by *Agrobacterium radiobacter* J14 and use of this strain in bioremediation of contaminated soil. **Applied Environmental Microbiology**. 64,p .3368 -3375 ,1998 .

TANTARAWONGSA, P.; KETROT, D. Adsorption of Herbicide Diuron in Pineapple-Growing Soils of Eastern Thailand. **Polish Journal of Environmental Studies**, v29,n1,p285-292 ,2020

TEJADA, M. et al. **Sorption of terbuthylazine in organic matter amended soils: Effects on *Eisenia Fetida* and *Lumbricus Terrestris***. In *Herbicides - Advances in research*; Price, A.J., Kelton, J.A., Eds. IntechOpen: Rijeka, Croatia, 2013; 19–35.

Weed Science Society of America. *Herbicide Handbook*. WSSA (Lawrence). Edição 10, 2014. 513p.