



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

GABRIEL YUKIO OKI

**HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NA RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM ÁREA
DE PASTAGEM**

Prof. Dr. PAULO SÉRGIO DOS SANTOS LELES
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JULHO – 2024



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

GABRIEL YUKIO OKI

**HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NA RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM ÁREA
DE PASTAGEM**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. PAULO SÉRGIO DOS SANTOS LELES
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JULHO - 2024

**HERBICIDAS PRÉ-EMERGENTES NA RESTAURAÇÃO FLORESTAL EM ÁREA
DE PASTAGEM**

APROVADA EM: 16/07/2024

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Paulo Sérgio dos Santos Leles – UFRRJ
Orientador

Prof. Dr. Jerônimo Boelsums Barreto Sansevero - UFRRJ
Membro

Prof. Dr. Aroldo Ferreira Lopes Machado - UFRRJ
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a meu avô, avó e tio (*in memoriam*)

Toshikazu Oki, Akiko Oki e Marco Aurélio da Silva

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Simoni Cunha e meu pai Pedro Oki pelo todo amor e sempre acreditarem em mim.

Aos meus padrinhos Harunori Oki e Maria das Graças pelo todo carinho e apoio que foram essências para a minha formação acadêmica.

Aos meus irmãos Suhara Oki e Miguel Cunha.

À toda minha família, incluindo tias, primos e principalmente avós, por seu suporte e encorajamento.

Aos meus eternos amigos Nogueira, Luan, Coimbra e Cabelinho, minha eterna gratidão pela amizade sincera.

Aos meus amigos de república, pelas risadas compartilhadas e companhia constante.

À minha namorada Camilla Severo pela paciência, companhia e apoio.

A todos os amigos que fiz durante a faculdade.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao Instituto de Florestas pela oportunidade única de cursar Engenharia Florestal.

À minha turma de 2019.1 por compartilhar comigo essa longa jornada na RURAL.

Ao meu orientador Prof, Paulo Leles por todos os ensinamentos, orientações e pela eterna amizade.

À equipe do Laboratório de Pesquisas e Estudos em Reflorestamento (LAPER), pela companhia e apoio durante os trabalhos.

À Reserva Ecológica de Guapiaçu (REGUA) e sua equipe, pelo apoio, ajuda e sempre estarem de portas abertas e incentivarem as pesquisas.

Ao viveiro florestal (Luiz Fernando Capelão), especialmente ao Sr. Sebastião, por todos os ensinamentos e aos cafés servidos.

Aos membros da banca, Profs. Jerônimo Sansevero e Aroldo Machado por aceitarem me avaliar e pelas valiosas sugestões e ensinamentos.

Aos professores, pelos conhecimentos transmitidos ao longo dessa caminhada.

Ao CNPq / PIBIC pela concessão da bolsa de estudo.

A todos que contribuíram para realização deste estudo.

Muito obrigado.

RESUMO

A restauração florestal envolve a formação de povoamentos de espécies arbóreas nativas, e obter rápida cobertura dossel e redução da incidência de gramíneas é imprescindível. Entre as técnicas, o uso de herbicidas pré-emergentes na restauração florestal é uma prática que pode trazer boas perspectivas para o estabelecimento e formação do povoamento implantado. Objetivou-se avaliar a eficácia e o custo de controle de plantas daninhas, e a seletividade a espécies arbóreas nativas em áreas de restauração florestal do Bioma Mata Atlântica com plantio de mudas. O experimento envolveu cinco tratamentos: i) testemunha (T1 - sem aplicação de qualquer herbicida); ii) coroamento manual ao redor das mudas (T2 - tratamento mecânico); iii) aplicação de herbicida à base de Indaziflam (T3); iv) aplicação de herbicida à base de Isoxaflutol (T4); v) aplicação de herbicida à base de Oxyfluorfen (T5). Foi utilizado delineamento em blocos casualizados (DBC) e cinco espécies arbóreas de ocorrência na Mata Atlântica. Os resultados indicaram redução na matéria seca de plantas herbáceas potencialmente daninhas na fase inicial de formação do povoamento, com uso dos herbicidas, principalmente oxyfluorfen, baixa fitotoxicidade aos herbicidas aplicados e recuperação aos sintomas irreversíveis nas mudas arbóreas recém plantadas, além baixa redução no incremento em altura e diâmetro, em comparação com as plantas testemunhas. As cinco espécies arbóreas mostraram tolerância aos herbicidas pré-emergentes. Por outro lado, o tratamento mecânico mostrou-se menos recomendado devido aos custos mais elevados associados. Esses resultados sugerem que aplicação controlada de herbicidas pré-emergentes pode ser uma estratégia eficaz e economicamente viável para otimizar o sucesso da restauração florestal, em regiões tropicais e áreas com alta incidência de *Urochloa* sp.

Palavras-chave: Controle de plantas daninhas, reflorestamento, controle químico.

ABSTRACT

Forest restoration involves the formation of stands of native tree species, and obtaining rapid canopy cover and reducing the incidence of grasses is essential. Among the techniques, the use of pre-emergent herbicides in forest restoration is a practice that brings good prospects for the establishment and formation of the implanted stand. The objective of this study was to evaluate the efficacy and cost of weed control, and the selectivity of native tree species in forest restoration areas of the Atlantic Forest Biome with planting seedlings. The experiment involved five treatments: i) control (T1 - without application of any herbicide); ii) manual crowning around the seedlings (T2 - mechanical treatment); iii) application of Indaziflam (T3)-based herbicide; iv) application of Isoxaflutole (T4)-based herbicide; v) application of Oxyfluorfen-based herbicide. A randomized block design (DBC) and five tree species native to the Atlantic Forest were used. The results indicated a reduction in dry matter of potentially harmful herbaceous plants in the initial phase of stand formation with herbicide use, especially oxyfluorfen, low phytotoxicity to the applied herbicides, and recovery from irreversible symptoms in newly planted tree seedlings, as well as slight reduction in height and diameter growth compared to control plants. All five tree species showed tolerance to pre-emergent herbicides. On the other hand, mechanical treatment was less recommended due to higher associated costs. These results suggest that controlled application of pre-emergent herbicides can be an effective and economically viable strategy to enhance the success of forest restoration in tropical regions and areas with high incidence of *Urochloa* sp.

Keywords: Weed control. Reforestation. Chemical control.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Restauração Florestal.....	2
2.2 Espécies arbóreas da Mata Atlântica	3
2.3 Controle de plantas daninhas e Herbicidas em Restauração Florestal.....	4
2.4 Herbicidas pré-emergentes.....	7
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4.1 Plantas herbáceas	13
4.2 Plantas arbóreas	17
4.3 Custos.....	23
4.4 Avaliação de efeito residual de herbicida no solo	24
5 CONCLUSÃO.....	24
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Herbicidas utilizados para avaliação de controle de matocompetição e tolerância de espécies florestais nativas da Mata Atlântica	11
Tabela 2: Escala de notas utilizada para avaliação visual da fitotoxicidade de herbicidas	12
Tabela 3: Espécies de plantas herbáceas encontradas aos 90 dias após aplicação dos herbicidas e o potencial para restauração florestal	14
Tabela 4: Média de nota de controle (escala de 0 a 100) das plantas herbáceas por linha de plantio, submetidas a três herbicidas pré-emergentes, em quatro épocas após aplicação (DAA)	15
Tabela 5: Massa de matéria seca (g/cova) das espécies herbáceas com maior potencial de tornarem daninhas sob tratamento sem intervenção, com coroamentos ou aplicação de um herbicida, aos 120 dias após plantio das mudas e 90 dias após aplicação herbicida pré-emergente	15
Tabela 6: Valores médios de incremento em altura, incremento em diâmetro, somatório de fitotoxicidade (%) alta ou muito alta aos 14, 28, 60 e 90 dias após a aplicação dos herbicidas e mortalidade de <i>Schinus terebinthifolius</i>	19
Tabela 7: Valores médios de incremento em altura, incremento em diâmetro, somatório de fitotoxicidade (%) alta ou muito alta aos 14, 28, 60 e 90 dias após a aplicação dos herbicidas e mortalidade de <i>Plathymenia reticulata</i>	19
Tabela 8: Valores médios de incremento em altura, incremento em diâmetro, somatório de fitotoxicidade (%) alta ou muito alta aos 14, 28, 60 e 90 dias após a aplicação dos herbicidas e mortalidade de <i>Inga edulis</i>	20
Tabela 9: Valores médios de incremento em altura, incremento em diâmetro, somatório de fitotoxicidade (%) alta ou muito alta aos 14, 28, 60 e 90 dias após a aplicação dos herbicidas e mortalidade de <i>Cordia trichotoma</i>	20
Tabela 10: Valores médios de incremento em altura, incremento em diâmetro, somatório de fitotoxicidade (%) alta ou muito alta aos 14, 28, 60 e 90 dias após a aplicação dos herbicidas e mortalidade de <i>Cariniana estrellensis</i>	21
Tabela 11: Atividades realizadas e custos (R\$/ha) em quatro tratamentos de controle de plantas daninhas até aos 90 dias após o plantio, para formação de povoamentos florestais visando restauração florestal	23

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Somatório da precipitação e média de temperatura máxima e mínima, por quinzena, de 22 de maio a 06 outubro de 2022, em Cachoeiras de Macacu, RJ. Números sobre as barras refere-se aos dias com precipitação durante a quinzena9
- Figura 2: Visão geral da área experimental dessecada, com marcações dos berços de plantio e coroamento, após 30 dias de aplicação de solução de herbicida à base de glyphosate10
- Figura 3: Momento da aplicação dos herbicidas pré-emergentes12
- Figura 4: Controle de plantas daninhas para os tratamentos testemunha (A), herbicida à base de indaziflam (B), herbicida à base de isoxaflutol (C) e herbicida à base de oxyfluorfen (D), aos 90 dias após aplicação dos herbicidas pré-emergentes (DAA)16
- Figura 5: Distribuição das classes de fitotoxicidade em indivíduos das cinco espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica em quatro épocas após aplicação dos herbicidas pré-emergentes18
- Figura 6: Experimento com cultura de sorgo na avaliação do efeito residual do herbicida pré-emergentes no solo para os tratamentos testemunha, herbicida à base de indaziflam, herbicida à base de isoxaflutol e herbicida à base de oxyfluorfen, respectivamente, aos 14 DAA24

1 INTRODUÇÃO

A restauração florestal tem se tornado um tema central nas discussões ambientais da atualidade, e sendo impulsionada pela iniciativa global conhecida como “Década da Restauração” (2021-2030), bem como pelas mudanças climáticas. Essa iniciativa, lançada pela ONU em parceria com a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) e outras organizações, busca acelerar os esforços de restauração florestal em escala mundial (ONU, 2019). Geralmente, a restauração florestal implica no estabelecimento e formação de povoamentos florestais visando a rápida cobertura do dossel, com consequente redução da incidência de gramíneas e permitindo facilitar o aumento da diversidade e densidade de espécies arbóreas nativas (Brancaion *et al.*, 2015). Segundo Brancaion *et al.* (2019), mais de 70%, em termos de área, de implantação dos povoamentos visando restauração da Mata Atlântica é por plantio de mudas.

Em muitas áreas destinadas ao plantio de mudas, é comum encontrar histórico de pastagens dominadas por espécies do gênero *Urochloa* (braquiárias), da família Poaceae. Segundo Resende e Leles (2017), essas gramíneas têm alta eficiência no uso de água e no desempenho fotossintético em regiões tropicais, e segundo Sartorelli *et al.* (2018) elas dominam as áreas abertas, competindo com a flora local e são consideradas como principal barreira da restauração ecológica de ecossistemas terrestres, pois dificultam o estabelecimento das espécies arbustivas e arbóreas. Esse comportamento das braquiárias dificultam os processos ecológicos e aumenta os custos associados à formação de povoamentos florestais, devido a capacidade das gramíneas de se estabelecerem rapidamente no ambiente e competirem com as espécies arbóreas pelos recursos essenciais como espaço, luz, água e nutrientes do solo (Santana *et al.*, 2020b). Assim, na maioria das áreas destinadas à restauração florestal, é necessário o controle de plantas daninhas para permitir o estabelecimento de espécies arbóreas na matriz gramínea, para criar microclimas favoráveis sob suas copas, promover o estabelecimento de plântulas, atrair dispersores de sementes, melhorar as condições do solo e facilitar o crescimento da vegetação arbórea nativa (Scervino; Torezan, 2015).

Uma das estratégias que tem sido utilizada é uso de herbicidas à base de glyphosate (Santos *et al.*, 2018; Santana *et al.*, 2020a; Santos *et al.*, 2020; Lisboa *et al.*, 2023). O herbicida à base de glyphosate é o mais utilizado em áreas de reflorestamento devido a eficiência sobre ampla gama de plantas daninhas comumente presentes nas áreas de plantio, para favorecer o crescimento das plantas arbóreas por diminuir a matocompetição, além de apresentar baixo potencial de contaminação ao ambiente (Leles *et al.*, 2017). Este herbicida é não seletivo, pós-emergente e sistêmico, e com isso a sua aplicação nos locais onde foram abertos os berços de plantio não é recomendado devido possibilidade de fitotoxidez nas plantas arbóreas que foram implantadas.

No preparo da área e do solo, após dessecação da área com herbicida à base de glyphosate, em muitas situações é realizado o coroamento, abertura de berços de plantio com motocoveador e o plantio das mudas. Este revolvimento do solo nos berços de plantio “ativa” o banco de sementes do solo, e com isso alguns dias após o plantio das mudas começa aparecer as plantas herbáceas, e várias dessas espécies se não forem controladas, podem tornar daninhas para as mudas recém plantadas. Assim, herbicidas pré-emergentes tem sido estudado em restauração florestal (Ferreira *et al.*, 2005; Gomes, 2022; Oliveira, 2022; Dutra *et al.*, 2023; Nunes *et al.*, 2023). Esses são produtos com posicionamento de aplicação sobre o solo, que através do seu efeito residual inibem a germinação de semente de plantas daninhas, diminuindo sua incidência (Amim *et al.*, 2016; Khalil *et al.*, 2019) e possivelmente proporcionando maior crescimento inicial as espécies arbóreas.

Herbicidas pré-emergentes têm a capacidade de inibir a germinação ou crescimento das partes jovens das plantas daninhas (Oliveira Jr *et al.*, 2021), pois a ação ocorre quando as plântulas estão em estágio inicial de crescimento, absorvendo o herbicida através do contato direto com o epicótilo entre a germinação e a emergência. No entanto, herbicidas pré-emergentes como indaziflam, isoxaflutol e oxyfluorfen apesar de controlar plantas daninhas, precisa ser avaliado quanto aos seus efeitos sobre as espécies nativas implantadas, a fim de minimizar a fitotoxicidade das plantas arbóreas (Gomes, 2022). Os estudos sobre a eficácia de herbicidas pré-emergentes na restauração florestal podem constituir abordagem inovadora para controlar plantas daninhas, e promover o crescimento de mudas arbóreas recém plantadas.

Objetivou-se nesse trabalho avaliar a eficácia e o custo de controle de plantas daninhas, e a seletividade a espécies arbóreas nativas em áreas de restauração florestal do Bioma Mata Atlântica, com plantio de mudas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Restauração Florestal

A restauração florestal pode ser compreendida como conjunto de ações voltadas para recuperação de ecossistemas florestais, envolvendo intervenções humanas em áreas degradadas, no intuito de acelerar, facilitar ou desencadear os processos naturais de regeneração das florestas (Brancalion; Gandolfi; Rodrigues, 2015). Sua importância está diretamente ligada à necessidade de recuperar áreas perturbadas ou degradadas, garantindo conformidade com a legislação ambiental em diversos setores.

A restauração florestal estabelece povoamentos florestais, frequentemente por meio do plantio de mudas de espécies arbóreas nativas, atuando como catalisador para permitir a chegada e o crescimento de espécies regenerantes naturais (Resende; Leles, 2017). No entanto, Resende *et al.* (2021) destacam que a restauração florestal com plantio de espécies arbóreas nativas é considerada uma ciência em evolução, com muito a aprender e evoluir.

Na maioria das áreas destinadas à restauração florestal, é comum encontrar a descaracterização devido à presença de pastagens degradadas (Santos *et al.*, 2020) e para alcançar o sucesso por meio do plantio de mudas, é essencial eliminar os fatores que causam perturbação na área. Isto permitirá o estabelecimento dos processos ecológicos essenciais para as adaptações das espécies às condições ambientais e iniciar o processo de sucessão ecológica, semelhante ao observado em florestas de estágios avançados (Magnago; Kunz; Martins, 2015). Essa abordagem bem conduzida pode resultar em florestas com elevada diversidade (Martins; Miranda Neto; Ribeiro, 2015).

Para garantir o sucesso da restauração, recomenda-se cobrir o solo com resíduos vegetais, criar condições favoráveis para a fauna, reduzir a erosão e iniciar a ciclagem de nutrientes por meio da deposição de serapilheira (Campello *et al.*, 2017). Esse processo melhora a fertilidade do solo devido à adição de matéria orgânica e umidade, contribuindo para a melhoria das condições do solo ao longo do tempo (Resende; Leles, 2017; Chaer *et al.*, 2021; Brancalion *et al.*, 2015).

Assim, a seleção de técnicas silviculturais é fundamental para o sucesso da restauração (Martins; Miranda Neto; Ribeiro, 2015). Isso inclui considerar a qualidade do sítio, o espaçamento de plantio, a seleção de espécies adequadas, controle de formigas cortadeiras, práticas de adubação, métodos para controlar a matocompetição e outras ações ao longo das etapas de implementação e manutenção dos povoamentos florestais (Leles; Oliveira Neto; Alonso, 2015).

Outro fator importante na eficácia é a seleção das espécies para restauração florestal que deve considerar critérios como rapidez de crescimento, rusticidade, sobrevivência e características de copa (Campello *et al.*, 2017). Geralmente, espécies herbáceas ou arbustivas, epífitas, lianas, entre outras, não são amplamente utilizadas em projetos de restauração, sendo apenas utilizadas para enriquecimento da área (Resende; Leles, 2017). Porém, a diversidade de espécies favorece para melhor estabelecimento e a diversificação dos povoamentos florestais (Chaer *et al.*, 2021).

Geralmente, os projetos de restauração buscam espécies que produzem copas amplas e densas, pois são eficazes para amenizar os processos erosivos e o rápido fechamento do dossel para suprimir a competição das gramíneas (Chaer *et al.*, 2021). Esse fechamento dificulta a germinação do banco de sementes das plantas competidoras devido à tolerância das gramíneas ao sombreamento (Resende; Leles, 2017; Faria *et al.*, 2015).

Brancalion *et al.* (2009) destacam que um dos principais desafios enfrentados na área de restauração florestal refere-se aos custos elevados de implantação e manutenção, o que resulta em desestímulo de recuperação em larga escala, onde está associada à adoção de métodos de controle de plantas daninhas que são pouco eficazes e onerosos. Essas áreas frequentemente são formadas por pastagens predominantemente ocupadas por gramíneas forrageiras, como as braquiárias (*Urochloa sp.*) e o capim colônio (*Panicum maximum*) (Resende; Leles, 2017). Assim, é fundamental reduzir a competição dessas gramíneas sobre as mudas implantadas, especialmente durante as fases iniciais do processo de restauração.

A restauração florestal contribui para mitigar as mudanças climáticas ao aumentar o sequestro e a fixação de carbono na atmosfera (Brancalion; Gandolfi; Rodrigues, 2015). As espécies florestais, devido aos seus ciclos longos, possuem potencial para remoção de CO₂, acumulando carbono em sua biomassa e gerando impactos positivos no ecossistema (Jacovine *et al.*, 2015).

2.2 Espécies arbóreas da Mata Atlântica

Schinus terebinthifolius Raddi, conhecida como aroeira-pimenteira, pertence à família Anacardiaceae. Esta espécie é característica de estágios pioneiros a secundária inicial e pode ser encontrada em diversos tipos de vegetação, incluindo a Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica) nas formações de Baixo-Montana e Submontana, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual e Restinga (Carvalho, 2003). Ocorre em diversos tipos de solos, desde os solos menos férteis até os mais férteis, adaptando-se tanto a solos úmidos quanto secos, arenosos ou argilosos, mas prefere solos bem drenados (Carvalho, 2003). Tem o hábito de possuir forma tortuosa, sem dominância apical definida, com ramificação pesada, bifurcações e multitrancos, variando de arbusto a árvore de porte médio (Carvalho, 2003). A floração é precoce ocorrendo a partir do primeiro ano, e sua polinização é realizada principalmente por abelhas das famílias Meliponinae-Apidae, enquanto a dispersão de sementes é por zoocoria, principalmente aves (Carvalho, 2003). As folhas são compostas imparipinadas e alternas, possui copa baixa, arredondada, densa e larga quando isolada (Carvalho, 2003).

Plathymania reticulada Bentham, conhecida como vinhático, pertence à família Fabaceae. Esta espécie é característica de secundário inicial e encontrada nas Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila Densa do bioma da Mata Atlântica (Carvalho, 2008). Prefere áreas de baixada com solos férteis e alta umidade (Carvalho, 2008). A polinização é realizada por abelhas e diversos insetos pequenos, enquanto a dispersão de sementes é anemocórica, pelo vento (Carvalho, 2008). Tem o hábito de possuir fuste regular, sinuoso e inclinado, sem dominância apical definida, com ramificação pesada e

crescimento rápido (Carvalho, 2008). É uma árvore decídua que perde suas folhas em determinadas épocas do ano, tem sua copa irregular, aberta e pouco densa, e folhas alternas, bipinadas, membranáceas e glabros a ligeiramente pilosos (Carvalho, 2008).

Inga edulis Mart., conhecida como ingá-de-metro, pertence à família Fabaceae. É uma espécie pioneira a secundária inicial, com ciclo de vida inferior a 20 anos, encontrada na Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila Densa no bioma Mata Atlântica (Carvalho, 2014). Ocorre naturalmente em solos brejosos com lençol freático superficial e pH variando de 4,7 a 5,8 (Carvalho, 2014). A polinização é realizada por abelhas e vespas, e a dispersão de sementes é por zoocoria, pelos pássaros, mamíferos, peixes e também por hidrocória (Carvalho, 2014). Apresenta tronco com ramificações acentuadas e crescimento rápido, a copa é densa e plana, e as folhas são compostas, alternas e paripinadas, margem inteira, e glândulas nectaríferas na inserção dos folíolos (Carvalho, 2014).

Cordia trichotoma (Vell.) Arrab. ex Steud., conhecida como louro-pardo, pertence à família Boraginaceae. É uma espécie arbórea do estágio sucessional secundário inicial ao tardio, com tendência a pioneira (Carvalho, 2003). Ocorre em várias formações vegetais, incluindo a Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Floresta Estacional Decidual, Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica), Floresta Ombrófila Mista e Caatinga Arbórea (Carvalho, 2003). Exige solos com fertilidade química média a alta, profundo, bem drenado, com textura de franca a argilosa, devendo-se evitar solos hidromórficos rasos ou arenosos (Carvalho, 2003). A polinização é realizada principalmente por abelhas e diversos insetos, enquanto a dispersão de sementes é anemocórica, com sementes envoltas pelo cálice persistente que funciona como “paraquedas” (Carvalho, 2003). Apresenta crescimento lento a moderado e possui hábito monopodial na fase jovem, com galhos em pseudo-verticilos regulares, de 3 a 5 ramos na mesma altura do tronco (Carvalho, 2003). As folhas são simples, alternas e espiraladas, subcoriáceas, áspera e ricas em pelos na face dorsal e ventral, e a copa é alongada, densifoliada e arredondada (Carvalho, 2003).

Cariniana estrellensis (Raddi) Kuntze, conhecida como jequitibá-branco, pertence à família Lecythidaceae. É uma espécie arbórea de característica secundária tardia ou clímax, encontrada naturalmente na Floresta Ombrófila Densa, na Floresta Amazônica onde ocupa os estratos arbóreos dominante e co-dominante, e na Floresta Atlântica especialmente nas formações das Terras Baixas e Submontana (Carvalho, 2003). Essa espécie ocorre em solos de baixa fertilidade natural, mas cresce melhor nos solos profundos e férteis de textura areno-argilosa a argilosa (Carvalho, 2003). Possui hábito dominante com ramificação irregular e galhos grossos ou com ramificação lateral leve, o seu crescimento é variável de moderado a rápido, e as folhas são simples, lanceoladas, com margem serreada e pecíolo avermelhado quando jovem, e a copa é alta, arredondada com folhagem pouco densa (Carvalho, 2003). A polinização é realizada principalmente por diversos insetos pequenos e abelhas, enquanto a dispersão de sementes é anemocórica (Carvalho, 2003). A espécie investe na formação de banco de plântulas como estratégia reprodutiva, apresentando alta taxa de produção de sementes e baixas taxas de crescimento e mortalidade dos indivíduos estabelecidos (Carvalho, 2014).

2.3 Controle de plantas daninhas e Herbicidas em Restauração Florestal

Para entender o conceito de “plantas daninhas”, é qualquer tipo de espécie vegetal que afeta direta ou indiretamente, nas atividades humanas ao longo do tempo (Silva *et al.*, 2021). Já o termo “plantas exóticas invasoras”, são plantas não originárias do local que colonizam e se expandem para um ecossistema que antes não habitavam naturalmente (Durigan *et al.*, 2013). Outro termo importante é “plantas espontâneas”, que se refere às plantas presentes na área que não prejudicam a restauração florestal e são consideradas aliadas no crescimento das plantas

arbóreas devido à competição com as gramíneas forrageiras (daninhas) por recursos essenciais e desempenham funções importantes como precursoras da fauna, ciclagem de nutrientes e controle de pragas (Resende; Leles, 2017). Os termos que devem ser evitados são “ervas daninhas” e “plantas invasoras”, pois as espécies vegetais daninhas podem ser arbustivas ou arbóreas e muito delas são consideradas espécies nativas dependendo da região de origem (Silva *et al.*, 2021).

Algumas espécies que são consideradas daninhas foram introduzidas acidentalmente ou para fins forrageiros, como capim-braquiária (*Urochloa decumbens*), capim-marandu (*Urochloa brizantha*), capim-marmelada (*Urochloa plantaginea*) e capim-annoni (*Eragrostis plana*), sendo gramíneas de origem africana (Lai *et al.*, 2021). Essas gramíneas atuam como competidoras diretas por recursos essenciais, como água, nutrientes, luz e espaço, além de liberarem substâncias alelopáticas que inibem o crescimento das espécies de interesse (Pereira *et al.*, 2018). Segundo Leles *et al.* (2017), as gramíneas possuem características de maior velocidade de estabelecimento no ambiente e forte competição com as espécies arbóreas, elevando os custos de controle. Além disso, as espécies pertencentes ao gênero *Urochloa* são caracterizadas pelo metabolismo C₄, o que resulta em alta capacidade de produção de biomassa, além de resistirem ao pastejo, essas gramíneas formam sistemas radiculares densos, explorando mais os recursos disponíveis e, ao mesmo tempo, protegendo o solo contra a erosão (Santos, 2016). As espécies pertencentes da família Poaceae se destacam como as mais agressivas para restauração, exigindo alto custo de controle e são frequentemente encontradas nas pastagens da região sudeste do Brasil (Santos *et al.*, 2020).

Os principais métodos empregados na restauração florestal para controle de plantas daninhas incluem os métodos mecânico, físico, cultural e químico (Resende; Leles, 2017; Pereira *et al.*, 2018). O método mecânico envolve o uso de ferramentas de corte, como capina e roçada, realizadas manualmente ou por maquinário, e demonstra custos elevados devido à necessidade de repetidas intervenções, especialmente em áreas dominadas por gramíneas como braquiária (*Urochloa sp.*) e o capim colônio (*Panicum maximum*), que rebrotam após o corte, exigindo controle adicional (Resende; Leles, 2017; Pereira *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2020). O método químico utiliza os herbicidas para controlar as plantas daninhas, oferecendo vantagens na redução das populações de plantas daninhas, diminuindo o período de convivência, disponibilizando mais recursos para as espécies arbóreas, reduzindo a demanda de mão de obra e reduzindo os custos de controle da matocompetição (Resende; Leles, 2017; Pereira *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2018; Albrecht *et al.*, 2021). Além disso, ao realizar a dessecação da área total, forma-se uma camada de palhada seca no solo, que proporciona proteção contra processos erosivos e retarda a germinação de sementes de plantas daninhas provenientes do banco de sementes (Leles *et al.*, 2017)

Herbicida é um produto químico, em concentrações convenientes, é utilizado para inibir o crescimento ou causar a morte de plantas daninhas, garantindo que as culturas de interesse não sejam prejudicadas (Correia, 2021). O herbicida pode ser classificado quanto a época de aplicação, podendo ser aplicado antes (pré-emergentes) ou depois (pós-emergentes) da emergência das plantas daninhas (Correia, 2021). No caso dos herbicidas pré-emergente, aplicação ocorre quando a emergência ainda não aconteceu, sendo o solo o alvo da pulverização para controlar o banco de sementes, enquanto os herbicidas pós-emergentes são aplicados para controlar as plantas que já emergiram na superfície do solo, sendo a planta o alvo da pulverização (Correia, 2021).

É importante diferenciar entre mecanismo de ação e modo de ação. O mecanismo de ação refere-se ao primeiro ponto do metabolismo das plantas onde o herbicida começa a atuar, ou seja, o início de uma série de reações metabólicas que levam ao efeito final do herbicida nas plantas (Oliveira Jr *et al.*, 2021). Já o modo de ação é a sequência completa de todas as

sequências que ocorre desde o contato do herbicida com a planta, incluindo os sintomas visíveis e a morte da planta (Oliveira Jr *et al.*, 2021).

Outra informação importante para aplicação dos herbicidas na restauração florestal envolve a classificação entre herbicidas agrícolas e não agrícolas (NA). Os herbicidas agrícolas são produtos destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens ou na proteção de florestas plantadas, com registros concedidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), atendidas as diretrizes e exigências do Ministério da Saúde e do Ministério do Meio Ambiente (MMA) (BRASIL, 2023). Já os herbicidas não agrícolas (NA) são destinados ao uso nos setores de proteção de florestas nativas ou de outros ecossistemas e de ambientes hídricos, com registros concedidos pelo MMA, via Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), atendidas as diretrizes e exigências do MAPA e do Ministério da Saúde (BRASIL, 2023).

O uso de herbicidas não agrícolas (NA) na restauração florestal tem se mostrado eficiente na formação de povoamentos florestais devido à menor dependência de mão de obra, maior eficácia no controle da matocompetição após plantio das mudas arbóreas e ao menor custo associado à manutenção dos plantios (Leles *et al.*, 2017; Pereira, 2018). Além disso, os herbicidas são amplamente empregados no preparo do solo antes do plantio para formar palhada seca (dessecação química) sobre o solo, o que facilita o coroamento para as aberturas dos berços de plantio, reduz a erosão, conserva a umidade no solo, retarda a germinação de sementes de plantas daninhas (banco de sementes) e diminui a tendência das saúvas formarem ninhos na área (Leles *et al.*, 2017).

Uma das desvantagens é a determinação do tipo adequado de herbicidas a ser utilizado, da dose recomendada, do modo de aplicação, da necessidade de mão de obra especializada, da influência do herbicida em solos com diferentes texturas e teores de matéria orgânica e escassez de estudos sobre os efeitos de herbicidas na restauração florestal (Silva *et al.*, 2009; Leles *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2018). O uso de herbicidas na restauração florestal requer diagnóstico criterioso, considerando aspectos técnicos como condições ambientais, qualidade do sítio, características do solo, as espécies herbáceas no local e a espécie de interesse (Leles *et al.*, 2017), além de favorecer a chegada de plantas arbustivas e arbóreas regenerantes. Santos *et al.* (2018) relatam que um dos principais desafios do uso de herbicidas é a tecnologia de aplicação, sendo essencial o treinamento dos aplicadores, equipamentos adequados de pulverização e o conhecimento dos fatores climáticos que influenciam na eficiência da aplicação, evitando a deriva causada devido ao treinamento inadequado ou aplicação em condição de vento intensivo. Além disso, o uso excessivo de certos herbicidas pode levar à resistência nas plantas daninhas dentro de uma população, aumentando os custos e exigindo novas estratégias de controle (Markus *et al.*, 2021).

Entre os herbicidas NA, o glyphosate (*Roundup* NA) se destaca na restauração florestal devido à não seletividade no controle de plantas daninhas, além de ser um herbicida pós-emergente e sistêmico, ele é rapidamente neutralizado por colóides e quando comparado a outros herbicidas, apresentam o menor custo no mercado (Leles *et al.*, 2017; Oliveira Jr *et al.*, 2021). Esse herbicida pertence à classe dos inibidores de EPSPs, de mecanismo de ação atuando na inibição da atividade da enzima enol-piruvil-chiquimato-3 fosfato sintase, essencial na rota metabólica do ácido chiquímico, onde a inibição dessa enzima resulta na redução dos níveis de aminoácido aromáticos nas plantas, o que compromete a sobrevivência das plantas submetidas ao herbicida (Oliveira Jr *et al.*, 2021).

Santos (2016) estudou o uso de glyphosate na restauração florestal em Bom Jardim – RJ, comparando com métodos mecânicos de controle de plantas daninhas. O autor avaliou o crescimento de dez espécies arbóreas ao longo de 30 meses, com aplicação de glyphosate na

dose de 3 L ha⁻¹, enquanto a testemunha consistiu em roçada e capina. No período de seis meses após o plantio, as plantas submetidas ao glyphosate mostraram crescimento em altura superior ao controle mecânico. Na avaliação final, a cobertura média de copa nas parcelas com herbicida foi de 97,5%, em comparação com 61,3% na testemunha. Além disso, após 18 meses, o controle com herbicida não exigiu mais intervenções, enquanto a testemunha ainda necessitava de manutenção após 30 meses.

Brancalion *et al.* (2009) realizaram estudo sobre a seletividade dos herbicidas isoxaflutol, bentazon e setoxidim em 25 espécies arbóreas, onde os resultados mostraram que o setoxidim é seletivo para todas as 25 espécies testadas, o bentazon para 24 espécies e isoxaflutol para 20 espécies, indicando que esses herbicidas possuem grande potencial para uso na restauração florestal. Duarte *et al.*, (2006) constataram que os herbicidas sulfentrazone e isoxaflutol foram seletivos para as plantas de *Myracrodruon urundeuva* (aroeira), enquanto o oxyfluorfen provocou sintomas de fitotoxicidade, sem comprometer o crescimento das plantas.

Gomes (2022) destaca a necessidade de mais estudos sobre os efeitos de herbicidas específicos nas espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, visando evitar a fitotoxicidade e mortalidade nas plantas arbóreas, no intuito de promover a restauração florestal. Ferreira *et al.* (2005) relatam a falta de conhecimento sobre a seletividade, resistência e efeitos de fitotoxicidade dos herbicidas nas espécies florestais.

2.4 Herbicidas pré-emergentes

Os herbicidas pré-emergentes são aplicados sobre o solo para controlar a pré-emergência de plantas daninhas, através do efeito residual para controlar o banco de sementes no solo e promover vantagens no crescimento inicial das espécies de interesse (Amim *et al.*, 2016; Khalil *et al.*, 2019). Esses herbicidas não impedem a germinação das plantas daninhas, mas eliminam antes da emergência, pois são absorvidos pelo epicótilo durante a germinação e têm capacidade de translocar dentro da plântula antes da emergência, inibindo o processo germinativo e o crescimento (Nissen *et al.*, 2019). Esses produtos normalmente proporciona melhor eficácia no controle de plantas daninhas e reduz as perdas de produtividade e mortalidade de mudas decorrentes da matocompetição (Barroso *et al.*, 2021).

Segundo Barroso *et al.* (2021), ao aplicar herbicidas em pré-emergência é essencial considerar fatores fundamentais relacionados às características do solo, como o teor de matéria orgânica e argila, as condições de umidade no momento de aplicação, abrangendo períodos úmidos, secos ou de transição. De acordo com Monquero e Silva (2021) é fundamental o entendimento das propriedades físico-químicas desses herbicidas pré-emergentes para seu uso no campo como: a solubilidade em água, pressão de vapor, coeficiente de sorção padronizado para o carbono orgânico (Koc), coeficiente de partição octanol-água (Kow), constante de equilíbrio de ionização ácido (pKa), tempo de meia vida (T_{1/2}), entre outros.

Os herbicidas pré-emergentes mais utilizados na silvicultura são flumioxazin, sulfentrazone, isoxaflutol e oxyfluorfen (Machado *et al.*, 2010). Por outro lado, o indaziflam, sendo herbicida pré-emergente de amplo espectro aprovado para uso na silvicultura, na restauração florestal e diversas culturas agrícolas, tem despertado interesse entre pesquisadores brasileiros devido à sua capacidade de exercer efeitos de longo período residual no solo (Dutra *et al.*, 2023).

O ingrediente ativo indaziflam apresenta registro para uso no Brasil como herbicida aplicado em pré-emergência, que pertence ao grupo químico das alkylazine e tem como mecanismo de ação à inibição da síntese de parede celular (Oliveira Jr *et al.*, 2021). Esses autores mencionam que esse ingrediente ativo atua sobre o crescimento do meristema e inibe a biossíntese de celulose, provocando a morte das plântulas devido aos sintomas de clorose e

necrose nos tecidos foliares. Segundo Brosnan *et al.* (2012), este herbicida é utilizado no controle de plantas dicotiledôneas e monocotiledôneas na pré-emergência. Essa molécula apresenta baixa solubilidade em água e alto período residual no solo, mantendo-se por período maior no solo em comparação com outros herbicidas pré-emergentes, e seu uso vem contribuindo para redução do banco de sementes de plantas daninhas (Amim *et al.*, 2016; Scherer *et al.*, 2017).

O isoxaflutol pertence ao grupo químico das isoxazoles e seu mecanismo de ação baseia-se na inibição da síntese de carotenoides, a qual ocorre inibição da enzima p-hidroxifenilpiruvato desidrogenase (HPPD), responsável pela conversão do p-hidroximetilpiruvato à homogentisato, composto essencial na síntese da plastoquinona (Oliveira Jr. *et al.*, 2021). Esses autores mencionam que a inibição dessa enzima provoca sintomas de perda de pigmentação dos tecidos foliares emergentes (branqueamento), paralisação do crescimento e necrose foliar. Segundo Tiburcio *et al.* (2012), estes herbicidas têm eficácia no controle efetivo de plantas monocotiledôneas e algumas dicotiledôneas.

O oxyfluorfen pertence ao grupo químico das difeniléteres e seu mecanismo de ação é a inibição da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX), onde atua na oxidação de protoporfirinogênio à protoporfirina IX, sendo o precursor da clorofila (Oliveira Jr *et al.*, 2021). Este herbicida controla plantas monocotiledôneas e algumas dicotiledôneas (Tiburcio *et al.*, 2012) e tem aplicação em pré ou pós emergência, indicado para o controle de gramíneas e plantas daninhas de folha larga, podendo ser utilizado em eucaliptos, pinus e algumas culturas agrícolas (Rodrigues; Almeida, 2011). Plantas suscetíveis apresentam coloração branca ou cloróticas, seguida de dessecação e necrose, resultando eventualmente na morte da planta (Duarte *et al.*, 2006).

Gomes (2022) estudou os herbicidas indaziflam, isoxaflutole, oxyfluorfen, flumioxazin e sulfentrazone na restauração florestal do bioma Mata Atlântica, avaliando o controle de plantas daninhas e a tolerância de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica. O autor revelou que as espécies arbóreas mostraram boa tolerância aos herbicidas pré-emergentes, porém foram mais sensíveis ao oxyfluorfen, indaziflam e isoxaflutole. Em contrapartida, os herbicidas pré-emergentes flumioxazin e sulfentrazone causaram maiores interferências no crescimento vegetativo e maior fitotoxicidade. O autor observou que os herbicidas promoveram controle eficiente das plantas daninhas, com oxyfluorfen sendo mais eficaz no controle de *Urochloa brizantha* visando restauração florestal.

Oliveira (2022) investigou a eficácia de quatro herbicidas pré-emergentes no controle de plantas daninhas. O estudo demonstrou que indaziflam, isoxaflutole, oxyfluorfen e flumioxazin foram eficientes no controle das plantas daninhas, especialmente aquelas da família Poaceae (gramíneas), sugerindo a viabilidade de seu uso na restauração da Mata Atlântica.

Nunes *et al.* (2023) avaliaram o controle de *Urochloa sp.* com herbicidas pré-emergentes sendo indaziflam, isoxaflutol, oxyfluorfen e flumioxazin em semeadura direta e concluíram que não recomendam essa prática, pois o maior número de indivíduos arbóreos foi observado na testemunha. Os autores destacam que entre os herbicidas aplicados logo após a semeadura direta, o oxyfluorfen parece ser o mais indicado, pois apresentou maior número de indivíduos arbustivos e espécies arbóreas com mais de 1 metro de altura.

No estudo de Dutra *et al.* (2023) avaliaram o potencial do herbicida pré-emergente indaziflam na germinação de 17 espécies arbóreas nativas de florestas tropicais visando restauração por semeadura direta. Os autores observaram que esse herbicida promoveu redução na média de germinação em mais de 35% das espécies e que 59% delas demonstraram sensibilidade, enquanto apenas três espécies não germinaram, indicando que o herbicida indaziflam pode ser recomendado para restauração via semeadura direta.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em área pertencente a Reserva Ecológica de Guapiaçu (REGUA), situada no município de Cachoeiras de Macacu, estado do Rio de Janeiro, nas coordenadas 22°27'32,26" S e 43°45'53,72" O. A área possui relevo plano que varia de plano a suavemente ondulado e altitude média de 35 m. A vegetação local pertence ao Bioma Mata Atlântica, especialmente do tipo Floresta Ombrófila Densa Submontana.

De acordo com classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Am, caracterizado por ser tropical com verão chuvoso e inverno seco, sem estação seca bem definida. Dados coletados pelo Agritempo (2024) entre os anos de 2010 até 2023 indicam que a precipitação média anual na região é de 1.489 mm, com médias mensais variando de 231 mm em fevereiro (período chuvoso) e 24 mm em julho (período seco). As temperaturas médias anuais são de 21°C (mínima), 24°C (média) e 28°C (máxima). A média de precipitação de maio a setembro de 2010 a 2023 é de 230 mm, corresponde a 15,4% da média de precipitação anual. Em 2022 (ano do experimento), a precipitação neste período foi de 161 mm, com temperaturas de 19°C (mínima), 22°C (média) e 26°C (máxima). A Figura 1 apresenta a precipitação acumulada, os dias chuvosos e a média das temperaturas máximas e mínimas quinzenais, desde um mês antes da aplicação dos tratamentos até quatro meses após o plantio das mudas.

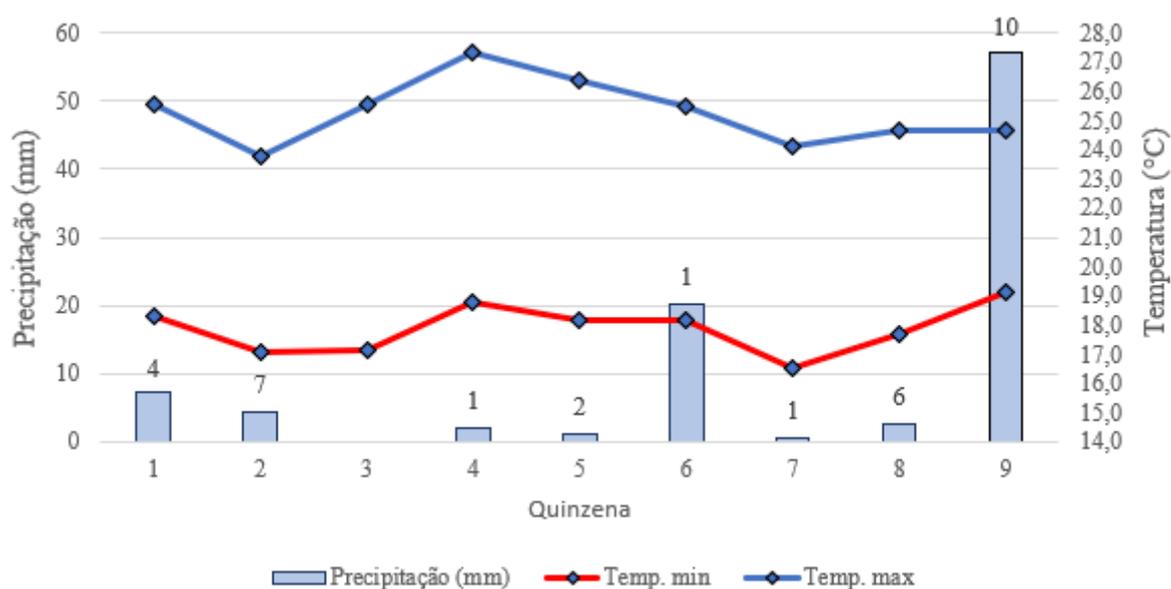


Figura 1: Somatório da precipitação e média de temperatura máxima e mínima, por quinzena, de 22 de maio a 06 outubro de 2022, em Cachoeiras de Macacu, RJ. Números sobre as barras refere-se aos dias com precipitação durante a quinzena.

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico cambissólico, com textura média (49% de areia e 34% de argila), classificação textural Franco-argilo-arenosa. A análise de fertilidade (camada de 0 – 25 cm) apresentou os seguintes resultados: pH = 4,8; P = 2,0 mg dm⁻³; K = 105,2 mg dm⁻³; Ca²⁺ = 0,9 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺ = 0,6 cmol_c dm⁻³; Al³⁺ = 0,9 cmol_c dm⁻³ e com teor de matéria orgânica de 3,9 dag kg⁻¹.

Historicamente, a área era usada como pastagem para gado de corte. A vegetação local era predominantemente composta por espécies de braquiária (*Urochloa* sp.), especialmente *U. brizantha* var. Marandu e *U. mutica* (Forssk.) T. Q. Nguyen. Inicialmente, foi construída cerca para impedir a entrada do gado e garantir a integridade do experimento.

O preparo da área foi realizado 30 dias antes do plantio, com aplicação de herbicida do ingrediente ativo glyphosate 480 e. a ha^{-1} na dose de $3,25 \text{ L ha}^{-1}$ do produto comercial para dessecação da área total, conforme ilustrado na Figura 2. A marcação dos berços de plantio com espaçamento de $3,2 \times 1,6 \text{ m}$ e o coroamento com 80 cm de diâmetro, foram feitos dois dias antes do plantio sobre o resíduo vegetal resultante da dessecação química. Em seguida, os berços de plantio foram adubados com 150 gramas de fertilizante organo-mineral N-P-K (03-13-03) e abertos com motocoveador nas dimensões aproximadas de 30 cm de profundidade e 20 cm de diâmetro. Conforme especificado no rótulo, este fertilizante possui CTC de $80 \text{ mmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 8% carbono orgânico, 4% de Ca, 4% de S, e é composto por matéria orgânica, sulfato de amônio, cloreto de potássio, fosfato monoamônico, superfosfato simples e triplo e turfa. Nos dias 25 e 26 de maio de 2022, as mudas foram plantadas, usando 5 gramas de gel retentor de umidade em 800 mL de solução por cova. Durante o período do experimento, foi realizado monitoramento da área para o controle das formigas cortadeiras. O replantio das mudas foi realizado um mês após o plantio, utilizando indivíduos das mesmas espécies.



Figura 2: Visão geral da área experimental dessecada, com marcações dos berços de plantio e coroamento, após 30 dias de aplicação de solução de herbicida à base de glyphosate.

As mudas utilizadas foram produzidas no viveiro florestal da REGUA, em tubetes de 280 cm^3 previamente selecionadas. Procurou para cada espécie, utilizar mudas que apresentassem porte semelhantes e boas condições fitossanitárias.

Em cada linha de plantio foram plantadas cinco espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, nesta ordem: *Schinus terebenthifolius* Raddi. (aroeira-pimenteira), *Plathyenia reticulata* Benth. (vinhático), *Inga edulis* Mart. (ingá-de-metro), *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. Ex. Steud (louro-pardo) e *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze (jequitibá-branco). Estas espécies são comumente utilizadas na formação de povoamentos visando restauração florestal da REGUA no município de Cachoeiras de Macacu - RJ.

Foi adotado delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições de cinco tratamento, totalizando 20 unidades amostrais (linhas de plantio). Em cada unidade amostral, foram plantados cinco indivíduos de cada espécie arbórea. A distribuição das espécies

nos berços de plantio seguiu uma ordem padronizada em todas as unidades experimentais, garantindo que a sequência de espécies fosse idêntica em todas as linhas de plantio. Isso foi feito para padronizar possíveis efeitos decorrentes do crescimento conjunto das espécies arbóreas implantadas.

O experimento foi formado por cinco tratamentos, que são estratégias de controle de braquiária com objetivo de formação de povoamentos visando restauração florestal, sendo estes: T1 (Testemunha) – sem intervenção na linha de plantio; T2 (Mecânico) – coroamento manual ao redor das mudas; T3 (Indaziflam) – aplicação de calda do herbicida à base de indaziflam; T4 (Isoxaflutol) – aplicação de calda do herbicida à base de isoxaflutol; T5 (Oxyfluorfen) – aplicação de calda do herbicida à base de oxyfluorfen.

O tratamento mecânico (T2) nas unidades amostrais foi realizado com raio de 40 cm ao redor caule da planta de espécie arbórea, sempre que o capim braquiária alcançava entre 30 e 40 cm de altura. A capina foi realizada com enxada, ocorrendo duas intervenções durante o período experimental.

Vinte e seis dias depois do plantio, foi necessário realizar novamente o coroamento das plantas nas unidades amostrais destinadas aos tratamentos químicos para a aplicação dos herbicidas pré-emergentes não ocorrer em cima da palhada da dessecação. A aplicação dos tratamentos ocorreu aos 30 dias após plantio nas “linhas de plantio” sobre as plantas das espécies arbóreas.

As aplicações de herbicida foram realizadas utilizando um pulverizador costal pressurizado com CO₂, de pressão constante, acoplado de uma barra equipada com duas pontas de pulverização do tipo leque AVI 110.02, espaçamento de 0,5 m, trabalhando a pressão constante de 200 kPa, aplicando volume de calda correspondente a 200 L ha⁻¹. As doses foram determinadas com base nas recomendações presentes na bula dos produtos, conforme descrito na Tabela 1. Todas as aplicações foram conduzidas por um aplicador previamente treinado e equipado de proteção individual (EPIs), entre 8 e 10 horas, em dias sem previsão de chuva, com umidade relativa do ar em torno de 80% e velocidade do vento inferior a 10 km h⁻¹. Essas condições foram escolhidas para garantir a uniformidade da aplicação e evitar a deriva da calda de herbicida, assegurando a eficácia e segurança durante aplicação dos herbicidas, conforme foto da Figura 3.

Tabela 1: Herbicidas utilizados para avaliação de controle de matocompetição e tolerância de espécies florestais nativas da Mata Atlântica

Ingrediente ativo	Dose (g ha ⁻¹ i.a)*	Dose (L ha ⁻¹ p.c.)**	Mecanismo de ação
Indaziflam	75	0,15	Inibição da síntese de celulose
Isoxaflutol	150	0,2	Inibidor da síntese de caroteno
Oxyfluorfen	960	4,0	Inibidores da PROTOX

*Ingrediente ativo. **Produto comercial. Nome comercial: Esplanade NA (indaziflam), Fordor WG 750 (isoxaflutol) e Goal BR (oxyfluorfen).



Figura 3: Momento da aplicação dos herbicidas pré-emergentes.

Nos três tratamentos com herbicidas pré-emergentes, a fitotoxicidade de cada indivíduo das cinco espécies arbóreas foi avaliada aos 14, 28, 60 e 90 dias após aplicação dos herbicidas (DAA), utilizando escala visual de 0 a 100%, adaptada de SBCPD (1995) descrita na Tabela 2. Nestas mesmas épocas, para cada unidade experimental (linha de plantio) nos tratamentos químicos, foi avaliado a nota de controle geral, utilizando escala visual de 0 a 100%, onde 0 indica controle nulo e 100% controle total da matocompetição. Para todas as plantas, foram registrados dados de altura e diâmetro logo após o plantio e aos 90 dias após aplicação dos herbicidas, com objetivo de determinar o incremento em altura e diâmetro de cada indivíduo, utilizando régua graduada e paquímetro digital, respectivamente.

Tabela 2: Escala de notas utilizada para avaliação visual da fitotoxicidade de herbicidas

Conceito	Nota (%)	Observação
Muito leve	0-5	Sintomas fracos ou pouco evidentes. Nota zero quando não se observam quaisquer alterações na cultura.
Leve	6-10	Sintomas nítidos, de baixa intensidade.
Moderada	11-20	Sintomas nítidos, mais intensos que na classe anterior.
Aceitável	21-35	Sintomas pronunciados, porém totalmente tolerados pela cultura.
Preocupante	36-45	Sintomas mais drásticos que na categoria anterior, mas ainda passíveis de recuperação, e sem expectativas de redução no rendimento econômico.
Alta	46-60	Danos irreversíveis, com previsão de redução no rendimento econômico.
Muito alta	61-100	Danos irreversíveis muito severos, com previsão de redução drásticas no rendimento econômico. Nota 100 para morte de toda a cultura.

Adaptado de SBCPD (1995).

A coleta das plantas herbáceas ocorreu no dia 27 de setembro para avaliar o impacto dos tratamentos na população de espécies herbáceas e determinar a massa de matéria seca dessas plantas. Em cada unidade amostral (linha de plantio), foram alocados aleatoriamente gabarito de 0,5 x 0,5 m em três locais. A parte aérea das plantas herbáceas foi identificada ou fotografada (quando a identificação não era possível no momento da coleta) e cortada rente ao solo, sendo coletada e armazenada em sacos de papel. Após a coleta, o material foi levado ao laboratório e colocado em estufa de circulação de ar a 65 °C por 48 horas, para obter a massa de matéria seca das plantas herbáceas.

Para calcular o custo total de cada tratamento até 90 DAA, foi registrada e cronometrada todas as atividades relacionadas ao controle de plantas daninhas. O custo por homem-hora foi estabelecido em R\$ 13,75 para atividades de capina, coroamento e aplicação de herbicidas durante o experimento e intervenções de controle. Contabilizou-se também os gastos com herbicidas, sendo os preços obtidos em lojas agrícolas, sendo R\$ 2.621,60 por litro de herbicida à base de indaziflam, R\$ 808,00 por kg de herbicida à base de isoxaflutol e R\$ 151,00 por litro de herbicida à base de oxyfluorfen.

Foi realizado, usando metodologia bem simples, avaliação de efeito residual do solo. Para isso, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm dos tratamentos testemunha e os químicos. As amostras foram levadas ao laboratório, onde foram peneiradas e colocadas em potes transparentes de 6 cm de altura por 12 cm diâmetro, identificados por tratamentos e repetições. Em cada pote, foram semeadas 4 sementes de *Sorghum bicolor* L. (sorgo), sendo planta bioindicadora para detectar o efeito residual de herbicidas pré-emergentes no solo. Recipientes com solo foram mantidos a pleno sol e irrigados diariamente. Aos 8 dias após semeadura, foram monitoradas a germinação das sementes e observados sintomas visuais de fitotoxidez das plantas de sorgo, até 15 dias após a semeadura do sorgo.

Os dados de crescimento em altura, diâmetro do coleto e notas de controle foram analisados por meio de análise de variância utilizando o teste F ($p < 0,05$). Quando foram identificadas diferenças significativas entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), utilizando o software RStudio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Plantas herbáceas

A Tabela 3 apresenta o levantamento das espécies de plantas herbáceas amostradas aos 90 DAA de diferentes herbicidas pré-emergentes, classificando-as conforme seu potencial de daninhas para restauração florestal e sua ocorrência em cada tratamento. O tratamento testemunha revelou a presença de onze espécies herbáceas potencialmente daninhas, enquanto o tratamento mecânico apresentou seis espécies. O indaziflam revelou a presença de quatro espécies, o isoxaflutol de sete espécies, e o oxyfluorfen de quatro espécies herbáceas com potencial de daninhas. Esses resultados destacam as diferentes respostas de seletividade dos herbicidas pré-emergentes avaliados. Nesta menor quantidade de espécies herbáceas com potencial de tornarem daninhas a restauração florestal em sítios similares deste estudo, juntamente com outros resultados, evidencia potencial dos herbicidas pré-emergentes, especialmente à base de oxyfluorfen.

Nesta avaliação aos 90 DAA, uma espécie com grande ocorrência foi *Cyperus rotundus* (tiririca), que na restauração florestal é considerada uma espécie potencialmente espontânea devido sua altura atingir no máximo 40 cm (Santorelli *et al.*, 2018) e não provoca sombreamento nas mudas arbóreas. Essa espécie foi beneficiada pelos herbicidas pré-

emergentes, pois facilitou a espécie em garantir o espaço, devido o controle da população de *U. brizantha* no banco de sementes e reduziu a competição entre as espécies daninhas.

Tabela 3: Espécies de plantas herbáceas encontradas aos 90 dias após aplicação dos herbicidas e o potencial para restauração florestal

Espécie	Nome Popular	Ocorrência	Potencial*
<i>Achyrocline Satureioides</i> (Lam.) dc	Macela	T3	Espontânea
<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Mendrasto	T1	Espontânea
<i>Amaranthus spp.</i>	Caruru	T1 T2	Daninha
<i>Commelina benghalensis</i> L.	Trapoeraba	T1 T2 T3 T4 T5	Daninha
<i>Conyza spp.</i>	Buva	T1	Espontânea
<i>Cyperus rotundus</i> L.	Tiririca	T1 T2 T3 T4 T5	Espontânea
<i>Digitaria spp.</i>	Capim digitária	T1 T2 T3 T4	Daninha
<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC.	Falsa serralha	T2	Espontânea
<i>Erechites hieraciifolia</i> (Link ex Spreng.) DC.	Capiçoba	T1 T4 T5	Daninha
<i>Euphorbia heterophyla</i> L.	Leiteiro	T1 T4	Daninha
<i>Hydrocotyle leucocephala</i> Cham. & Schltdl	Acariçoba da miúda	T4	Espontânea
<i>Malvastrum coromandelianum</i> (L.) Garcke	Vassourinha	T1 T4	Espontânea
<i>Mikania sp.</i>	Guaco	T1 T3	Daninha
<i>Oxalis sp.</i>	Trevo	T1 T2 T3 T4 T5	Espontânea
<i>Phyllanthus niruri</i> L.	Quebra-pedra	T1 T3	Espontânea
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn in Kersten	Samambaia	T2 T4	Espontânea
<i>Pyrostegia venusta</i> (Ker Gawl.)	Cipó de são joão	T1	Daninha
<i>Sida cordifolia</i> L.	Malva-branca	T1 T2 T4	Daninha
<i>Solanum americanum</i> Mill.	Maria-pretinha	T1 T2	Daninha
<i>Spermocoe latifolia</i> Aubl. (Boilf)	Erva-quente	T1 T4 T5	Daninha
<i>Trema micranta</i> (L) Blume	Trema	T1	Espontânea
<i>Urochloa brizantha</i> (Hochst. Ex A.Rich.) (R.D.	Braquiária brizantha	T1 T2 T3 T4 T5	Daninha

*classificadas com base na experiência de campo dos autores. T1 – Testemunha; T2 – Mecânico; T3 – Indaziflam; T4 – Isoxaflutol; T5 – Oxyfluorfen.

Os dados da Tabela 4 indicam a eficácia dos tratamentos com aplicação de herbicidas no controle da matocompetição, avaliada pela nota de controle das plantas herbáceas por linha de plantio em uma escala visual de 0% (controle nulo) a 100% (controle total), em média, ao longo de quatro períodos após a aplicação. Destaca-se que o tratamento com herbicida oxyfluorfen obteve as notas mais altas de controle nas quatro épocas de avaliação, em comparação com demais tratamentos, destacando-se como mais eficaz no controle geral das plantas herbáceas, conforme observado visualmente na Figura 4, capturada aos 90 dias após aplicação do herbicida.

Tabela 4: Média de nota de controle (escala de 0 a 100) das plantas herbáceas por linha de plantio, submetidas a três herbicidas pré-emergentes, em quatro épocas após aplicação (DAA)

Tratamento (herbicida)	14 DAA	28 DAA	60 DAA	90 DAA
Indaziflam	85 b	75 b	70 b	65 b
Isoxaflutol	85 b	80 b	70 b	60 b
Oxyfluorfen	95 a	95 a	85 b	85 a
Testemunha	0 c	0 c	0 c	0 c
Mecânico	100 a	100 a	100 a	100 a
F Calculado	447,7	210,3	108,3	76,9
C. V. (%)	6,3	9,4	13,0	15,5

Médias seguidas de letra diferente na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Pelos dados da Tabela 5, verifica-se que aplicação dos herbicidas diminuiu a massa de matéria seca das plantas herbáceas, especialmente em *Urochloa brizantha* (braquiária brizantha), dentro de um raio de 25 cm (diâmetro) ao redor do caule das mudas (local das covas) ao 90 DAA, em comparação à testemunha. O controle desta espécie, destacada por Sartorelli *et al.* (2018) e Santana *et al.* (2020a; 2020b), representa um dos principais desafios para restauração da Mata Atlântica devido à sua capacidade competitiva. Plantas herbáceas como *Mikania sp.* (guaco) e *Sida cordifolia* (malva-branca) foram praticamente controladas. *Commelina benghalensis* (trapoeraba) pode ser considerada daninhas em restauração florestal, devido às suas características de erva rasteira que pode colonizar rapidamente o solo e produzir grande quantidade de biomassa, além de poder subir nas plantas de interesse, prejudicando o crescimento inicial das mudas arbóreas (Sartorelli *et al.*, 2018).

Tabela 5: Massa de matéria seca (g/cova) das espécies herbáceas com maior potencial de tornarem daninhas sob tratamento sem intervenção, com coroamentos ou aplicação de um herbicida, aos 120 dias após plantio das mudas e 90 dias após aplicação herbicida pré-emergente

Herbácea*	Testemunha	Capinada	Indaziflam	Isoxaflutol	Oxyfluorfen
<i>Urochloa brizantha</i>	142,4 (100)	6,0 (100)	43,8 (100)	55,3 (100)	18,2 (100)
<i>Mikania sp.</i>	14,8 (83)	-----	0,2 (25)	-----	-----
<i>Sida cordifolia</i>	1,7 (8)	-----	-----	-----	-----
<i>Commelina benghalensis</i>	13,0 (50)	2,4 (58)	2,3 (50)	5,0 (8)	1,0 (42)
Total	203,0	10,3	49,2	66,0	19,8
Nº de espécies herbáceas	18	10	8	12	6

Números entre parênteses referem-se à frequência (%) da espécie em cada tratamento. Nº total amostras em cada tratamento = 12. * Espécies de plantas herbáceas, em sequência: Braquiária, Guaco (cipó), Guaxuma e Trapoeraba.

(A) Testemunha



(B) Indaziflam



(C) Isoxaflutol



(D) Oxyfluorfen



Figura 4: Controle de plantas daninhas para os tratamentos testemunha (A), herbicida à base de indaziflam (B), herbicida à base de isoxaflutol (C) e herbicida à base de oxyfluorfen (D), aos 90 dias após aplicação dos herbicidas pré-emergentes (DAA).

O tratamento com capina em coroamento mostrou a menor massa total de matéria seca das espécies herbáceas, porém foram necessárias duas intervenções para manter o controle adequado. Embora a capina manual possa ser eficaz, demanda maior necessidade de mão de obra e tempo, em comparação com a aplicação de herbicidas pré-emergentes, que pode oferecer controle da matocompetição com menos intervenções.

O herbicida indaziflam apresentou pouca diversidade de espécies herbáceas, redução de 76% da massa de matéria seca total e 69% especificamente da espécie *Urochloa brizantha* (braquiária brizantha), em comparação à testemunha. No estudo de Oliveira (2022), a aplicação desse herbicida resultou em menor diversidade de espécies de plantas espontâneas na área e controle de *Urochloa decumbens*, *Urochloa plantaginea* e *Panicum maximum*, pertencentes à família Poaceae. Trabalho de Gomes (2022) relata que esse herbicida reduziu apenas 6% do total de massa de matéria seca de *Urochloa brizantha* em comparação à testemunha aos 120 DAA, indicando que o sítio tem grande influência no controle das plantas herbáceas. Estudo de Ghirardello (2020) demonstrou que o indaziflam, na dose de 100 g i.a. ha⁻¹, superior ao deste estudo (Tabela 1) foi eficaz no controle da matocompetição de *Panicum maximum*, *Urochloa decumbens* e *Urochloa plantaginea*, entre outras. Este autor observou também que em solos de textura argilosa proporcionou controle excelente até 240 DAA, enquanto em solos de textura franco-arenosa apenas a espécie *U. decumbens* não foi controlada, destacando a influência da textura do solo na eficiência do indaziflam.

O herbicida isoxaflutol apresentou redução de 67% da massa de matéria seca total e 61% especificamente da espécie *Urochloa brizantha*, em comparação à testemunha. No estudo de Gomes (2022), relata que esse herbicida reduziu 35,7% da massa de matéria seca de *Urochloa brizantha* aos 120 DAA, em comparação à testemunha. Tropaldi *et al.* (2018) no estudo de eficácia dos herbicidas inibidores da síntese de carotenoides no controle de *Digitaria ciliaris*, *Digitaria horizontalis* e *Digitaria nuda*, relatam que o herbicida isoxaflutol na dose de 112 g ha⁻¹ de i.a. - inferior usado neste trabalho (Tabela 1), apresentou eficácia no controle das espécies, indicando ser alternativa para o controle dessas plantas daninhas.

O herbicida oxyfluorfen resultou na menor diversidade de plantas herbáceas, reduzindo 90% da massa de matéria seca total e 87% especificamente da espécie *Urochloa brizantha*, em comparação à testemunha. Resultados semelhantes foram obtidos por Gomes (2022), onde o herbicida oxyfluorfen promoveu redução de 66% de massa de matéria seca de *Urochloa brizantha* em comparação à testemunha, apresentando as melhores notas de controle dos herbicidas testados. Costa *et al.* (2002), ao avaliarem a eficiência do herbicida oxyfluorfen em área de *Pinus Caribaea*, relataram que a aplicação nas formulações de 480 e 240 g. L⁻¹ foi eficaz no controle de *Ipomoea grandifolia*, *Urochloa decumbens*, *Panicum maximum* e *Sida rhombifolia*. Tiburcio *et al.* (2012), também avaliaram herbicidas pré-emergentes e relataram que o oxyfluorfen proporcionou melhor controle com eficiência de 94% para espécies monocotiledôneas e 76% para dicotiledôneas. Estes resultados indicam que herbicidas à base de oxyfluorfen tem grande potencial para controle de plantas daninhas em reflorestamentos.

4.2 Plantas arbóreas

Pela Figura 5, constata-se que o grupo de plantas que receberam herbicida à base de oxyfluorfen apresentou maior fitotoxicidade inicial, demonstrando sintomas irreversíveis (alta e muito alta) observados aos 14 DAA, com 52% indivíduos afetados. No entanto, demonstrou recuperação das plantas arbóreas, com aumento nas classes de fitotoxicidade de sintomas muito leves a aceitáveis (até classes de coloração verde escuro) aos 28, 60 e 90 DAA, atingindo 94% indivíduos aos 90 DAA, que se enquadram nessas classes. Comparativamente, indaziflam e isoxaflutol também demonstraram recuperação dos sintomas ao longo do tempo, com aumento

na fitotoxicidade nas classes verdes após 28 DAA, indicando que a maioria dos indivíduos das cinco espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica se recuperou dos sintomas iniciais causados por esses herbicidas pré-emergentes.

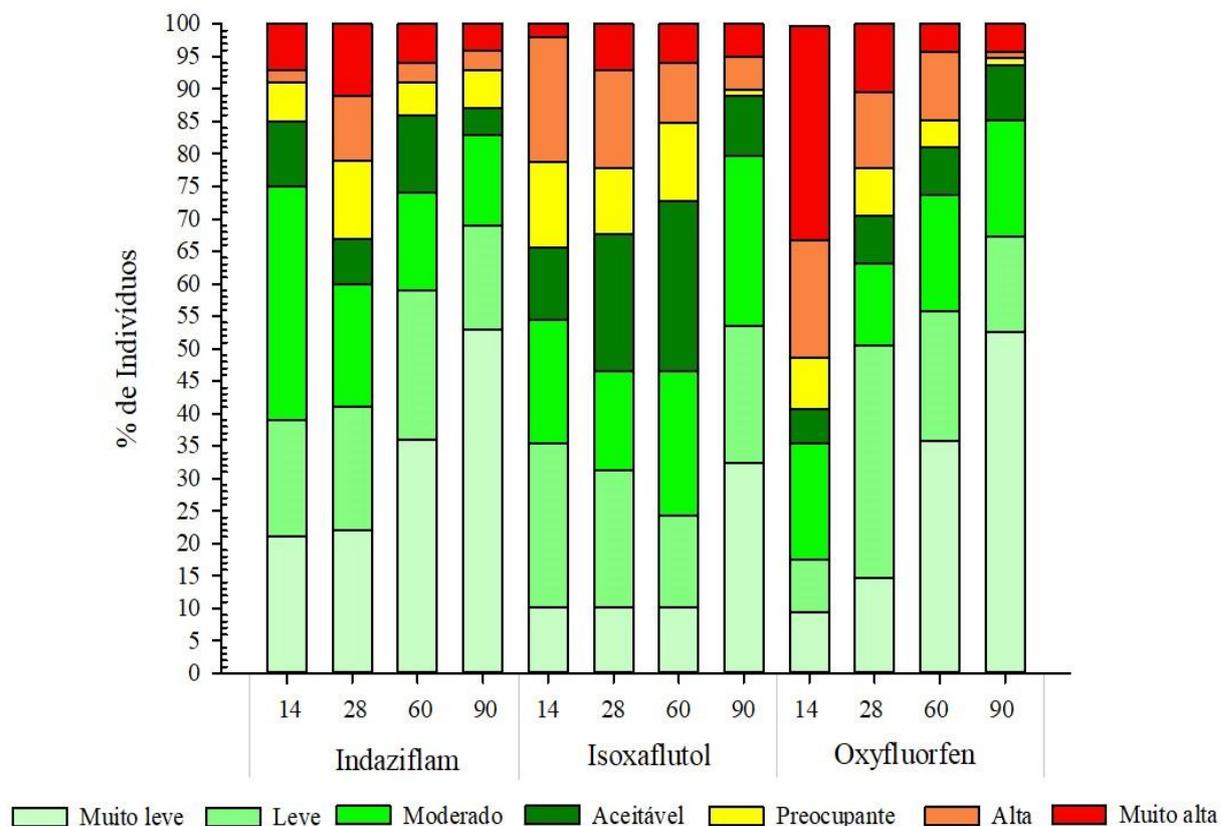


Figura 5: Distribuição das classes de fitotoxicidade em indivíduos das cinco espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica em quatro épocas após aplicação dos herbicidas pré-emergentes.

Aos 14 DAA de oxyfluorfen 75% das plantas de *Schinus terebinthifolius* apresentaram fitotoxicidade alta a muito alta (Tabela 6). No entanto, ao longo do tempo os indivíduos submetidos ao este tratamento recuperaram-se dos sintomas irreversíveis, apresentando 0% de indivíduos aos 90 DAA. O herbicida isoxaflutol causou fitotoxicidade em 40% dos indivíduos aos 14 DAA, e também mostrou recuperação dos sintomas irreversíveis, embora tenha resultado nos menores ganhos de crescimento vegetativo. O herbicida indaziflam provocou redução moderada no crescimento vegetativo sem causar fitotoxicidade alta. A testemunha e o tratamento mecânico apresentaram valores significativamente superior em termos de altura. Em todos os tratamentos não houve mortalidade de aroeira pimenteira aos 90 DAA, indicando que a espécie demonstra boa tolerância aos três herbicidas pré-emergentes.

Tabela 6: Valores médios de incremento em altura, incremento em diâmetro, somatório de fitotoxicidade (%) alta ou muito alta aos 14, 28, 60 e 90 dias após a aplicação dos herbicidas e mortalidade de *Schinus terebinthifolius*

Tratamento	Inc. Altura (cm)	Inc. Diâmetro (mm)	Fitotoxicidade (%)				Mortalidade (%)
			14	28	60	90	
Testemunha	35,8 a	6,6	-	-	-	-	0
Mecânico	34,7 a	7,1	-	-	-	-	0
Indaziflam	27,4 ab	6,3	0	0	0	0	0
Isoxaflutol	19,1 b	4,6	40	35	10	5	0
Oxyfluorfen	24,0 b	6,5	75	5	5	0	0
F Calculado	10,30	3,04 ^{ns}	-	-	-	-	-
C. V. (%)	15,7	17,4	-	-	-	-	-

Médias seguidas de letra diferente na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

^{ns} não significativo ($p < 0,05$).

A maior porcentagem de fitotoxicidade nas plantas de *Plathymenia reticulata* foi observada nos indivíduos tratados com o herbicida oxyfluorfen. Aos 14 DAA, 85% dos indivíduos foram prejudicados pelo oxyfluorfen, mas as plantas da espécie demonstraram recuperação dos sintomas irreversíveis, com 30% dos indivíduos afetados aos 28 DAA e 15% aos 60 e 90 DAA (Tabela 7). No entanto, o oxyfluorfen causou a mortalidade de dois indivíduos e proporcionou o pior crescimento vegetativo, indicando a sensibilidade desta espécie a este herbicida. Os herbicidas indaziflam e isoxaflutol causaram pouca fitotoxicidade e não prejudicaram o crescimento em diâmetro, com o indaziflam que mostrou maior incremento. A testemunha e o tratamento mecânico apresentaram os melhores resultados em incremento de altura, com o tratamento mecânico registrando a mortalidade de apenas um indivíduo devido, provavelmente, a um acidente durante a intervenção da matocompetição, que resultou na capina da muda arbórea.

Tabela 7: Valores médios de incremento em altura, incremento em diâmetro, somatório de fitotoxicidade (%) alta ou muito alta aos 14, 28, 60 e 90 dias após a aplicação dos herbicidas e mortalidade de *Plathymenia reticulata*

Tratamento	Inc. Altura (cm)	Inc. Diâmetro (mm)	Fitotoxicidade (%) *				Mortalidade (%)
			14	28	60	90	
Testemunha	8,1	2,9	-	-	-	-	0
Mecânico	8,9	3,4	-	-	-	-	5
Indaziflam	2,3	4,3	5	10	5	5	0
Isoxaflutol	4,1	3,3	5	15	10	5	0
Oxyfluorfen	1,8	2,5	85	30	15	15	10
F Calculado	2,48 ^{ns}	1,66 ^{ns}	-	-	-	-	-
C. V. (%)	83,1	31,1	-	-	-	-	-

Médias seguidas de letra diferente na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

^{ns} não significativo ($p < 0,05$).

Comparando os dados da Tabela 8 com os das outras espécies, observa-se que *Inga edulis* apresentou os maiores percentagens de fitotoxicidade aos 28 DAA, com 40% dos indivíduos afetados pelo indaziflam, 35% pelo isoxaflutol e 45% pelo oxyfluorfen (Tabela 8). Até os 28 DAA os sintomas foram se agravando, porém ao longo do tempo a espécie demonstrou uma leve recuperação da fitotoxicidade. Além disso, os herbicidas pré-emergentes prejudicaram o

crescimento em altura e diâmetro dessa espécie, resultando em baixos incrementos. O indaziflam causou a mortalidade de três indivíduos, indicando a necessidade de atenção no uso deste ingrediente ativo para essa espécie.

Tabela 8: Valores médios de incremento em altura, incremento em diâmetro, somatório de fitotoxicidade (%) alta ou muito alta aos 14, 28, 60 e 90 dias após a aplicação dos herbicidas e mortalidade de *Inga edulis*

Tratamento	Inc. Altura (cm)	Inc. Diâmetro (mm)	Fitotoxicidade (%)				Mortalidade (%)
			14	28	60	90	
Testemunha	11,6 a	2,3	-	-	-	-	0
Mecânico	12,6 a	2,5	-	-	-	-	0
Indaziflam	3,9 b	1,7	5	40	25	15	15
Isoxaflutol	2,2 b	1,3	20	35	20	15	0
Oxyfluorfen	5,4 b	1,5	20	45	25	10	0
F Calculado	5,15	1,87 ^{ns}	-	-	-	-	-
C. V. (%)	57,5	39,0	-	-	-	-	-

Médias seguidas de letra diferente na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

^{ns} não significativo ($p < 0,05$).

Para a espécie *Cordia trichotoma*, o maior percentual de plantas de fitotoxicidade alta ou muito alta foi observado aos 14 DAA no tratamento com oxyfluorfen, afetando 55% dos indivíduos, porém a espécie apresentou recuperação ao longo do tempo sem provocar mortalidade, além de ter proporcionado maior incremento em diâmetro (Tabela 9). A espécie não conseguiu se recuperar dos sintomas irreversíveis causados pelo herbicida isoxaflutol até aos 90 DAA e sofreu mortalidade de três indivíduos. Quanto ao herbicida indaziflam, houve aumento na fitotoxicidade até os 28 DAA, mas a espécie demonstrou recuperação dos sintomas irreversíveis até os 90 DAA, com apenas um indivíduo morto, além de ter registrado o menor incremento em altura entre os tratamentos. A testemunha registrou a mortalidade de um indivíduo devido provavelmente à matocompetição, tendo em vista que esta espécie é classificada como secundária (Carvalho, 2003).

Tabela 9: Valores médios de incremento em altura, incremento em diâmetro, somatório de fitotoxicidade (%) alta ou muito alta aos 14, 28, 60 e 90 dias após a aplicação dos herbicidas e mortalidade de *Cordia trichotoma*

Tratamento	Inc. Altura (cm)	Inc. Diâmetro (mm)	Fitotoxicidade (%)				Mortalidade (%)
			14	28	60	90	
Testemunha	16,3	3,0	-	-	-	-	5
Mecânico	18,2	3,3	-	-	-	-	0
Indaziflam	9,3	3,1	25	55	15	10	5
Isoxaflutol	13,2	3,7	35	20	20	20	15
Oxyfluorfen	11,4	4,6	55	20	5	0	0
F Calculado	0,83 ^{ns}	1,08 ^{ns}	-	-	-	-	-
C. V. (%)	57,7	33,7	-	-	-	-	-

Médias seguidas de letra diferente na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

^{ns} não significativo ($p < 0,05$).

Cariniana estrellensis apresentou tolerância aos herbicidas pré-emergentes, apresentando baixos porcentagem de fitotoxicidade e nenhum caso de mortalidade (Tabela 10). Em termos de crescimento vegetativo, plantas que receberam herbicida indaziflam, em média, apresentaram incremento em altura significativamente inferior A testemunha e tratamento mecânico promoveram crescimento vegetativo significativamente superior para essa espécie, em relação as plantas que receberam herbicida.

Tabela 10: Valores médios de incremento em altura, incremento em diâmetro somatório de fitotoxicidade (%) alta e muito alta aos 14, 28, 60 e 90 dias após a aplicação dos herbicidas e mortalidade de *Cariniana estrellensis*

Tratamento	Inc. Altura (cm)	Inc. Diâmetro (mm)	Fitotoxicidade (%)				Mortalidade (%)
			14	28	60	90	
Testemunha	13,6 a	3,3	-	-	-	-	0
Mecânico	13,1 a	3,5	-	-	-	-	0
Indaziflam	3,2 b	2,3	0	0	0	0	0
Isoxaflutol	7,9 ab	2,7	0	0	15	5	0
Oxyfluorfen	10,5 ab	2,6	5	5	10	0	0
F Calculado	4,70	0,98 ^{ns}	-	-	-	-	-
C. V. (%)	40,6	35,5	-	-	-	-	-

Médias seguidas de letra diferente na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

^{ns} não significativo ($p < 0,05$).

Em geral, o tratamento mecânico e testemunha apresentaram incremento em altura significativamente superior. No caso do tratamento mecânico, isso faz sentido devido à realização de duas intervenções de controle de matocompetição que favoreceu as espécies arbóreas na obtenção dos recursos essenciais para o crescimento. Na testemunha, as plantas arbóreas tiveram que conviver com a matocompetição, especialmente *U. brizantha*, e algumas espécies apresentam maior incremento em altura e, numericamente, menor média em diâmetro, como observado na *S. terebinthifolius*, *P. reticulata* e *C. trichotoma*, indicando provavelmente o estiolamento das mudas em busca de luminosidade. Observando as Tabelas de 6 a 10, verifica-se que não houve diferenças significativas dos valores médios de diâmetro, provavelmente devido o experimento ter ocorrido em época menos chuvosa do ano e menores temperaturas (Figura 1), além do período relativamente curto do experimento (90 dias), típico dos estudos de herbicidas pré emergentes. Resultados de comportamento diferente foram obtidos por Santana (2020b), que observaram o crescimento de *C. trichotoma* em convivência com *U. brizantha* aos 84 dias e relatou que a presença dessa planta daninha não afetou o crescimento em altura da espécie arbórea, porém o incremento em diâmetro foi afetado. Santos et al. (2020) relatam que *S. terebinthifolius* na presença de *U. brizantha* teve seu diâmetro reduzido, sugerindo que as mudas dessa espécie, quando em presença da matocompetição, concentraram suas atividades no crescimento em altura. Enquanto nos estudos de Ribeiro et al. (2022) *Inga edulis* e *Cariniana estrellensis*, em convivência com *U. brizantha*, em condições de vasos de 18 litros, apresentaram redução no incremento em altura e diâmetro.

Resultados indicam que as espécies estudadas demonstraram tolerância ao herbicida indaziflam, apesar de terem sido observados sintomas de má formação do tecido e paralisação do crescimento, possivelmente devido à redução da celulose na planta e ao engrossamento das raízes. Estudos sobre indaziflam em espécies arbóreas da Mata Atlântica ainda são incipientes. Sigolo, Bevilaqua e Sebok (2022) relatam que o indaziflam não afetou o crescimento das espécies arbóreas em plantio de enriquecimento, demonstrando seletividade para *Moquiniastrum polymorphum*, *Myrsine guianensis*, *Senna macranthera*, *Astronium graveolens*

e *Parapiptadenia rígida*. Gomes (2022) observou que diversas espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, como *Cecropia hololeuca*, *Hymenaea courbar*, *Lafoensia pecari*, *Cecropia pachystachya*, *Schizolobium parahyba*, *Mimosa bimucronata*, *Vitex triflora*, *Enterolobium timbouva* e *Bixa orellana*, mostraram-se tolerantes ao indaziflam, apresentando baixos índices de fitotoxicidade e interferência mínima no crescimento vegetativo. Conforme Kaapro e Hall (2011), cujas avaliações foram conduzidas em plantações de eucalipto e pinus com aplicação pré-plantio do herbicida indaziflam, os resultados demonstraram a segurança do herbicida, pois não influenciou no crescimento inicial.

Em relação ao herbicida à base de isoxaflutol, as espécies arbóreas da Mata Atlântica estudadas também demonstraram tolerância ao ingrediente ativo. Os sintomas evidentes de fitotoxidez foram relativamente leves e estão relacionados à despigmentação (albinismo) das folhas devido ao bloqueio da síntese dos pigmentos carotenoides, seguido pelo surgimento de folhas novas, paralisação do crescimento vegetativo e necrose foliar. Brancalion *et al.* (2009) ressaltam que o isoxaflutol apresenta variações nos sintomas de fitotoxicidade entre diferentes famílias de espécies arbóreas e até mesmo dentro de uma mesma espécie, devido à variabilidade genética, o que ocorreu também neste estudo. Esses autores estudaram a seletividade do herbicida isoxaflutol em 25 espécies arbóreas, das quais 20 demonstraram tolerância, incluindo *Schinus terebinthifolius* utilizado neste trabalho, enquanto os demais foram sensíveis ao isoxaflutol, como *Cordia ecalyculata* e *Cordia superba*, que pertencem ao mesmo gênero de *Cordia trichotoma* (louro-pardo) estudado neste trabalho. Gomes (2022) relatou que todas as espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica avaliadas demonstraram tolerância ao isoxaflutol, indicando que a sensibilidade de uma espécie arbórea é uma característica hereditária associada ao gene nuclear de cada espécie.

Dentro da análise dos herbicidas avaliados, as espécies demonstraram maior sensibilidade ao herbicida à base de oxyfluorfen, no entanto, foram capazes de recuperar do ingrediente ativo aos 90 DAA. Os sintomas mais evidentes de fitotoxicidade de oxyfluorfen foram de necrose foliar, injúrias e bronzeamento nas folhas novas, provavelmente devido ao seu mecanismo de ação que, segundo Oliveira Jr. *et al.* (2021) inibe a enzima PROTOX, precursora da clorofila. Resultados semelhantes foram encontrados por Gomes (2022), onde o herbicida oxyfluorfen apresentou valores mais altos de fitotoxicidade no início do período nas espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, porém foi diminuindo ao longo do tempo, demonstrando que as espécies avaliadas foram tolerantes. Duarte *et al.* (2006) também observaram que esse herbicida apresentou elevada fitotoxicidade prejudicando no crescimento inicial das plantas de *Myracrodruon urundeuva*, mas também apresentaram recuperação e crescimento ao longo do tempo. Os resultados de literatura e deste estudo indicam que, de maneira geral, as espécies arbóreas de ocorrência na Mata Atlântica, apresentam sintomas de fitotoxicidade no primeiro mês após aplicação de oxyfluorfen, mas depois certo período recuperam e pouco afetam o crescimento das plantas.

Observou-se respostas diferenciadas dos herbicidas entre as cinco espécies arbóreas, uma vez que cada uma delas demonstrou maior tolerância ou sensibilidade a tipos de herbicidas e períodos avaliados, em relação a testemunha. Conforme apontado por Duarte *et al.* (2006), a menor sensibilidade das espécies nativas aos herbicidas pode estar relacionada à relação entre absorção e a metabolização do ingrediente ativo do herbicida, onde quanto maior essa relação, mais prejudicial é o efeito na planta. Brancalion *et al.* (2009) observaram que a presença de sintomas de fitotoxicidade e a baixa redução no crescimento das espécies arbóreas da Mata Atlântica indicam que a seletividade dos herbicidas ocorre devido à metabolização dos princípios ativos, o que reduz a ação fitotóxica e permite as plantas continuem crescendo normalmente.

Considerando a formação do povoamento florestal, os herbicidas não prejudicaram as mudas, pois as medidas de altura aos 90 DAA foram realizadas no final de setembro, e com a intensificação das chuvas e o aumento das temperaturas, em relação a baixa fitotoxicidade observada aos 90 DAA (Tabela 1), a tendência é das plantas crescerem de maneira mais rápida nos próximos dois meses. Segundo Santos *et al.* (2020), as reduções no crescimento das plantas podem ser consideradas aceitáveis quando se empregam herbicidas, uma vez que essa abordagem oferece a vantagem de custos mais baixos para o estabelecimento e a manutenção do povoamento florestal, por meio da utilização do método químico.

4.3 Custos

Os maiores gastos de financeiros no controle de plantas daninhas (Tabela 11) foram decorrentes das duas intervenções de coroamentos (capinas) realizadas no tratamento mecânico. Os menores custos foram encontrados nos tratamentos químicos, pois exigiram apenas uma intervenção para o controle das plantas daninhas. Entre os herbicidas, o oxyfluorfen teve o maior custo, porém apresentou os melhores resultados na redução da diversidade de plantas herbáceas e no controle de plantas daninhas, especialmente *Urochloa brizantha*.

Alguns estudos observaram diferenças nos custos dos métodos mecânico e químico para o controle de plantas daninhas na restauração florestal. Lisboa *et al.* (2023) relataram que, em período de 30 meses após o plantio das mudas, ocorreram sete intervenções de capina, com custo de aproximadamente oito vezes em comparação ao tratamento químico. Santos *et al.* (2018) observaram que até 30 meses após o plantio, o custo do método mecânico era quase três vezes maior que do método químico. Santana (2019), em área próxima deste experimento, relatou que até 18 meses após o plantio, essa diferença foi de 4,5 vezes maior.

Tabela 11: Atividades realizadas e custos (R\$/ha) em quatro tratamentos de controle de plantas daninhas até aos 90 dias após o plantio, para formação de povoamentos florestais visando restauração florestal

Atividades	Mecânico	Indaziflam	Isoxaflutol	Oxyfluorfen
Aquisição herbicida	-----	147,50	60,60	226,50
Coroar para aplicar herbicida	-----	125,00	125,00	125,00
Aplicador de herbicida	-----	93,75	93,75	93,75
1º Coroamento	425,00	-----	-----	-----
2º Coroamento	375,00	-----	-----	-----
Custo (R\$/ha)	800,00	366,25	279,35	445,25

O alto custo operacional das técnicas mecânicas deve-se à maior demanda de mão de obra para atividades fisicamente exaustivas, além de necessitar maior número de intervenções devido à rebrota das gramíneas quando roçadas e ao crescimento acelerado (Santos *et al.*, 2018; Santana *et al.*, 2020a). Além disso, conversando com pessoas que atuam em campo com restauração, dizem que, atualmente, a mão de obra para essas atividades no campo está muito escassa. Por outro lado, o método químico apresenta a vantagem de menor dependência de mão de obra (Silva *et al.*, 2009; Leles *et al.*, 2017), porém exige o treinamento para aplicação, equipamentos de proteção individual (EPIs) e a necessidade de realizar coroamento para retirar a palhada da dessecação em torno das mudas recém-plantas, o que aumentou o custo total.

4.4 Avaliação de efeito residual de herbicida no solo

Verifica-se pela Figura 6 no experimento com cultura de sorgo, designando como planta bioindicador de efeito residual do solo, em comparação com a testemunha, apresentou germinação das sementes e ausência de sintomas de fitotoxidez nas plantas de sorgo aos 14 DAA dos herbicidas. Esse bioensaio, de maneira simples, evidenciou a ausência de efeitos residuais dos três herbicidas pré-emergentes avaliados no solo, o que indica a não ocorrência de fitotoxidez na cultura do sorgo. Essa técnica consiste em utilizar plantas sensíveis aos herbicidas avaliados, capazes de revelar alterações nas características da planta bioindicador (Melo *et al.*, 2010). Trabalhos relacionados ao efeito residual no solo utilizando sorgo como bioindicador são poucos, foi encontrado apenas de Braga (2017) concluindo que o sorgo pode ser utilizado para detectar resíduos de indaziflam em solos. Necessita-se de mais estudos relacionados ao efeito residual dos herbicidas pré-emergentes nos solos com mais parâmetros de observação e maior tempo de avaliação.



Figura 6: Experimento com cultura de sorgo na avaliação do efeito residual do herbicida pré-emergentes no solo para os tratamentos testemunha, herbicida à base de indaziflam, herbicida à base de isoxaflutol e herbicida à base de oxyfluorfen, respectivamente, aos 14 DAA.

5 CONCLUSÕES

Os herbicidas pré-emergentes foram eficientes no controle da matocompetição, sendo indicado o uso para formação de povoamentos visando restauração florestal, em sítio semelhante ao deste trabalho.

Herbicida à base de oxyfluorfen foi mais eficiente em controle das plantas herbáceas, porém apresentou maior custo, entre os herbicidas testados.

O tratamento mecânico com capina demonstrou a menor massa de matéria seca das espécies herbáceas. No entanto, devido ao custo elevado é considerado menos vantajoso, indicando que coroamento com enxada não é recomendado.

Em 14 dias após aplicação herbicidas, estes herbicidas não apresentaram efeito residual fitotóxico no solo da área experimental.

As cinco espécies nativas da Mata Atlântica demonstraram boa tolerância aos herbicidas pré-emergentes, destacando a viabilidade desses herbicidas durante formação de povoamentos visando restauração florestal.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRITEMPO - Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Dados de precipitação e temperatura máxima, 2024. Disponível em: < <https://encurtador.com.br/klzFH> >. Acesso em: 18/07/2024.

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

AMIM, R. T. *et al.* Banco de sementes do solo após aplicação de herbicidas pré-emergentes durante quatro safras de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 10, p. 1710-1719, 2016.

AMIM, R. T. *et al.* Controle de plantas daninhas pelo indaziflam em solos com diferentes características físico-químicas. **Planta Daninha**, v. 32, n. 4, p. 791-800, 2014.

BARROSO, A. A. M. *et al.* Controle de espécies resistentes ao glifosato. *In:* BARROSO, A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021, p. 392-427.

BRAGA, R. B. **Sorção de indaziflam e isoxaflutole em solos tropicais**. Viçosa, 2017. 45f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa.

BRANCALION, P. H. S. *et al.* Seletividade dos herbicidas setoxidim, isoxaflutol e bentazon a espécies arbóreas nativas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 251-257, 2009.

BRANCALION, P. H. S. *et al.* A silvicultura de espécies nativas para viabilização econômica da restauração florestal na mata atlântica. *In:* MARTINS, S. V. **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2015. p. 212-239.

BRANCALION, P. H. S. *et al.* What makes ecosystem restoration expensive? A systematic cost assessment of projects in Brazil. **Biological Conservation**, v. 240, p. 108274, 2019.

BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Restauração Florestal**. 1. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015, v. 1. 432p.

BRASIL. **Lei nº 14.785, 27 de dezembro de 2023**. Dispõe sobre [...] a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, de produtos de controle ambiental, de seus produtos técnicos e afins. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 dez. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/L14785.htm. Acesso em: 16 jul. 2024.

BROSNAN, J. T.; BREEDEN, G. K. Application placement affects postemergence smooth crabgrass (*Digitaria ischaemum*) and annual bluegrass (*Poa annua*) control with indaziflam. **Weed technology**, v. 26, n. 4, p. 661-665, 2012.

CAMPELLO, E. F. C. *et al.* Escolha de espécies e de espaçamento como ferramentas de controle de plantas daninhas em restauração florestal. *In*: RESENDE, A. S.; LELES, P. S. S. **Controle de plantas daninhas em restauração florestal**. Brasília: Editora Embrapa, 2017, p.29-43.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa, 2003, v. 1.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa, 2008, v. 3.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa, 2014, v. 5.

CHAER, G. M. *et al.* Estratégias de recuperação ambiental de áreas de produção de petróleo e gás em terra de caatinga. *In*: RESENDE, A. S.; CHAER, G. M. **Recuperação ambiental em áreas de produção de petróleo e gás em terra na caatinga**. Brasília: Editora Embrapa, 2021, p. 40-97.

CORREIA, N. M. Herbicidas. **Informe Agropecuário**, v. 42, n. 315, p. 48-58, 2021.

COSTA, E. A. D. *et al.* Eficiência de nova formulação do herbicida oxyfluorfen no controle de plantas daninhas em área de *Pinus caribea* Morelet var. *hondurensis* Barr. et Golf. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 683-689, 2002.

DUARTE, N. F. *et al.* Seletividade de herbicidas sobre *Myracrodruon urundeuva* (aroeira). **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 329-337, 2006.

DURIGAN, G. *et al.* Control of invasive plants: ecological and socioeconomic criteria for the decision making process. **Natureza & Conservação**, v. 11, p. 23-30, 2013.

DUTRA, F. B. *et al.* Pre-emergent indaziflam can enhance forest seed germination in direct seeding?. **Brazilian Journal of Biology**, v. 83, p. e268716, 2023.

FARIA, C. M. A. *et al.* **Sistema de integração: milho, capim-braquiária e eucalipto**. 1. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2015. 48p.

FERREIRA, R. A. *et al.* Efeito de herbicidas de pré-emergência sobre o desenvolvimento inicial de espécies arbóreas. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 4, n. 1, p. 133-145, 2005.

GHIRARDELLO, G. A. **Eficácia e seletividade do herbicida indaziflam sobre gramíneas infestantes na cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba, 2020. 57f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

GOMES, A. C. **Herbicidas pré-emergentes na restauração florestal do bioma mata atlântica: avaliação de tolerância de espécies nativas e controle de plantas daninhas**. Seropédica, 2022. 85f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

JACOVINE, L. A. G. *et al.* Restauração florestal, estocagem de carbono e geração de créditos de carbono. *In:* LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N. **Restauração florestal e a bacia do Rio Guandu**. Seropédica: Editora Rural, 2015. p. 89-106.

KAAPRO, J.; HALL, J. Indaziflam—a new herbicide for pre-emergent control of weeds in turf, forestry, industrial vegetation and ornamentals. **Pakistan Journal of Weed Science Research**, v. 18, p. 267-270, 2011.

KHALIL, Y. *et al.* Rainfall affects leaching of pre-emergent herbicide from wheat residue into the soil. **PloS one**, v. 14, n. 2, p. e0210219, 2019.

LAI, R. L. D. L. *et al.* Ecologia de Populações e Comunidades de Plantas Daninhas. *In:* BARROSO, A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021, p. 38-59.

LELES, P. S. S. *et al.* Uso de herbicidas na restauração florestal. *In:* RESENDE, A. S.; LELES, P. S. S. **Controle de plantas daninhas em restauração florestal**. Brasília: Editora Embrapa, 2017, p.45-61.

LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N.; ALONSO, J. M. Restauração florestal em diferentes espaçamentos. *In:* LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N. **Restauração florestal e a bacia do Rio Guandu**. Seropédica: Editora Rural, 2015. p. 107-140.

LISBOA, A. C. *et al.* Weed control strategies for restoration of the atlantic forest in the state of rio de janeiro – brazil. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 12, p. 129-143, 2023.

MACHADO, A. F. L.; *et al.* Interferências de plantas daninhas na cultura do eucalipto. *In:* FERREIRA, R. L.; MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, F. A.; SANTOS, L. D. T. (Orgs.) **Manejo integrado de plantas daninhas na cultura do eucalipto**. Viçosa, 2010, p. 16-37.

MAGNAGO, L. F. S.; KUNZ, S. H.; MARTINS, S. V. Modelos de restauração florestal. *In:* LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N. **Restauração florestal e a bacia do Rio Guandu**. Seropédica: Editora Rural, 2015. p. 49-70.

MARTINS, S. V.; MIRANDA NETO, A.; RIBEIRO, T. M. Uma abordagem sobre diversidade e técnicas de restauração ecológica. *In:* MARTINS, S. V. **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2015. p. 19-41.

MARKUS, C. *et al.* Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. *In:* BARROSO, A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021, p. 324-364.

MELO, C. A. D. *et al.* Efeito residual de sulfentrazone, isoxaflutole e oxyfluorfen em três solos. **Planta daninha**, v. 28, n. 4, p. 835-842, 2010.

MONQUERO, P. A.; SILVA, P. V. Comportamento de herbicidas no ambiente. *In*: BARROSO, A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021, p. 253-294.

NISSEN, S.; STERLING, T. M.; NAMUTH, D. Root absorption and xylem translocation, 2019. Disponível em: < <https://digitalcommons.unl.edu/passel/107/>>.

NUNES, Y. I. **Crescimento inicial de *Trema micrantha* e *Cariniana estrellensis* em convivência com *Urochloa brizantha*** Seropédica, 2023. 11f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

NUNES, Y. I. *et al.* Controle de *Urochloa* sp. por herbicidas pré-emergentes em semeadura direta. *In*: Congresso Brasileiro de Reflorestamento Ambiental, VII, Vitória, 2023.

ONU. Resolution adopted by the general assembly on 1 march 2019. United Nations, 2019. 60. Disponível em < <https://encurtador.com.br/cnwS2> >.

OLIVEIRA, E. B. I. **Eficiência de herbicidas pré-emergentes no controle de plantas daninhas para restauração florestal**. Seropédica, 2022, 17f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

OLIVEIRA JR, R. S. *et al.* Mecanismo de Ação de Herbicidas. *In*: BARROSO, A. M.; MURATA, A. T. **Matologia: estudos sobre plantas daninhas**. Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021, p. 170-204.

PEREIRA, I. M. *et al.* Silvicultura de espécies nativas: subsídio para a restauração florestal. *In*: PEREIRA, I. M. **Restauração florestal da mata atlântica**. Diamantina: UFVJM, 2018, p. 163-212.

RESENDE, A. S. *et al.* Diagnóstico socioeconômico e ambiental da atividade produtora de petróleo e gás no Rio Grande do Norte. *In*: RESENDE, A. S.; CHAER, G. M. **Recuperação ambiental em áreas de produção de petróleo e gás em terra na caatinga**. Brasília: Editora Embrapa, 2021, p. 11-39.

RESENDE, A. S.; LELES, P. S. S. O problema do controle de plantas daninhas na restauração florestal. *In*: RESENDE, A. S.; LELES, P. S. S (Ed.). **Controle de plantas daninhas em restauração florestal**. Brasília: Editora Embrapa, 2017, p.13-27.

RIBEIRO, J. G. *et al.* Adubação de plantio de *Inga edulis* Mart. em convivência com *Urochloa brizantha* cv. Marandu. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, p. 52219-52233, 2022.

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. Londrina: IAPAR, 2011. 697 p.

SANTANA, J. E. S. **Estratégias de controle e convivência de *Urochloa* spp. em restauração florestal**. Seropédica, 2019. 60f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

SANTANA, J. E. S. *et al.* Grasses Control Strategies in Setting Restoration Stand of the Atlantic Forest. **Floram**, v. 27, p. 1-10, 2020a.

SANTANA, J. E. S. *et al.* Influence of *Urochloa brizantha* on the growth and nutritional absorption of tree species. **Floresta**, v. 50, p. 1725-1730, 2020b.

SANTOS, F. A. M. **Formação de povoamento para restauração florestal sob estratégias de controle de *Urochloa spp.*** Seropédica, 2016. 98f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SANTOS, F. A. M. *et al.* Controle químico de plantas espontâneas em povoamentos de restauração florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, p.1-9, 2018.

SANTOS, F. A. M. *et al.* Estratégias de controle de braquiárias *Urochloa spp.* na formação de povoamento para restauração florestal. **Ciência Florestal**, v. 30, n. 1, p. 29-42, 2020.

SANTOS, T. A. **Crescimento de espécies florestais em convivência com *Urochloa brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu.** Seropédica, 2017. 78f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

SARTORELLI, P. A. R. *et al.* **Guia de plantas não desejáveis na restauração florestal.** São Paulo: Agroicone, 2018.

SCHERER, M. B. *et al.* Herbicidas pré-emergentes para manejo de milho voluntário RR® na cultura da soja. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2017.

SCERVINO, R. P; TOREZAN, J. M. D. Factors affecting the genesis of vegetation patches in anthropogenic pastures in the Atlantic forest domain in Brazil. **Plant Ecology & Diversity**, v. 8, 2015.

SIGOLO, N. S.; BEVILAQUA, N. C.; SEBOK, F. G. O. Seletividade de indaziflam para cinco espécies de árvores nativas em plantio de enriquecimento. *In: Anais do Simpósio Brasileiro de Pós-Graduação em Ciências Florestais, 2022, Curitiba.*

SILVA, A. A. *et al.* Métodos de controle de plantas espontâneas. *In: SILVA, A. A.; SILVA, J. F. Tópicos em manejo de plantas espontâneas.* Viçosa: Editora UFV, p. 63-81, 2009.

SILVA, A. F. M. *et al.* Introdução à Ciência das Plantas Daninhas. *In: BARROSO, A. M.; MURATA, A. T. Matologia: estudos sobre plantas daninhas.* Jaboticabal: Fábrica da Palavra, 2021, p. 7-37.

SOCIEDADE BRASILEIRA DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS. Procedimentos para instalação, avaliação e análise de experimentos com herbicidas. SBCPD, 1995.

TIBURCIO, R.A.S. *et al.* Controle de plantas daninhas e seletividade do flumioxazin para eucalipto. **Cerne**, v. 18, n. 4, p. 523-531, 2012.

TROPALDI, L. *et al.* Eficácia de herbicidas inibidores da síntese de carotenoides no controle de espécies de capim-colchão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 2, p. 443-453, 2018.