



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITARIO DE PALMAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA**

JODSON DA SILVA GLÓRIA

ORIENTADOR: EDUARDO ANDREA LEMUS ERASMO

**PALMAS – TO
2023**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITARIO DE PALMAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA**

**ANÁLISES MORFO-FISIOLÓGICAS DE PLANTAS DE *Acrocomia aculeata* SOB
APLICAÇÃO DE GLYPHOSATE, VISANDO DAR SUPORTE A SISTEMAS DE
PRODUÇÃO AGROENERGÉTICOS**

JODSON DA SILVA GLÓRIA

ORIENTADOR: EDUARDO ANDREA LEMUS ERASMO

**Dissertação apresentada à
Universidade Federal do Tocantins,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Agroenergia e posterior obtenção do
título de Mestre em Agroenergia.**

PALMAS – TO
2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

D229a Glória, Jodson da Silva.
ANÁLISES MORFO-FISIOLÓGICAS DE PLANTAS DE *Acrocomia aculeata* SOB APLICAÇÃO DE GLYPHOSATE, VISANDO DAR SUPORTE A SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROENERGÉTICOS. / Jodson Da Silva Glória. – Palmas, TO, 2023.
72 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de PósGraduação (Mestrado) em Agroenergia, 2023.

Orientador: EDUARDO ANDREA LEMUS ERASMO

1. Plantação de macaúba (*Acrocomia aculeata*). 2. Aplicação de glyphosate. 3. Análise da fotossíntese com IRGA. 4. Análise enzimática. I. Título

CDD 333.7

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

RESUMO

As culturas oleaginosas são as mais estudadas no meio agrônomo industrial, devido seu poder energético renovável, na produção de biocombustíveis. A *Acrocomia aculeata*, apesar de ainda não ser considerada uma cultura, devido não ter sido domesticada, se mostrou em vários estudos, ser promissora para o mercado bioenergético, produzindo entre 5000 e 6000 kg de óleo por hectare ano, superando grandes culturas. O objetivo desta pesquisa, foi de analisar os efeitos do herbicida glyphosate nas características fisiológicas, bioquímicas no sistema antioxidante enzimático da *A. aculeata*, trazendo resultados biométricos e visuais comportamentais, para o controle de daninhas, que podem prejudicar seu desenvolvimento quando jovem. O experimento foi instalado em condições de campo, na estação experimental do campus da Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas-TO, em abril de 2022, quando a planta já estava com 8 meses de germinada. Instalado em vasos de policloreto de vinila (PVC), de 35 litros. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com 5 tratamentos, correspondendo a 5 doses de glyphosate *Roundup Original*®DI (360 g.e.a L⁻¹): 0 g.e.a ha⁻¹ (T0); 90 g.e.a ha⁻¹ (T1); 180 g.e.a ha⁻¹ (T2); 360 g.e.a ha⁻¹ (T3) e 720 g.e.a ha⁻¹ (T4) de concentração, em 4 repetições, utilizando 3 plantas por repetição. Foram realizadas análises fisiológicas e bioquímicas a cada 7 dias após a aplicação (7, 14, 21, 28 e 35 DAA), utilizando IRGA, avaliando as variáveis: carbono intracelular, taxa de assimilação líquida de CO₂, condutância estomática, transpiração e temperatura da folha; e morfológicas - massa fresca e seca da parte aérea, massa fresca e seca da raiz e incremento em altura. Apenas T4 apresentou efeito fitotóxico visual pela ação do herbicida. Para o incremento em altura, houve 16,4% de incremento no tratamento T3 de dose 360 g.e.a ha⁻¹. Doses acima de 360 g.e.a ha⁻¹ reduziram expressivamente a biomassa e volumem de raízes de plantas de macaúba. A dose de 720 g.e.a ha⁻¹, reduziu o crescimento de plantas de macaúba em 50 % e afetou todas as variáveis fisiológicas. Maiores concentrações de ácido chiquímico foram observadas nos tratamentos T3 e T4.

Palavras-chave: Macaúba, toxicidade, chiquimato, herbicida, IRGA

ABSTRACT

Oilseed crops are the most studied in the industrial agronomic environment, due to their renewable energy power, in the production of biofuels. *Acrocomia aculeata*, despite not yet being considered a crop, due to not having been domesticated, has shown in several studies to be promising for the bioenergy market, producing between 5000 and 6000 kg of oil per hectare year, surpassing large crops. The objective of this research was to analyze the effects of the herbicide glyphosate on the physiological, biochemical characteristics of the enzymatic antioxidant system of *A. aculeata*, bringing biometric and visual behavioral results, for the control of weeds, which can harm its development when young. The experiment was installed under field conditions, at the experimental station on the campus of the Federal University of Tocantins - UFT, Palmas-TO, in April 2022, when the plant had already germinated for 8 months. Installed in 35 liter polyvinyl chloride (PVC) vases. The experimental design was randomized blocks, with 5 treatments, corresponding to 5 servings of glyphosate Roundup Original ®DI (360 g.e.a L⁻¹): 0 g.e.a ha⁻¹ (T0); 90 g.e.a ha⁻¹ (T1); 180 g.e.a ha⁻¹ (T2); 360 g.e.a ha⁻¹ (T3) and 720 g.e.a ha⁻¹ (T4) of concentration, in 4 repetitions, using 3 plants per repetition. Physiological and biochemical analyzes were carried out every 7 days after application (7, 14, 21, 28 and 35 DAA), using IRGA, evaluating the variables: intracellular carbon, net CO₂ assimilation rate, stomatal conductance, transpiration and temperature of the sheet; and morphological - fresh and dry mass of shoots, fresh and dry mass of roots and height increment. Only T4 showed a visual phytotoxic effect due to the herbicide. For the increase in height, there was a 16.4% increase in the T3 treatment with a dose of 360 g.e.a ha⁻¹. Doses above 360 g.e.a ha⁻¹ significantly reduced the biomass and root volume of macaúba plants. The dose of 720 g.e.a ha⁻¹ reduced the growth of macaw palm plants by 50% and affected all physiological variables. Higher concentrations of shikimic acid were observed in treatments T3 and T4.

Key-words: Macaúba, phytotoxic, shikimato, herbicide, IRGA

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Rota do Chiquimato.....	23
Figura 2. Via do ácido chiquímico para biossíntese de compostos fenólicos e alguns alcalóides.....	24
Figura 3 Mudanças de macaúba de dois meses de germinadas, do viveiro de mudas da Universidade Federal de Viçosa, UFV – Viçosa-MG.....	29
Figura 4. Esquema do experimento montado no campo.	32
Figura 5. Sistema de irrigação por gotejamento em plantas de macaúbas.	33
Figura 6. Disposição do experimento logo após o transplante das mudas de macaúba.....	34
Figura 7. Aplicação das doses de glyphosate em mudas de <i>A. aculeata</i>	35
Figura 8. Processo de separação da parte aérea da subterrânea (raiz e bulbo) da planta de <i>A. aculeata</i>	36
Figura 9: Imagem do IRGA no local de leitura aos 7 dias após a aplicação do herbicida.....	38
Figura 10: Dados meteorológicos de Umidade Relativa do ar e temperaturas máxima e mínima, concernente ao período de condução do experimento.	41
Figura 11: Médias das temperaturas foliares de plantas de <i>A. aculeata</i> , submetidas a diferentes doses de glyphosate:.....	43
Figura 12. Condutância estomática (gs) de plantas de <i>A. aculeata</i> , submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	45
Figura 13. Carbono intracelular (Ci) de plantas de <i>A. aculeata</i> , submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	47
Figura 14. Transpiração estomática (E) de plantas de <i>A. aculeata</i> , submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	49
Figura 15. Assimilação líquida de carbono (A) de plantas de <i>A. aculeata</i> , submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	52
Figura 16. Eficiência da carboxilação instantânea (EiC ou A/Ci) de plantas de <i>A. aculeata</i> , submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	53
Figura 17. Razão do carbono interno (Ci) e carbono ambiente (Ca) de plantas de <i>A. aculeata</i> , submetidas a diferentes doses de glyphosate:.....	55
Figura 18. Incremento em altura de plantas de <i>A. aculeata</i> , submetidas a diferentes doses de glyphosate.....	57

Figura 19. Concentração de ácido chiquímico (mg g^{-1}), em plantas de *Acrocomia aculeata*, 28 dias após a aplicação de glyphosate..... 60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características físicas e químicas do solo, antes e após correção.	31
Tabela 2: Características físicas e químicas do solo antes e após correção.	31
Tabela 3: Análise de variância comparativo das médias da toxicidade do glyphosate em macaúba ao longo do tempo.	39
Tabela 4: Tabela da análise de variância Anova.	40
Tabela 5: Intoxicação em percentual (%) em plantas de <i>A. aculeata</i> aos 7, 14, 21, 28 e 35 DAA, sob aplicação de glyphosate.	41
Tabela 6: Biomassa Seca da Folha (MSF), Biomassa Seca da Raiz (MSR), Volume da Raiz (VR) de <i>Acrocomia aculeata</i> sob aplicação do herbicida glyphosate em cinco doses.	58

A Dedico este trabalho à minha mãe Miriam Lopes da Silva Glória e a minha amada esposa Diôrrana Darc Alves da Cunha Glória. Consequinte ao meu pai Noé Glória Paranaguá. Aos meus amados irmãos Willian da Silva Glória e Érica Cristina da Silva Glória, que são meus mimos.

AGRADECIMENTOS

Ao Bom Deus, pela dádiva da vida!

À Universidade Federal do Tocantins, por proporcionar a vaga no programa de pós-graduação em agroenergia, nas pessoas das coordenadoras, professoras Dra. Flávia Tonani e Dra. Solange Ságio.

Ao Professor Orientador Doutor Eduardo Andrea Lemus Erasmo, pelas orientações sábias e objetivas, também pela confiança e paciência depositadas, nos momentos difíceis da pesquisa.

Às técnicas de laboratório Rita de Cássia e Clemilda Nunes por me auxiliarem até mesmo nos trabalhos de campo. Em especial, a amiga Rita de Cássia pelo apoio fraterno nos momentos de desânimo, pegando na mão e mostrando o caminho. A parceria do Laboratório de Meteorologia e Climatologia – LABMET, pelos dados fornecidos.

À professora Doutora Kellen Lagares e seus estagiários de biologia que auxiliaram no campo e laboratório.

À minha ilustríssima esposa Diôrrana Darc Alves C. Glória, que foi importantíssima em todo o processo, mesmo antes de entrar nele, me incentivando e ajudando todo o tempo. E aos meus familiares, mamãe Míriam Lopes S. Glória e papai Noé Glória, que são meu orgulho. E aos meus irmãos Willian Glória e Érica Cristina Glória, juntamente com meu sobrinho Davi Glória, que estiveram presentes nos trabalhos de campo e laboratório.

Às parceiras e doravante amigas Flávia Gonçalves e Victorina Aires que me alumiarão o caminho, quando não sabia como começar.

À EMBRAPA por fomentar a pesquisa e proporcionar o empréstimo do aparelho IRGA.

Aos colegas de sala de aula *on-line*, a qual tiveram um importante papel de apoio e companheirismo, com as trocas de ideias e incentivos.

À equipe do laboratório de análises moleculares - LAM.

GRATIDÃO!

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.2 Objetivos	16
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	16
1.2.2 <i>Objetivo Específico</i>	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1 A macaúba (<i>Acrocomia aculeata</i>)	16
2.2 Solo e mudas de macaúba.....	18
2.3 Plantas daninhas e herbicidas.....	19
2.4 Fisiologia da planta e o glyphosate	21
2.4.1 Determinação endógena de ácido chiquímico	26
3 MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1 Das plântulas de <i>Acrocomia aculeata</i>	29
3.2 Preparo da área e do solo	30
3.3 Instalação do experimento	32
3.4 Aplicação dos tratamentos	34
3.5 Variáveis Analisadas	35
3.5.1 Avaliação da Intoxicação das plantas.....	35
3.6 Análises biométricas e de biomassa	35
3.7 Análises de Trocas Gasosas.....	36
3.8 Análise do Ácido Chiquímico	38
3.9 Análise dos dados	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1 Dados Climáticos	40
4.2 Avaliação visual da Intoxicação das Plantas	41
4.3 Análise das trocas gasosas	41
4.3.1 Temperatura Foliar (TF).....	42
4.3.2 Condutância Estomática (gs).....	43
4.3.3 Carbono Interno (Ci).....	46
4.3.4 Transpiração estomática (E).....	47
4.3.5 Taxa de assimilação líquida do carbono (A)	49
4.3.6 Eficiência instantânea da carboxilação (EiC)	52
4.3.7 Razão da carboxilação (Ci/Ca).....	54
4.4 Incremento de altura de plantas	56
4.5 Biomassa seca de plantas.....	57
4.6 Análise da concentração do ácido chiquímico	59
5 DISCUSSÃO	61

6 CONCLUSÃO.....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1 INTRODUÇÃO

A macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart.) é uma palmeira nativa do bioma Cerrado, pertencente à família das *Arecaceae*s, considerada a palmeira com maior área de dispersão, pois é encontrada em quatro biomas: Cerrado, Mata Atlântica, Floresta Amazônica e Pantanal (LORENZI, 2009).

O fruto da macaúba vem sendo estudado para a produção de biocombustível, e se revelou promissor, mostrando grande produtividade de óleo, estimada em 5.000 kg/ha, em plantios com densidade de 200 plantas/hectare, o que se compara somente à produtividade do dendê. (MOTA et al., 2011).

Esta espécie até pouco tempo, era explorada apenas de forma extrativista, ou seja, sem técnicas de cultivo. Porém, nos últimos anos, a domesticação da macaúba vem recebendo atenção de instituições públicas e privadas, que realizam pesquisas e instalam cultivos comerciais. A domesticação da macaúba visa melhorar a produtividade, a qualidade e a rentabilidade da planta, além de preservar a biodiversidade e o meio ambiente. Hoje, estes estudos estão intensificando, para que haja uma aprovação no mercado agropecuário, e assim, seja reconhecida como cultura bioenergética. Já existe notícias de investimento bilionário nesta planta, para a produção de biocombustível. (RURAL, 2023a, 2023b).

A Universidade Federal de Viçosa em Minas Gerais, está com um projeto em desenvolvimento, denominado “Domesticação da palmeira Macaúba”, onde realizam pesquisas para viabilizar o cultivo econômico desta espécie (NASCIMENTO, 2018). A Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – EMBRAPA, Embrapa Agroenergia (2017), também realiza trabalhos no melhoramento genético desta oleaginosa, buscando uma alternativa para a domesticação, a fim de possibilitar ganho no rendimento das plantas e conhecimento de sua ecologia e silvicultura. Desta forma, o campo de investigação nesta cultura mostra ser amplo, apresentando a necessidade de maiores conhecimentos científicos e técnicos que venham promover o seu cultivo e produtividade.

Dentre estes conhecimentos, o controle de plantas daninhas destaca-se, haja vista a redução expressiva que provocam no crescimento e produção, quando em convivência com os cultivos de interesse econômico. Em meio as formas de

controle das plantas daninhas a utilização de herbicidas tem sido o mais eficiente, porém parte do princípio da seletividade das espécies cultivadas aos mesmos (DUHOUX et al., 2017).

Quando o herbicida não é seletivo para a espécie cultivada faz-se necessário conhecer quais doses e efeitos podem causar sobre as plantas e a produtividade, no caso que venha a ser atingida em uma aplicação. Em pesquisas simulando deriva de glyphosate dentre outros, em algumas culturas, foi demonstrado que o herbicida prejudica a maioria delas causando danos leves, pesados e até a morte (BRANDÃO et al., 2014; CARVALHO et al., 2017; NETO; SOLANO NETO et al., 2021; YAMASHITA; OLIVEIRA, 2022;).

Sendo o glyphosate um dos herbicidas mais utilizados no controle das plantas daninhas no mercado agropecuário (REZENDE et al., 2020; AURÉLIO et al., 2021), e não seletivo, questiona-se quais seriam os efeitos fisiológicos e bioquímicos que poderiam promover em plantas de macaúba.

Melo et al., (2009), afirmam que a macaúba é tolerante a aplicação de 1 kg ha⁻¹ de glyphosate, não havendo demonstração de intoxicação na planta, a qual foi estatisticamente igual ao controle. Já com aplicações de 2 e 3 kg ha⁻¹, ocasionou a morte de quase todas as plantas.

O glyphosate é o herbicida mais utilizado no controle químico em áreas de plantio de espécies florestais, mostrando ser mais eficaz que os demais herbicidas, pois tem uma área de ação quase que total e menor custo de aplicação, não deixa resíduo no solo, por ser amplamente adsorvido pelas partículas coloidais, mas não é seletivo (MALIK, et al., 1989; BURNSIDE, 1992). O glyphosate é o único herbicida totalmente eficaz na inibição da enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs), através do seu mecanismo de ação que catalisa a condensação do ácido chiquímico e do fosfato piruvato, impedindo a síntese dos três principais aminoácidos – triptofano, fenilalanina e tirosina. (YAMADA; CASTRO, 2007).

Yamada e Castro (2007), concluíram dizendo que a planta contaminada com glifosato tem o crescimento da parte aérea e do sistema radicular diminuído além de perda da tolerância contra doenças, isso até mesmo com doses baixas como 3 mL ha⁻¹ de produto comercial. Eles também alertam que o glyphosate, se utilizado de forma inadequada, pode ocasionar toxicidade, ou mesmo levar à morte as plantas.

Estudos sobre a fisiologia de espécies cultivadas associados, principalmente, às trocas gasosas e à eficiência na utilização da radiação luminosa, que são processos básicos na produção de biomassa, podem indicar os danos provocados pelos herbicidas às plantas (FARIA et al., 2013; SILVA et al., 2014).

Os herbicidas podem causar estresse oxidativo principalmente em plantas sensíveis, devido ao aumento da produção de Espécies Reativas de Oxigênio (ERO) consideradas altamente tóxicas. Para evitar danos oxidativos, as plantas apresentam defesas antioxidantes que envolvem as enzimas, como a dismutase do superóxido (SOD), peroxidase do ascorbato (APX) (THOUNAOJAM et al., 2012), que podem ser consideradas como indicadores do grau de intoxicação das plantas ao herbicida.

A taxa de assimilação líquida ou fotossíntese é uma das variáveis a serem afetadas pelo herbicida glyphosate. Após a aplicação, o carbono é desviado da rota do ácido chiquímico causando redução na ribulose bifosfato (RuBP), aumento na condutância estomática e da assimilação de dióxido de carbono (CO₂), o que pode indicar que o efeito na fotossíntese pela aplicação do glyphosate é indireto, devido aos efeitos secundários do herbicida (OLIVEIRA JÚNIOR; CONSTANTIN & INOUE, 2011). O glyphosate em doses elevadas diminui a eficiência fotossintética das plantas, pois, concentra uma quantidade de chiquimato, devido à inibição da enzima EPSPS, apresentando-se como um forte dreno de carbono no ciclo de Calvin, estimulado pelo desvio da eritrose-4-fosfato que seria levado na regeneração da ribulose (VELINI et al., 2012).

A ação tóxica do glyphosate, com efeitos em diversas rotas metabólicas, como a inibição da EPSPs e acúmulo de ácido chiquímico ocasiona a morte das plantas entre uma a duas semanas após o tratamento (CARVALHO et al., 2012). Portanto, a determinação do acúmulo de ácido chiquímico é um excelente bioindicador da exposição das plantas ao glyphosate (FRANCO et al., 2012; VARGAS et al., 2014)

Nesse sentido, não há dados disponíveis para entender os efeitos do herbicida glyphosate na fisiologia e bioquímica da macaúba, especialmente aqueles relacionados à absorção de água e fotossíntese, as quais são as bases do processo de produção de biomassa.

Diante do exposto, o presente trabalho tem o objetivo de analisar os efeitos do herbicida glyphosate nas características fisiológicas e biométricas de *Acrocomia*

aculeata (macaúba). Este trabalho contribuiu para a análise morfo-fisiológica de plantas de *Acrocomia aculeata* sob a aplicação de glyphosate, passando a dar suporte a sistemas de produção agroenergéticos. O objetivo geral foi investigar os efeitos do herbicida glyphosate nas plantas de macaúba, incluindo a determinação endógena de ácido chiquímico. Os resultados obtidos podem fornecer informações importantes para o desenvolvimento de estratégias de manejo e produção sustentável de macaúba para a produção de agroenergia.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar os parâmetros morfológico e fisiológicos e bioquímicos do herbicida glyphosate sobre plantas de *Acrocomia aculeata*.

1.2.2 Objetivo Específico

- Avaliar os efeitos biométricos e visuais da aplicação do herbicida glyphosate em plantas de macaúba;
- Avaliar os efeitos fisiológicos (trocas de gases e fotossínteses) da aplicação do herbicida glyphosate em plantas de macaúba;
- Quantificar o ácido chiquímico na macaúba.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A macaúba (*Acrocomia aculeata*)

A macaúba é uma palmeira nativa das zonas tropicais e subtropicais do continente americano, desde o México (latitude 20°N), passando pela América Central e pelo Caribe até Paraguai (23°S), Bolívia e Argentina. No Brasil, é encontrada nos biomas Cerrado, Mata Atlântica, Amazônico, Pantanal e na região do semiárido 2022) (FÁVARO & ROCHA, 2022).

A macaúba se desenvolve em solos com mais de 50% de saturação por bases, considerados eutróficos, com média de fertilidade alta e altos níveis de potássio. Populações da espécie ocorrem em áreas com precipitação total anual

entre 1.300-1.700 mm e temperatura média do ar anual corrigida de 21,5-22,5°C 11) (TELES et al., 2011).

Embora suas perspectivas econômicas sejam boas, a *Acrocomia aculeata* ainda é selvagem. Sua exploração tem sido realizada por meio do extrativismo, porém já se vê muitos estudos conduzidos por grupos de pesquisa brasileiros financiados por órgãos federais e estaduais, analisando sua viabilidade de domesticação (SEHNEN, 2017; PIRES et al., 2013), de sua anatomia, fisiologia e germinação da semente (ANDRADE, 2014; SILVA et al., 2014; SOUZA, 2021); e da propagação vegetativa e por sementes (TELES, 2009; MOTOIKE et al., 2013; COLOMBO; BERTON, 2017).

Na produção de biocombustível, a macaúba se revelou promissora, mostrando grande produtividade de óleo, estimada em 5.000 kg/ha, em plantios com densidade de 200 plantas/hectare, o que se compara somente à produtividade do dendê (MOTA et al., 2011). Pimentel et al. (2009), destacaram que essa produção chega até 6.000 litros de óleo/ha por ano.

O óleo da polpa da macaúba tem uma proporção alta de monoinsaturados, semelhante à oliva (*Olea europaea*), isso o torna promissor para a produção de biocombustível e para a indústria de alimentos e seus derivados (EMBRAPA, 2018).

Os parâmetros fisiológicos da troca gasosa da planta, como assimilação líquida de carbono, transpiração e condutância estomática, são facilmente afetados pelas mudanças qualitativas e quantitativas do ambiente circundante e pelo conteúdo foliar, idade e posição dentro do dossel (GOMES; OLIVA; MIELKE, 2008; REDDY; MATCHA, 2010).

Diante disso, a aferição da fotossíntese é muito utilizada como um indicador fisiológico para determinar o bem-estar das plantas. Pires et al. (2013), entenderam que caracterizando os padrões gerais de características fotossintéticas em plantas juvenis de macaúba cultivadas em condições de campo, poderiam orientar os estudos envolvidos na domesticação da espécie, que é um trabalho que dependerá de uma abordagem multidisciplinar.

Segundo Pires et al. (2013), a *Acrocomia aculeata* é uma planta C3 como a maioria das cultivares, onde concluíram que a curva de resposta fotossintética à luz seguiu o padrão clássico de espécies com metabolismo de carbono C3. Por outro lado, a maior parte das plantas daninhas são classificadas como C4 (ALMEIDA et

al., 2020b), portanto quando comparamos as plantas C3 com as C4 observamos que as plantas C4 possuem várias vantagens competitivas em relação as plantas C3, como a fotossíntese, que é maior em ambientes com temperatura e luminosidade elevada e o uso da água é mais eficaz nessas espécies.

A produtividade das plantas é influenciada pela troca de gases entre a folha e a atmosfera. A assimilação de CO₂ depende tanto de fatores ambientais quanto de características intrínsecas da folha, como idade, posição na copa e teor de nutrientes e pigmentos (PIRES et al., 2013). Os autores concluem que, para traçar a ecofisiologia da macaúba, as leituras e medições bioquímicas e fisiológicas desta devem ser realizadas na segunda e terceira folha, sendo que os folíolos do meio da raque que possuem a maior capacidade fisiológica, portanto são mais recomendadas para as leituras de fotossíntese.

2.2 Solo e mudas de macaúba

Para que uma cultura se desenvolva é necessário que se tenha um tratamento no solo, com adubação adequada para cada cultura. Os maciços naturais de macaúba são indicadores de solos férteis, mas podem ser exigentes quanto as condições físico-químicas do solo e quanto a disponibilidade de água, se adequando a solos mais ácidos, porém também podem se adaptar a solos mais alcalinos. (MOTTA et al., 2002; TELES, 2009). Na maioria dos casos, onde são encontradas, a *A. aculeata*, se mostra tolerante a acidez e a baixa fertilidade do solo, e para alcançar maiores produtividades propõe-se a elevação dos teores de cálcio, magnésio e fertilização e do potencial hidrogeniônico (pH) (PIMENTEL, 2012).

De acordo com Motta et al. (2002), os valores médios de pH (água) do solo, nos maciços de macaúba, encontrados em ambientes naturais no estado de Minas Gerais, estiveram entre as leituras médias, com mínimas de 4,6 e máxima de 6,0, apontando uma média geral de 5,5; e para a granulometria, de textura média mais para argiloso.

Machado et al. (2018), avaliaram o comportamento da *Acrocomia aculeata sclerocarpa*, em dois solos distintos, Latossolo Vermelho eutroférico (argiloso) e um Latossolo Vermelho distroférico (arenoso), e verificou-se um aumento significativo, para todas as variáveis, nos dois solos. Porém o sistema radicular no

Latossolo Vermelho eutroférico se desenvolveu melhor enquanto o solo arenoso se destacou em relação ao argiloso para a variável crescimento da parte aérea.

Segundo Mirisola Filho (2009), os solos recomendados para plantio de macaúba devem ser profundos, argilosos e com textura média.

Costa et al. (2014) e Motoike et al. (2013) recomendam como substrato de formação de mudas de macaúba, aquele constituído por areia subsolo mais um composto orgânico, e esterco bovino curtido. Complementam dizendo que as proporções mais indicadas são 2:1:1 (subsolo argiloso) e 1:1:1 (subsolo de textura média). Já Embrapa Agroenergia (2018), concluiu que para produção de plântulas de macaúba em viveiros em sacolas de 5 litros, é mais viável utilizar substrato à base de terra, areia e esterco bovino na proporção 3:1:1.

Em condições naturais, as sementes de palmeiras podem levar de um a dois anos para germinar (LORENZI, 2006). Para a produção de mudas de *A. aculeata* é necessário seguir protocolos longos e demorados, para se conseguir chegar à quebra de dormência da semente. O protocolo proposto por Motoike et al. (2007), é o mais utilizado atualmente, o qual inicia-se com a eliminação do endocarpo, depois a primeira desinfestação, em seguida há o tratamento de embebição, segunda desinfestação, seguida da escarificação mecânica, tratamento com regulador de crescimento, seguido da germinação da semente em ambiente semiasséptico, o qual deve ser aplicado na sequência definida. A porcentagem de germinação após a realização deste processo está entre 60% e 80% e as sementes pré-germinadas são obtidas com 32 dias após o início do processo (MANFIO, 2010).

Além do método proposto por Motoike et al. (2007), existem outros como: o método *in vitro* de propagação clonal (clones de células somática) (ANDRADE, 2014; NASCIMENTO, 2018); o de estufa; o de embebição e o de escarificação física (RUBIO NETO et al., 2014).

2.3 Plantas daninhas e herbicidas

Algumas espécies de plantas daninhas competem por água, luz, nutrientes e podem causar interferências de natureza alelopática, retardando o desenvolvimento das culturas. Segundo Lorenzi, (2014):

“Planta daninha é qualquer ser vegetal que cresce onde não é desejado. As plantas daninhas, quando crescem juntamente com as culturas agrícolas, interferem no seu desenvolvimento, reduzindo-lhes a produção – competem pela extração dos elementos vitais (água, luz, CO₂ e nutrientes) e exercem inibição química sobre o seu desenvolvimento, fenômeno esse conhecido com alelopatia”.

Para a contenção das ervas daninhas nas plantações os principais métodos de controle são o mecânico, o cultural e o químico (RESENDE; LELES, 2017). Para o controle químico utiliza-se herbicidas, o qual se destaca o glyphosate. Segundo Solano Neto et al. (2021), trata-se de um herbicida pós-emergente e sistêmico o mais utilizado no mundo, o qual apresenta menor custo que as capinas manuais e roçadas.

Todas as plantas são sensíveis ao glyphosate em maior ou menor intensidade, exceto as plantas geneticamente modificadas (transgênicas). Nas aplicações de herbicidas pode ocorrer deriva da calda sobre as partes aéreas das espécies florestais, causando possíveis intoxicações das culturas. Isso pode gerar danos a fisiologia das plantas, e dependendo da dose, ocasionando atraso no crescimento e até a morte destas. (NETO; YAMASHITA; OLIVEIRA, 2022).

Em testes simulando deriva de glyphosate, em algumas culturas, foi demonstrado que o herbicida prejudica a maioria delas causando danos leves, pesados e até a morte (CARVALHO et al., 2017; SOLANO NETO et al., 2021; NETO; YAMASHITA; OLIVEIRA, 2022;).

Em doses abaixo da recomendada, alguns estudos apontam um efeito hormético nas cultivares, sob efeito do glyphosate, estimulando o aumento da fotossíntese (RAMOS, 2017; BORTOLHEIRO, 2019). Entretanto a média de incremento é observada na faixa entre 20 e 30% em condições controladas e entre 10 e 25% em condições de campo (BELZ; CEDERGREEN; DUKE, 2011). Carbonari et al. (2014), estudando a aplicação de doses de glyphosate em cana-de-açúcar, determinou que as doses entre 7,2 e 36 g de e.a. ha⁻¹ promoveram um aumento na biomassa da parte aérea da planta. Nascentes (2016), concluiu que a aplicação de glyphosate em baixas doses promoveu incrementos de massa seca de folha, caule e caule+folha em plantas de cana-de-açúcar e eucalipto, com doses variando de 1,8 a 36 g e.a ha⁻¹.

Em testes para seletividade de herbicida para a macaúba, Costa et al. (2020), relatam que os herbicidas Isoxaflutol (150 g ha⁻¹), oxifluorfeno (720 g ha⁻¹) e

sulfentrazone (500 g ha^{-1}) foram seletivos para mudas de macaúba, independentemente do método de aplicação do herbicida. Já Melo et al. (2009), aplicando doses de 1 kg ha^{-1} de glyphosate Roundup WG (720 g.e.a L^{-1}) em mudas de macaúba de 180 dias de germinadas, constatou que não houve intoxicação na planta, comparando-as com a testemunha. Já com aplicações de 2 ou 3 kg ha^{-1} , ocorreram mortes de quase todas as plantas avaliadas.

Segundo Costa et al. (2020), em teste de seletividade de herbicidas para plantas de macaúba de 10 meses de germinadas, verificaram que as parcelas sem controle das plantas daninhas, com densidade $5 - 37,8$ plantas em vaso $^{-1}$, ocasionou redução no crescimento das mudas de macaúba em 40%, em um período de convivência de 126 dias.

O conhecimento sobre seletividade, eficácia e forma de aplicação de herbicidas no controle de plantas daninhas para macaúba é escasso, uma vez que não há herbicidas registrados para esta palmeira (AGROFIT, 2023).

2.4 Fisiologia da planta e o glyphosate

A fisiologia das plantas C3 se refere ao modo como essas plantas realizam a fotossíntese, ou seja, o processo de captura da energia luminosa e sua conversão em energia química, produzindo açúcares a partir de dióxido de carbono e água e cujas trocas gasosas (entrada do CO_2 e saída do O_2 atmosférico nas folhas) são caracterizadas pela passagem desses gases pelos estômatos. (KAISER; GALVIS, 2019). Os movimentos estomáticos regulam tanto a entrada do CO_2 , como também a transpiração, afetando diretamente a eficiência no uso da água (TAIZ et al., 2017; LAWSON; VIALET-CHABRAND, 2019).

As plantas C3 utilizam apenas o ciclo de Calvin para fixar o carbono, que ocorre no estroma dos cloroplastos. Nesse ciclo, o CO_2 atmosférico é incorporado à ribulose-1,5-bifosfato (RuBP), uma molécula de cinco carbonos, pela ação da enzima rubisco. Essa reação resulta em duas moléculas de PGA, que são posteriormente reduzidas a gliceraldeído-3-fosfato (G3P), uma triose-fosfato, com consumo de ATP e NADPH provenientes das reações dependentes de luz. Parte do G3P é usado para regenerar a RuBP, enquanto outra parte é usada para sintetizar produtos orgânicos, como glicose, amido, lipídios e aminoácidos. (BUCKERIDGE et al., 2014; GONZÁLEZ, 2019).

A fisiologia da macaúba em relação à fotossíntese e às raízes envolve alguns aspectos interessantes. A *A. aculeata* é uma espécie pioneira que apresenta alta taxa de crescimento e eficiência fotossintética (PIRES, 2017). Ela possui folhas perenifólias com grande área foliar específica e alta capacidade de absorção de luz e alta tolerância à seca e ao fogo, podendo rebrotar rapidamente após a queima da parte aérea. (TELES, 2009a)

A macaúba possui um caule subterrâneo, que é uma estrutura curva e bulbosa que se forma a partir da plúmula positivamente geotrópica da semente. Esse caule armazena reservas de carboidratos e água e serve como suporte para o crescimento do caule aéreo. Ele também permite a regeneração da parte aérea após a remoção ou o dano causado por herbivoria ou incêndios (MOTA et al., 2011).

Outra característica fisiológica importante das plantas é a utilização da EPSPs (5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato) sintase, que é uma enzima que participa da via do chiquimato (Figura 1), uma rota metabólica que ocorre em plantas e micro-organismos e que é responsável pela síntese de aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina e triptofano) (YAMADA; CASTRO, 2007). Esses aminoácidos são precursores de compostos importantes para a fisiologia e o metabolismo das plantas, como a clorofila, os carotenoides, as ligninas, os alcaloides, os flavonoides, os ácidos benzoicos e o ácido indolacético (AIA), que é um hormônio vegetal do grupo das auxinas. (MELO, 2002).

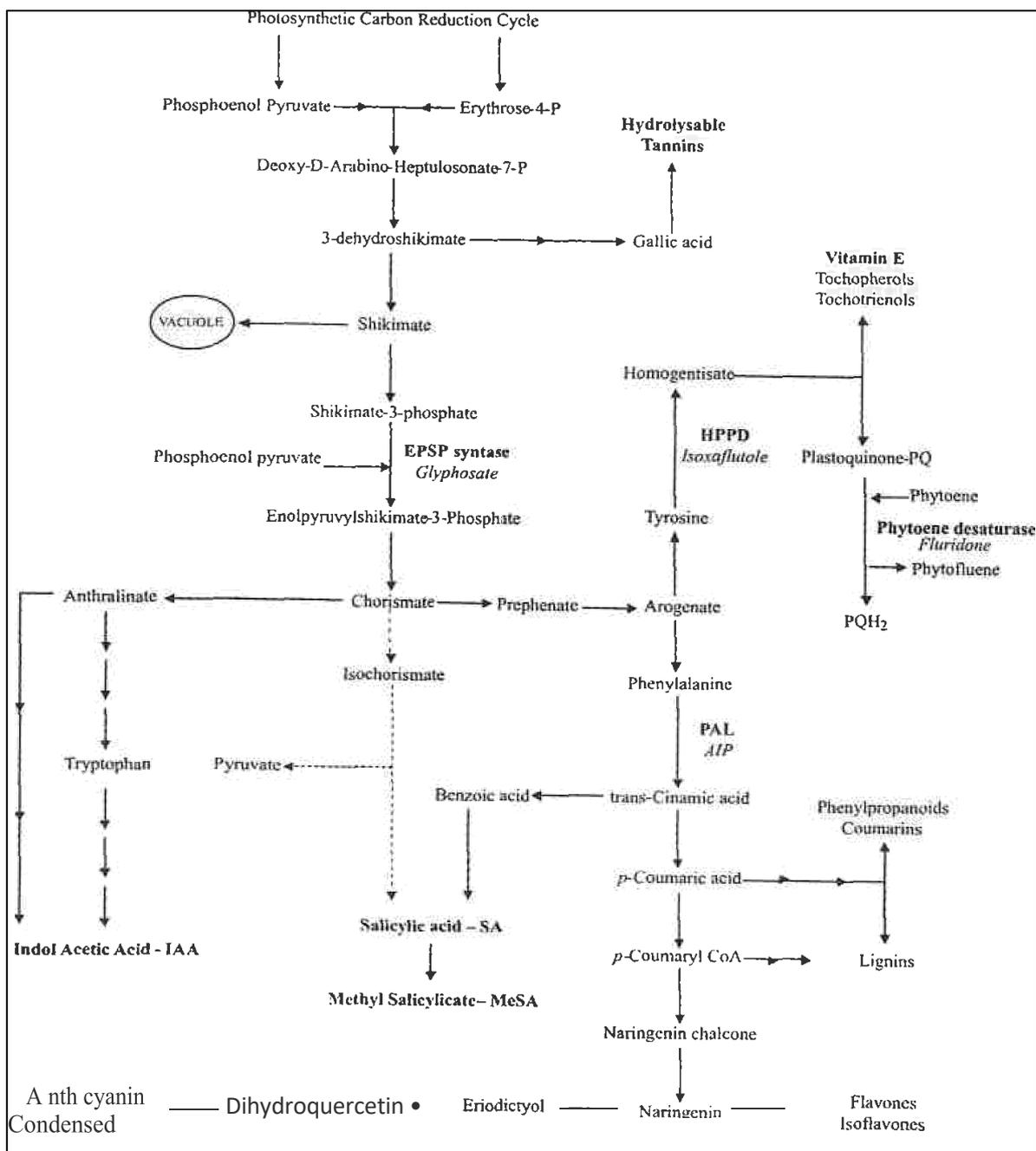


Figura 1. Rota do Chiquimato.

Fonte: (VELINI et al., 2019)

A rota bioquímica do chiquimato é uma via metabólica que ocorre nos plastídeos das plantas e que leva à síntese dos aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina e triptofano) e de seus derivados. Esses aminoácidos e seus derivados são considerados metabólitos secundários, pois não são essenciais para o metabolismo básico das plantas, mas desempenham funções importantes na interação com o ambiente e na defesa contra estresses bióticos e abióticos. (PERES, 2005; BONINI et al., 2020).

Esta rota é composta por sete reações enzimáticas, que envolvem a condensação do eritrose-4-fosfato (E4P), proveniente da via das pentoses-fosfato, com o fosfoenolpiruvato (PEP), proveniente da glicólise ou do ciclo de Calvin. O produto final da rota do chiquimato é o ácido chiquímico-3-fosfato (C3P), que pode seguir duas vias alternativas: a via dos fenilpropanoides ou a via dos alcaloides indólicos (figura 2). (PORSCH; SIMAS; GRANZOTI, 2019; ALMEIDA et al., 2020a)

A via dos fenilpropanoides é responsável pela produção de uma grande variedade de compostos fenólicos, como ácidos fenólicos, flavonoides, taninos, lignina, suberina e cutina. Esses compostos possuem funções estruturais, de proteção contra radiação UV, de atração de polinizadores e dispersores, de inibição de patógenos e herbívoros e de regulação do crescimento vegetal. (PERES, 2005).

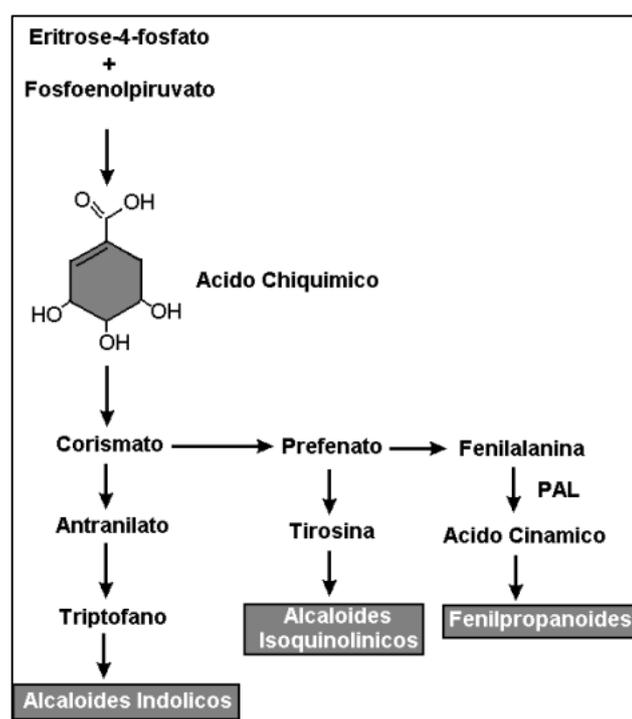


Figura 2. Via do ácido chiquímico para biossíntese de compostos fenólicos e alguns alcalóides.

Fonte: (PERES, 2005).

O glyphosate é um herbicida não-seletivo, sistêmico e pós-emergente, que atua inibindo a enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS). A inibição da EPSPS pelo glyphosate leva ao acúmulo de ácido chiquímico e ao esgotamento dos aminoácidos aromáticos nas plantas, causando desbalanço nutricional, estresse oxidativo, redução da fotossíntese, do crescimento e da

reprodução e, finalmente, a morte das plantas. O acúmulo de ácido chiquímico e de seus derivados (chiquimatos), podem ser tóxicos para as plantas ou interferir com outras vias metabólicas. (GOMES, 2011).

Esse acúmulo, causado pela desregulação da rota, é um forte indicador da reserva do carbono em meio ao ciclo de Calvin, pelo desvio de eritrose-4-fosfato, que seria usado na regeneração de ribulose bifosfato. Com isso, um importante efeito na inibição causada pelo glyphosate, é a grande redução da fotossíntese (CARVALHO, 2013).

O glyphosate é absorvido pelas folhas e pelos tecidos jovens das plantas e é translocado pelo floema para as regiões meristemáticas, onde se acumula e exerce sua ação herbicida. Esse herbicida também pode ser absorvido pelas raízes e pelo xilema e afetar o metabolismo secundário das plantas. Ele pode ainda interagir com outros fatores ambientais, como luz, temperatura, umidade, nutrientes e microrganismos, alterando a resposta das plantas ao herbicida. (ALMEIDA et al., 2020b; COSTA et al., 2020b). Este herbicida causa também a redução do crescimento e da reprodução das plantas, movida pela diminuição da divisão celular nos meristemas apicais e laterais, pela redução da elongação celular nos tecidos em expansão e pela redução da formação de flores e frutos. (BONINI et al., 2020)

O acúmulo do ácido chiquímico nas plantas, está diretamente ligado a inibição da enzima EPSPS (5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase), causada pelo herbicida glyphosate, evitando com isso a síntese dos três aminoácidos essenciais, triptofano, fenilamina e tirosina, ocasionando alterações na fotossíntese, respiração e transpiração (YAMADA; CASTRO, 2007), logo após a aplicação, há redução acentuada nos níveis desses aminoácidos, e as plantas param de crescer. (BONINI et al., 2020).

Esse acúmulo, causado pela desregulação da rota, é um forte indicador da reserva do carbono em meio ao ciclo de Calvin, pelo desvio de eritrose-4-fosfato, que seria usado na regeneração de ribulose bifosfato. Com isso, um importante efeito na inibição causada pelo glyphosate, é a grande redução da fotossíntese (CARVALHO, 2013).

Ao inibir a enzima EPSPs, o glyphosate provoca a redução da fotossíntese, a planta fica sob influência desse herbicida, perdendo a eficiência na produção dos

aminoácidos para a síntese protéica e de alguns metabólitos adjacentes (BONINI et al., 2020).

Moraes (2019), em experimento com *Urochloa decumbens*, utilizou baixas doses de glyphosate, de 22,5 e 45 gramas de equivalente ácido (g e.a.) por hectare (ha^{-1}) e avaliou que subdoses de 22,5 g.e.a ha^{-1} reduziu o consumo de água acumulada, acúmulo de macronutrientes e a biomassa. Já as subdoses de 45 g.e.a ha^{-1} indicaram grande potencial para uso da redução do crescimento ou manutenção da cobertura vegetal.

Ramos et al. (2020), avaliaram os efeitos do glyphosate em *Acacia Mangium*, no qual verificaram que houve redução nos valores de fotossíntese, condutância e transpiração com a aplicação de doses superiores a 180 g.e.a.L⁻¹.

O AIA é produzido em diversos tecidos vegetais, como as gemas apicais, os frutos e as sementes, e é transportado pelo floema para outras partes da planta. O AIA atua em diversos processos de crescimento e desenvolvimento vegetal, como o alongamento celular, a divisão celular, a diferenciação de tecidos vasculares, a formação de raízes, o florescimento, a frutificação e a abscisão. O efeito do glyphosate na produção do AIA e seu efeito na produção de raízes dependem da dose aplicada, do estágio de desenvolvimento da planta e da espécie vegetal. Em geral, o glyphosate reduz a produção de AIA nas plantas, afetando negativamente o crescimento radicular (RAMOS et al., 2021).

A exemplo, em plântulas de soja (*Glycine max*), o glyphosate diminuiu a concentração de AIA nas raízes e reduziu o comprimento e a massa seca das raízes (MELO, 2002). Em mudas de café (*Coffea arabica*), o glyphosate reduziu a produção de AIA nas folhas e nas raízes e causou clorose foliar e necrose radicular (VARGAS et al., 2013). Portanto, o glyphosate pode interferir na produção do AIA nas plantas e prejudicar a produção de raízes, comprometendo o desenvolvimento vegetal e a produtividade agrícola.

2.4.1 Determinação endógena de ácido chiquímico

Estudos mediram as alterações no ácido chiquímico endógeno (MATALLO et al., 2010; CARVALHO et al., 2012) em deriva do glyphosate para plantas não-alvo, no caso de *Digitaria insularis* e citros respectivamente, verificando os danos causados por EPSPS e herbicidas inibidores de EPSPS, haja vista que as

concentrações endógenas de ácido chiquímico se correlacionam com o nível de inibição de EPSPS pelo glyphosate.

Em relação às concentrações de ácido chiquímico, Nascentes (2016), avaliando o efeito de subdoses do herbicida glyphosate na produção de biomassa, teor de clorofila, trocas gasosas e conteúdo de ácido chiquímico em plantas de cana-de-açúcar e eucalipto, observou que o glyphosate causou um estímulo ao crescimento vegetal em doses baixas e um efeito tóxico em doses altas. O autor relatou que o glyphosate só foi detectado nas plantas em doses a partir de 72 g e.a. ha⁻¹, e que nessas doses houve um aumento significativo do conteúdo de ácido chiquímico nas folhas e nos colmos de cana-de-açúcar e nas folhas de eucalipto. Concluiu afirmando que o herbicida aumenta as concentrações de ácido chiquímico nas plantas em doses altas, indicando uma interferência na via do chiquimato e um possível dano ao metabolismo vegetal.

Em um estudo realizado por Franco et al. (2014), foi avaliado o efeito de subdoses de glyphosate na produção de ácido chiquímico por *Brachiaria plantaginea*, uma planta daninha que ocorre em áreas de cultivo de macaúba. Os autores observaram que a aplicação de 36 g e.a. ha⁻¹ de glyphosate produziu quantidades significativamente superiores de ácido chiquímico nas plantas de *B. plantaginea*, alcançando um máximo de concentração 6 dias após sua aplicação.

Matallo et al. (2010), verificaram o acúmulo de ácido chiquímico em plantas de laranja pêra (*Citrus sinensis*) num pomar comercial manejado com glifosato. Os autores aplicaram duas doses de glifosato (1.440 e 1.260 g e.a. ha⁻¹) na entrelinha de 15 plantas de laranja pêra, deixando outras cinco como testemunha capinada manualmente. Eles coletaram 20 folhas de cada planta antes e aos 3, 7, 10, 15, 20 e 35 dias após a aplicação do herbicida, e analisaram o teor de ácido chiquímico por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) após extração por micro-ondas. Os resultados mostraram que não houve diferenças significativas nos teores de ácido chiquímico entre o material proveniente da área tratada com glifosato e o da área capinada manualmente. Os autores concluíram que o glifosato não causou acúmulo de ácido chiquímico nas plantas de laranja pêra, não havendo indícios de interferência na via do chiquimato.

Existem vários métodos de quantificação ou determinação do ácido chiquímico. O método baseado em espectrofotometria, em ressonância magnética, de cromatografia em camada delgada, de espectrofotometria, cromatografia líquida

de alta pressão (HPLC), espectroscopia de massa, cromatografia gasosa, eletrocínica micelar, cromatografia capilar e eletroforese de zona capilar acoplada (NANDULA et al., 2007).

Zelaya et al. (2011), concluíram que a espectrofotometria e métodos baseados em HPLC são os mais amplamente usados para a quantificação do ácido chiquímico, devido serem de baixo custo e a simplicidade dos procedimentos analíticos otimizam a análise.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na estação experimental do campus da Universidade Federal do Tocantins em Palmas - Tocantins, localizado na latitude 10°45' S, longitude 47°14' W a 220 m de altitude. O clima na região, de acordo com a classificação climática de Köeppen, é do tipo Aw, tropical úmido com estação de seca bem definida, o que contribui para as altas temperaturas da região. A média anual da evapotranspiração potencial é de 1.500 mm, apresentando temperatura média anual de 27,5 ° C e precipitação média anual de 1600, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia do ("Instituto Nacional de Meteorologia - INMET", 2022).

As leituras climáticas foram aferidas no período de dezembro de 2021 a junho de 2022, as quais foram coletadas pelo Laboratório de Meteorologia e Climatologia – LABMET. (UFT, 2023).

As mudas do experimento (figura 3) foram adquiridas na Universidade Federal de Viçosa no estado de Minas Gerais, as quais foram produzidas a partir de sementes extraídas de frutos coletados de uma única planta, submetidas ao processo de pré-germinação pelo protocolo desenvolvido por Motoike et al. (2007), no qual a superação de dormência e o processo germinativo da plântula de macaúba é concluído em 32 dias.



Figura 3 Mudas de macaúba de dois meses de germinadas, do viveiro de mudas da Universidade Federal de Viçosa, UFV – Viçosa-MG.
Fonte: próprio autor. Palmas, 2022.

O experimento foi instalado no dia 9 de dezembro de 2021, o qual transplantou-se as mudas de *Acrocomia aculeata* para os vasos maiores de PVC de 35 litros contendo o substrato, seguindo as recomendações de Motoike et al. (2007).

3.1 Das plântulas de *Acrocomia aculeata*

A macauba é um indicador de solos férteis e pode ser exigente em termos de condições físicas/químicas do solo e disponibilidade de água. No entanto, na maioria dos casos em que ocorrem, apresentam tolerância à acidez e baixa fertilidade do solo. Para obter maior produtividade, sugere-se aumentar os teores de cálcio, magnésio e adubação (PIMENTEL, 2012). Segundo Motta et al. (2002), os valores médios de pH (água) do solo nos maciços de Macaúba, encontrados em ambiente natural no estado de Minas Gerais, estiveram entre os valores médios mínimos de 4,6 e o máximo 6,0, o que significa uma média de 5,5; e texturas médias mais a argilosas.

Costa et al. (2014) e Motoike et al. (2013), dizem que o substrato proposto, utilizado, é constituído por areia subsolo mais um composto orgânico, o qual recomendam o esterco bovino curtido. Complementa dizendo que as proporções mais indicadas são 2:1:1 (subsolo argiloso) e 1:1:1 (subsolo de textura média).

Segundo Mirisola Filho (2009), os solos recomendados para plantio de macaúba devem ser profundos, argilosos e com textura média. Já Embrapa Agroenergia, (2018) concluiu que para produção de plântulas de macaúba em viveiros em sacolas de 5 litros, é mais viável utilizar substrato à base de terra, areia e esterco bovino na proporção 3:1:1.

3.2 Preparo da área e do solo

O solo utilizado no experimento foi coletado na camada arável da área experimental do campus de Palmas, classificado como latossolo vermelho. As suas características físico químicas estão descritas nas tabelas 1 e 2.

As análises dos solos, sem tratamento e do solo tratado com calagem e esterco bovino, foram realizadas por dois laboratórios, o Laboratório Super + em 2021, verificando as características do latossolo vermelho de barranco e do solo tratado com a calagem e esterco bovino, pelo Laboratório Agroambiental, da Universidade Estadual do Tocantins – UNITINS, respectivamente.

Para correção do solo, foram utilizados esterco bovino curtido e calcário dolomítico de PRNT 96% (Poder Relativo Neutralizante Total), na quantidade calculada para os teores de alumínio e de Cálcio e Magnésio (Ca + Mg) trocáveis, utilizando a Equação 1. O solo foi peneirado para melhorar a homogeneização com o calcário e esterco bovino.

Foi calculada a quantidade de solo necessária para o preenchimento total dos vasos onde foram transplantadas as mudas de macaúba. A exigência de calcário (NC) foi calculada pelo método de neutralização de alumínio e elevação de Ca e Mg, que encontrou $NC = 2,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ para correção do solo, resultando em um valor de $1,4 \text{ kg/m}^3$ de calcário dolomítico PRNT 96 % por metro cúbico. No entanto, aproximadamente 3 kg deste calcário foram adicionados ao substrato, resultando em um volume de composto de $2,1 \text{ m}^3$ para o preenchimento total dos vasos. (ARAUJO, 2019)

Equação 1 . Equação para encontrar os teores de Al e (Ca + Mg) trocáveis

$$NC = Y [Al^{3+} - (mt \times t / 100)] + [X - (Ca^{2+} + Mg^{2+})] \times 100 / PRNT$$

Onde:

NC = Necessidade de calagem em $t\ ha^{-1}$

Y = Valor tabelado em função do poder tampão do solo

mt = Saturação por Al^{3+} ($100 \times Al / SB + Al$) (Soma de bases);

t = CTC (capacidade de troca de cátions) efetiva (SB + Al);

X = Teor mínimo de Ca + Mg

$Ca^{2+} + Mg^{2+}$ = Teores trocáveis de Ca e Mg, em $cmolc\ dm^{-3}$

PRNT = Poder Relativo de Neutralização Total do calcário a ser aplicado

Para promover a reação do calcário, o solo foi misturado e umedecido, e deixado em incubação por um período de 25 dias. Logo após o período, encheu-se os vasos e fez-se o transplante das mudas.

Nas tabelas 1 e 2, descrevem-se as características físicas e químicas do solo utilizado no experimento.

A adição do calcário dolomítico melhorou a concentração dos compostos químicos cálcio e magnésio ionizados, (Ca^{2+} e Mg^{2+}).

A calagem foi a principal ação para elevação do pH, saindo de 4,69 para 6,01 no solo tratado, conforme recomendação técnica de Motta et al. (2002), que sugere um pH mais alcalino para a macaúba, em média de 5,5.

Tabela 1: Características físicas e químicas do solo, antes e após correção. Palmas, 2022.

Resultado da Análise Química														
Cod. Lab.	Descrição Amostra	pH(H ₂ O)	pH(CaCl ₂)	P(meh)	P(rem)	P(res)	S-SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ Al	M.O.	C.O.
		mg dm ⁻³						cmolc dm ⁻³			g dm ⁻³			
394/2021	Solo cerrado	4,69	4,07	0,02	ns	ns	18,64	0,01	0,28	0,02	0,2	4,2	5,1	2,96
S1894/2022	Solo calagem	6,01	6,45	14,19	ns	ns	ns	0,14	3,84	2,01	0	1,36	ns	ns

Fonte: Leitura químicas dos solos, realizadas pelos laboratórios: Laboratório Super +(2021) e Laboratório Agroambiental, UNITINS (2022), adaptado pelo autor.

Tabela 2: Características físicas e químicas do solo antes e após correção. Palmas, 2022.

Resultados Complementares													
Cod. Lab.	Descrição Amostra	Micronutrientes					Granulometria			Relações			
		B	Cu	Fe	Mn	Zn	Areia	Argila	Silte	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	

		ppm (mg dm ⁻³)					g Kg ⁻¹		Relações			
394/2021	Solo cerrado	0,15	0,11	26,92	0,58	0,61	414,00	464,00	122,00	14,00	28,00	2,00
S1894/2022	Solo calagem	0,19	0,14	67,81	20,21	3,77	492,80	88,80	418,40	1,91	26,78	14,00

Fonte: Leituras químicas dos solos, realizadas pelos laboratórios: Laboratório Super + (2021) e Laboratório Agroambiental, UNITINS (2022), adaptado pelo autor.

3.3 Instalação do experimento

O experimento foi instalado no dia 9 de dezembro de 2021, na estação experimental da UFT em Palmas, em vasos de policloreto de vinila – pvc, de 35 litros (300 mm x 500 mm), com distância de 1 metro entre os vasos e 3 metros entre os blocos (Figuras 2 e 3). Em cada vaso foi transplantada uma muda de macaúba, com 6 meses de germinada, com o brotamento do terceiro par de folhas, conforme recomendado por Motoike et al. (2013).

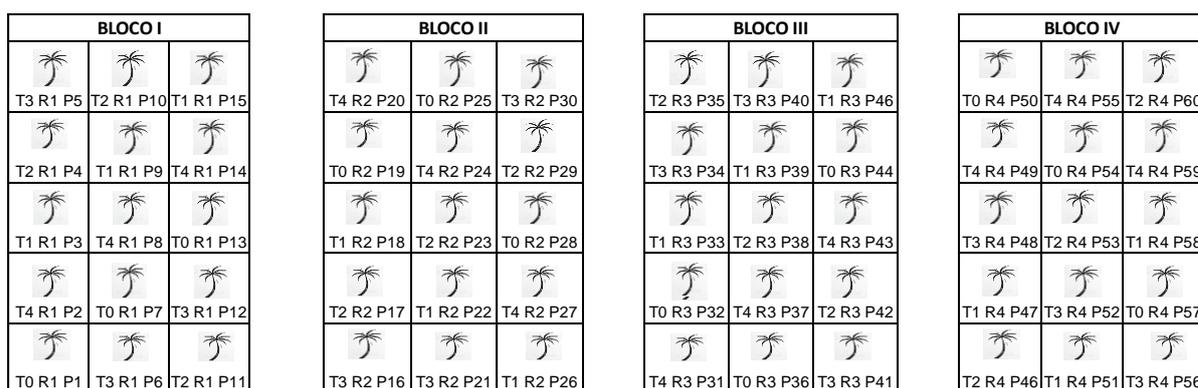


Figura 4. Esquema do experimento montado no campo.

4 Blocos casualizados, com 4 doses de glyphosate, T1= 0,250 L; T2= 0,500 L; T3= 1,0 L; T4= 2,0 L e mais T0 (Testemunha sem aplicação), cada bloco com 3 plantas por tratamento. T = Tratamentos; R= Blocos e P= Planta (n)

Durante a condução do trabalho não houve necessidade de aplicação de defensivos agrícolas contra pragas e doenças. Foi realizado capina manual nos vasos para retirada das plantas daninhas que surgiram.

As mudas foram conduzidas pelo período de 6 meses. Quando estavam com 8 meses de idade e 4 pares de folhas, foram aplicados os tratamentos (29 de abril de 2022). A partir do mês de abril (início do processo de estiagem da região) foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento para manter as mudas umedecidas. (NUNES, 2016; GONÇALVES, 2018).

O sistema de irrigação por gotejamento, com auxílio de um motobomba automatizada, sendo disparada duas vezes ao dia. Foi utilizado gotejadores do tipo click tif HD, que são autocompensantes na faixa de pressão de 1,0 a 4,0 bar com vazão média de 4,0 L h⁻¹. A partir da bomba a água foi distribuída em uma linha principal de cano PVC de 25 mm² e depois em linhas laterais em canos de polietileno com diâmetro nominal de 16 mm contendo um gotejador por planta.

A água utilizada para a irrigação foi retirada de um poço de drenagem e armazenada em uma caixa d'água de 10.000 litros, instalada ao lado da unidade de bombeamento.

A motobomba da marca Bomba Periférica KSB Hydrobloc P 1000T, foi automatizada para ligar duas vezes ao dia, por vinte minutos em cada momento (às 7 horas e às 18 horas), oferecendo aproximadamente 2.600 mL por gotejador neste tempo. Durante o dia os gotejadores recebiam água por gravidade da caixa d'água, condicionando ao solo mais umidade e oferecendo melhor aclimatação à planta.



Figura 5. Sistema de irrigação por gotejamento em plantas de macaúbas.
Fonte: próprio autor. Palmas-TO.

O experimento foi conduzido por 35 dias após a aplicação, sendo encerrado no dia 04 de junho de 2022, quando a estrutura foi desmontada. Logo após, foi dado início as análises de biomassa e bioquímicas.



Figura 6. Disposição do experimento logo após o transplante das mudas de macaúba. Estação experimental da UFT campus de Palmas - Tocantins (2021). Fonte: próprio autor.

3.4 Aplicação dos tratamentos

O delineamento experimental, foi o de blocos casualizados, com 5 tratamentos, correspondendo a 5 doses de glyphosate *Roundup Original*[®]DI (360 g.e.a ha⁻¹): 0; 90; 180; 360 e 720 g.e.a ha⁻¹, e 4 repetições, utilizando 3 plantas por repetição, perfazendo um total de 15 plantas por bloco e 60 plantas em toda a área experimental (Figura 6).

A aplicação do herbicida foi realizada no dia 30 de abril de 2022, quando as plantas se encontravam com 8 meses de germinadas. A aplicação do herbicida foi realizada por meio de pulverizador costal pressurizado a gás carbônico (Figura 7) e equipado com pontas bico (XR 110.02), cuja aplicação foi a 30 centímetros de altura da planta, com dispersão de água no volume de 200 L ha⁻¹ de calda e pressão constante de 35 kgf/cm².



Figura 7. Aplicação das doses de glyphosate em mudas de *A. aculeata*.
Fonte: próprio autor.

As aplicações das doses de glyphosate foram realizadas de forma a atingir toda a copa da planta. Para evitar a deriva entre os tratamentos durante às aplicações, as plantas foram protegidas com sacolas plásticas transparentes envolvendo-as.

3.5 Variáveis Analisadas

3.5.1 Avaliação da Intoxicação das plantas

Após a aplicação do herbicida, foram realizadas avaliações visuais em intervalos de 7 dias (7, 14, 21, 28 e 35 dias após aplicação - DAA), analisando alterações morfológicas na parte aérea das plantas, coloração das folhas e desenvolvimento geral. Nestes períodos foi realizada avaliação de intoxicação das plantas (IP) sempre em comparação a testemunha, utilizando-se escala de notas de 0 a 100%, onde: 0% para ausência de sintomas e 100% para morte total da planta (RAMOS et al., 2020).

3.6 Análises biométricas e de biomassa

A avaliação da altura de plantas (H) foi realizada aos 0 e 35 DAA. A altura foi obtida através de uma régua graduada considerando a medida a partir da superfície do solo até o ápice da folha.

Aos 35 DAA, o experimento foi desmontado separando a parte aérea (folhas e caule) e subterrânea das plantas (raízes conectadas ao bulbo), ambas as partes foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas, mantidas em estufa com circulação de ar ($70 \pm 2^\circ\text{C}$) até atingir peso constante. Após isto, os componentes vegetativos foram pesados em balança digital, para determinação da biomassa, cujas biomassa fresca e seca foram quantificadas, criando as variáveis: massa seca da folha (MSF) (folhas e caule), massa seca e fresca da raiz (MSR) (raízes e bulbo) e volume da raiz (VR) (raízes e bulbo). (Figura 8).



Figura 8. Processo de separação da parte aérea da subterrânea (raiz e bulbo) da planta de *A. aculeata*.

A-Planta recém extraída do solo. B-Parte aérea separada. C-Parte subterrânea. Fonte: próprio autor.

O material fresco foi quantificado da seguinte forma: o volume da raiz (VR) (raízes e bulbo) foi medido levando em consideração todo o material subterrâneo, o qual foi calculado utilizando uma proveta de 2.000 mililitros (mL). A parte aérea e a subterrânea foram quantificadas separadamente, sendo que na parte subterrânea foi considerada o bulbo.

3.7 Análises de Trocas Gasosas

Após a aplicação dos herbicidas, foram realizadas as avaliações fisiológicas, (7, 14, 28, 32 e 35 dias após aplicação - DAA) no terço superior da planta, na terceira folha completamente expandida. Utilizando-se o analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCpro-SD, (®ADC BioScientific - Hoddesdon, Inglaterra), (Figura 9). Todas as medidas foram realizadas em luz artificial da câmara, configurada para a máxima de 2000 μmol de radiação fotossintética ativa (PAR), evitando assim as variações de leitura por nebulosidade.

As medidas pontuais foram realizadas a partir da configuração dos passos das curvas (*step*) pelos valores mais próximos ao ambiente, e fixados apenas para radiação fotossintética ativa (PAR) e para assimilação líquida do dióxido de carbono. No caso específico da *Acrocomia aculeata*, esses valores foram de 2000 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para radiação fotossintética ativa (PAR) e 400 μmol de CO_2 $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$, para assimilação líquida do dióxido de carbono (CO_2), de acordo com Pires et al., (2013).

As avaliações e leituras foram feitas entre 8 e 11 horas da manhã, como é recomendado por Pires et al. (2013), de forma que manteve-se as condições ambientais homogêneas durante a avaliação de cada bloco. Foram avaliados o carbono interno (C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$), taxa fotossintética ou taxa de assimilação líquida, (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática de vapores de água (g_s - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa de transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), temperatura da folha (T_F - $^{\circ}\text{C}$), e eficiência instantânea da carboxilação (E_iC) (A/C_i) [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}) (\mu\text{mol mol}^{-1})^{-1}$]. (LAWSON; VIALET-CHABRAND, 2019; HENSCHHEL; BATISTA, 2021).

Realizou-se a leitura na terceira folha, numeradas de cima para baixo a partir da primeira folha abaixo da folha da lança (PIRES et al., 2013). Foram feitas dez leituras em cada folha composta, sendo 5 em cada lado, na parte medial dos folhetos.



Figura 9: Imagem do IRGA no local de leitura aos 7 dias após a aplicação do herbicida.

3.8 Análise do Ácido Chiquímico

A análise do Ácido Chiquímico foi realizada no laboratório de análises moleculares – LAM da UFT. Para estas análises foram coletadas amostras da parte aérea das plantas tratadas e testemunha aos 28 dias após a aplicação dos tratamentos. Após serem lavadas com água destilada, foram secas superficialmente com papel de filtro, armazenadas em tubos falcon de 50 mm, congeladas em nitrogênio líquido e imediatamente armazenadas em freezer a -80 graus célsius ($^{\circ}$ C), para as posteriores análises.

Após o armazenamento do material vegetal fresco em nitrogênio líquido, foram iniciadas as atividades laboratoriais, a qual foi separada 200 mg de tecido foliar de cada amostra. Em seguida, os materiais foram macerados, homogeneizados em solução tampão de extração de HCl 0,25N, pH 7,8, e sua solução foi transferida para *ependorff*, o qual foi centrifugado a 15000 gramas em temperatura de 4 $^{\circ}$ C por 25 minutos. Logo após a centrifugação, os sobrenadantes foram coletados e armazenados em freezer a -20 $^{\circ}$ C para posterior análise da atividade enzimática. Em seguida, para quantificação, a solução capturada foi homogeneizada com ácido periódico a 1% e acondicionada em banho-maria a 37 $^{\circ}$ C. Prosseguiu-se, adicionando NaOH 1N e glicina 0,1 M. A determinação foi realizada através de leituras em espectrofotômetro no comprimento de onda de 380 nm. (LOWRY et al., 2014; SPEROTTO, 2014).

3.9 Análise dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância por meio do teste F e para o teste de Tukey será adotado o nível de significância menor ou igual a 5% utilizando-se o programa software SISVAR (FERREIRA, 2011).

Os dados foram submetidos a testes para verificação do cumprimento das premissas de normalidade e homogeneidade de variâncias, respectivamente. Nos casos em que esta estratégia não foi suficiente para atendimento às premissas realizou-se transformação (raiz quadrada) para atender a ANAVA.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 3: Análise de variância comparativo das médias da toxicidade do glyphosate em macaúba ao longo do tempo.

FV	AVALIAÇÕES								
	Tratamentos (Trat)	E (mmol m ⁻² s ⁻¹)	A (μmol m ⁻² s ⁻¹)	TF (°C)	Ci (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	EiC (A/Ci) [(μmol m ⁻² s ⁻¹) (μmol CO ₂ mol ⁻¹)-1]	Ci/Ca μmol CO ₂ mol ⁻¹	EiUA μmol CO ₂ .(mmol H ₂ O)-1
	T0	4,025 ab	11,49 ab	36,9 ab	261,36 a	0,198 a	0,044 a	0,63 a	2,91 a
	T1	4,159 a	12,00 a	36,7 b	268,07 a	0,223 a	0,045 a	0,65 a	2,94 a
	T2	3,875 bc	10,73 bc	37,0 a	261,11 a	0,208 a	0,041 a	0,63 a	2,80 a
	T3	3,981 ab	11,67 ab	37,0 a	262,33 a	0,212 a	0,044 a	0,64 a	2,99 a
	T4	3,677 c	10,24 c	37,2 a	260,86 a	0,175 a	0,040 a	0,63 a	2,81 a
Dias Após Aplicação (DAA)		E	A	TF	Ci	Gs	EiC	Ci/Ca	EiUA
	7	4,017 b	10,98 b	35,2 e	271,32 ab	0,246 ab	0,41 c	0,68 a	2,73 c
	14	4,232 b	12,80 a	37,9 b	269,7 b	0,264 a	0,048 a	0,65 ab	3,02 b
	21	3,317 d	12,56 a	36,8 c	283,96 a	0,204 bc	0,045 ab	0,64 b	3,79 a
	28	3,365 c	9,79 c	36,2 d	243,82 c	0,143 d	0,040 c	0,60 c	2,70 c
	35	4,516 a	10,00 bc	38,7 a	244,92 c	0,159 cd	0,041 c	0,61 c	2,22 d
	Trat	**	**	**	ns	ns	*	*	ns
	DAA	**	**	**	**	**	**	*	**
	Trat x DAA	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	CV %	3,39	4,67	0,40	2,70	15,24	6,57	2,81	3,71
	DMS:	0,25	1,01	0,28	13,75	0,06	0,01	0,03	0,20
	R ²	71,27% **	49,29% **	66,47% **	18,47% ns	60,66% ns	22,00% *	69,32% **	36,67% **

As médias das leituras entre tratamentos seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$). Fontes de variação (FV); Coeficiente de Variação (CV); Diferença Mínima Significativa (DMS); R-quadrado (R²). Parâmetros de trocas gasosas, realizados aos 7, 14, 21, 28 e 35 dias após aplicação – DAA.

Fonte: próprio autor.

Tabela 4: Tabela da análise de variância Anova.

FV		QUADRADO MÉDIO (QM)							
Tratamentos (Trat)	GL	E (mmol m ⁻² s ⁻¹)	A (μmol m ⁻² s ⁻¹)	TF (°C)	Ci (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Gs (mmol m ⁻² s ⁻¹)	EiC (A/Ci)		EiUA μmol CO ₂ (mmol H ₂ O)-1
							[(μmol m ⁻² s ⁻¹) ⁻¹]	(μmol CO ₂ mol ⁻¹)-1]	
Trat	4	0,162497 **	2,588045 **	0,171600 **	45,813806 ns	0,001614 ns	0,000028 *	0,000283 ns	0,031543 ns
DAA	4	1,130080 **	9,849244 **	9,485600 **	1560,078356 **	0,013900 **	0,000051 **	0,005798 **	1,680181 **
Erro	16	0,017885	0,274962	0,02385	50,361783	0,000962	0,000008	0,00032	0,011508
Total corrigido	24								
CV %		3,39	4,67	0,40	2,70	15,24	6,57	2,81	3,71
DMS:		0,25	1,01	0,28	13,75	0,06	0,01	0,03	0,20

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($0,01 \leq p < 0,05$); ns não significativo ($p \geq 0,05$). Fontes de variação (FV); Quadrado médio (QM); Graus de Liberdade (GL); Coeficiente de Variação (CV) e Diferença Mínima Significativa (DMS). Transpiração (E), taxa fotossintética (A), temperatura da folha(TF), concentração interna de CO₂ (Ci), condutância estomática (Gs), eficiência da carboxilação instantânea (EiC ou A/Ci)), razão de carboxilação (Ci/Ca), eficiência instantânea do uso da água EiUA (A/E). Fonte: próprio autor.

4.1 Dados Climáticos

Os dados climatológicos do período experimental após a aplicação do glyphosato estão ilustrados no Figura 6. Estão representadas as médias semanais antes de cada leitura, das temperaturas e umidade relativa do ar, segundo dados do Laboratório de Meteorologia e Climatologia – LABMET. (UFT, 2023). Durante esse período não houve precipitação.

Observa-se na figura 10, que a temperatura máxima oscilou entre 30,52 C° (21 DAA) e 32,99 C° (35 DAA), enquanto a mínima oscilou entre 20,85 (21 DAA) e 23,50 (7DAA). Menores temperaturas foliares máximas, corresponderam aos períodos de 21 e 28 DAA. Já a umidade relativa do ar decresceu desde os 7 DAA (68,08 %) até os 28 DAA (55,39 %), demonstrando uma subida aos 35 DAA (58,98 %). Menor umidade relativa do ar correspondeu aos períodos de 21 e 28 DAA. Este comportamento da temperatura e umidade do ar são típicos do estado do Tocantins, o qual coincide com a denominada época seca.

Teles et al. (2011), avaliando os ambientes de ocorrência natural da macaúba, nas regiões centro e sul do Estado de Goiás, verificaram que as populações da espécie ocorrem em áreas com precipitação total anual de 1.300-1.700 mm e temperatura média do ar anual corrigida de 21,5-22,5°C. No Brasil, é encontrada nos biomas Cerrado, Mata Atlântica, Amazônico, Pantanal e na região do semiárido 2022) (FÁVARO; ROCHA, 2022).

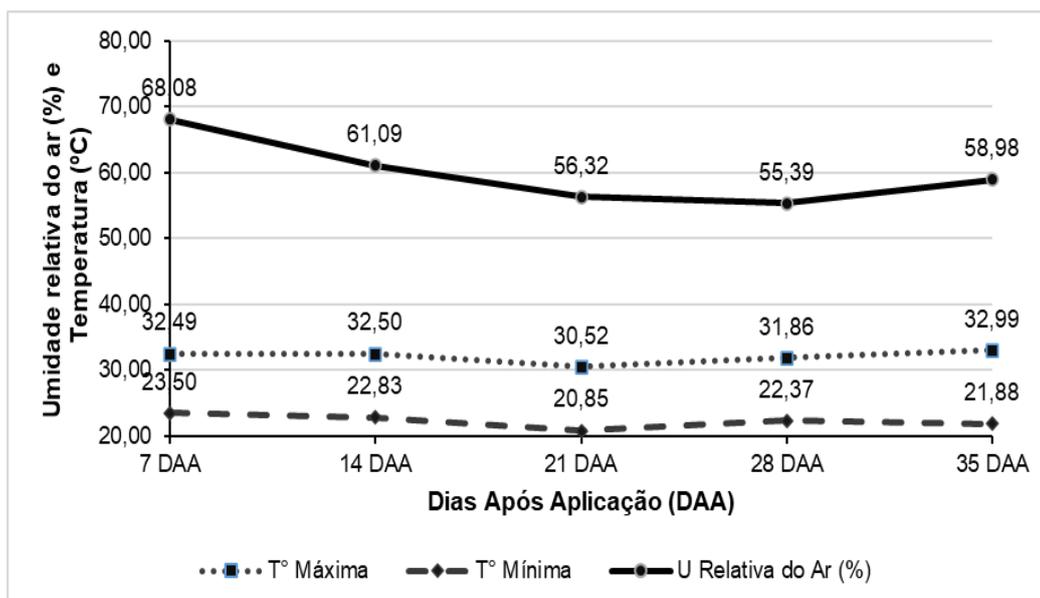


Figura 10: Dados meteorológicos de Umidade Relativa do ar e temperaturas máxima e mínima, concernente ao período de condução do experimento. Palmas-TO (abril de 2022 a junho de 2022). Obs. Neste período não ocorreram chuvas. Fonte: UFT (2023), adaptado pelo autor.

4.2 Avaliação visual da Intoxicação das Plantas

Utilizando-se escala de notas de 0 a 100%, onde: 0% para ausência de sintomas e 100% para morte total da planta, para avaliação da intoxicação das plantas de *A. aculeata* em resposta a aplicação do glyphosato (Tabela 5), observa-se que praticamente a planta não mostrou sintomas à aplicação das diferentes doses do herbicida, com exceção de T4.

Tabela 5: Intoxicação em percentual (%) em plantas de *A. aculeata* aos 7, 14, 21, 28 e 35 DAA, sob aplicação de glyphosate.

DAA	T0	T1	T2	T3	T4
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0
21	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0
35	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0

Fonte: próprio autor. Palmas-TO 2022.

4.3 Análise das trocas gasosas

4.3.1 Temperatura Foliar (TF)

A *Acrocomia aculeata* é uma palmácea se adapta facilmente ao clima e a diversos tipos de solo, mas prefere solos profundos, bem drenados e com boa fertilidade (EMBRAPA, 2018), as palmácea, possuem o mecanismo de plantas C3, que são aquelas que usam apenas o ciclo de Calvin para fixar o dióxido de carbono na fotossíntese, produzindo um composto de três carbonos (3-PGA) como produto inicial (GONZÁLEZ, 2019). Essas plantas são mais eficientes em ambientes com baixa temperatura, alta umidade e alta concentração de CO₂ (PIRES, 2017).

Segundo Pires et al. (2013), as plantas de macaúba são resistentes a se adaptar às mudanças ambientais, como aumento da temperatura, maiores níveis de radiação solar e escassez de água.

Teles (2009) e Lobato et al. (2002), disseram que a macaúba encontra-se naturalmente nas regiões sul e centro do estado de Goiás, com valores de temperatura ajustada mínima de 17 ° C e máximas de 29,7 ° C.

A figura 11 apresenta a temperatura foliar das plantas de *A. aculeata*, submetidas a diferentes doses de glyphosate, em função do tempo. Os dados se ajustaram a um modelo polinomial de terceiro grau ($R^2=0,83$; $P<0,05$) em todos os tratamentos utilizados, com pouca variação entre eles nos períodos avaliados. A amplitude da temperatura foliar variou de 35 a 39 °C, havendo uma oscilação entre os períodos avaliados. Destaca-se a queda ocorrida entre os dias 14 e 28 após a aplicação. Em média a temperatura foliar por período de avaliação, correspondeu a: 35,3; 38,0; 37,0; 36,3 e 38,8 C°, para 7, 14, 21, 28 e 35 DAA, respectivamente. Verifica-se que as menores temperaturas foliares corresponderam aos períodos de 21 e 28 DAA, os mesmos períodos onde foram registrados as menores temperaturas máximas externa (Figura 11), indicando a influência do meio na planta.

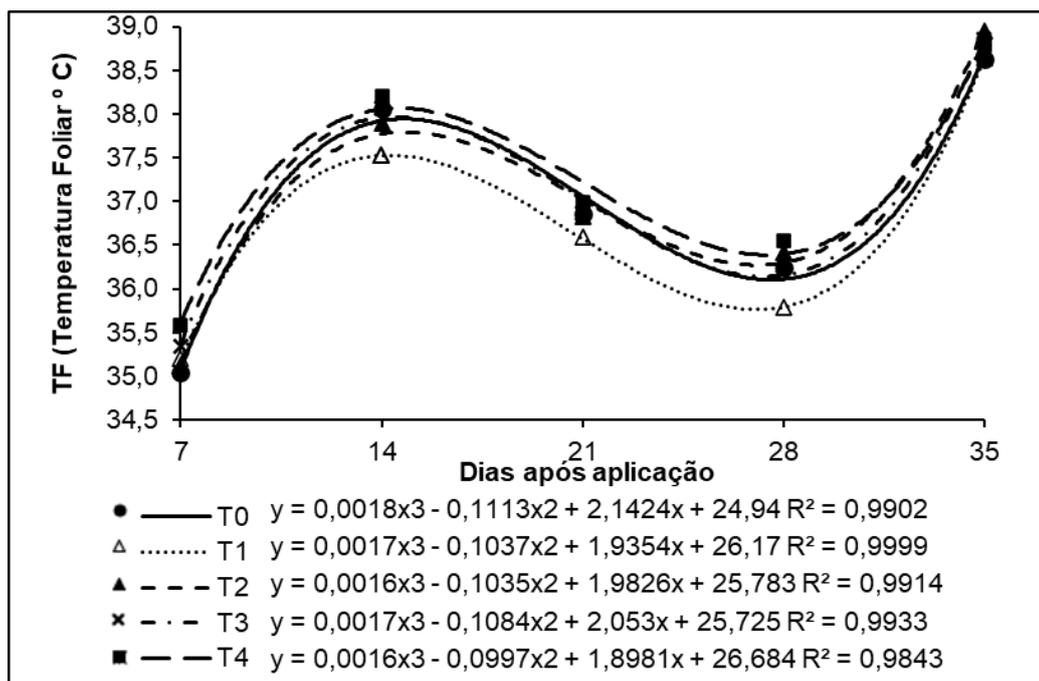


Figura 11: Médias das temperaturas foliares de plantas de *A. aculeata*, submetidas a diferentes doses de glyphosate: Doses de 0 g.e.a ha⁻¹ (T0); 90 g.e.a ha⁻¹ (T1); 180 g.e.a ha⁻¹ (T2); 360 g.e.a ha⁻¹ (T3) e 720 g.e.a ha⁻¹ (T4), em função do tempo.

A temperatura é um fator importante para o desenvolvimento da macaúba, pois influencia o seu metabolismo, a sua de óleo e a sua resistência ao estresse hídrico. A macaúba é uma planta C3, que usa o ciclo de Calvin para fixar o carbono na fotossíntese, e que é mais eficiente em ambientes com baixa temperatura, alta umidade e alta concentração de CO₂. (BUCKERIDGE et al., 2014; EMBRAPA, 2018; GONZÁLEZ, 2019).

Pimentel (2005), cita que uma planta com bom suprimento de água, ao meio dia, com as temperaturas mais altas, e, por consequência, com o mais alto déficit de pressão de vapor d'água no ar diário, pode ocorrer o fechamento estomático, o que ocasiona o aumento da temperatura foliar.

O aumento da temperatura foliar pode ser um forte indicativo de déficit hídrico no solo, uma vez que este sinaliza o fechamento dos estômatos, e radiação interceptada pela folha tende a promover um aquecimento foliar (OLIVEIRA et al., 2011).

4.3.2 Condutância Estomática (gs)

Os dados de Condutância estomática (gs) de plantas de *A. aculeata*, ajustaram-se a uma modelo polinomial de terceiro grau ($P < 0,05$), em resposta ao aumento da concentração do glifosato em função do tempo (Figura 12). Apesar dos baixos coeficientes de determinação (R^2) para alguns tratamentos, ficou evidente que o gs apresentou uma queda nos valores a partir dos 7 DAA até os 35 DAA nas doses T0, T3 e T4, e a partir dos 14 DAA nos tratamentos T1 e T2. Maiores diferenças nos valores de Condutância estomática (gs) entre os tratamentos, foram observados aos 14 DAA, destacando-se o T4 ($0,217 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) porém diminuindo esta diferença para o final do período de avaliação. Aos 35 DAA observa-se que existem poucas diferenças na magnitude dos valores entre os tratamentos, variando de 0,144 a $0,179 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Estes dois extremos correspondendo a T4 e T2, respectivamente. Comparando-se os valores de gs de 7 e 35 DAA, verificam-se reduções na ordem de 33,20; 29,53; 31,78; 47,94 e 28,36 %, para os tratamentos: T0; T1, T2, T3 e T4, respectivamente.

Uma vez que, a condutância estomática mede a capacidade de troca gasosa das plantas com o meio ambiente, esta queda expressiva nos indica que as plantas fecharam os estômatos como resposta a um estresse. Visto que, no T0 não foi aplicado o herbicida, conduz a pensar que o fator de estresse possa estar associado a insuficiente quantidade de água fornecida pela irrigação, potencializado pelas elevadas temperaturas e umidade relativa do ar baixa (Figura 12), que provocaram o fechamento estomática ($< \text{gs}$) como estratégia das plantas de macaúba de não perder água.

Um declínio na condutância estomática geralmente indica fechamento estomático parcial devido à redução do conteúdo de água na folha e desidratação das células-guarda ou uma resposta hormonal, uma das primeiras linhas de defesa da planta contra a deficiência de água (SCALON et al., 2015).

Um dos primeiros processos fisiológicos afetados pelo estresse hídrico é a condutância estomática. A condutância estomática em palmeiras mostrou ser sensível ao aumento do déficit de pressão de vapor (VPD) da folha para o ar, levando a um maior fechamento estomático, aumento da temperatura e potencial limitação do ganho de carbono (PIRES et al., 2013).

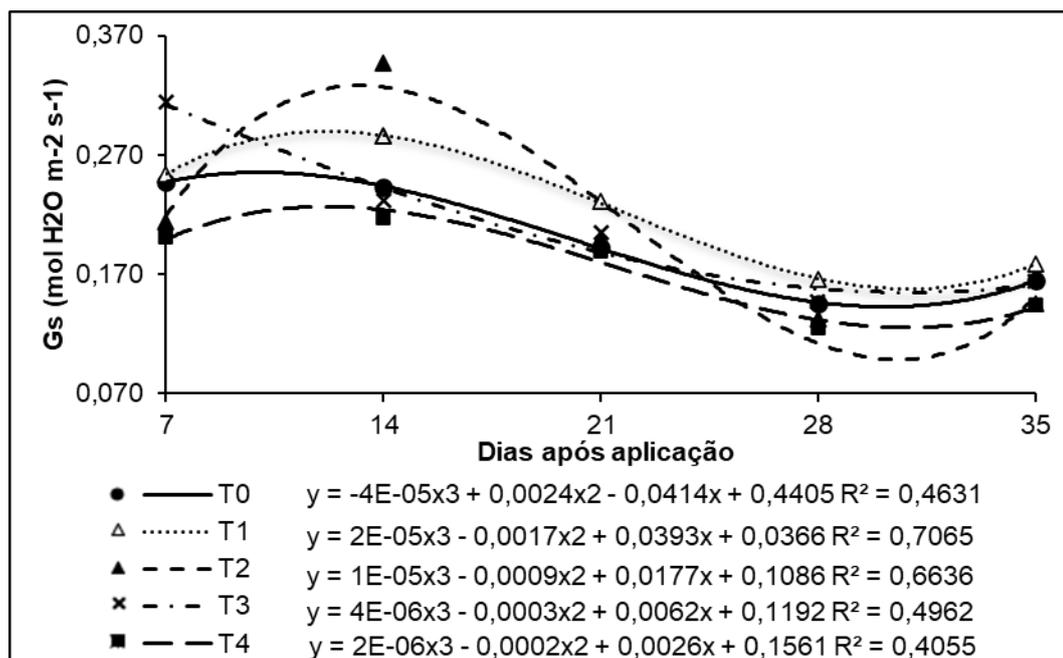


Figura 12. Condutância estomática (gs) de plantas de *A. aculeata*, submetidas a diferentes doses de glyphosate. Doses de 0 g.e.a ha⁻¹ (T0); 90 g.e.a ha⁻¹ (T1); 180 g.e.a ha⁻¹ (T2); 360 g.e.a ha⁻¹ (T3) e 720 g.e.a ha⁻¹ (T4), em função do tempo.

Oliveira, Gualtieri & Bocchese, (2011), avaliando genótipos de mamão à deficiência hídrica observaram uma correlação linear entre os valores médios de condutância estomática e temperatura foliar, e afirmam que a temperatura da folha possui relação com a condutância estomática e pode ser indicativo de déficit hídrico da planta.

Segundo alguns estudos realizados com diferentes plantas, o glyphosate pode causar efeitos variados na condutância estomática, como a sua redução logo após a aplicação do herbicida, devido ao estresse oxidativo e à perda de turgor celular (MACHADO et al., 2010). Entretanto Nascentes (2016), analisando o efeito de subdoses de glyphosate nas trocas gasosas e acúmulo de massa seca em eucalipto, notou que em doses muito baixas (4,2 g e.a ha⁻¹) que a condutância estomática, evidenciou valores de 0,160 mol m⁻² s⁻¹, correspondendo ao acréscimo de 51,2% em proporção à testemunha. Fato observado no presente trabalho, para os tratamentos T1 e T2 aos 14 dias após a aplicação do herbicida.

A condutância estomática em macaúba mostrou ser sensível ao aumento do déficit de pressão de vapor (VPD) da folha para o ar, levando a um maior

fechamento estomático, aumento da temperatura e potencial limitação do ganho de carbono (PIRES et al., 2013).

4.3.3 Carbono Interno (Ci)

Os dados de carbono interno (Ci) em plantas de *A. aculeata*, como resposta a elevação da dose de glyphosate em função do tempo (Figura 13), se ajustaram a um modelo polinomial de terceiro grau ($P < 0,05$), com coeficientes de determinação (R^2) variando de 0,57 a 0,88. As curvas apresentaram um comportamento semelhante entre os tratamentos, com maiores valores de Ci aos 7 DAA, com um leve aumento aos 14 DAA e posterior queda acentuada até a última data avaliada. Esta redução foi muito mais evidente no tratamento T4, apresentando a menor concentração de Ci aos 35 DAA ($226,33 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$). A testemunha (T0) evidenciou valores variando de 273,18 (7 DAA) a 244,66 (35 DAA) $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$, o que representou um decréscimo de 10,44 %. A maior redução nos valores de Ci corresponderam ao tratamento T4 (19,74 %). Para os tratamentos: T1, T2 e T3, esta redução correspondeu a 7,33; 4,15 e 3,86, respectivamente.

O comportamento das curvas do Ci (Figura 13) foi semelhante às aquelas representativas da gs, evidenciando que o fechamento de estômatos (<gs) além de impedir a saída de vapor de água interrompeu a entrada de carbono nas folhas.

O fechamento estomático pode reduzir a assimilação do CO_2 , devido à menor disponibilidade do substrato CO_2 , e o consumo do poder redutor e energia química, produzidos pelos fotossistemas, é diminuído, devido à menor taxa de assimilação de CO_2 (PIMENTEL, 2005).

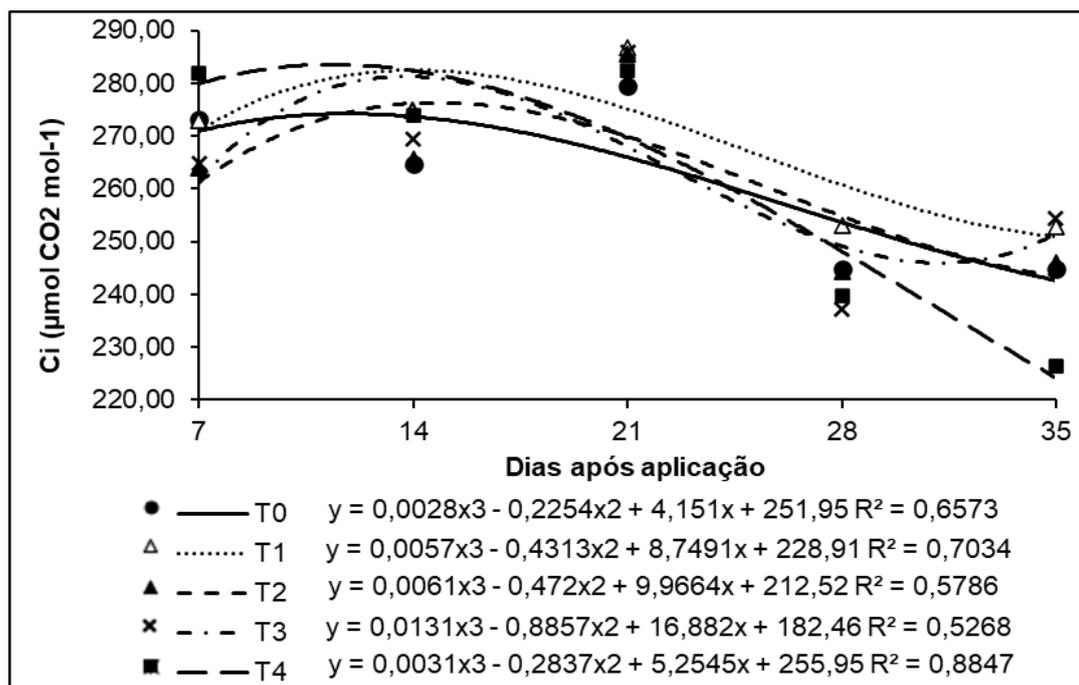


Figura 13. Carbono intracelular (Ci) de plantas de *A. aculeata*, submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Doses de 0 g.e.a ha⁻¹ (T0); 90 g.e.a ha⁻¹ (T1); 180 g.e.a ha⁻¹ (T2); 360 g.e.a ha⁻¹ (T3) e 720 g.e.a ha⁻¹ (T4), em função do tempo.

4.3.4 Transpiração estomática (E)

A Transpiração estomática (E) de plantas de *A. aculeata*, submetidas a diferentes doses de glyphosate em função do tempo, está representada na figura 14. As curvas representativas dos resultados correspondem a um modelo polinomial de terceiro grau ($P < 0,05$), com coeficientes de determinação (R^2) variando de 0,73 a 0,94. O comportamento das curvas relativas aos tratamentos são semelhante, e com uma tendência parecida a descrita para a Assimilação líquida de carbono (A) e temperatura foliar (figuras 7 e 8). Ou seja, incrementos nos valores até os 14 DAA, com queda acentuada até os 28 DAA, a partir do qual ocorre uma elevação até a última avaliação (35DAA). Nesta última avaliação foram observados os maiores valores de Transpiração estomática (E), correspondendo aos tratamentos T1 e T0, com valores de 4,72 e 4,82 mmol H₂O m⁻² s⁻¹, respectivamente. Enquanto o menor valor correspondeu ao tratamento T4 (4,170 mmol H₂O m⁻² s⁻¹). As maiores diferenças de valores entre os tratamentos foram constatadas somente aos 7 DAA.

Entre os 28 DAA e 35 DAA ocorreu um aumento na transpiração de 27 % de no tratamento testemunha (T0), enquanto para os tratamentos T1; T2; T3 e T4, foram de 22,03; 17,78; 29,41 e 24,84, respectivamente. Neste período a temperatura foliar elevou-se de 36,3 °C para 38 °C, o que ocasionou uma maior transpiração como estratégia de resfriamento foliar.

A transpiração estomática tem importância para as plantas, pois permite o transporte de água e nutrientes do solo para as partes aéreas da planta, através do fluxo de seiva xilemática. Mantém a temperatura das folhas dentro de uma faixa ótima para a fotossíntese, através da evaporação da água que resfria as células. Favorece a entrada de CO₂ para a fotossíntese, através da difusão do gás pelo gradiente de concentração entre o ar e o interior da folha. Promove a turgescência das células, que é essencial para a manutenção da forma e da função das folhas. (TAIZ et al., 2017).

A transpiração estomática é a perda de água na forma de vapor pelas plantas através dos estômatos. A transpiração estomática é influenciada por vários fatores ambientais e fisiológicos, como a intensidade luminosa, a temperatura, a umidade relativa do ar, a concentração de CO₂ e O₂ no ar, o déficit hídrico do solo, o tipo de fotossíntese (C3 ou C4), o estágio de desenvolvimento da planta, entre outros. (PACHECO; LAZZARINI e ALVARENGA, 2021)

Segundo Ribeiro (2019) em estudo da estimativa da transpiração da macaúba, afirmou que a abertura estomática depende do estado hídrico da folha e da demanda de evaporação do ar, e há várias observações indicando que a condutância estomática diminui com o aumento do déficit de pressão de vapor entre folha e o ar e que essa resposta está relacionada à taxa de transpiração foliar. Por outro lado. Pires et al. (2013), estudando o comportamento de variáveis fisiológicas de plantas jovens de macaúba em condições de campo, constataram que, a partir das 13 horas, a diminuição da condutância estomática reduzia a transpiração da planta.

O glyphosate pode afetar a transpiração estomática de forma direta ou indireta, dependendo da dose aplicada, da espécie da planta e do tempo de avaliação. Da mesma forma que o herbicida influencia na condutância estomática, também afeta a transpiração, pois ambas as reações estão diretamente ligadas a abertura e fechamento do estômato.

Apesar dos baixos valores de condutância estomática constatados no presente trabalho (Figura 12) o aumento da transpiração a partir dos 28 DAA, pode ser explicado devido ao ar estar muito seco e quente (Figura 10) típico nestes meses no Tocantins, promovendo uma diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar muito grande forçando a evaporação da água rapidamente da superfície da folha. Assim, a transpiração foi elevada mesmo com uma baixa condutância estomática.

A eficiência da RuBisCO é afetada pela transpiração porque a transpiração influencia a concentração de CO₂ e O₂ no interior das folhas. Quando a temperatura da folha aumenta, muitas vezes desencadeia uma resposta de constrição na capacidade de assimilação de carbono devido à responsabilidade térmica das principais enzimas fotossintéticas, Rubisco, RUBPquinase e FBPase, mesmo em uma temperatura moderadamente alta de 30–35 °C (PIRES et al., 2013).

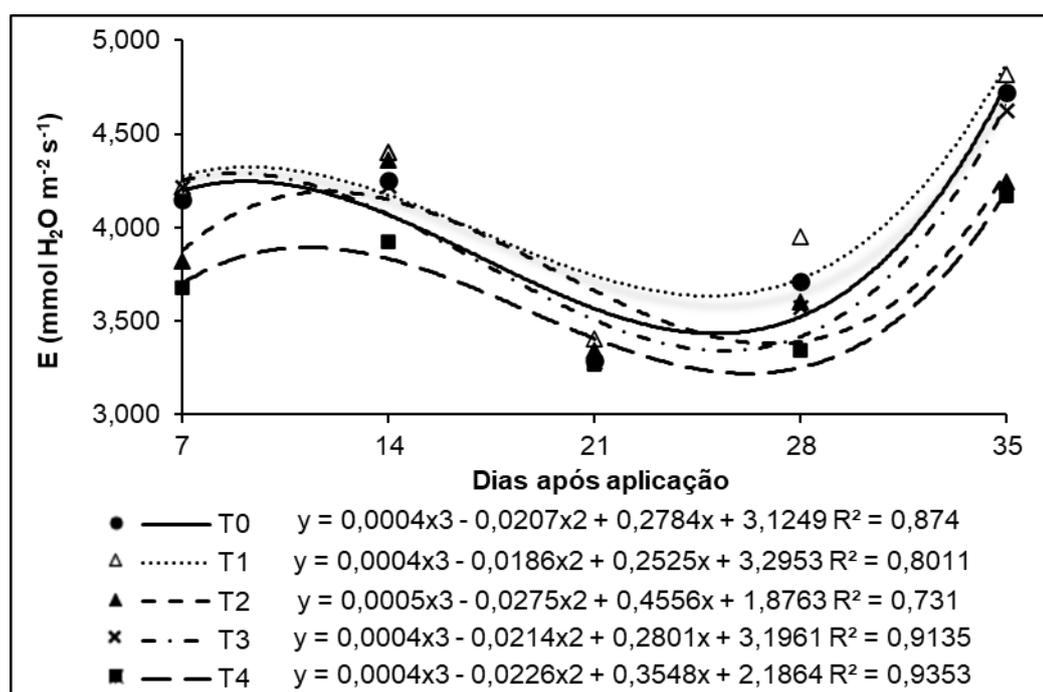


Figura 14. Transpiração estomática (E) de plantas de *A. aculeata*, submetidas a diferentes doses de glyphosate. Doses de 0 g.e.a ha⁻¹ (T0); 90 g.e.a ha⁻¹ (T1); 180 g.e.a ha⁻¹ (T2); 360 g.e.a ha⁻¹ (T3) e 720 g.e.a ha⁻¹ (T4), em função do tempo.

4.3.5 Taxa de assimilação líquida do carbono (A)

A macaúba é uma planta C3 que apresenta alta eficiência fotossintética e baixa fotorrespiração, o que resulta em uma elevada assimilação líquida de carbono e uma alta razão entre a produção de biomassa e a transpiração. No experimento de Machado; Figueiredo e Guimarães, (2016), estudando o desenvolvimento inicial da macaúba, notaram que a taxa de assimilação líquida de carbono (A) foi influenciada pela concentração interna de CO₂ (C_i), sendo que as mudas que apresentaram maior C_i também apresentaram maior A. (MACHADO; FIGUEIREDO; GUIMARÃES, 2016).

Todas as variáveis descritas anteriormente influenciam a Assimilação líquida de carbono (A). As curvas representativas da (A) em resposta a aplicação de glyphosate em função do tempo, foram representadas por um modelo polinomial de terceiro grau ($P < 0,05$), com um coeficiente de determinação elevado R-quadrado (R^2), variando de 0,84 a 0,98 (Figura 15). O comportamento das curvas representativas dos tratamentos são semelhante, porém com magnitude de valores distintos.

Constata-se que o modelo da curva segue a mesma tendência àquele apresentado pela temperatura foliar (Figura 11), com acentuado decréscimo a partir dos 14 DAA. Maiores valores de (A) foram observados aos 14 DAA, nos tratamentos T0, T1, T2 e T3, correspondendo a: 13,17; 13,94; 12,58 e 12,90 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Neste período o valor de (A) para o T4 correspondeu a 11,40 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Aos 35 DAA foram observadas as menores taxas de Assimilação líquida de carbono (A), variando de 9 a 10,66 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, havendo pouca diferença entre as doses de glyphosate. Pelas curvas observa-se que a dose de glyphosate que mais influenciou negativamente a (A), foi de 720 g.e.a ha⁻¹ (T4), quando comparada a testemunha (T0 - sem aplicação de glyphostae), porém limitado aos primeiros 14 dia de avaliação, onde provocou uma redução de 13,44 %, quando comparado com o T0 (sem aplicação). Destaca-se que o tratamento T1 apresentou os maiores valores na variável analisada.

Comparando-se a Assimilação líquida de carbono (A), aos 7 DAA e 35 DAA, constata-se uma redução de 5,24 % no tratamento T0. Enquanto nos tratamentos T1, T2 e T3, correspondeu a 9,89; 14,72 e 19,18 %, respectivamente. No tratamento T4 não houve alteração uma vez que os valores não mudaram praticamente, se mantendo nos níveis mais baixos.

Mota & Cano (2016) estudando macaúba e estresse hídrico, citam que reduções de Assimilação líquida de carbono (A), foram precedidas por uma diminuição da condutância estomática (gs).

Assim, as reduções observadas nas taxas fotossintéticas de mudas sob estresse hídrico podem ser atribuídas a reduções na condutância estomática associadas à redução da eficiência de carboxilação de CO₂ da rubisco (SCALON et al., 2015).

Vale a pena notar que a sensibilidade de A à variação na condutância estomática geralmente aumenta em temperaturas mais quentes, porque os controles bioquímicos sobre A em alta temperatura são mais sensíveis a mudanças no Ci (SAGE; KUBIEN, 2007). Apesar disto, Pires et al. (2013), relacionando temperatura foliar e assimilação líquida de carbono (A) em plantas de macaúba de 2 anos, observaram que o processo fotossintético permaneceu funcional mesmo quando a temperatura da folha subiu acima de 30 °C, tanto que a temperatura da folha foi forte e positivamente correlacionada com A.

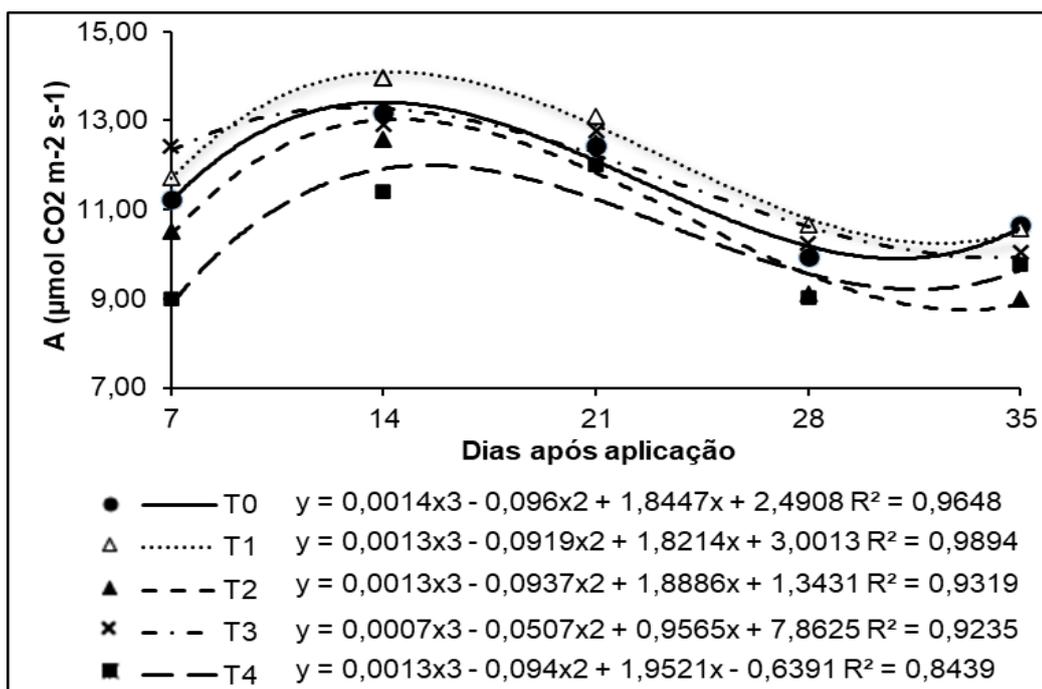


Figura 15. Assimilação líquida de carbono (A) de plantas de *A. aculeata*, submetidas a diferentes doses de glyphosate.

Doses de 0 g.e.a ha⁻¹ (T0); 90 g.e.a ha⁻¹ (T1); 180 g.e.a ha⁻¹ (T2); 360 g.e.a ha⁻¹ (T3) e 720 g.e.a ha⁻¹ (T4), em função do tempo.

4.3.6 Eficiência instantânea da carboxilação (EiC)

Quanto a eficiência instantânea da carboxilação de plantas de *A. aculeata*, submetidas a diferentes doses de glyphosate em função do tempo, observou-se que semelhantemente a assimilação líquida de CO₂ (A), esta se ajustou a equação polinomial cúbica com valores de R² superiores a 96% em todos os tratamentos (Figura 16).

Uma abordagem comum para analisar os efeitos ambientais sobre limitações fotossintéticas em folhas intactas tem sido medir a resposta de A à pressão parcial intercelular de CO₂ (SAGE; KUBIEN, 2007), denominada de eficiência instantânea da carboxilação (Ei/Ci ou A/Ci), que expressa a eficiência de Rubisco.

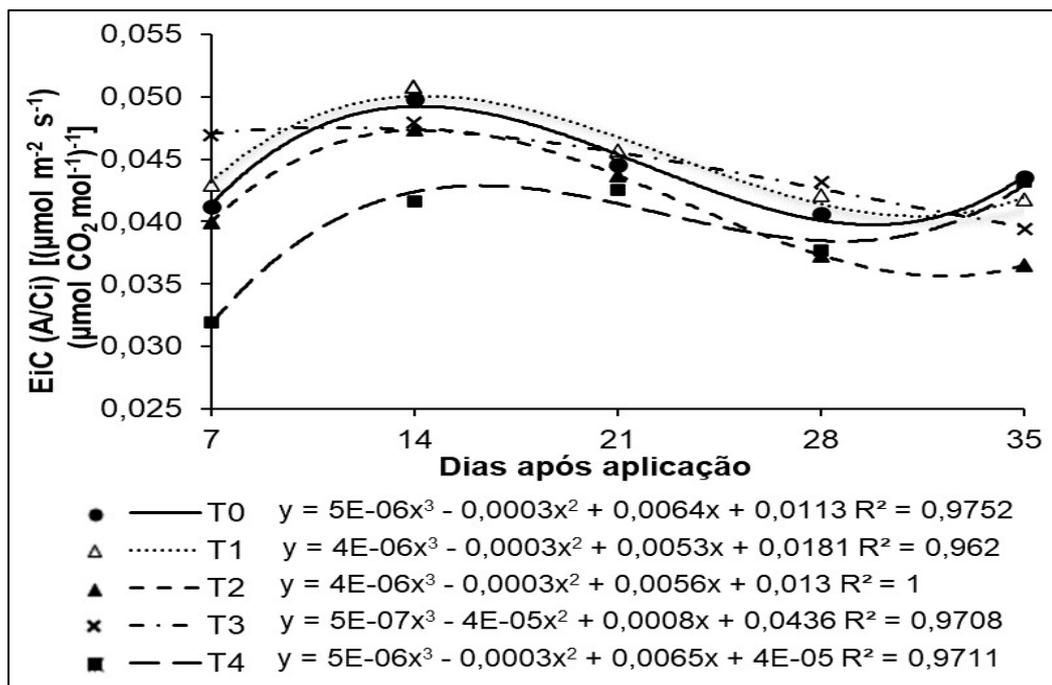


Figura 16. Eficiência da carboxilação instantânea (EiC ou A/Ci) de plantas de *A. aculeata*, submetidas a diferentes doses de glyphosate. Doses de 0 g.e.a ha⁻¹ (T0); 90 g.e.a ha⁻¹ (T1); 180 g.e.a ha⁻¹ (T2); 360 g.e.a ha⁻¹ (T3) e 720 g.e.a ha⁻¹ (T4), em função do tempo.

O aumento mais expressivo na EiC foi observado aos 14 DAA, com posterior queda. O tratamento da maior dose de glyphosato (T4) evidenciou os menores valores de EiC, até os 28 DAA. Aos 35 DAA a EiC correspondeu a: 0,044; 0,042; 0,037; 0,039 e 0,043 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), nos tratamentos: T0, T1, T2, T3 e T4, respectivamente. Em média menores valores no período experimental foram observados no tratamento T4 (maior dose de glyphosato).

A eficiência da carboxilação instantânea (EiC) é uma medida da capacidade das plantas de fixar o CO₂ atmosférico na forma de compostos orgânicos, através da reação catalisada pela enzima Rubisco. Quanto maior for a EiC, maior será a eficiência do uso do CO₂ pelas plantas.

Em geral, a EiC aumenta com o aumento da temperatura até um valor ótimo, e depois diminui com o aumento excessivo da temperatura. A EiC também aumenta com o aumento da intensidade luminosa até um ponto de saturação, e depois se estabiliza ou diminui com o aumento da luz (MOTA et al., 2011).

A redução da eficiência da rubisco pode ser causada pelo aumento da resistência do mesófilo devido ao fechamento dos estômatos, restringindo assim a absorção de CO₂ pelos cloroplastos e possivelmente aumentando a ação da rubisco consequentemente, a fotorrespiração oxigenase. (SCALON et al., 2015).

O carbono interno (Ci) e o carbono ambiente (Ca) das plantas são as concentrações de CO₂ no interior e no exterior das folhas, respectivamente. Essas concentrações influenciam a taxa de fotossíntese das plantas, que é o processo pelo qual elas captam o CO₂ atmosférico e o transformam em compostos orgânicos, liberando O₂.

4.3.7 Razão da carboxilação (Ci/Ca)

A razão de carboxilação é uma medida dada pela razão de Ci/Ca, que indica a eficiência da enzima ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase (RuBisCO) na fixação do CO₂ na fase de carboxilação do ciclo de Calvin, que é a etapa inicial da fotossíntese nas plantas C3. (MEDEIROS, 2019; OLIVEIRA, 2023b). A razão do carbono interno pelo externo é um indicador da eficiência do uso do carbono pela planta, que reflete a sua capacidade de alocar carbono para diferentes órgãos e processos. Ela varia de 0 a 1. Quanto mais próxima de 0, maior é a abertura estomática e maior é a taxa de fotossíntese da planta. Quanto mais próxima de 1, menor é a abertura estomática e menor é a taxa de fotossíntese da planta.

A Figura 17, expressa a razão do carbono interno (Ci) e carbono ambiente (Ca) de plantas de *A. aculeata*, submetidas a diferentes doses de glyphosate, ao longo do tempo. Observa-se uma queda do Ci/Ca, ajustando-se as curvas a um modelo polinomial de terceiro grau com altos coeficientes de determinação (maiores que 80 %).

Maior redução durante o período experimental correspondeu ao tratamento T4 (21%). Nos outros tratamentos esta redução foi semelhante. Aos 35 DAA a razão Ci/Ca foi semelhante entre os tratamentos com exceção do T4 (maior dose de glyphosato), que apresentou o menor valor de todo o período experimental.

A razão entre Ci e Ca pode ser afetada por vários fatores ambientais e fisiológicos, como a intensidade luminosa, a temperatura, a umidade relativa do ar, o déficit hídrico do solo, o tipo de fotossíntese (C3 ou C4), o estágio de desenvolvimento da planta, entre outros. Barbosa (2021), calculou essa razão para a macaúba em diferentes densidades de plantio e topografias do terreno, e encontrou que plantas mais adensadas apresentaram uma razão maior do que plantas mais espaçadas, indicando uma maior alocação de carbono para o

crescimento vegetativo. Concluiu, dizendo que plantas de macaúba localizadas em áreas mais altas apresentaram uma razão menor do que plantas em áreas mais baixas, indicando uma maior alocação de carbono para a reprodução.

Em outros estudos da carboxilação em *A. aculeata*, Mota & Cano (2016), observaram que as taxas fotossintéticas da macaúba, foram impactadas em diferentes ciclos de déficit hídrico, através de reduções no potencial hídrico e aumentos na razão entre concentração de CO₂ intercelular e atmosférico (Ci/Ca). Rosa (2018) afirmou que a macaúba possui um eficiente controle estomático para evitar perdas excessivas de água por transpiração. Por sua vez, Rosa, Souza & Pereira (2019), encontraram que o aumento da concentração de CO₂ levou a uma maior razão Ci/Ca nas plantas de *A. aculeata*, tanto em condições normais quanto em condições de seca, indicando uma maior afinidade da Rubisco pelo CO₂ e uma menor perda de carbono pela fotorrespiração.

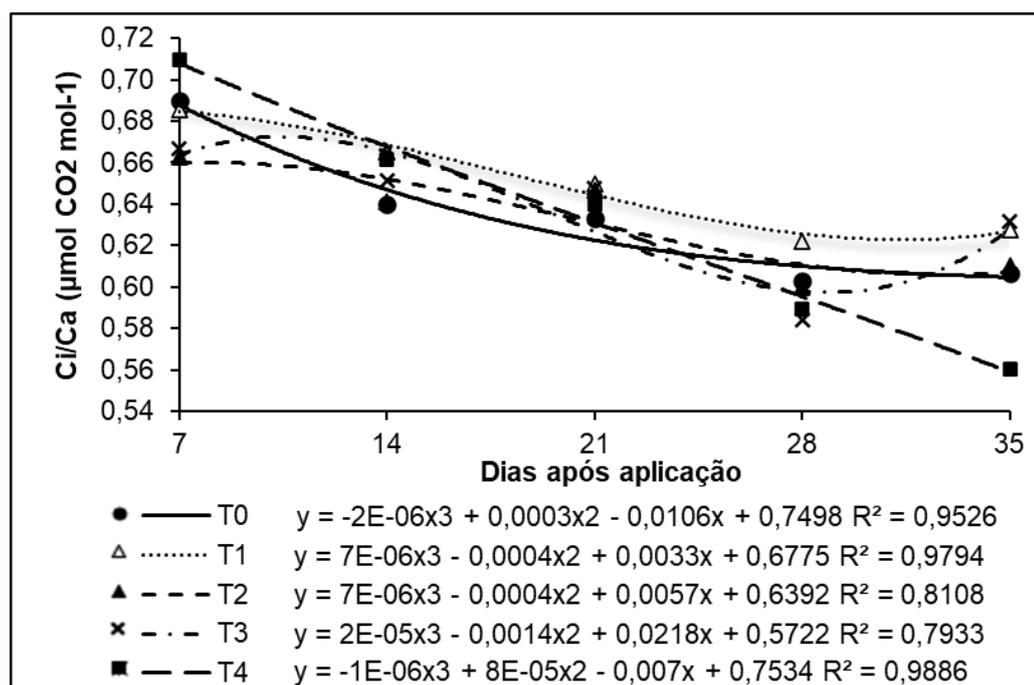


Figura 17. Razão do carbono interno (Ci) e carbono ambiente (Ca) de plantas de *A. aculeata*, submetidas a diferentes doses de glyphosate: Doses de 0 g.e.a ha⁻¹ (T0); 90 g.e.a ha⁻¹ (T1); 180 g.e.a ha⁻¹ (T2); 360 g.e.a ha⁻¹ (T3) e 720 g.e.a ha⁻¹ (T4), em função do tempo.

Considerando-se que os valores externos de CO₂ mantiveram-se praticamente constantes (397 a 403 µmol CO₂ mol⁻¹, dados não mostrados), a redução da relação Ci/Ca em todos os tratamentos, expressa apenas as variações da concentração interna de CO₂ (Ci). Conforme já descrito (Figuras 12 e 13) o

fechamento dos estômatos (redução da g_s) reduziu a entrada de CO_2 , por consequência reduziu o carbono interno (C_i), que por sua vez ocasionou a redução da relação C_i/C_a .

4.4 Incremento de altura de plantas

O glyphosate pode influenciar negativamente a biomassa seca de palmeiras, dependendo da dose e da espécie e pode causar redução no crescimento vegetativo e no desenvolvimento radicular das plantas, bem como na nodulação das raízes em leguminosas. (YAMASHITA et al., 2009). Farias et al. (2012), observaram redução de altura com maiores doses em *Hevea brasiliensis*, em pinho-cuiabano (*Schizolobium amazonicum*).

Segundo o Marques et al. (2020), que avaliando o efeito hormético de glyphosate no crescimento inicial de mudas de paricá (*Schizolobium amazonicum*), o glyphosate pode causar um efeito hormético nas plantas de paricá, que consiste em uma resposta positiva a doses baixas e uma resposta negativa a doses altas de uma substância. Os pesquisadores avaliaram o efeito de cinco doses de glyphosate (0; 0,18; 0,36; 0,72 e 1,44 $g\ ha^{-1}$) sobre a altura, o diâmetro do colo e a massa seca das plantas de paricá aos 30 dias após a aplicação. O artigo mostrou que a dose de 0,18 $g\ ha^{-1}$ de glyphosate promoveu um aumento na altura das plantas (0,46 m). Por fim afirmaram que as maiores doses de glyphosate causaram reduções significativas em todas as variáveis avaliadas.

Portanto, pode-se concluir que o glyphosate pode influenciar negativamente ou positivamente à altura de plantas jovens, dependendo da dose e da espécie. O glyphosate pode causar um efeito hormético em algumas plantas, estimulando o crescimento em doses baixas e inibindo em doses altas.

Na figura 18, está representado o incremento de altura que as plantas de *A. aculeata* apresentaram no período experimental, quando submetidas a diferentes doses de glyphosate, além da testemunha (sem aplicação de glyphosato).

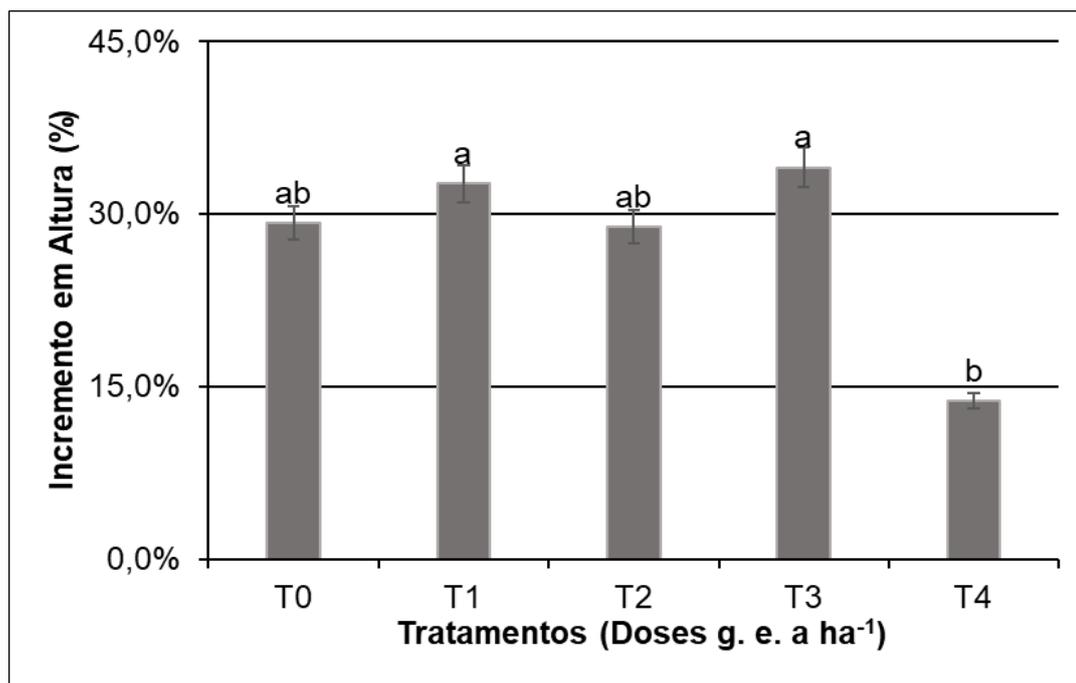


Figura 18. Incremento em altura de plantas de *A. aculeata*, submetidas a diferentes doses de glyphosate. 0 g.e.a ha⁻¹ (T0); 90 g.e.a ha⁻¹ (T1); 180 g.e.a ha⁻¹ (T2); 360 g.e.a ha⁻¹ (T3) e 720 g.e.a ha⁻¹ (T4). Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos com exceção do T4, que se diferenciou de todos. Neste último, o incremento em altura (15 %) foi a metade daquele alcançado na testemunha (sem aplicação de herbicida).

Este resultado expressa a redução provocada pela mais alta dose de glyphosato nas plantas de macaúba, diretamente ligada ao acúmulo de biomassa nos componentes vegetativos, descritos a seguir.

4.5 Biomassa seca de plantas.

Marques et al. (2020) avaliaram o efeito de cinco doses de glyphosate sobre a altura, o diâmetro do colo e a massa seca das plantas de paricá aos 30 dias após a aplicação. Demonstraram que a dose de 0,18 g ha⁻¹ de glyphosate promoveu uma redução na massa seca (2,41 g) e as doses maiores de glyphosate (0,36; 0,72 e 1,44 g ha⁻¹) causaram reduções significativas em todas as variáveis avaliadas. O glyphosate pode causar redução na biomassa seca da parte aérea e do sistema radicular das plantas de soja transgênica, bem como na nodulação das raízes (OLIVEIRA et al., 2008).

Em casos semelhantes, a aplicação do glyphosate trás alterações relevantes em algumas cultivares, como é o caso das apresentado por Marinho et al. (2011) que, analisando o acúmulo de matéria seca em cultivares de café, conclui que doses crescentes de glyphosate promoveram redução no acúmulo de matéria seca nas raízes de plantas tratadas com glyphosate, aos 120 DAA. De igual modo, Oliveira Neto et al. (2012), utilizando dose de 480 g ha⁻¹ de glyphosate sobre o desenvolvimento inicial de plantas de milho cultivar 2B688 HR, disse que proporcionou uma redução na massa seca das raízes de 10,0%, enquanto que a maior dose avaliada de 2400 g ha⁻¹, promoveu uma redução de mais de 50,0% nos valores de massa seca das raízes.

Na Tabela 3, estão descritas as medias da Biomassa Seca da Folha (BSF), Biomassa Seca da Raiz (BSR) e Volume da Raiz (VR) da *Acrocomia aculeata*, submetidas a diferentes doses de glyphosate: 0 g.e.a ha⁻¹ (T0); 90 g.e.a ha⁻¹ (T1); 180 g.e.a ha⁻¹ (T2); 360 g.e.a ha⁻¹ (T3) e 720 g.e.a ha⁻¹ (T4).

Tabela 6: Biomassa Seca da Folha (MSF), Biomassa Seca da Raiz (MSR), Volume da Raiz (VR) de *Acrocomia aculeata* sob aplicação do herbicida glyphosate em cinco doses.

Tratamentos (L/ha)	Médias de MSF (kg)	Médias de MSR (kg)	Médias de VR (cm ³)
T0	0,051 b	0,045 a	224,25 ab
T1	0,071 a	0,048 a	284,25 a
T2	0,049 b	0,034 b	215,75 ab
T3	0,052 b	0,021 c	149,50 bc
T4	0,025 c	0,022 c	102,75 c
CV (%)	17,5	19,0	20,1
DMS:	0,019	0,014	85,74

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Doses T0 – Testemunha (0 g.e.a ha⁻¹); T1 (90 g.e.a ha⁻¹); T2 (180 g.e.a ha⁻¹); T3 (360 g.e.a ha⁻¹) e T4 (720 g.e.a ha⁻¹), aos 35 dias após a aplicação (DAA). Palmas, TO, 2022.

Com exceção do tratamento T1, o aumento da dose de aplicação de glyphosato promoveu uma redução na BSF e BSR, assim como no volume de raízes. Quando comparada a testemunha (T0), estas reduções foram significativas na dose mais alta (T4), para todas as variáveis avaliadas. O T3 deferiu significativamente da testemunha (sem aplicação do glyphosato), nas variáveis BSR e VR, onde constataram-se reduções de 53,3 e 33,33 % respectivamente. A

aplicação de T4 promoveu uma redução na BSF e BSR, quando comparada a testemunha, de 50,98 e 51,11 %, respectivamente. Em relação ao volume de raízes esta redução correspondeu a 54,18 %. A menor dose de glyphosato aplicada (T1) quando comparada a T0, promoveu um aumento significativo na biomassa foliar e volume de raízes, de 39,22 e 26,76%, respectivamente.

Segundo Fontes; Nascimento Filho; Morais (2010), a deriva simulada do glyphosate sobre plantas de guaraná (*Paullinia cupana*) provocou sintomas de intoxicação mais acentuados com a dose de 345,8 g de e.a. ha⁻¹, caracterizadas por clorose e enrolamento das margens das folhas, mas de intensidade leve. No experimento sem e com proteção de deriva, a intoxicação foi leve, mas apenas na dose de 2.160 g de e.a. ha⁻¹.

Picoli JR et al. (2016), apresentaram um estudo sobre o efeito do glyphosate nos níveis de aminoácidos aromáticos em azevém, que são essenciais para a síntese de proteínas e compostos secundários nas plantas. Utilizaram um delineamento experimental com diferentes doses de glyphosate, sendo oito tratamentos. Mostraram que o glyphosate não altera significativamente os níveis de aminoácidos aromáticos nos dois biótipos de azevém, suscetível e com suspeita de resistência, assim como nos níveis dos aminoácidos aromáticos, exceto pela dose de 12,5% de 135 g e.a. ha⁻¹, que ocasionou um incremento de massa seca no biótipo suscetível e aumento dos níveis de aminoácidos aromáticos nos dois biótipos causando um aumento desses níveis aos 5 DAA. O estudo sugere que esse aumento pode ser uma resposta adaptativa das plantas ao estresse causado pelo herbicida, que pode estar relacionada à síntese de compostos fenólicos ou à regulação da via do chiquimato.

4.6 Análise da concentração do ácido chiquímico

Plantas expostas ao glifosato de alguma forma, seja por aplicação de herbicida ou deriva, podem sofrer uma série de alterações metabólicas, sendo uma das mais significativas e estudadas o acúmulo de ácido chiquímico (ou chiquimato) pelas plantas. (GOMES, 2011).

A deriva do glyphosate diminui a eficiência fotossintética das plantas, pois, faz com que concentre o ácido chiquímico, devido à inibição da enzima EPSPS, apresentando-se como um forte dreno de carbono no ciclo de Calvin, estimulado

pelo desvio da eritrose-4-fosfato que seria levado na regeneração da ribulose (VELINI et al., 2012).

A figura 19, representa a concentração de ácido chiquímico (mg g^{-1}), em plantas de *Acrocomia aculeata*, sem aplicação e 28 dias após a aplicação de glyphosate.

Constata-se que não foram verificadas diferenças significativas entre as doses T0, T1 e T2. As doses T3 e T4 diferiram significativamente entre elas, e das outras doses experimentais. Quando se comparam as doses T3 e T4 com a testemunha (sem aplicação do herbicida), verificam-se aumentos na concentração do ácido chiquímico de 22 e 59 %, respectivamente. Esta resposta está associada ao mecanismo de ação do glyphosato, o qual ao inibir especificamente a enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs) impede a transformação do chiquimato em corismato.

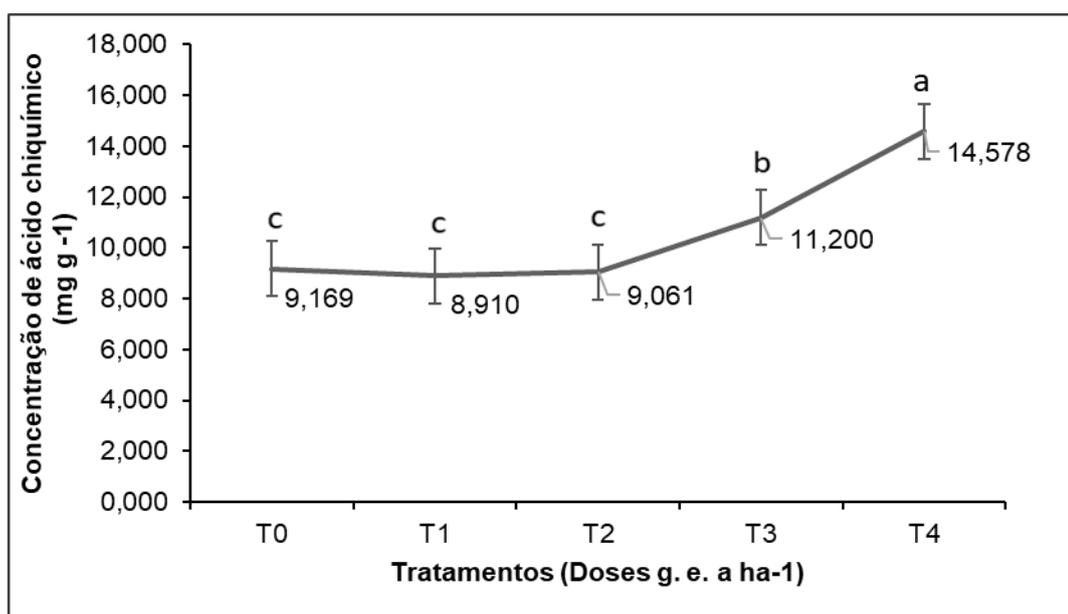


Figura 19. Concentração de ácido chiquímico (mg g^{-1}), em plantas de *Acrocomia aculeata*, 28 dias após a aplicação de glyphosate. Doses de: T0 – Testemunha (0 g.e.a ha⁻¹); T1 (90 g.e.a ha⁻¹); T2 (180 g.e.a ha⁻¹); T3 (360 g.e.a ha⁻¹) e T4 (720 g.e.a ha⁻¹). Palmas, TO, 2022.

Plantas expostas ao glifosato de alguma forma, seja por aplicação de herbicida ou deriva, podem sofrer uma série de alterações metabólicas, sendo uma das mais significativas e estudadas o acúmulo de ácido chiquímico (ou chiquimato) pelas plantas. (GOMES, 2011).

Castro et al. (2016) avaliando a absorção, translocação e efeitos metabólicos do glyphosato em plantas de eucalipto, verificaram que quanto maior a concentração de glyphosate encontrada na planta, mais ácido chiquímico foi acumulado.

5 DISCUSSÃO

As avaliações visuais das plantas de macaúba não identificaram sinais de intoxicação pelo glyphosato, no entanto as avaliações de incremento de altura e variáveis de acúmulo de biomassa, bem como volume de raízes, evidenciaram efeito do herbicida nas doses mais altas: T3 (360 g.e.a ha⁻¹) e T4 (720 g.e.a ha⁻¹). Nestas doses comparadas a testemunha (sem aplicação do glyphosato), observaram-se reduções na biomassa seca de raízes acima de 50 %, e no volume de raízes, reduções de 33 e 54 %, respectivamente. Resultados semelhantes são relatados por outros autores em diversas plantas (FREITAS; NASCENTE & SANTOS, 2013; BERTONCELLI et al., 2018; SOLANO NETO et al., 2021).

Este efeito é decorrente do modo de ação do glyphosato, que ao inibir a enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs), interrompe a transformação do chiquimato em corismato e este em triptofano, precursores do ácido indol acético (AIA), auxina envolvida na elongação celular e crescimento de raízes.

Na figura 19, fica evidente o acúmulo de chiquimato nos tratamentos T3 e T4. Yamada e Castro (2007), explicam ainda que, devido a síntese dos compostos fenólicos ser inibida pela ação do glifosato, haverá então aumento da atividade da IAA oxidase, o que levará a um aumento na oxidação do IAA e, conseqüentemente, menor nível de IAA livre.

Esta redução de raízes explica o menor crescimento das plantas evidenciado no tratamento T4, e valores inferiores em todas as variáveis fisiológicas avaliadas.

O modelo das curvas representativas das variáveis fisiológicas avaliadas no tempo em função das doses de glyphosato, apresentaram um ajuste semelhante à da testemunha (sem aplicação do herbicida) com um padrão de elevação nos primeiros 14 DAA e queda posterior, e em alguns casos pequena elevação no final

do período experimental. Interessante destacar que este modelo foi exatamente aquele demonstrado pela curva de temperatura foliar. Praticamente diferenças mais expressivas nestes parâmetros avaliados foram observados nos primeiros 14 DAA, destacando-se o tratamento da maior dose de glyphosato aplicada ($T_4 = 720$ g.e.a ha⁻¹) com as maiores diferenças.

A partir dos 14 DAA a condutância estomática (gs) apresentou uma queda até o final do experimento, indicando que ocorreu um fechamento dos estômatos. Uma vez que, a testemunha (sem aplicação de glyphosato) apresentou este comportamento, leva a pensar que esta resposta está ligada a fatores externos fora do efeito do herbicida.

O período de condução do experimento coincidiu com a época de verão (sem chuvas) típico da região, apresentando altas temperaturas, baixa umidade do ar (Figura 10) e elevada insolação. Um declínio na condutância estomática geralmente indica fechamento estomático parcial devido à redução do conteúdo de água na folha e desidratação das células-guarda ou uma resposta hormonal, uma das primeiras linhas de defesa da planta contra a deficiência de água no solo (SCALON et al., 2015).

Apesar do experimento ter sido irrigado, acredita-se que estas condições climáticas criaram um ambiente de elevada evapotranspiração, onde o fornecimento de água não foi suficiente para as necessidades das plantas. Diversos trabalhos com macaúba e estresse hídrico tem demonstrado a queda da condutância estomática (g), da assimilação líquida de CO₂ (A) e transpiração (E) (PIRES et al., 2013; MOTA & CANO, 2016; DIAS et al., 2018; SOUSA; SOUSA; FAVARO, 2023).

Pimentel (2005), explica que um estresse moderado por falta d'água pode reduzir a taxa de assimilação de CO₂, de forma distinta para diferentes genótipos, tanto por limitações difusivas, pela menor disponibilidade de CO₂ para assimilação, quanto por limitações metabólicas, pelo aumento do efeito fotoinibitório e, por consequência, um estresse oxidativo, com redução dos processos bioquímicos do ciclo de Calvin, dependentes de ATP produzido nas membranas dos tilacóides.

Além disto, a deriva do glyphosate diminui a eficiência fotossintética das plantas, pois, faz com que concentre o ácido chiquímico, devido à inibição da enzima EPSPS, apresentando-se como um forte dreno de carbono no ciclo de Calvin, estimulado pelo desvio da eritrose-4-fosfato que seria levado na

regeneração da ribulose (VELINI et al., 2012), fato evidente no tratamento T4.

Uma abordagem comum para analisar os efeitos ambientais sobre limitações fotossintéticas em folhas intactas tem sido medir a resposta de A à pressão parcial intercelular de CO_2 (SAGE; KUBIEN, 2007), denominada de eficiência instantânea da carboxilação (E_i/C_i ou A/C_i), que expressa a eficiência da Rubisco.

Analisando-se os resultados observados no presente trabalho (Figura 16), constata-se que até os 14 DAA, tanto na testemunha como nos tratamentos com glyphosato, houve um aumento na eficiência da Rubisco, sendo bem menor na mais alta dose de glyphosato (T4), efeito tóxico do herbicida. Após este período ocorreu um decréscimo na eficiência instantânea da carboxilação até o final do experimento, como resultado da menor concentração de CO_2 foliar e assimilação líquida fotossintética, porém os valores não variaram de 0,041 e 0,039.

Este resultado demonstra que, aparentemente a Rubisco não sofreu limitação metabólica e a diminuição do processo fotossintético está mais relacionado a redução do substrato CO_2 , devido à redução da condutância estomática (Figura 12). A difusão de CO_2 na folha e no cloroplasto é diretamente dependente da temperatura via efeitos de difusividade, estomatal, controle, solubilização e permeabilidade da membrana (SAGE; KUBIEN, 2007).

Esta redução estomática constatada neste trabalho, está associada, como explicado anteriormente as condições climáticas da época em que o experimento foi instalado, associado talvez, a uma irrigação não suficiente a estas condições ambientais. Apesar de, a macaúba exibir segundo Pires et al. (2013), um padrão C3 de fotossíntese, com alto rendimento quântico, perda de vapor de água pelas folhas como sistema de resfriamento, minimizando os efeitos prejudiciais do aquecimento devido à constante exposição do órgão ao aumento da temperatura do ar e da intensidade luminosa.

Conforme figura 11, as temperaturas foliares das plantas de macaúba variaram entre 35 °C (7 DAA) até 39 °C (35 DAA), destacando que correspondem ao horário de 10 a 11 horas da manhã, quando foram realizadas as avaliações fisiológicas. Ou seja, após este horário certamente serão maiores. Segundo, Bernacchi et al. (2002), temperaturas acima de 35 °C graus, a condutância do mesófilo (g_m) cai, demonstrando assim, que a transferência de CO_2 , do espaço aéreo intercelular para Rubisco (cloroplasto), é uma limitação muito substancial na fotossíntese, especialmente em alta temperatura.

Destaca-se que, a sensibilidade da assimilação líquida do carbono (A) à variação na condutância estomática (gs) geralmente aumenta em temperaturas mais quentes, porque os controles bioquímicos sobre (A) em alta temperatura são mais sensíveis a mudanças no Ci (SAGE; KUBIEN, 2007).

Pires et al. (2013), avaliando plantas de macaúba de dois anos a campo, constataram que a fotossíntese líquida permaneceu funcional mesmo quando a temperatura da folha subiu acima de 30 °C, porém a temperatura máxima foliar foi de 34 °C.

6 CONCLUSÃO

Portanto conforme as avaliações feitas e os resultados apresentados, o herbicida glyphosate não interferiram significativamente em plantas de *Acrocomia aculeata* com superdose de 2,0 L ha⁻¹ do glyphosate *Roundup Original*® DI equivalendo a concentração de 720 g e.a L⁻¹.

Os tratamentos T2 e T3 obtiveram maiores taxas de crescimento, acreditando que para estas plantas nestas dosagens de glyphosate ocorreu o fenômeno hormese, trazendo um efeito contrário à macaúba em relação ao crescimento natural verificado no controle.

O glyphosate trouxe efeitos negativos e positivos na macaúba, contudo houve efeito hormético em T1, demonstrando o fenômeno de hormese.

Concluiu-se ainda que doses de glyphosato acima de 360 g.e.a ha⁻¹ reduzem expressivamente a biomassa e volume de raízes de plantas de macaúba. E a dose de 720 g.e.a ha⁻¹ de glyphosato, reduziu o crescimento de plantas de macaúba em 50 % e afetou todas as variáveis fisiológicas;

Maiores concentrações de ácido chiquímico foram observadas nos tratamentos T3 (360 g.e.a ha⁻¹) e T4 (720 g.e.a ha⁻¹).

Essas informações são úteis para o desenvolvimento de sistemas de produção agroenergéticos mais eficientes e sustentáveis, contribuindo para a cultura e o comércio da agroenergia, e para o avanço com pesquisas relacionadas a *A. aculeata*, pois definem parâmetros técnicos referentes à dosagem do herbicida glyphosate, a qual a planta jovem de 8 meses suporta sem apresentar riscos e também a dosagem que pode trazer efeito hormético.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROENERGIA, E. B. DE P. A. E. Produção de mudas de macaúba diretamente em viveiro. p. 22, 2018.
- AGROFIT, S. DE A. F. **AGROFIT - Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários**. Disponível em: <<https://agrofit.agricultura.gov.br/>>.
- ALMEIDA, A. T. et al. **Princípios de Fisiologia Vegetal: Teoria e prática**. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.].
- ALMEIDA, S. D. B. DE et al. Glyphosate on shikimic acid on *Urochloa plantaginea*. **Ciencia Rural**, v. 50, n. 9, p. 1–6, 2020b.
- ANDRADE, A. P. D. S. **PROPAGAÇÃO CLONAL DA PALMEIRA MACAÚBA (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lood. ex Mart.) VIA EMBRIOGÊNESE SOMÁTICA E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS GENÉTICOS**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2014a.
- ANDRADE, A. P. D. S. **Propagação clonal da palmeira macaúba (*Acrocomia aculeata* (jacq.) Lood. Ex mart.) Via embriogênese somática e estimativas de parâmetros genéticos**. [s.l: s.n.].
- ARAÚJO, S. S. DE. **PODER TAMPÃO NA RECOMENDAÇÃO DE CALAGEM NO SUL DOS ESTADOS DE TOCANTINS E GOIÁS**. [s.l.] Universidade Federal do Tocantins, 2019.
- AURÉLIO, G. et al. Efeitos do herbicida Roundup® em órgãos alvos de peixes teleósteos de água doce Effects of the herbicide Roundup® on target organs of freshwater teleost fish. **Revista Sinapse Múltipla V**, v. 10, n. 1, p. 81–83, 2021.
- BARBOSA, M. A. M. **Ecophysiology, fructification and productivity of Macauba :a study on the influence of environmental factors and agricultural practices**. [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2021.
- BELZ, R. G.; CEDERGREEN, N.; DUKE, S. O. Herbicide hormesis – can it be useful in crop production? **Weed Research**, v. 51, n. 4, p. 321–332, 1 ago. 2011.
- BERNACCHI, C. J. et al. Temperature Response of Mesophyll Conductance. Implications for the Determination of Rubisco Enzyme Kinetics and for Limitations to Photosynthesis in Vivo. **Plant Physiology**, v. 130, n. 4, p. 1992–1998, 1 dez. 2002.
- BERTONCELLI, D. J. et al. Efeito do Glifosato no cultivo in vitro de *Cattleya nobilior* Rchb. F. **Revista Ceres**, v. 65, n. 2, p. 165–173, 2018.
- BONINI, E. A. et al. Chromatographic determination of shikimate for identification of conventional soybean and glyphosate resistant soybean. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 2, p. 383–389, 2020.
- BORTOLHEIRO, F. P. D. A. P. **Fotossíntese, concentração de nutrientes e produtividade de feijoeiro submetido à aplicação de subdoses de glyphosate**. [s.l.] Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2019.
- BRANDÃO, B. B. et al. Seletividade de herbicidas no crescimento inicial da cultura do açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.). **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.

5, n. 1, p. 95–100, 2014.

BUCKERIDGE, M. S. et al. Comparação entre os sistemas fotossintéticos C3 e C4. p. 2–5, 2014.

BURNSIDE, O. C. Rationale for Developing Herbicide-Resistant Crops. **Weed Technology**, v. 6, n. 3, p. 621–625, 12 set. 1992.

CARBONARI, C. A. et al. Glyphosate Effects on Sugarcane Metabolism and Growth. **American Journal of Plant Sciences**, v. 05, n. 24, p. 3585–3593, 27 nov. 2014.

CARVALHO, L. B. DE et al. Pool of Resistance Mechanisms to Glyphosate in *Digitaria insularis*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 2, p. 615–622, 18 jan. 2012.

CARVALHO, L. B. DE. **Herbicidas**. 1ª ed. Lages - SC: [s.n.].

CARVALHO, G. P. et al. Growth analysis of hybrid *Eucalyptus urograndis* (*E . grandis* x *E . urophylla*) in response to simulated drift of auxinic herbicides. n. 1, 2017.

CASTRO, C. A. DE O. et al. Brief history of *Eucalyptus* breeding in Brazil under perspective of biometric advances. **Ciencia Rural**, v. 46, n. 9, p. 1585–1593, 2016.

COLOMBO, C. A.; BERTON, L. H. C. Silvopastoral System With Macauba Palm: Alternative To Sustainable Livestock Production. **Boletim de Indústria Animal**, 2019.

COSTA, Y. K. S. DA et al. Herbicide selectivity on macauba seedlings and weed control efficiency. **Industrial Crops and Products**, v. 154, n. June, p. 112725, 2020.

COSTA, E. et al. Seedlings of *Acrocomia aculeata* in different substrates and protected environments. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 3, p. 395–404, 2014.

DIAS, A. N. et al. Acclimation responses of macaw palm seedlings to contrasting light environments. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–13, 2018.

DUHOUX, A. et al. Herbicide Safeners Decrease Sensitivity to Herbicides Inhibiting Acetolactate-Synthase and Likely Activate Non-Target-Site-Based Resistance Pathways in the Major Grass Weed *Lolium sp .* (Rye-Grass). v. 8, n. August, p. 1–14, 2017.

EMBRAPA. Armazenamento e processamento da macaúba Contribuições para manutenção da qualidade e aumento do rendimento de óleo da polpa. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Agroenergia**, p. 38, 2018.

EMBRAPA. **Embrapa Agroenergia - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/agroenergia>>. Acesso em: 10 out. 2020.

EMBRAPA, E. B. DE P. A. **Macaúba é matéria-prima promissora para biodiesel - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2329636/macauba-e-materia-prima-promissora-para-biodiesel>>. Acesso em: 22 out. 2020.

FARIA, A. T. et al. Atividade fisiológica da cana-de-açúcar após a aplicação de

herbicidas em pré-emergência. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 12, n. 2, p. 171, 2013.

FARIAS, C. C. M. et al. Efeitos de subdoses de glyphosate em plantas jovens de seringueira (*Hevea brasiliensis* Aubl.). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 11, n. 1, p. 119, 2012.

FÁVARO, S. P.; ROCHA, J. D. A nova cadeia produtiva da macaúba para bioprodutos e descarbonização. **Embrapa Agroenergia**, p. 33, dez. 2022.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.

FONTES, J. R. .; NASCIMENTO FILHO, F. J. .; MORAIS, R. . Influência do glyphosate no enraizamento de estacas de guaranazeiro. p. 5, 2010.

FRANCO, D. A. S. et al. Avaliação do uso de glyphosate em soja geneticamente modificada e sua relação com o ácido chiquímico. **Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 659–666, 2012.

FRANCO, D. A. S. et al. Subdoses de glyphosate como ferramenta na produção de ácido chiquímico por *Brachiaria plantaginea* (Link) Hitchc. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS**, p. 5, 2014.

FREITAS, R. J. DE; NASCENTE, A. S.; SANTOS, F. L. DE S. População de plantas de milho consorciado com *Urochloa ruziziensis*. **Agropec. Trop**, v. 43, n. 1, p. 79–87, 2013.

GOMES, F.; OLIVA, M.; MIELKE, M. Limitações fotossintéticas em folhas jovens de coqueiro_ano-verde (*Cocos nucifera* L. 'nana') em condições bem irrigadas ou em recuperação de estresse hídrico. p. 195–204, 2008.

GOMES, G. L. G. C. **Alterações metabólicas de plantas de milho submetidas à aplicação de glyphosate e fosfito**. [s.l.] UNESP, 2011.

GONÇALVES, F. B. **Efeitos da deriva simulada do glyphosate na fisiologia e produção da batata-doce (cv. Duda)**. [s.l.] Universidade Federal do Tocantins - Gurupi, 2018.

GONZÁLEZ, C. C. E. R. **Comparación de la respuesta morfológica y fotosintética de plantas C3, C4 y CAM cultivadas en muro verde y en maceta**. [s.l.] Universidad de Guadalajara, 2019.

HENSCHER, J. M.; BATISTA, D. S. Tutorial de operação do IRGA (LCpro-SD , © ADC BioScientific). **ResearchGate**, p. 12, 2021.

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 21 mar. 2022.

KAISER, E.; GALVIS, V. C. AND U. A. Efficient photosynthesis in dynamic light environments : a chloroplast ' s perspective. **Biochemical Journal**, v. 0, n. June, p. 2725–2741, 2019.

LAWSON, T. AND; VIALET-CHABRAND, S. Speedy stomata , photosynthesis and plant water use efficiency. **New Phytologist**, p. 93–98, 2019.

LOBATO, E. J. V. . et al. **Atlas climatológico do Estado de Goiás**. Goiânia: UFG,

2002.

LORENZI, G. MARIA AMIM CALDAS. **Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. ex Mart. - Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável.** [s.l.] Universidade Federal do Paraná, 2006.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** 1. ed. São Paulo: 2009, 2009. v. 03

LORENZI, H. **Manual de identificação e controle de plantas daninhas.** Instituto ed. São Paulo: [s.n.], v. 7

LOWRY, O. H. et al. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* 193:265, 1951. **Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research**, n. 1, p. 921–921, 2014.

MACHADO, A. F. L. et al. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosate. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 319–327, 2010.

MACHADO, W. et al. Desenvolvimento Radicular de Macaúba (*Acrocomia aculeata*) em Dois Solos. p. 143–147, 2018.

MACHADO, W.; FIGUEIREDO, A.; GUIMARÃES, M. F. Initial development of seedlings of macauba palm (*Acrocomia aculeata*). **Industrial Crops and Products**, v. 87, p. 14–19, 2016.

MALIK, J.; BARRY, G.; KISHORE, G. The herbicide glyphosate. **Biofactors (Oxford, England)**, v. 2, n. 1, p. 17–25, 1 mar. 1989.

MANFIO, C. E. **Análise genética no melhoramento da macaúba.** [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2010.

MARINHO, R. L. DA S. et al. **Efeito do glyphosate no acúmulo de matéria seca de cultivares de café.** Araxá - MG: 2011.

MARQUES, K. D. M. et al. Efeito hormético de glyphosate no crescimento inicial de mudas de paricá (*Schizolobium amazonicum*). **Agrarian**, v. 13, n. 47, p. 9–16, 2020.

MATALLO, M. B. et al. Monitoramento Do Ácido Chiquímico No Manejo De Plantas Daninhas Com Glifosato Em Pomar Comercial De Citros. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 77, n. 2, p. 355–358, 2010.

MEDEIROS, E. C. DE. **Ecofisiologia de duas espécies lenhosas da caatinga ocorrentes em inselbergs.** [s.l.: s.n.].

MELO, N. F. DE. Hormônios e Reguladores Vegetal de Crescimento. **I Seminário Coda de Nutrição Vegetal**, v. 3, n. 1, p. 37–54, 2002.

MELO, F. D. A. et al. Sensibilidade da macaúba a aplicação de glifosato. In: **IV Encontro de jovens talentos da Embrapa cerrados: resumos apresentados.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. p. 76.

MIRISOLA FILHO, L. A. Cultivo e processamento do coco macaúba para produção de biodiesel. p. 336, 2009.

- MORAES, C. P. DE. **Efeito de doses subletais de glyphosate no crescimento, consumo de água e absorção de nutrientes em Urochloa decumbens.** [s.l.] Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2019.
- MOTA, CLENILSO SEHNEN ; CORREA, T. R. ; GROSSI, J. A. S. ; CASTRICINI, A. ; RIBEIRO, A. S. Exploração sustentável da macaúba para produção de biodiesel : colheita , pós-colheita e qualidade dos frutos. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 265, p. 41–51, 2011.
- MOTA, C. S. et al. Exploração sustentável da macaúba para produção de biodiesel : colheita, pós-colheita e qualidade dos frutos. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 265, p. 41–51, 2011.
- MOTA, C. S.; CANO, M. A. O. Matter Accumulation and Photosynthetic Responses of Macaw Palm To Cyclical Drought. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 4, p. 850–858, 2016.
- MOTOIKE, S. Y. et al. **Processo De Germinação E Produção De Sementes Pré-Germinadas De Palmeiras Do Gênero Acrocomia.** , 2007.
- MOTOIKE, S. Y. . et al. **A cultura da macaúba: implantação e manejo de cultivos racionais.** Viçosa, MG: [s.n.].
- MOTTA, P. E. F. DA et al. Ocorrência da macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 7, p. 1023–1031, 2002a.
- MOTTA, P. E. F. DA et al. Ocorrência da macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 7, p. 1023–1031, 2002b.
- NANDULA, V. K. et al. Glyphosate-resistant and -susceptible soybean (*Glycine max*) and canola (*Brassica napus*) dose response and metabolism relationships with glyphosate. p. 3540–3545, 2007.
- NASCENTES, R. F. **Hormesis de glyphosate em cana-de-açúcar e eucalipto.** [s.l: s.n.].
- NASCIMENTO, A. M. M. DO. **Protocolo de indução da calogênese in vitro a partir de folíolos imaturos de plantas adultas de macaúba.** [s.l.] Universidade Federal de Viçosa, 2018.
- NETO, R. M. R.; YAMASHITA, O. M.; OLIVEIRA, V. R. DE. Intoxicação de cajuaçu submetida à deriva de glyphosate. v. 15, n. Id, 2022.
- NUNES, A. C. **Aspectos agronômicos e produtividade de soja submetida a manejo de irrigação.** [s.l.] Universidade Federal do Ceará, 2016.
- OLIVEIRA, A. K. M.; GUALTIERI, S. C. J. DE; BOCCHESI, R. A. Gas exchange of potted *Tabebuia aurea* plants under hydric stress Ademir. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 33, n. 4, p. 641–647, 2011.
- OLIVEIRA, L. E. M. DE. **A enzima RuBisCo | Temas em Fisiologia Vegetal – Luiz Edson Mota de Oliveira.** Disponível em: <<http://www.ledson.ufla.br/fotossintese-em-plantas-superiores/ciclo-de-reducao-do-co2/a-enzima-rubisco/>>. Acesso em: 19 jun. 2023.

OLIVEIRA, V. J. DOS S. DE et al. Avaliação de condutância estomática e temperatura foliar em variedades de mamão submetidas a déficit hídrico. 2011.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. **Biologia e manejo de plantas daninhas**. [s.l.: s.n.].

OLIVEIRA NETO, A. M. et al. Influência do glyphosate isolado ou em mistura com atrazine sobre o desenvolvimento inicial do milho rr. p. 161–165, 2012.

OLIVEIRA, R. S. et al. Influência do glyphosate sobre a nodulação e o crescimento de cultivares de soja resistente ao glyphosate. **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 831–843, 2008.

PACHECO, F. V.; LAZZARINI, L. E. S.; ALVARENGA, I. C. Metabolismo relacionado com a fisiologia dos estômatos. v. 18, n. 36, p. 186–206, 2021.

PERES, L. E. P. Metabolismo secundário. p. 1–26, 2005.

PICOLI JR, G. J. et al. Metabolismo e influência do glyphosate nos níveis de aminoácidos aromáticos em azevém. 2016.

PIMENTEL, C. Respostas fisiológicas à falta d'água: limitação difusiva ou metabólica? 2005.

PIMENTEL, L. et al. **Estimativa de Custo de Produção e Viabilidade Econômica do Cultivo da Palmeira Macaúba (Acrocomia aculeata) para Produção De Óleo Vegetal**. Anais do 6º Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Gorduras e Biodiesel. **Anais...**Montes Claros-MG: 2009.

PIMENTEL, L. Nutrição Mineral Da Macaúba: Bases Para Adubação E Cultivo. p. 115, 2012.

PIRES, T. P. et al. Ecophysiological traits of the macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**, v. 44, p. 200–210, 2013.

PIRES, T. P. **Diversidade genética, fisiológica, e anatômica em populações de macaúba provenientes de diferentes biomas**. [s.l.: s.n.].

PORSCH, L.; SIMAS, L. A. W.; GRANZOTI, R. O. C. Estresse oxidativo e o seu impacto no envelhecimento: uma revisão bibliográfica. v. 2, p. 80–85, 2019.

RAMOS, N. D. S. **Alterações fisiológicas e bioquímicas de mudas de acacia mangium à aplicações de doses de glyphosate acacia mangium à aplicações de doses de glyphosate**. [s.l.] Universidade Federal do Tocantins, 2017.

RAMOS, P. DE P. et al. Isolamento, caracterização de rizobactérias e análise da produção de ácido indolacético visando ao enraizamento de estacas de oliveira (*Olea europaea* L.). **Ciencia Florestal**, v. 31, n. 4, p. 1612–1630, 2021.

RAMOS, S. et al. Physiological and Biochemical Changes in Acacia Mangium Seedlings under Glyphosate Application. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 15, n. 4, p. 321–327, 2020.

REDDY, K.; MATCHA, S. Quantificação dos efeitos do nitrogênio no desenvolvimento, crescimento e fotossíntese da mamona. **Colheita Ind. Prod.**, p. 185–191, 2010.

RESENDE, A. S. DE; LELES, P. S. DOS S. **Controle de plantas daninhas em restauração florestal**. [s.l.: s.n.].

REZENDE, A. L. et al. Associação De Herbicidas Para O Manejo De Plantas Daninhas Em Milho. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 19, n. 4, p. 742, 2020.

RIBEIRO, R. A. D. R. Estimativa da transpiração da macaúba utilizando o método de dissipação térmica. **Progress in Retinal and Eye Research**, p. 46, 2019.

ROSA, B. L. Alterações fotossintéticas e metabólicas em respostas a variação sazonal e manipulação fonte-dreno em *Acrocomia aculeata* (Jacquin) Loddies ex Martius (Arecaceae). **Dissertação de Mestrado.**, p. 42, 2018.

ROSA, B. L.; SOUZA, J. P.; PEREIRA, E. G. Increased atmospheric CO₂ changes the photosynthetic responses of *Acrocomia aculeata* (Arecaceae) to drought. **Acta Botanica Brasílica**, v. 33, n. 3, p. 486–497, 2019.

RUBIO NETO, A. et al. Superação da dormência em sementes de macaúba [*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Loddiges ex Mart.]. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 36, n. 1, p. 43–50, 2014.

RURAL, G. **Acelen dá início a projeto para uso da macaúba como fonte de energia**. Disponível em:

<<https://globo rural.globo.com/negocios/noticia/2023/10/acelen-da-inicio-a-projeto-para-uso-da-macauba-como-fonte-de-energia.ghtml>>. Acesso em: 18 out. 2023a.

RURAL, R. C. **Soja e macaúba: empresa brasileira vai investir R\$ 12 bilhões em combustíveis renováveis**. Disponível em:

<<https://www.canalrural.com.br/agricultura/soja/soja-e-macauba-empresa-brasileira-vai-investir-r-12-bilhoes-em-combustiveis-renovaveis/>>. Acesso em: 25 jun. 2023b.

SAGE, R. F.; KUBIEN, D. S. The temperature response of C₃ and C₄ photosynthesis. **Plant, Cell & Environment**, v. 30, n. 9, p. 1086–1106, 1 set. 2007.

SCALON, P. Q. S. et al. Gas exchange and photosynthetic activity in *Hancornia speciosa* gomes seedlings under water deficit conditions and during rehydration. **Biosci. J., Uberlândia**, v. 31, n. 4, p. 1124–1132, 2015.

SILVA, D. V. et al. Aspectos fisiológicos da mandioca após a aplicação dos herbicidas fluazifop-p-butyl e fomesafen. **Revista Ceres**, v. 61, n. 2, p. 178–183, 2014.

SOLANO NETO, A. et al. Efeito de doses de glyphosate em deriva simulada em plantas jovens de cacau. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, v. 1, n. 56, p. 134, 2021.

SOUSA, C. A. F. DE; SOUSA, H. U. DE; FAVARO, S. P. Trocas Gasosas Foliaves em Plantas de Macaúba em Irrigação e Sequeiro e Doses de Adubação. **Embrapa Meio-Norte**, p. 20, mar. 2023.

SOUZA, J. N. E. **Ecofisiologia de bancos de sementes de macaúba**. [s.l.: s.n.].

SPEROTTO, R. A. **Protocolos e métodos de análise em laboratórios de biotecnologia agroalimentar e de saúde humana**. [s.l.: s.n.].

TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre, RS: [s.n.].

TELES, H. D. F. **Caracterização de ambientes com ocorrência natural de *Acrocomia aculeata* (Jacq .) Lodd . ex Mart . e suas populações nas regiões centro e sul do estado de Goiás.** [s.l: s.n.].

TELES, H. D. F. et al. Ambientes De Ocorrência Natural De Macaúba. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 4, p. 595–601, 2011.

TELES, H. DE F. **Caracterização de ambientes com ocorrência natural de *Acrocomia aculeata* (Jacq .) Lodd . ex Mart . e suas populações nas regiões centro e sul do estado de Goiás.** [s.l.] Universidade Federal de Goiás, 2009b.

THOUNAOJAM, T. C. et al. Excess copper induced oxidative stress and response of antioxidants in rice. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 53, p. 33–39, 2012.

UFT, U. F. DO T. **Laboratório de Meteorologia e Climatologia - LABMET.** Palmas, TO, 2023. Disponível em:
<<https://ww2.uft.edu.br/index.php/pesquisa/centros-de-pesquisa/estacao-experimental>>

VARGAS, G. N. et al. Efeito da deriva de glyphosate no crescimento de plantas de café arábica micorrizadas. **VIII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, p. 5, nov. 2013.

VARGAS, L. et al. Glyphosate Influence On The Physiological Parameters Of *Conyza Bonariensis* Biotypes. v. 32, n. 1, p. 151–159, 2014.

VELINI, E. D. et al. Modo de ação do glyphosate. In: **Herbicidas: propriedades, usos e legislação.** [s.l: s.n.].

VELINI, E. D. ET AL. Características e usos do glyphosate. **FEPAF**, p. 213, 2012.

YAMADA, T.; CASTRO, P. R. DE C. E. Efeitos do glifosato nas plantas: implicações fisiológicas e agronômicas. **International Plant Nutrition Institute**, n. 119, p. 1–32, 2007.

YAMASHITA, O. M. et al. Influência do glyphosate e 2, 4-D sobre o desenvolvimento inicial de espécies florestais. **Sci. For.**, v. 37, n. 84, p. 359–366, 2009.

ZELAYA, I. A. et al. Evaluation of spectrophotometric and HPLC methods for shikimic acid determination in plants: Models in glyphosate-resistant and -susceptible crops. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 6, p. 2202–2212, 2011.