



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO



GENILSON TADEU SILVA JUNIOR

**EFEITOS DA DERIVA SIMULADA DO GLIFOSATO SOBRE A  
FOTOSSÍNTESE DE GENÓTIPOS DE *Coffea canephora***

ALEGRE

2022

GENILSON TADEU SILVA JUNIOR

**EFEITOS DA DERIVA SIMULADA DO GLIFOSATO SOBRE A FOTOSSÍNTESE DE  
GENÓTIPOS DE *Coffea canephora***

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de *Magister Scientiae* em Genética e Melhoramento.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cezar Cavatte.

ALEGRE

2022

GENILSON TADEU SILVA JUNIOR

**EFEITOS DA DERIVA SIMULADA DO GLIFOSATO SOBRE A FOTOSSÍNTESE DE  
GENÓTIPOS DE *Coffea canephora***

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Genética e Melhoramento.

Aprovada em 23 de dezembro de 2022.

COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Paulo Cezar Cavatte.  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador

---

Prof. Dr. Leandro Pin Dalvi  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Membro interno

---

Dr. Josimar Aleixo da Silva  
Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência  
Técnica e Extensão Rural  
Membro externo

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ao Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) e ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) pelo apoio intelectual, financeiro e de infraestrutura.

Ao Prof. Dr. Paulo Cezar Cavatte pela orientação durante a trajetória do mestrado.

À minha família, mãe, pai, irmã e sobrinha pelo apoio incondicional. Aos meus avós paternos (*in memorian*) e maternos.

Aos meus amigos, em especial Ruan Maloni, Keltony Aquino e Karina Santos que contribuíram imensamente no último ano.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram nesta trajetória para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

Posso não concordar com nenhuma das palavras que  
você disser, mas defenderei até a morte o direito de  
você dizê-las.

Evelyn Beatrice Hall (1906)

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1: Valores de probabilidade de significância (P-valor), média e coeficiente de variação (C.V.) dos índices de pigmentos fotossintéticos de folhas de três genótipos de Coffea canephora, expostas aos três níveis de deriva do glifosato 7 DAA.24
- Tabela 2: Índices de pigmentos fotossintéticos de folhas de três genótipos de Coffea canephora, expostas aos três níveis de deriva do glifosato 7 DAA. .... 24
- Tabela 3: Valores de probabilidade de significância (P-valor), média e coeficiente de variação (C.V.) dos índices de pigmentos fotossintéticos de folhas de três genótipos de Coffea canephora, expostas aos três níveis de deriva do glifosato 15 DAA.25
- Tabela 4: Índices de pigmentos fotossintéticos de folhas de três genótipos de Coffea canephora, expostas aos três níveis de deriva do glifosato 15 DAA. .... 26
- Tabela 5: Valores de probabilidade de significância (P-valor), média e coeficiente de variação (C.V.) de características fotossintéticas em folhas de três genótipos de Coffea canephora, expostas aos três níveis de deriva do glifosato 7 DAA..... 27
- Tabela 6: Características fotossintéticas de folhas de três genótipos de Coffea canephora 7 DAA. .... 29
- Tabela 7: Características fotossintéticas de folhas de Coffea canephora expostas a três níveis de deriva do glifosato 7 DAA. .... 32
- Tabela 8: Valores de probabilidade de significância (P-valor), média e coeficiente de variação (C.V.) de características fotossintéticas em folhas de três genótipos de Coffea canephora, expostas aos três níveis de deriva do glifosato 15 DAA... 33
- Tabela 9: Características fotossintéticas em folhas de três genótipos de Coffea canephora, expostas a deriva do glifosato 15 DAA. .... 34

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Folhas de três genótipos de *C. canephora* 21 DAA do glifosato. Letras “A”, “B” e “C” representam respectivamente plantas tratadas com 0, 36 e 360g i.a. ha<sup>-1</sup> de glifosato. Quadrado (deformação foliar); círculo (necrose); triângulo (enrugamento); estrela (folhas afiladas) e clorose (seta). ..... 37

Figura 2: Folhas de três genótipos de *C. canephora* 21 DAA do glifosato. Letras “A”, “B” e “C” representam respectivamente plantas tratadas com 0, 36 e 360g i.a. ha<sup>-1</sup> de glifosato. Quadrado (deformação foliar); círculo (necrose); triângulo (enrugamento); estrela (folhas afiladas) e clorose (seta). ..... 38

## RESUMO

O glifosato é o principal herbicida utilizado para o manejo de plantas daninhas na cafeicultura. Contudo, a deriva do glifosato pode causar intoxicação dos cafeeiros, com efeitos negativos sobre a fotossíntese, crescimento e produção. Entretanto, estudos também têm demonstrado que subdoses do glifosato podem apresentar efeitos horméticos (estimuladores) em diversas culturas. Desta forma, o presente estudo simulou a deriva de subdoses de glifosato em três genótipos de *Coffea canephora* e investigou os efeitos sobre a fotossíntese. O experimento foi realizado com plantas após 4 quatro anos de plantio cultivadas sob condições de campo em Cachoeiro do Itapemirim-ES. As três subdoses de glifosato (0, 36, 360 g.i.a.ha<sup>-1</sup>, o que corresponde a 0, 5 e 50 % da dose recomendada) foram aplicadas diretamente na parte aérea do cafeeiro. Os genótipos tratados foram: 120 da cultivar 'Robustão Capixaba', 104 da cultivar 'Diamante' e 304 da cultivar 'Centenária'. Os dados de trocas gasosas, fluorescência da clorofila a e conteúdo de clorofilas foram avaliados 7 e 15 dias após a aplicação (DAA) e os sintomas de fitotoxidez foram verificados 7, 15 e 21 DAA. Independentemente do genótipo, com 7 DAA, folhas maduras que receberam a aplicação do herbicida na dose de 36 g i.a. ha<sup>-1</sup>, quando comparadas com o controle, apresentaram maior (estímulo) taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (23,4%), condutância estomática (26,9%) e transpiração (29,2%). O estímulo da fotossíntese foi transitório, não sendo verificado 15 DAA. Porém, quando tratadas com a dose mais alta (360 g.i.a.ha<sup>-1</sup>), 7 DAA foram verificados decréscimos na taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (20,3%), condutância estomática (35,9%) e transpiração (25,9%). Independentemente da dose, folhas novas apresentaram com 7 DAA sintomas de fitotoxicidade, os sintomas não foram evidentes em folhas maduras. Conclui-se que o efeito hormético do glifosato sobre a fotossíntese em genótipos de *C. canephora* devem ser interpretados com cautela em função de ter ocorrido de forma temporária. Além do mais, os sintomas de fitotoxidez apresentados em folhas novas de plantas tratadas com o herbicida, poderá limitar a capacidade fotossintética após a completa expansão do limbo foliar.

**Palavras-chave:** Conilon, herbicida, trocas gasosas, hormese.

## ABSTRACT

Glyphosate is the main herbicide used to manage weeds in coffee growing. However, glyphosate drift can cause intoxication of coffee trees, with negative effects on photosynthesis, growth and production. However, studies have also shown that underdoses of glyphosate can have hormetic (stimulatory) effects in several crops. Thus, the present study simulated the drift of subdoses of glyphosate in three genotypes of *Coffea canephora* and investigated the effects on photosynthesis. The experiment was carried out with plants after 4 four years of planting grown under field conditions in Cachoeiro Itapemirim-ES. The three sub-doses of glyphosate (0, 36, 360 g.i.a.ha<sup>-1</sup>, which corresponds to 0, 5 and 50% of the recommended dose) were applied directly to the aerial part of the coffee tree. The genotypes treated were: 120 of the 'Robustão Capixaba' variety, 104 of the 'Diamante' variety and 304 of the 'Centenária' variety. Data on gas exchange, chlorophyll a fluorescence and chlorophyll content were evaluated 7 and 15 days after application (DAA) and phytotoxicity symptoms were verified at 7, 15 and 21 DAA. Regardless of the genotype, with 7 DAA, mature leaves that received the herbicide application at a dose of 36 g i.a. ha<sup>-1</sup>, when compared with the control, showed a higher (stimulus) net CO<sub>2</sub> assimilation rate (23.4%), stomatal conductance (26.9%) and transpiration (29.2%). The photosynthesis stimulus was transitory, not being verified 15 DAA. However, when treated with the highest dose (360 g.i.a.ha<sup>-1</sup>), 7 DAA showed decreases in net CO<sub>2</sub> assimilation rate (20.3%), stomatal conductance (35.9%) and transpiration (25. 9%). Regardless of the dose, young leaves showed symptoms of phytotoxicity with 7 DAA, symptoms were not evident in mature leaves. It is concluded that the hormetic effect of glyphosate on photosynthesis in *C. canephora* genotypes should be interpreted with caution as it occurred temporarily. Furthermore, the symptoms of phytotoxicity presented in young leaves of plants treated with the herbicide may limit the photosynthetic capacity after complete expansion of the leaf blade.

Keywords: Conilon, herbicide, gas exchange, hormesis.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	10
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	13
2.1.	O café .....	13
2.1.1.	Manejo de plantas daninhas no café .....	14
2.2.	Glifosato .....	15
2.2.1.	Deriva .....	16
2.2.2.	Efeitos tóxicos do glifosato na planta .....	17
2.2.3.	Efeitos horméticos do glifosato .....	19
3.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	20
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
5.	CONCLUSÕES .....	40
	REFERÊNCIAS .....	41

## 1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento populacional e da demanda alimentar exigem constantemente modificações na agricultura convencional, e desenvolvimento de práticas inovadoras na agricultura (Castro, 2005). Atualmente, o Brasil lidera o mercado mundial na produção e exportação de café, produzindo em 2022 o total de 50.380,5 mil sacas beneficiadas. De todo o volume produzido, o café conilon (*Coffea canephora*) representa 35,67% do montante, com o estado do Espírito Santo se destacando como o maior produtor do país (CONAB, 2022). Cerca de 35% do PIB agrícola do Espírito Santo está diretamente associado com a produção do café conilon, uma das *commodities* mais importantes para o estado (INCAPER, 2021).

Dentre os fatores mais limitantes para a produção do café conilon podemos destacar a seca e a competição com plantas daninhas (Fialho, Silva e Freitas, 2010; DaMatta e Ramalho, 2006). A presença de plantas daninhas na cultura de café, traz danos para o cafeeiro, comprometendo seu desempenho produtivo. Plantas daninhas competem com a cultura por nutrientes, luz e água, podendo também ter efeitos alelopáticos para o cafeeiro, além da possibilidade de hospedar pragas e doenças (Santos et al., 2008; França et al., 2010; Fialho et al., 2010; Ferrão et al., 2017). Por outro lado, a presença controlada de plantas daninhas é benéfica para a cultura. A maior cobertura vegetal, proporcionada por essas plantas daninhas, diminui a erosão, retém umidade no solo, aumenta a atividade microbiológica e favorece a ciclagem de nutrientes (Fialho et al., 2010; Santos et al., 2008).

O manejo de plantas daninhas chega a representar 20% do custo de produção do café (Silva e Silva 2007). Na tentativa de reduzir esse valor, a alternativa mais barata e eficiente para o produtor tem sido o uso de herbicidas químicos (Santos et al., 2008; França et al., 2013). O Brasil possui um dos maiores mercados de herbicidas do mundo, sendo os herbicidas a base de glifosato os mais comercializados (Silva et al., 2007).

O glifosato é um herbicida pós-emergente, ou seja, atua após o crescimento inicial das ervas daninhas e sua absorção ocorre principalmente através das folhas.

Portanto, a aplicação desse herbicida é realizada via pulverização foliar. Esse tipo de aplicação pode ter como efeito colateral a deriva. A deriva de herbicidas é definida pelo alcance das gotículas do composto que atingem locais não alvo da aplicação, como solo, plantas próximas e a própria cultura (Carlsen et al., 2006; Steinmann et al., 2012; Schrübbers et al., 2016).

Ao atingir as plantas, o glifosato é absorvido rapidamente através da cutícula foliar e, posteriormente, de maneira mais lenta, via apoplasto. Após a etapa de absorção, o glifosato é transportado para os locais de maior atividade meristemática e atua na inibição da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS) (De Maria et al., 2006). Este processo inibitório leva ao impedimento da síntese de aminoácidos aromáticos, essenciais ao metabolismo vegetal, como: fenilalanina, tirosina e triptofano. Aminoácidos aromáticos são precursores da síntese de lignina, alcalóides, flavonóides e ácidos benzóicos, que acarreta na redução na lignificação das células e na resistência a doenças (Cikalo, Goodall e Mattheus 1996; Matallo, et al., 2010).

As consequências da deriva do glifosato dependem da dosagem que a planta for exposta (Gomes et al., 2014; França et al., 2013). Portanto, quanto maior for a deriva e maior for a dose do herbicida utilizada na aplicação, maiores podem ser os efeitos tóxicos para as plantas, que variam desde a redução na taxa crescimento e clorose, até a morte da planta toda (Schrübbers et al., 2016).

Em folhas de cultivares de *C. arabica*, Reis et al. (2018) relataram, 30 dias após a aplicação (DAA) de 460,8g i.a. ha<sup>-1</sup> do herbicida a base de glifosato, decréscimo na espessura das epidermes adaxial e abaxial, enquanto o parênquima paliçádico e o parênquima lacunoso aumentaram. França et al. (2010) relatam clorose, afilamento de folhas e estreitamento do limbo foliar em plantas de *C. arabica* que receberam as subdoses de glifosato de 57,6; 115,2; 230,4; e 460,8 g i.a. ha<sup>-1</sup>. No mesmo estudo os autores observaram, 45 DAA, decréscimo de 27,5 e 37,4% no crescimento em altura, em plantas que receberam doses de 230,4 e 460,8 g i.a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Também já foi verificado, 15 DAA da deriva simulada

de glifosato, que a fotossíntese de plantas de *C. arabica* diminuiu 6 e 29%, nas concentrações de 115,2 e 460,8 g i.a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Carvalho, et al. 2013).

Estudos têm demonstrado que diversos herbicidas, quando aplicados em doses subletais, possuem efeito estimulador (hormético) em diversas culturas (Jalal, et al., 2021; Mateos-Naranjo et al., 2009). A hormese é caracterizada por uma resposta bifásica de compostos, a aplicação de doses elevadas causa efeitos inibitórios e doses baixas tem efeito estimulador (Nunes, 2020). Por exemplo, Cedergreen et al. (2010) pulverizaram plantas de cevada com 11, 22 e 45 g i.a. ha<sup>-1</sup> de glifosato e observaram um aumento na fotossíntese em todas as doses, a produção foi aproximadamente 20% superior nas plantas tratadas com a dose mais alta, em comparação com o controle (ausência de aplicação). Em tomate, a fotossíntese também foi superior, 24 h após a simulação da deriva de glifosato nas doses de 0,03; 0,05; 0,1 e 1 mg L<sup>-1</sup> (Khan, et al. 2020).

Estudos já indicaram possíveis efeitos horméticos da aplicação do glifosato em *C. arabica*. França & Freitas et al. (2010) verificaram aumento na altura de plantas tratadas com a dose de 57,6 g i. a. ha<sup>-1</sup> de glifosato. Também foi verificado, dois DAA em plantas tratadas 45 dias após serem transplantadas, aumento de 30; 42 e 24% das taxas fotossintéticas quando simulada à deriva nas doses de 180; 360 e 720 g i. a. ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Carvalho, et al. 2012). No mesmo estudo, plantas que receberam a aplicação 10 dias após serem transplantadas, apresentaram aumento da fotossíntese (36%), transpiração (14%) e condutância estomática (21%) quando tratadas com a dose de 180 g i. a. ha<sup>-1</sup> e avaliadas 14 DAA. Poucos estudos avaliaram os efeitos fisiológicos da deriva simulada do glifosato em café, para o melhor do nosso conhecimento, quando se trata de *C. canephora* os estudos são inexistentes. Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar os efeitos da deriva simulada do glifosato sobre a fotossíntese de três genótipos de *C. canephora*.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. O café

O gênero *Coffea* pertence à família Rubiaceae, tem origem na África e agrupa 124 espécies catalogadas (Davis et al., 2011). Dentre elas, destacam-se por sua importância econômica e palatabilidade o *Coffea arabica* (café arábica) e *Coffea canephora* (café conilon) (Silva, 2016; Ferrão, et al., 2017). O café arábica é nativo de regiões tropicais altas da Etiópia, e o café conilon, originário das florestas tropicais entre o Rio Congo e o Lago Victoria em Uganda, onde a altitude varia de 0 a 1200 m. A região possui precipitação superior a 2000 mm anuais, umidade atmosférica próxima da saturação e temperatura média em torno de 25°C (DaMatta e Ramalho, 2006).

O café conilon é cultivado de forma perene e tem como características porte arbustivo, copas bem desenvolvidas composta por multicaules, folhas simples, elípticas, opostas e onduladas. Além disso, apresenta sistema reprodutivo alógamo com flores hermafroditas e autoincompatibilidade gametofítica. Quando comparado ao café arábica, sua bebida possui maiores teores de sólidos solúveis, cafeína, rendimento pós processamento do grão e amargor (Ferrão et al., 2017; Silva, 2016).

O país que mais produz e exporta café é o Brasil, em 2020 produziu 63,08 milhões de sacas de café arábica e conilon juntos. O *C. canephora* representa 22,7% (14,312 mi de sacas) dessa quantia, só o Espírito Santo foi responsável por 64,2% (9.193 milhões de sacas) desse montante. Tal produção envolve aproximadamente 78 mil famílias e gera cerca de 250 mil empregos, o que representa em torno de 35% do PIB Agrícola do estado (CONAB, 2020; INCAPER, 2021).

O café conilon é uma das commodities produzidas pelo Brasil que possui seu valor atrelado não somente na oferta e demanda, mas também na qualidade do produto. Utilizado principalmente em misturas (blends) com o café arábica, é crescente a demanda mundial pelo café conilon de melhor qualidade, que pode ser

proporcionada por genótipos melhorados, processamento mais adequados, região, práticas e clima de cultivo. Tais fatores proporcionam uma bebida livre de resíduos químicos indesejados, sejam eles oriundos de práticas de manejo como uso de defensivos agrícolas, do processamento inadequado ou de fatores hereditários (Ferrão et al., 2017).

#### 2.1.1. Manejo de plantas daninhas no café

A presença excessiva de ervas daninhas leva à competição com o cafeeiro por nutrientes, água e luz, altera o ambiente, pode causar efeitos alelopáticos, hospedar pragas e doenças (Costa et al., 2001; Santos et al., 2008; Ferrão et al., 2017; Silva, 2016; França et al., 2010). A infestação por essas plantas compromete o crescimento vegetativo da cultura quando jovens e posteriormente sua produtividade, com perdas de até 60% na produção (Santos et al., 2008; Fialho et al., 2010; Silva, 2016). Entretanto, a presença controlada de plantas daninhas, pode trazer benefícios promovendo o aumento local da biodiversidade, da atividade microbiológica, da umidade, da ciclagem de nutrientes e proteção contra erosão (Fialho et al., 2010; Santos et al., 2008).

O manejo de plantas daninhas no cafezal é uma prática de rotina que acontece periodicamente, é realizado principalmente no período das chuvas, entre a floração e a formação dos frutos, época que também ocorre o maior crescimento dessas ervas indesejadas (Ronchi e Silva, 2006). A fim de evitar maiores prejuízos econômicos e explorar ao máximo os benefícios provenientes da população de plantas extra culturais, o produtor de café realiza o controle das ervas daninhas. Para isso, utilizam-se as práticas de manejo com os menores custos, já que estes podem ser altos (Santos et al., 2008; Silva, 2016).

O controle de ervas daninhas pode ser realizado de forma mecânica, biológica ou química (Melloni et al., 2012). Caracterizado pela interferência manual, com capina ou arranquio, e mecanizada, com auxílio de tração animal ou trator, as práticas mecânicas nem sempre são viáveis pelo alto custo econômico (França et al., 2010). Nas práticas biológicas de manejo, podem ser utilizados o pastoreiro de

animais, microrganismos, cobertura morta, e uso de plantas que exerçam efeitos alelopáticos sobre as plantas invasoras. As práticas de manejo químico, utilizam exclusivamente herbicidas, que podem ser pré ou pós-emergentes, seletivos ou não e dependem de menor mão de obra, o que torna sua utilização menos custosa ao produtor e mais eficiente, por isso muitas vezes são as escolhidas (Pereira et al., 2000).

## 2.2. Glifosato

No ano de 1950, Dr. Henri Marin desenvolveu a molécula de glifosato (N-fosfometil-glicina), que somente em 1970 foi testada como herbicida por Dr. E. Franz pela Monsanto (Auling, 2009). Graças às suas características e criação de organismos geneticamente modificados (OGMs) com genótipos resistentes ao glifosato, se tornou um dos mais utilizados no mundo (Gomes et al., 2016; Steinmann et al., 2012; Gomes et al., 2014).

Com um dos maiores mercados de agrotóxicos do mundo, o Brasil tem o glifosato como o principal herbicida comercializado. No país, existem atualmente 1025 herbicidas liberados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Destes, 129 possuem o glifosato em sua formulação (AGROFIT, 2022).

O glifosato é um dos herbicidas mais eficientes e estudados do mercado. Sua molécula ( $C_3H_8NO_5P$ ) em condições a 25°C, é sólida e possui solubilidade de 11,6 g/L em água (Junior et al., 2002; Gazziero et al., 2016; Tóth et al., 2020; IARC, 2017). É eficaz contra grande espectro de plantas daninhas, tem rápida absorção foliar e translocação, rápida adsorção às partículas do solo e meia vida curta (Matallo et al., 2010; Gazziero et al., 2016; Schrübbers et al., 2016).

Considerado um herbicida de baixa toxicidade pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (2020), o glifosato se liga ao sítio ativo da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase (EPSPS), provocando o aumento na concentração do ácido chiquímico e redução na biossíntese de aminoácidos aromáticos (Gomes et al., 2014; Gomes et al., 2016; Schrübbers et al., 2016).

Segundo Duke (2011), este herbicida é pouco ou nada metabolizado em plantas superiores, o que pode levar ao aumento dos efeitos tóxicos em aplicações recorrentes.

### 2.2.1. Deriva

A aplicação do glifosato ocorre após o crescimento das plantas daninhas, de forma pulverizada na altura das folhas. A pulverização do herbicida, possibilita que parte da solução seja soprada pelo vento e parte de suas gotículas sejam depositadas sobre as plantas não alvo e no solo, caracterizando a deriva (Gomes et al., 2014). Segundo Carlsen (2006), a deriva de herbicida se configura pelas gotículas ou partículas secas ou vapor que indesejavelmente atinjam áreas fora do alvo antes ou após a aplicação.

A deriva da aplicação do glifosato, pode contaminar o solo, plantas não alvo e a própria cultura. Atingindo o solo, o glifosato é adsorvido às partículas de argila, minerais e orgânicas, rapidamente. Nesta forma, se torna indisponível para absorção pelas plantas, mas, pode ser consumido por microrganismos e convertido em ácido aminometilfosfônico (AMPA). Outro destino para o herbicida no solo é a ressolubilização através de chuva ou irrigação, ficando disponível para a absorção pelas plantas novamente (Gomes et al., 2014).

Devido à ação não seletiva do glifosato, ao atingir as plantas de café a deriva pode causar intoxicação e comprometer o desenvolvimento da cultura (Fialho, Silva; Freitas, 2010; França et al., 2010). A depender das condições da aplicação, como utilização de pulverizadores desregulados, baixa umidade do ar, a velocidade do vento, temperatura, altura da aplicação e formulação do herbicida, o problema da deriva pode ser agravado (Carlsen; Spliid; Svensmark, 2006).

Os efeitos da intoxicação do café pelo glifosato, vão desde uma clorose foliar até a morte da planta (Fialho; Silva; Freitas, 2010). O problema se torna ainda maior quando a cultura sofre sucessivas aplicações do herbicida. Segundo Duke (2011), o metabolismo do glifosato em plantas é muito lento ou inexistente, ou seja,

há a possibilidade de bioacumulação do herbicida, aumentando sua concentração na planta a cada aplicação.

Por outro lado, estudos têm demonstrado o efeito hormético de diversas classes de herbicidas com resposta de estímulo em relação ao controle (Belza e Duke 2014). Portanto, o nível de deriva, ou seja, a dose do ingrediente ativo recebido pela planta pode influenciar se ocorrerá efeitos deletérios ou promotores na planta.

### 2.2.2. Efeitos tóxicos do glifosato na planta

Após a aplicação, o mecanismo de absorção do glifosato ocorre em duas etapas, se inicia com uma rápida absorção através da cutícula para o apoplasto, seguida de uma lenta absorção para o interior da membrana plasmática. Em doses mais elevadas, ocorre a favor do gradiente de concentração e em baixas concentrações, um mecanismo de transporte ativo é responsável por promover a passagem do herbicida do apoplasto para o interior das células vegetais (Monquero et al., 2004; Gravena, 2006; Gomes et al., 2014).

A concentração utilizada do herbicida e algumas condições ambientais como estresse hídrico e temperatura, assim como condições biológicas de fotossíntese e do metabolismo da planta, podem alterar a absorção e a translocação do herbicida através dos tecidos vegetais (Gomes et al., 2014; Monquero et al., 2004).

Além do efeito local, o glifosato possui efeito sistêmico e afeta principalmente os tecidos em desenvolvimento dos vegetais. Seu transporte acontece de modo geral através dos vasos condutores da planta, mas é pelo floema que acontece com maior intensidade (Schrübbbers et al., 2016). O movimento ocorre saindo da fonte, folhas e outros tecidos absorventes em direção aos drenos, tecidos em atividade de crescimento como meristemas e tubérculos, seguindo o mesmo fluxo dos fotoassimilados (Gomes et al., 2014; Monquero et al., 2004; Schrübbbers et al., 2016).

Dentro das células o glifosato se liga no sítio ativo da enzima 5-enolpiruvilchiquimato-3-fosfato sintase ainda no citoplasma da célula, dessa forma impede que a enzima entre nos cloroplastos causando o bloqueio da via do ácido chiquímico (De Maria et al., 2006; Schrübbers et al., 2016). O consumo de ácido chiquímico tende a ser menor, aumentando sua concentração e como consequência, a síntese dos aminoácidos aromáticos (triptofano, tirosina e fenilalanina) é bloqueada (Gomes et al., 2014; Schrübbers et al., 2016; Matallo et al., 2010).

O acúmulo do ácido chiquímico e a inibição da síntese de corismato causado pelo glifosato leva ao consumo de C por essas vias (Gomes et al., 2014). O glifosato causa o bloqueio da produção de compostos antimicrobianos, como as fitoalexinas, também causa a redução na lignificação das células, diminuindo as defesas da planta contra pragas e doenças, deixando-a mais susceptíveis a patógenos (Johal et al., 2009; Matallo et al., 2010). Além disso, o glifosato atua como quelante de cargas positivas, se ligando fortemente a nutrientes no interior da planta deixando-os indisponíveis, causando bloqueios de vias metabólicas importantes como ocorre na inibição da via do ácido chiquímico, quando o glifosato se liga ao cofator  $Mn^{+}$  no sítio ativo da enzima EPSPS (Johal et al., 2009; Cakmak et al., 2009).

O ácido aminometilfosfônico (AMPA) é a principal molécula oriunda da degradação do glifosato e pode estar presente nos tecidos vegetais devido à sua absorção das matrizes ambientais ou pelo metabolismo do glifosato, ainda que seja limitado em plantas superiores (Gomes et al., 2014; Schrübbers et al., 2016). Algumas plantas metabolizam o glifosato através da enzima C-P Liase, produzindo sarcosina, ou através da enzima Glifosato Oxidase (GOX), que o converte em AMPA. Sendo o AMPA o metabólito mais encontrado, espera-se que a via de degradação do glifosato pela GOX seja mais comum (Gomes et al., 2016).

Similarmente ao glifosato, o seu metabólito AMPA segue as mesmas vias de transporte e destino (Gomes et al., 2014). É sabido que o AMPA tem efeito fitotóxico, alguns autores sugerem por exemplo, que a redução na quantidade de clorofila em soja resistente ao glifosato foi causada pelo AMPA, entretanto, são

poucos os estudos sobre o efeito do AMPA em plantas (Gomes et al., 2014; Gomes et al., 2016).

Ainda não estão totalmente elucidados os mecanismos pelos quais a intoxicação pelo glifosato causa a morte de plantas. Porém, sabe-se que tanto o glifosato quanto seu principal metabólito, o AMPA, levam ao bloqueio das vias biossintéticas de carotenoides, ácidos graxos, aminoácidos e quinonas, compromete a síntese de clorofila e prejudica a fotossíntese (Mateos-Naranjo et al., 2009; Gomes et al., 2016; Gomes et al., 2014). O comprometimento dessas e outras importantes vias, leva a planta a consumir seus estoques de nutrientes e a produção de outras vias metabólicas importantes, conduzindo a planta a morte por efeitos secundários (De Maria et al., 2006; Gomes et al., 2014).

### 2.2.3. Efeitos horméticos do glifosato

O termo efeito hormético corresponde a possibilidade de duas respostas diferentes após exposição a um agente. Tal resposta é dependente de dose e consiste no estímulo a efeitos benéficos em doses baixas e quando utilizadas doses mais elevadas, causam efeitos tóxicos e deletérios (Brito et al., 2018). O termo hormese foi utilizado pela primeira vez por Southam e Erlich em 1943 para descrever o estímulo de crescimento de fungos após exposição a baixas doses de extrato da casca de carvalho.

A hormese tem sido estudada em diversos organismos animais e vegetais. Segundo Brito et al. (2018) estudos da hormese de herbicidas em plantas proporcionaram ganhos médios de 20 a 30 %. Marques et al. (2019), observaram que subdoses do herbicida 2,4D proporcionaram ganhos na parte aérea, matéria seca e altura em algodoeiro. Ganhos na clorofila e fluorescência da clorofila na cultura de trigo após exposição a subdoses de 2,4D também foram relatados (Kaur; Kaur, 2019). Relatos de efeitos hormético do glifosato também tem sido encontrado para diversas culturas. Em *Brachiaria decumbens* foi observado incremento de celulose após exposição a subdoses de glifosato (Meschede et al., 2011). Ganhos

na fotossíntese, cloroplastos e enraizamento de tomate também foram obtidos após o uso de subdoses de glifosato (Khan et al., 2020).

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

O experimento foi realizado na fazenda experimental do INCAPER localizada do distrito de Pacotuba, município de Cachoeiro de Itapemirim - ES. A fazenda se encontra sob localização geográfica com latitude de 7703531.54 mS e longitude de 261504.92 mE (UTM), está a 86 m de altitude. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é classificado como “Aw”, caracterizado pelo clima tropical chuvoso, com estação seca no inverno. A precipitação média anual de 1.200 mm e a temperatura mínima média varia de 13° C nos meses mais frios a 22° C no verão e a temperatura máxima média varia de 28 a 36° C (INCAPER, 2022). De acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos, o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) é o predominante na região (EMBRAPA, 2006).

Foram utilizadas plantas com quatro anos de idade, cultivadas a campo com espaçamento de 1 m entre plantas e 3 m entre linhas. O manejo nutricional da cultura foi realizado de acordo com as recomendações para a cultura (Prezotti et al., 2007). As necessidades hídricas, bem como o manejo de pragas e doenças foram realizados de acordo com Ferrão et al. (2017). O experimento foi montado em esquema fatorial 3x3 (três genótipos x três subdoses), com quatro repetições em delineamento em blocos casualizado (DBC). Para isso, cada planta foi considerada uma unidade experimental.

Os genótipos utilizados foram o 304 da cultivar ‘Centenária’, o genótipo 120 integrante da cultivar ‘Robustão Capixaba’ e o genótipo 104 da cultivar ‘Diamante’. O genótipo 120 apresenta tolerância a seca e maturação dos frutos de maio a junho (intermediária) (DaMatta et al., 2003). O genótipo 304 apresenta maturação tardia (colheita em julho) (Ferrão et al., 2017) e segundo observações a campo é sensível a seca. O genótipo 104 apresenta maturação precoce (colheita em maio) (Ferrão et al., 2017) e segundo observações a campo é tolerante a seca.

A deriva foi simulada em três subdoses: 0; 36 e 360 g i. a. ha<sup>-1</sup>. As subdoses correspondem respectivamente a 0, 5 e 50 % da dose recomendada (720 g i. a. ha<sup>-1</sup>) do produto para controle de ervas daninhas a campo (Monsanto do Brasil LTDA, 2011). Foi utilizado o produto Roundup Original Mais®, formulação 57,7% do sal de N-(fosfometil)glicina e 48% do equivalente ácido de N-(fosfometil)glicina. As subdoses foram com um auxílio de um pulverizador costal com um bico de jato plano e volume de aplicação de 200 L ha<sup>-1</sup>. As aplicações do glifosato, foram realizadas de modo a garantir que toda a área foliar da planta fosse atingida. As plantas que receberam a dose zero, foram pulverizadas com água. Para garantir que o herbicida atingisse apenas a planta de interesse, no momento da aplicação utilizou-se lona plástica entre as plantas como barreira física. A aplicação do herbicida foi realizada no período da manhã. Durante a aplicação a temperatura média foi de 30,2° C, a umidade relativa do ar foi de 60,4% e a velocidade do vento de 6 m s<sup>-1</sup>.

Foram realizadas avaliações de trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e índices de clorofilas 7 e 15 dias após aplicação (DAA). As avaliações foram realizadas em folhas totalmente expandidas do terceiro ou quarto nó de ramos plagiotrópicos localizados no terço médio de cada planta. As avaliações de fitotoxidez foram realizadas 7, 15 e 21 DAA.

As análises de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* foram realizadas utilizando um analisador de gases por infravermelho (IRGA, Li 6400XT, Li-Cor, Lincoln, EUA) equipado com a câmara foliar de 2 cm<sup>2</sup> (Li 6400-40 LCF, Li-Cor, Lincoln, EUA). As análises da assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (*A*, mmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*, mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>*, μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> de ar) e transpiração (*E*, mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) foram realizadas entre 9h00min-11h00min sob radiação fotossinteticamente ativa saturante de 1200 μmol fótons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (90% de luz vermelha e 10 % de luz azul) e concentração de CO<sub>2</sub> de 400 μmol CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> de ar. Em cada folha, após a estabilidade dos valores de trocas gasosas (aproximadamente 2 min), foram registradas cinco leituras ao longo de um determinado período de amostragem, para apresentação e análises estatísticas dos dados foi considerada a média dessas leituras.

O rendimento quântico potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ) foi determinado na antemanhã. Para tal, inicialmente a fluorescência mínima ( $F_0$ ) foi obtida com a excitação da área amostrada por uma luz vermelho-distante ( $0,03 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), e a fluorescência máxima ( $F_m$ ) pela aplicação de um pulso de 0,8 s de luz saturante ( $>6.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ). A diferença entre  $F_m$  e  $F_0$  resulta na fluorescência variável ( $F_v$ ). Finalmente  $F_v/F_m$ , foi calculado conforme a equação:  $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ . Os demais parâmetros de fluorescência da clorofila a foram determinados de forma simultânea com as trocas gasosas. O rendimento quântico efetivo do fotossistema II ( $Y(\text{II}) = F_m' - F_s)/F_m'$ ) foi determinado conforme proposto por Kramer, et al. (2004). O  $Y(\text{II})$  foi utilizado para estimar a taxa aparente de transporte de elétrons (ETR), conforme a equação proposta por Genty, et al. (1989):  $\text{ETR} = Y(\text{II}) \times \text{RFA} \times \alpha \times \beta$ . Onde: RFA é a radiação fotossinteticamente ativa ( $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) incidente sobre a folha;  $\alpha$  é a absortância foliar (utilizou-se o valor médio para clones de *C. canephora*,  $\alpha = 0,94$ );  $\beta$  representa a proporção de fotossistemas I e II (utilizou-se o valor padrão 0,5).

Baseado no requerimento de elétrons necessário para um evento de carboxilação e/ou oxigenação da ribulose-1,5-bisfosfato, e considerando que durante a fotorrespiração uma molécula de  $\text{CO}_2$  é liberada para cada ciclo de duas oxigenações devido à descarboxilação da glicin durante a síntese de serina (Laing, Ogren e Hageman 1974), foi calculada a taxa de fotorrespiração ( $R_p$ ) conforme Valentini (1995):  $R_p = 1/12[\text{ETR} - 4(A + R_L)]$ . A determinação da respiração no escuro ( $R_d$ ) foi realizada entre 11h00min-12h00min sob concentração de  $\text{CO}_2$  de  $400 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$  de ar e a taxa não fotorrespiratória de liberação de  $\text{CO}_2$  mitocondrial ( $R_L$ ) foi calculada conforme Martins et al., (2013). A fotossíntese bruta ( $A_g$ ) foi determinada após o somatório da  $A$ ,  $R_L$  e  $R_p$ . Foram calculadas as eficiências do uso da água intrínseca ( $A/g_s$ ) e instantânea ( $A/E$ ) e a relação  $\text{ETR}/A_g$ .

As determinações dos índices de clorofilas foram realizadas com uso de clorofilômetro portátil (ClorofiLOG CFL 1030, Falker, Rio Grande do Sul, BR), que consiste em um método não destrutivo que utiliza fotodiodos que emitem três comprimentos de onda, duas dentro do espectro do vermelho (635 e 660 nm) e um

no infravermelho próximo (880 nm). Através de um sensor ocorre a captação da radiação transmitida através da folha, permitindo a estimação do índice de clorofila *a* ( $C_a$ ), índice de clorofila *b* ( $C_b$ ) e o índice de clorofila total ( $C_t$ ) em unidades adimensionais.

Os dados foram submetidos às pressuposições de normalidade pelo teste de Shapiro Wilk e homogeneidade pelo teste de Bartlett. Foi realizada a análise de variância (ANOVA) variância através do teste F ( $P \leq 0,05$ ) para todos os dados considerando os efeitos das doses aplicadas de glifosato e os diferentes genótipos. Foi utilizado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para a comparação de médias. Todas análises estatísticas foram realizadas no software R (R Core Team 2022) com auxílio do pacote agricolae (Mendiburu 2021).

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Aos 7 DAA os pigmentos fotossintéticos não sofreram alterações devido aos tratamentos com glifosato a que foram submetidos. Os dados foram diferentemente significativos para o fator genótipo e não para as subdoses do herbicida. As médias para os teores dos pigmentos de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e para a razão clorofila *a/b* apresentaram diferenças significativas entre os diferentes genótipos (Tabela 1).

**Tabela 1:** Valores de probabilidade de significância (*P*-valor), média e coeficiente de variação (C.V.) dos índices de pigmentos fotossintéticos de folhas de três genótipos de *Coffea canephora*, expostas aos três níveis de deriva do glifosato 7 DAA.

Características	Fonte de variação			Média	C.V. (%)
	Genótipos (G)	Subdoses (S)	G*S		
Clorofila a	<b>0,000606</b>	0,639163	0,118975	44,9	3,88
Clorofila b	<b>0,000012</b>	0,749000	0,773000	25,2	14,5
Clorofila total	<b>0,000029</b>	0,526000	0,403000	70,0	7,6
Clorofila a/b	<b>0,000021</b>	0,828000	0,889000	1,82	13,7

Destacado em negrito os valores de  $P < 0,05$ .

As análises dos teores de clorofilas mostraram que o genótipo 120 apresentou menores teores de clorofilas (*a*, *b* e total) e maior razão clorofila *a/b* em relação aos demais genótipos. Para estes mesmos parâmetros os genótipos 104 e 304 foram iguais (Tabela 2).

**Tabela 2:** Índices de pigmentos fotossintéticos de folhas de três genótipos de *Coffea canephora*, expostas aos três níveis de deriva do glifosato a 7 DAA.

Características	Genótipos		
	104	120	304
Clorofila a	46,02 a	43,49 b	45,21 a
Clorofila b	27,86 a	21,37 b	26,30 a
Clorofila total	73,89 a	64,86 b	71,12 a
Clorofila a/b	1,65 b	2,06 a	1,72 b

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey, com uma probabilidade de 5%.

O genótipo 120 apresentou os menores valores de clorofilas *a*, *b* e total, seguido pelo genótipo 304 e 104 respectivamente. Estes valores demonstram que o genótipo 104 possui maior capacidade de absorção de energia luminosa. Esta característica pode proporcionar maior eficiência fotossintética devido a maior absorção de energia luminosa. Para a razão clorofila *a/b* o genótipo 120 obteve o maior valor (2.067), seguido pelo genótipo 304 (1.729) e 104 (1.656). Segundo Devlin e Witham (1983) as plantas mais adaptadas ao sombreamento possuem

maior concentração de clorofila *b*. Portanto, a menor proporção do pigmento acessório pode indicar que do genótipo 120 está mais adaptado às condições de cultivo a pleno sol.

Apesar do glifosato inibir a síntese de clorofila (Mateos-Naranjo et al., 2009), não foi observada redução no teor de clorofilas *a* e *b* nas folhas avaliadas independentemente da dose aplicada. As avaliações neste experimento foram realizadas em folhas que já estavam totalmente expandidas no momento da aplicação do herbicida. Uma vez dentro das células vegetais o glifosato é translocado para as regiões meristemáticas (Schrübbbers et al., 2016), incluindo as folhas dos ápices dos ramos, sendo sugerido para estudos futuros a avaliação de teores dos pigmentos fotossintéticos em folhas neste estágio de desenvolvimento.

Aos 15 DAA os pigmentos fotossintéticos não sofreram alterações devido aos tratamentos com glifosato a que foram submetidos. Os dados foram diferentemente significativos para o fator genótipo e não para as subdoses do herbicida. As médias para os teores dos pigmentos clorofila *b*, clorofila total e para a razão clorofila *a/b* apresentaram diferenças significativas entre os diferentes genótipos (Tabela 3).

**Tabela 3:** Valores de probabilidade de significância (*P*-valor), média e coeficiente de variação (C.V.) dos índices de pigmentos fotossintéticos de folhas de três genótipos de *Coffea canephora*, expostas aos três níveis de deriva do glifosato 15 DAA.

Características	Fonte de variação			Média	C.V. (%)
	Genótipos (G)	Subdoses (S)	G*S		
Clorofila <i>a</i>	0,43930	0,09240	0,59890	43,4	5,7
Clorofila <i>b</i>	<b>0,01480</b>	0,30450	0,48690	23,7	17,7
Clorofila total	<b>0,00410</b>	0,50020	0,87840	67,6	8,6
Clorofila <i>a/b</i>	<b>0,00760</b>	0,58670	0,57640	1,8	13,6

*Destacado em negrito os valores de  $P < 0,05$ .*

O genótipo 104 apresenta maiores teores de clorofila *b* e clorofila total e menor razão clorofila *a/b*, em relação ao genótipo 120 (Tabela 4).

**Tabela 4:** Índices de pigmentos fotossintéticos de folhas de três genótipos de *Coffea canephora*, expostas aos três níveis de deriva do glifosato 15 DAA.

Características	Genótipos		
	104	120	304
Clorofila b	25,95 a	21,13 b	23,93 ab
Clorofila total	71,70 a	64,01 b	67,14 ab
Clorofila a/b	1,73 b	2,04 a	1,83 ab

Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey, com uma probabilidade de 5%.

Nas avaliações do 15 DAA, apenas a clorofila *a* não foi estatisticamente diferente entre genótipos. As medidas de clorofila *b*, total e razão *a/b* diferiram estatisticamente entre o genótipo 120 e 104. Apesar das diferenças estatísticas do 7 para o 15 DAA, as medidas obtidas para estas características seguiram a mesma tendência da primeira avaliação. O genótipo 104 obteve os maiores valores para clorofila *a*, *b* e total seguido pelos genótipos 304 e 120 respectivamente e para a razão *a/b* o genótipo 120 apresentou a maior média seguido pelo genótipo 304 e 104 respectivamente.

Nenhuma das características avaliadas apresentou interação significativa entre os fatores estudados. Algumas características apresentaram diferenças significativas para o efeito dos genótipos e das subdoses (*A*,  $g_s$ ,  $R_p/A_g$  e  $ETR/A_g$ ), outras apresentaram diferenças significativas somente para o efeito dos genótipos (*C* e  $A/g_s$ ) ou das subdoses (*E*) (Tabela 5).

**Tabela 5:** Valores de probabilidade de significância (*P*-valor), média e coeficiente de variação (C.V.) de características fotossintéticas em folhas de três genótipos de *Coffea canephora*, expostas aos três níveis de deriva do glifosato 7 DAA.

Características	Fonte de variação			Média	C.V. (%)
	Genótipos (G)	Subdoses (S)	G*S		
A	<b>0,0205</b>	<b>0,0194</b>	0,8298	6,82	37,2
$g_s$	<b>0,0030</b>	<b>0,0190</b>	0,3287	0,07	68,4
$C_i$	<b>0,0198</b>	0,6163	0,1384	205,35	23,9
E	0,0877	<b>0,0227</b>	0,2469	1,99	45,2
ETR	0,8700	0,4320	0,8060	75,42	21,7
$R_d$	0,3390	0,3830	0,8840	2,34	29,4
A/E	0,2690	0,7630	0,1510	3,63	25,3
A/ $g_s$	<b>0,0103</b>	0,4360	0,0866	114,26	27,6
$R_L$	0,3400	0,3840	0,8840	1,17	29,5
$R_p$	0,1100	0,3340	0,2510	3,62	33,0
$A_g$	0,2610	0,1460	0,9630	11,61	22,7
$R_p/A_g$	<b>0,0006</b>	<b>0,0209</b>	0,0986	0,32	29,5
ETR/ $A_g$	<b>0,0007</b>	<b>0,0123</b>	0,1497	6,56	11,5
$F_v/F_m$	0,1090	0,7820	0,2010	0,83	4,6

Assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), condutância estomática ( $g_s$ ), concentração interna de CO<sub>2</sub> ( $C_i$ ), transpiração (E), taxa aparente de transporte de elétrons (ETR), respiração no escuro ( $R_d$ ), eficiência do uso da água instantânea (A/E), eficiência do uso da água intrínseca (A/ $g_s$ ), taxa não fotorrespiratória de liberação de CO<sub>2</sub> mitocondrial ( $R_L$ ), taxa de fotorrespiração ( $R_p$ ), fotossíntese bruta ( $A_g$ ), relação taxa de fotorrespiração/fotossíntese bruta ( $R_p/A_g$ ), taxa aparente de transporte de elétrons/fotossíntese bruta (ETR/ $A_g$ ), rendimento quântico potencial do fotossistema II ( $F_v/F_m$ ). Destacado em negrito os valores de  $P < 0,05$ .

O genótipo 104 apresentou A igual a 5,97  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  e foi diferente estatisticamente do genótipo 304, que obteve média de 8,86  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . O genótipo 304 apresentou  $g_s$  estatisticamente superior aos demais genótipos. Os genótipos 304 e 120 apresentaram diferenças estatísticas para  $C_i$ . As médias para  $C_i$  foram de 237,7  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$  para o genótipo 304 e 176,1  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$  para o genótipo 120 (Tabela 6).

No 7 DAA o genótipo 304 apresentou A 48,35% maior que o genótipo 104 e 45,66% maior quando comparado ao genótipo 120. Esse desempenho pode ser

devido a maior  $g_s$  e  $C_i$  observado para este genótipo. Os genótipos tolerantes a seca, 104 e 120, apresentaram na média  $g_s$  47,7% menor que o genótipo 304. A maior  $g_s$  pode proporcionar queda mais rápida o potencial hídrico (Marraccini et al., 2007) enquanto a menor  $g_s$  pode fazer parte de um mecanismo de proteção contra a desidratação. Por consequência a menor  $g_s$  pode limitar a disponibilidade de  $CO_2$  para a carboxilação diminuindo a taxa de assimilação líquida de  $CO_2$ .

Os genótipos 304 e 120 apresentaram diferenças significativas entre si para  $A/g_s$ . A eficiência do uso da água intrínseca ( $A/g_s$ ) foi de 94,601  $\mu\text{mol } CO_2 \text{ mol}^{-1} H_2O$  para o genótipo 304 e de 132,576  $\mu\text{mol } CO_2 \text{ mol}^{-1} H_2O$  para o genótipo 120. A razão da fotorrespiração/fotossíntese bruta ( $R_p/A_g$ ) do genótipo 304 foi de 0,241, estatisticamente inferior à média para o genótipo 104 (0,373) e do genótipo 120 (0,326). A média da razão  $ETR/A_g$  do genótipo 104 foi de 6,98 e do genótipo 120 foi de 6.61, estatisticamente superior à média do genótipo 304 (5,93) (Tabela 6).

A maior eficiência do uso da água intrínseca ( $A/g_s$ ) e a menor condutância estomática são características de plantas tolerantes a seca (Ma; Gao; Guo. 2004). O genótipo 120 apresentou menor  $g_s$  e maior  $A/g_s$  em relação ao genótipo 304, enquanto o genótipo 104 apresentou valores intermediários e não se diferiu estatisticamente dos demais. A relação  $R_p/A_g$  obtida para o genótipo 104 foi a maior seguido pelo genótipo 120 e 304 respectivamente. Este resultado mostra que o genótipo 104 apresenta maior fotorrespiração dentre os genótipos avaliados, tendo como reflexo a menor  $A$ . A relação  $ETR/A_g$  seguiu a mesma tendência da relação  $R_p/A_g$ . O genótipo 104 apresentou a menor eficiência na conversão de energia luminosa em carbono fixado, ou seja, mais elétrons foram necessários para fixação de  $CO_2$ , seguido pelos genótipos 120 e 304 respectivamente.

**Tabela 6:** Características fotossintéticas de folhas de três genótipos de *Coffea canephora* 7 DAA.

Características	Genótipos		
	104	120	304
A	5,97 b	6,0826 ab	8,8608 a
$g_s$	0,05 b	0,046 b	0,10 a
$C_i$	207,91 ab	176,10 b	237,70 a
A/ $g_s$	112,22 ab	132,57 a	94,60 b
$R_p/A_g$	0,37 a	0,32 a	0,24 b
ETR/ $A_g$	6,98 a	6,61 a	5,92 b

Assimilação líquida de  $CO_2$  (A), condutância estomática ( $g_s$ ), concentração interna de  $CO_2$  ( $C_i$ ), eficiência do uso da água intrínseca (A/ $g_s$ ), razão da taxa de fotorrespiração/fotossíntese bruta ( $R_p/A_g$ ), razão da taxa aparente de transporte de elétrons/fotossíntese bruta (ETR/ $A_g$ ). Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey, com uma probabilidade de 5%.

Plantas que receberam deriva do glifosato com 36g i.a. ha<sup>-1</sup> apresentaram média da A 23,4% maior que o controle (6,80  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e plantas que receberam a dose de 360 g i.a. ha<sup>-1</sup> tiveram média 20,3% menor. A  $g_s$  apresentou um aumento de 26,95% nas plantas submetidas a dose de 36 g i.a. ha<sup>-1</sup> e redução de 35,93% para plantas submetidas a maior dose (360 g i. a. ha<sup>-1</sup>) em relação ao controle. As médias da E em resposta ao nível de deriva testado foram diferentes entre as doses de 36 g i.a. ha<sup>-1</sup> e 360 g i.a. ha<sup>-1</sup>. Plantas que receberam a dose de 360 g i.a. ha<sup>-1</sup> apresentaram média 25,89% menor e plantas que receberam a dose de 36 g i.a. ha<sup>-1</sup> apresentaram média 29,16% maior em relação ao controle (1,98 mmol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (Tabela 7).

Nas avaliações do 7 DAA da deriva simulada do glifosato plantas que receberam a dose de 36g i. a. ha<sup>-1</sup> apresentaram estímulo de 23.47, 26.95 e 29.2% na taxa de assimilação líquida de  $CO_2$ , na condutância estomática e transpiração respectivamente. No entanto, no 15 DAA nenhum efeito de estímulo ou inibição foi observado para as diferentes subdoses testadas. Aumento na A,  $g_s$  e E também foram relatados em cana-de-açúcar e eucalipto por Nascentes (2016) e em *C. arabia* por Carvalho et al. (2012). Diferente do observado no presente estudo o estímulo em cana-de-açúcar e eucalipto foram observados 15 DAA e em *C. arabia* o estímulo foi observado até o 14 DAA.

No interior das células vegetais o glifosato se liga e inibe a enzima EPSPS impedindo a catálise da reação entre o fosfoenolpiruvato e chiquimato-3-fosfato, resultando no bloqueio da via do ácido chiquimico. Essa importante via produz os aminoácidos fenilalanina, tirosina e triptofano e também é destino de cerca de 20% do carbono fixado pela planta (Gallardo et al., 2021). A redução no consumo de C por essa via pode destinar este recurso a ser mais consumido em outras vias metabólicas. Estes aminoácidos produzidos pela via do chiquimato são essenciais para a produção de proteínas, vitaminas, alcalóides e fitohormônios (Matallo et al., 2010). Segundo Carvalho et al. (2012) o aumento na taxa de fixação de CO<sub>2</sub> pode ser devido ao aumento da condutância estomática e da transpiração. O que pode ser explicado por alterações no mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos devido ao bloqueio na síntese de fitohormônios que regulam sua função. Estudando os efeitos da deriva simulada do glifosato em tomate, Khan et al., (2020) associaram o aumento da *A* a alterações nos padrões de síntese e degradação de proteínas da via do chiquimato, inibição da síntese de lignina e de metabólitos secundários. Cedergreen e Olesen (2010) relacionaram o aumento na taxa de fixação de CO<sub>2</sub> em cevada ao aumento da eficiência da fixação de carbono através do aumento na taxa de utilização de triose fosfato e/ou na regeneração da ribulose 1,5-bifosfato (RuBP).

Sete DAA da deriva simulada do glifosato plantas que receberam a maior subdose apresentaram redução de 20.27, 35.92 e 25.89% na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, na condutância estomática e transpiração respectivamente. Porém, no 15 DAA não foram observados efeitos inibitórios para essas características independente da subdose testada. Estudo de Carvalho et al., (2013) mostrou redução de 29.31% para *A* 15 DAA em plantas de *C. arabia* que receberam dose de 460.8g i.a. ha<sup>-1</sup>. Gravena (2006), também observou diminuição na taxa de transpiração e condutância estomática em limão cravo (*Citrus limonia* L. Osbeck) 8 DAA da deriva simulada do glifosato. Nascentes (2016) também relatou decréscimo na *A*, *g<sub>s</sub>* e *E* de cana-de-açúcar e eucalipto quando expostos a subdose de 360 g i.a. ha<sup>-1</sup>.

A redução na  $A$  observada em plantas expostas a maior subdose pode ter sido causada devido a limitações metabólicas, estomáticas ou restrições de  $\text{CO}_2$  para a carboxilação (Carvalho, et al. 2013). Plantas que receberam  $360\text{g i.a. ha}^{-1}$  também apresentaram menor taxa de transpiração e  $g_s$ , o que pode sugerir comprometimento das funções dos estômatos devido ao bloqueio na síntese de fitohormônios reguladores. O fechamento e a abertura dos estômatos acontecem como respostas a estímulos ambientais suprindo demandas por  $\text{CO}_2$ , porém segundo Nascentes (2016) essas respostas são lentas limitando a  $A$ , o que também leva a diminuição de  $E$ .

A média de  $R_p/A_g$  para as plantas que receberam a dose de  $36\text{ g i.a. ha}^{-1}$  foi de 0,279, estatisticamente inferior à média das plantas que receberam a dose de  $360\text{g i.a. ha}^{-1}$  (0,374). A média da razão  $ETR/A_g$  do grupo de plantas que receberam a simulação da deriva do glifosato com  $36\text{ g i.a. ha}^{-1}$  apresentou menor valor (6,23) em comparação com as plantas que receberam a subdose mais alta (6,99) (Tabela 7).

Plantas de café conilon tratadas com a subdose de  $360\text{ g i.a. ha}^{-1}$  apresentaram 7 DAA as razões de  $R_p/A_g$  e  $ETR/A_g$  maiores que o controle e ainda maiores quando comparadas a plantas tratadas com  $36\text{g i.a. ha}^{-1}$ . O aumento deste parâmetros indica que maior quantidade de energia está sendo consumida pela fotorrespiração e também há maior demanda por elétrons para que haja a fixação de carbono. Em milho o aumento na relação  $ETR/A_g$  foi atribuído ao aumento de transporte de elétrons para sumidouros alternativos em plantas sob estresse oxidativo (Fryer et al., 1998). Segundo Dao Jiang et al., (2006) a fotorrespiração é uma importante via de consumo de energia e um mecanismo de proteção contra espécies reativas de oxigênio. Espécies reativas de oxigênio são produzidas quando há excesso de energia luminosa absorvida ou por uma depressão na taxa fotossintética. Apesar da fotorrespiração e a taxa de transporte de elétrons não terem sido alteradas pelos diferentes níveis de deriva testados, parece ter havido um maior desvio de elétrons para a fotorrespiração.

**Tabela 7:** Características fotossintéticas de folhas de *Coffea canephora* expostas a três níveis de deriva do glifosato 7 DAA.

Características	Subdoses (g i.a. ha <sup>-1</sup> )		
	0	36	360
A	6,79 ab	8,39 a	5,41 b
$g_s$	0,07 ab	0,09 a	0,04 b
E	1,98 ab	2,56 a	1,47 b
$R_p/A_g$	0,30 ab	0,27 b	0,37 a
$ETR/A_g$	6,42 ab	6,23 b	6,98 a

Assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (A), condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração (E), eficiência do uso da água intrínseca ( $A/g_s$ ), razão da taxa de fotorrespiração/fotossíntese bruta ( $R_p/A_g$ ), razão da taxa aparente de transporte de elétrons/fotossíntese bruta ( $ETR/A_g$ ). Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey, com uma probabilidade de 5%.

No 15 DAA não houve diferença estatística das respostas das características mensuradas a nenhuma das subdoses de glifosato testadas. Porém os parâmetros de A,  $R_d$ ,  $R_L$ ,  $A_g$ ,  $R_p/A_g$  e  $ETR/A_g$  apresentaram diferenças significativas para o fator genótipo, ou seja, pelo menos um dos três genótipos testados apresenta resposta diferente dos demais (Tabela 8).

**Tabela 8:** Valores de probabilidade de significância (*P*-valor), média e coeficiente de variação (C.V.) de características fotossintéticas em folhas de três genótipos de *Coffea canephora*, expostas aos três níveis de deriva do glifosato 15 DAA.

Características	Fonte de variação			Média	C.V. (%)
	Genótipos (G)	Subdoses (S)	G*S		
A	<b>0,0047</b>	0,4331	0,4006	7,32	43,0
<i>g<sub>s</sub></i>	0,0669	0,5526	0,2453	0,10	59,7
<i>C<sub>i</sub></i>	0,9120	0,8390	0,6550	245,12	18,2
<i>E</i>	0,2340	0,5150	0,1870	2,82	50,3
ETR	0,4920	0,2420	0,4120	81,42	27,3
<i>R<sub>d</sub></i>	<b>0,0365</b>	0,2712	0,2635	2,68	30,9
<i>A/E</i>	0,1480	0,8720	0,5800	2,80	28,7
<i>A/g<sub>s</sub></i>	0,9830	0,7590	0,6030	88,35	32,1
<i>R<sub>L</sub></i>	<b>0,0365</b>	0,2712	0,2635	1,34	30,9
<i>R<sub>p</sub></i>	0,2880	0,1150	0,5670	3,89	37,9
<i>A<sub>g</sub></i>	<b>0,0340</b>	0,4940	0,3710	12,56	27,8
<i>R<sub>p</sub>/A<sub>g</sub></i>	<b>0,0039</b>	0,1445	0,7841	0,32	34,6
ETR/ <i>A<sub>g</sub></i>	<b>0,0034</b>	0,0894	0,6715	6,57	13,5
<i>F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub></i>	0,3930	0,3740	0,7630	0,81	3,0

Assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (*A*), condutância estomática (*g<sub>s</sub>*), concentração interna de CO<sub>2</sub> (*C<sub>i</sub>*), transpiração (*E*), taxa aparente de transporte de elétrons (ETR), respiração no escuro (*R<sub>d</sub>*), eficiência do uso da água instantânea (*A/E*), eficiência do uso da água intrínseca (*A/g<sub>s</sub>*), taxa não fotorrespiratória de liberação de CO<sub>2</sub> mitocondrial (*R<sub>L</sub>*), taxa de fotorrespiração (*R<sub>p</sub>*), fotossíntese bruta (*A<sub>g</sub>*), relação taxa de fotorrespiração/fotossíntese bruta (*R<sub>p</sub>/A<sub>g</sub>*), taxa aparente de transporte de elétrons/fotossíntese bruta (ETR/*A<sub>g</sub>*), rendimento quântico potencial do fotossistema II (*F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>*). Destacado em negrito os valores de *P*<0,05.

A taxa de fixação líquida de CO<sub>2</sub> média do genótipo 304 foi de 10.03 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, estatisticamente superior ao genótipo 104 (5.05 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (Tabela 9). A fotossíntese bruta média do genótipo 304 foi de 14.66 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, estatisticamente diferente do genótipo 104 (10.45 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) (Tabela 9). A razão *R<sub>p</sub>/A<sub>g</sub>* do genótipo 104 (0,39) foi superior ao genótipo 304 (0,22). A razão ETR/*A<sub>g</sub>* do genótipo 104 foi de 7.18, estatisticamente superior à do genótipo 304 (5.82) (Tabela 9).

A respiração no escuro, do genótipo 104 foi de  $2.57 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  superior ao nível de 5% de significância do genótipo 304 ( $2.19 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) (Tabela 9). A taxa não fotorrespiratória de liberação de  $\text{CO}_2$  mitocondrial do genótipo 104 foi de  $1.28 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  superior à do genótipo 304 ( $1.09 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) (Tabela 9).

Quinze dias após a simulação da deriva do glifosato o genótipo 304 continuou com a maior  $A$  seguido pelos genótipos 120 e 104 respectivamente. As relações  $R_p/A_g$  e  $ETR/A_g$  também seguiram o observado no 7 DAA, com o genótipo 104 apresentando as maiores relações seguido pelo 120 e 304 respectivamente. O genótipo 120 apresentou a maior taxa de  $R_d$  e  $R_L$  seguido respectivamente pelos genótipos 104 e 304. A fotossíntese bruta acompanhou o observado para a  $A$  conforme esperado, o genótipo 304 obteve a maior  $A_g$  seguido do genótipo 120 e 104 respectivamente.

**Tabela 9:** Características fotossintéticas em folhas de três genótipos de *Coffea canephora*, expostas a deriva do glifosato 15 DAA.

Características	Genótipos		
	104	120	304
$A$	5,05 b	7,41 ab	10,03 a
$R_d$	2,57 ab	3,96 a	2,19 b
$R_L$	1,28 ab	1,59 a	1,09 b
$A_g$	10,45 b	12,97 ab	14,66 a
$R_p/A_g$	0,39 a	0,32 ab	0,22 b
$ETR/A_g$	7,18 a	6,56 ab	5,82 b

Assimilação líquida de  $\text{CO}_2$  ( $A$ ), respiração no escuro ( $R_d$ ), taxa não fotorrespiratória de liberação de  $\text{CO}_2$  mitocondrial ( $R_L$ ), fotossíntese bruta ( $A_g$ ), razão da taxa de fotorrespiração/fotossíntese bruta ( $R_p/A_g$ ), razão da taxa aparente de transporte de elétrons/fotossíntese bruta ( $ETR/A_g$ ). Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem pelo teste de Tukey, com uma probabilidade de 5%.

A energia luminosa absorvida pelo fotossistema tem três destinos de dissipação, a etapa fotoquímica da fotossíntese, a reemissão por radiação infravermelha produzindo calor e a reemissão como energia luminosa (fluorescência). Segundo Murchie e Lawson (2013) estes três destinos competem entre si tornando a medida da fluorescência da clorofila  $a$  importante para entender o estado produtivo da planta. A energia absorvida pelo fotossistema II pode ser desviada em maior

proporção para um dos destinos citados em respostas a estresses bióticos e abióticos, como excesso de luz ou por limitação metabólica natural ou induzida por fatores ambientais (Ferreira et al., 2015).

A  $F_o$  é a medida da fluorescência inicial emitida pela clorofila *a* adaptada no escuro antes da dissipação energética para o centro de reação do fotossistema II. O valor de  $F_o$  pode variar por conta de estímulos ambientais e seu real valor só pode ser obtido quando o aceptor de elétrons ( $Q_a$ ) do centro de reação do fotossistema II está aberto. Diferente do observado para variáveis de trocas gasosas, as variáveis da fluorescência da clorofila *a* não apresentaram diferenças significativas entre as doses testadas. Mostrando que independentemente do nível de deriva testado não houve alterações estruturais na clorofila *a* em nenhum dos genótipos testados. A fluorescência mínima foi diferente estatisticamente entre os genótipos no 7 DAA. O genótipo 304 apresentou  $F_o$  18 % mais alta que o genótipo 104 e 24% maior que o genótipo 120.

O  $F_v/F_m$  é a medida do rendimento quântico máximo do fotossistema II, que é obtida após um período de adaptação no escuro. Plantas saudáveis e livres de estresse fisiológicos apresentam  $F_v/F_m$  entre 0.75 e 0.85 (Ferreira et al., 2015). Esses padrões foram observados para todos os genótipos independentemente do nível de deriva no 7 e 15 DAA (dados não mostrados). Esse dado mostra que as plantas não sofreram danos nos pigmentos fotossintéticos. Outro parâmetro avaliado foi o rendimento quântico efetivo do fotossistema II, esta media é obtida sem o período de adaptação no escuro. O  $F_v'/F_m'$  foi diferente estatisticamente entre os genótipos no 7 e 15 DAA. O genótipo 304 foi 70.79 e 79.53% maior que o genótipo 104 e 120 respectivamente no 7 DAA, e no 15 DAA o genótipo 304 foi 19.34 e 32.69% maior que o genótipo 104 e 120 respectivamente.

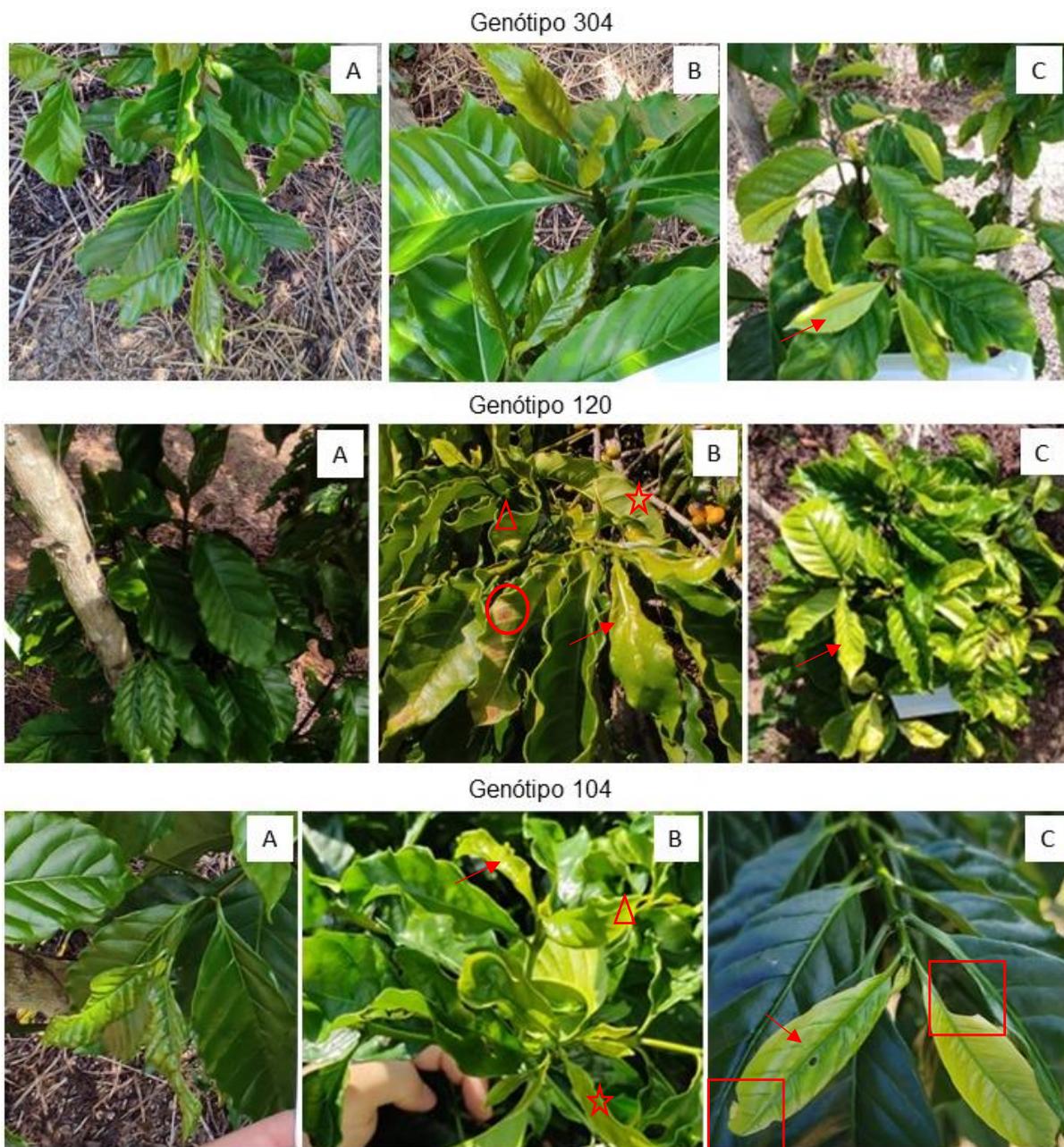
A partir de 7 DAA foram observados sintomas visuais de toxicidade que perduraram até 21 DAA em todos os genótipos de café conilon testados. Os sinais foram observados nas folhas novas do primeiro par que estavam em desenvolvimento no momento da aplicação do herbicida e em folhas que se desenvolveram após a exposição à deriva simulada.

Os sinais de intoxicação foliar observados foram a mudança na coloração padrão, apresentando clorose e um gradiente na coloração de verde-escuro à verde-claro-amarelado, enrolamento e deformidade. Os sinais de intoxicação ficaram mais evidentes no 15 e 21 DAA, quando foi constatada maior intensidade nas características mencionadas anteriormente. Novas folhas dos brotos ortotrópicos foram afetadas tanto quanto as novas brotações dos ramos plagiotrópicos.

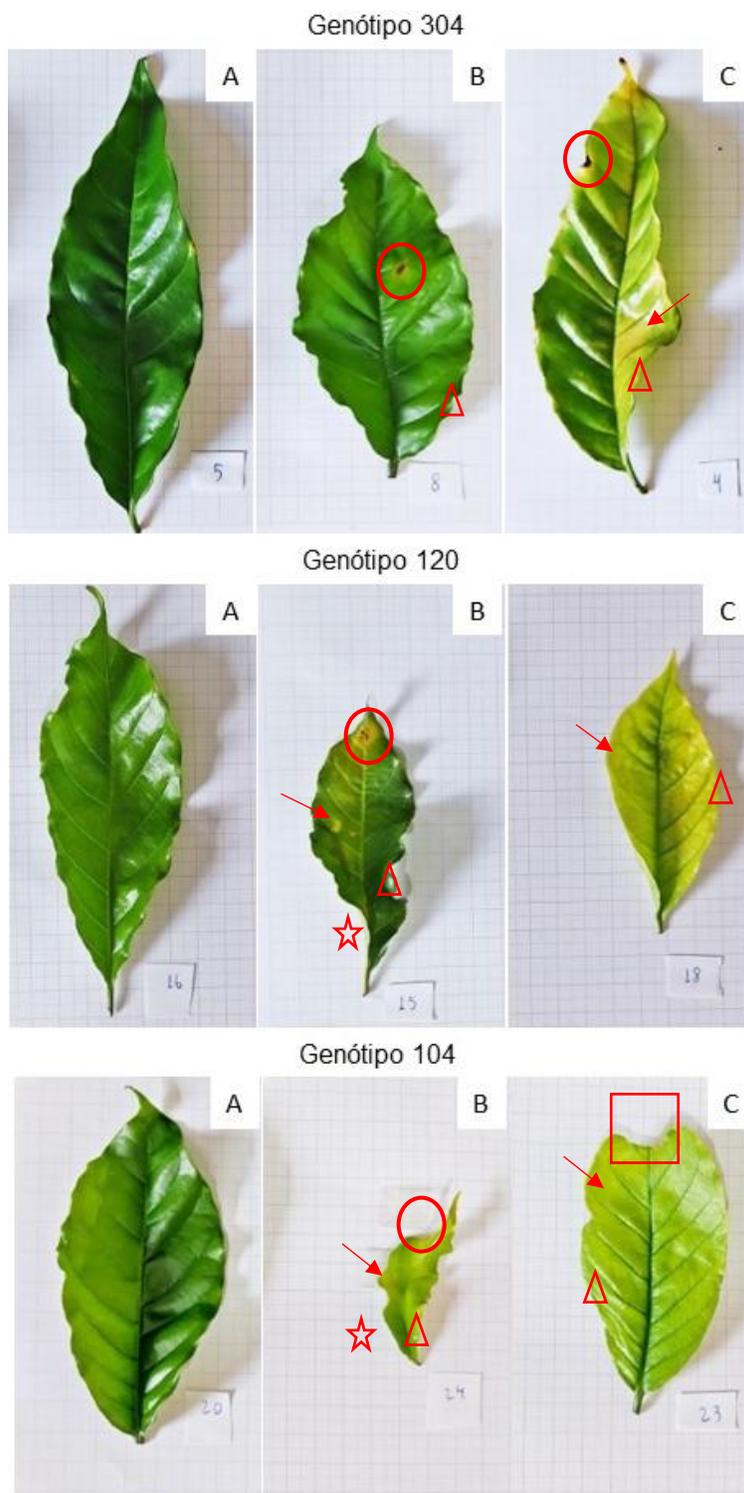
Os três genótipos testados apresentaram sintomas semelhantes para cada nível de deriva a que foram expostos. Folhas do genótipo 304 da cultivar centenária quando expostas à deriva de 36 e 360g i.a.  $\text{ha}^{-1}$  apresentaram crescimento diferencial com enrugamento, pontos de necrose e clorose. As plantas expostas a maior dose apresentaram sintomas mais intensos (Figura 1 e Figura 2).

Folhas do genótipo 120 da cultivar robustão capixaba quando expostas a deriva de 360g i.a.  $\text{ha}^{-1}$  apresentaram crescimento diferencial com enrugamento, afilamento, necrose e clorose. Quando expostas à deriva de 36g i.a.  $\text{ha}^{-1}$  apresentaram crescimento diferencial com enrugamento, amarelamento e pontos de necrose (Figura 1 e Figura 2).

Folhas do genótipo 104 da cultivar diamante quando expostas à deriva de 360g i.a.  $\text{ha}^{-1}$  apresentaram crescimento diferencial com enrugamento, deformidade, afilamento e clorose. Quando expostas à deriva de 36g i.a.  $\text{ha}^{-1}$  apresentaram crescimento diferencial com enrugamento, pontos de necrose e clorose (Figura 1 e Figura 2).



**Figura 1:** Folhas de três genótipos de *C. canephora* 21 DAA do glifosato. Letras “A”, “B” e “C” representam respectivamente plantas tratadas com 0, 36 e 360g i.a. ha<sup>-1</sup> de glifosato. Quadrado (deformação foliar); círculo (necrose); triângulo (enrugamento); estrela (folhas afiladas) e seta (seta).



**Figura 2:** Folhas de três genótipos de *C. canephora* 21 DAA do glifosato. Letras “A”, “B” e “C” representam respectivamente plantas tratadas com 0, 36 e 360g i.a. ha<sup>-1</sup> de glifosato. Quadrado (deformação foliar); círculo (necrose); triângulo (enrugamento) ; estrela (folhas afiladas) e seta (clorose).

A toxidez do glifosato pode ser observada através de clorose, necrose, afilamento das folhas e podem aparecer em poucas horas após a aplicação. Estes sinais podem ser mais acentuados a depender da sensibilidade da planta e da dose recebida (França et al., 2010; Schrübbers et al., 2016). Neste estudo, os sintomas de fitotoxicidade foram observados a partir do 7 DAA de forma mais leve e se intensificaram até a última avaliação no 21 DAA. Resultados semelhantes também foram obtidos por Yamashita et al., (2013) que observaram intensificação da fitointoxicação pelo glifosato em café conilon do 7 ao 21 DAA após a simulação da deriva na dose de 180g i. a. ha<sup>-1</sup>. França et al., (2010)b também relataram intensificação nos sintomas de fitotoxidez em folhas dos ápices dos ramos de café arábica após simulação da deriva do glifosato em doses acima de 230,4g i.a. ha<sup>-1</sup>, as plantas apresentaram clorose no 8 DAA e redução do limbo foliar no 15 DAA.

A clorose observada nas folhas pode ser explicada pela indisponibilidade de ferro causada pelo glifosato. Uma vez absorvido do apoplasto para o interior da célula, o glifosato ganha os vasos condutores de seiva da planta e é translocado para as regiões meristemáticas, onde atua como quelante de cátions bivalentes como o Fe<sup>++</sup> tornando-o indisponível para os processos metabólicos. A falta de ferro leva a redução das enzimas catalase e a peroxidase que são essenciais para a biossíntese de clorofila Yamada e Castro, 2007.

No geral plantas que receberam a maior dose de glifosato apresentaram sintomas mais intensos quando comparadas às plantas que receberam a dose de 5%. Resultado corroborado por Schrübbers et al., (2016), Gomes et al., (2014) e Carvalho et al., (2013), segundo estes autores os efeitos da deriva do glifosado são dependentes de dose.

Em contraste com o presente trabalho, Matiello (2015) relata sintomas de toxidez do glifosato restritos à área do cafeeiro atingida pela deriva. Entretanto no presente estudo foi observado sintomas de fitotoxidez em folhas em expansão no dia da aplicação do herbicida e novas folhas desenvolvidas posteriormente. Este resultado indica que os sintomas visuais de intoxicação não foram restritos às áreas atingidas pela deriva, possuindo efeito sistêmico.

Logo, é interessante que análises futuras sejam feitas, tal como avaliações fisiológicas e anatómicas das folhas dos ápices dos ramos do cafeeiro. No âmbito de avaliar as consequências dos danos causados pelo glifosato nestes novos tecidos. No entanto, folhas mais novas e totalmente expandidas no momento da simulação da deriva do glifosato não apresentaram sintomas visuais de intoxicação.

## **5. CONCLUSÕES**

O herbicida não foi capaz de provocar sintomas visuais de fitotoxidez em folhas totalmente expandidas no momento da aplicação. Em contraste, folhas dos ápices dos ramos do café conilon foram sensíveis para as doses de 5 e 50% e apresentaram sintomas que se intensificaram com o aumento da dosagem aplicada.

O glifosato alterou parâmetros de fotossíntese no café conilon no 7 DAA. O herbicida desempenhou efeito promotor na dose de 36g i.a. ha<sup>-1</sup> e efeito inibitório na dose de 360g i.a. ha<sup>-1</sup>. Estes efeitos foram transitórios em folhas totalmente desenvolvidas, no 15 DAA as plantas já não apresentaram alterações significativas estatisticamente nos parâmetros avaliados. Os pigmentos fotossintéticos e a fluorescência da clorofila *a* não foram alterados independentemente do nível de deriva do glifosato.

## 6. REFERÊNCIAS

AGROFIT. “**Relatório Consolidado de Produtos Formulados.**” Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2021. Acesso em 16 fev. 2021. Online Disponível em: [http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)

AGROFIT. “**Sistema de Agrotóxico e Fitossanitário.**” *Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento.* 2022. Acesso em 14 jan. 2022. Online. Disponível em <https://indicadores.agricultura.gov.br/agrofit/index.htm>

ANVISA. **Nota técnica Nº 12/2020/SEI/CREAV /GEMAR/GGTOX/DIRE3/ANVISA.** 2020. Acesso em 11 dez. 2022. Online. Disponível em <http://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/5344168/%281%29Nota+t%C3%A9cnica+final+de+reavalia%C3%A7%C3%A3o+do+Glifosato.pdf/00558a91-3cc5-49bb-8c49-761c387d0681>

AULING, R. **Development of LC-MS method for determination of glyphosate residues in wheat.** 2019 *Dissertação.* Tartu: University Of Tartu.

BELZA, R. G; DUKE, S. O. Herbicides and plant hormesis. **Pest Manag Sci**, Online. v. 70, 2014.

BRITO, I. P. F. S; TROPALDI, L.; CARBONARI, A. C.; VELINI; E. D. Hormetic effects of glyphosate on plants. **Pest Manag Sci**, Online. V. 74, nº 5, 2018.

CAKMAK, I., YAZICI, A.; TUTUS Y.; OZTURK, L. Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. **European Journal of Agronomy**, 2009.

CAMPOSTRINI, E. Fluorescência da clorofila a: considerações teóricas e aplicações práticas. **Rio de Janeiro: UENF**, 2001.

CARLSEN, S.C. K.; SPLIID, N. H.; SVENSMARK, B. Drift of 10 herbicides after tractor spray application. Primary drift (droplet drift). **Chemosphere**, v. 64, p. 778–786, 2006.

CARVALHO; PAOLINELLI, F. DE; FRANÇA A. C.; LEMOS, V. T; ALVES, E.; SANTOS, J. B. DOS; SILVA, A. A. DA. Photosynthetic activity of coffee after application of glyphosate subdoses. **Acta Scientiarum**, v. 35, 2013.

CARVALHO, L. B.; ALVES, P. L. DA C. A.; BIANCO, S.; PRADO, R. de. Physiological dose-response of coffee (coffea arabica L.) Plants to glyphosate depends on growth stage. **Chilean journal of agricultural research**, v. 72, nº 2, 2012.

CASTRO, S. A. **Avaliação pontual da degradação e transporte do herbicida glifosato no solo da bacia do Arroio Donato**. 2005. Dissertação de Mestrado. Rio Grande do Sul : Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CEDERGREEN, N. Herbicides can stimulate plant growth. **Weed Research**, v. 48, 2008.

CEDERGREEN, N.; OLESEN, F. C. Can glyphosate stimulate photosynthesis?. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 96, 2010.

CIKALO, M. G., GOODALL, D. M.; MATTHEUS, W. Analysis of glyphosate using capillary electrophoresis with indirect detection. **Journal of Chromatography**, 1996.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: Café**. Companhia Nacional de Abastecimento, Quarto levantamento, Brasília. 2022. Acesso em 22 dez. 2022. Online. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe>

COSTA, R.S.C. Manejo de plantas daninhas em cafezal em formação no estado de Rondônia. **II SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL**, 2001.

CRUZ, C. E. S.; FREITAS-SILVA, L. DE; RIBEIRO, C.; SILVA, L. C. DA. Physiological and morphoanatomical effects of glyphosate in *Eugenia uniflora*, a

Brazilian plant species native to the Atlantic Forest biome. **Environmental Science and Pollution Research**, 2021.

DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M; PINHEIRO, H. A.; DUCATTI, C.; LOUREIRO, M. E. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. **Plant Science**. v. 164, 2003.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. v. 18, p. 55-81, 2006.

DAO JIANG; CHUANG; HUI-YUAN GAO; QI ZOU; GAO MING JIANG; LING HAO LI. Leaf orientation, photorespiration and xanthophyll cycle protect young soybean leaves against high irradiance in field. **Environmental and Experimental Botany**, 2006.

DAVIS, A. P.; TOSH, J.; RUCH, N.; FAY, M. F. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data; implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 2011.

DE MARIA, N.; BECERRIL, J. M.; GARCIA-PLAZAOLA, J. I.; HERNANDEZ, A.; FELIPE, M. R. DE; FERNANDEZ-PASCUAL, M. New Insights on Glyphosate Mode of Action in Nodular Metabolism: Role of Shikimate Accumulation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, 2006.

DEVLIN, V. L.; F. H. WITHAM. **Plant Physiology**. Belmont Califórnia, 4ed., 1983.

DUKE, S. O. Glyphosate Degradation in Glyphosate-Resistant and -Susceptible Crops and Weeds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2011.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. DA; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. **Café Conilon**. Vol. 2. Vitória: INCAPER, 2017.

FERREIRA, E. A.; et al. Respostas fisiológicas da mandioca à aplicação de herbicidas. **Revista Ciências Agrárias**, 2015.

FIALHO, C.M.T; SILVA, G.R.; FRANÇA, M.A.M.; MELO, A.C.; SILVA, C.A.D; FREITAS, A.A. Competição de plantas daninhas com a cultura do café em duas épocas de infestação. **Planta Daninha**, 2010.

FRANÇA, A. C.; ET AL. Teores de Nutrientes em cultivares de café arábica submetidos à deriva de glyphosate. **Planta Daninha**, 2010.

FRANÇA, A.C., ET AL. Simulated glyphosate drift on Acaiá and Catucaí coffee cultivars. **Planta Daninha**, 2013.

FRANÇA, A.C., ET AL. Growth of arabica coffee cultivars submitted to glyphosate doses. **Planta Daninha**, 2010.

FRYER , M. J.; ANDREWS, J. R. ; OXBOROUGH, KJ.; BLOWERS, D. A.; BAKER, N. R. Assimilation, Photosynthetic Electron Transport, and Active O<sub>2</sub> Metabolism in Leaves of Maize in the Field during Periods of Low Temperature. **Plant Physiol**, 1998.

GALLARDO, G. J. T.; BACHA, A. L.; CARREGAA, W. C.; JOSÉ, A. R. S.; ALVES, P. L. DA C. A. Can occur hormesis in guinea grass using glyphosate?. **Weed scienci**, 2021.

GAZZIERO, D. L. P; ADEGAS, F. S.; VARGAS, L.; MACIEL, C. D. DE G. **A era glyphosate**. EMBRAPA, 2016.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J. M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta**, 1989.

GOMES, M. P.; et al. Alteration of plant physiology by glyphosate and its by-product aminomethylphosphonic acid: an overview. **Journal of Experimental Botany**, 2014.

GOMES, M. P.; SARAH GINGRAS LE MANACH, S. G.; MACCARIO, S.; LABRECQUE, M.; LUCOTTE, M.; JUNEAU, J. Differential effects of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) on photosynthesis and chlorophyll metabolism in willow plants. **Pesticide Biochemistry and Physiology**, 2016.

GRAVENA, R. **Respostas bioquímicas e fisiológicas de plantas de citros atingidas pelo glyphosate**. Piracicaba, São Paulo: USALQ-USP, 2006.

IARC, International Agency for Research on Cancer. **Some organophosphate insecticides and herbicides**. Lyon, 2017.

INCAPER. **Cafeicultura - Café Conilon**. 2021. Acesso em 10 fev 2022. Online. Disponível em <https://incaper.es.gov.br/cafeicultura-conilon>

INCAPER. **Dados médios da série histórica da estação meteorológica localizada no município de Cachoeiro de Itapemirim/ES (Pacotuba)**. 2022. Acesso em 06 Mai 2022. Disponível em [https://meteorologia.incaper.es.gov.br/graficos-da-serie-historica-cachoeiro\\_de\\_itapemirim](https://meteorologia.incaper.es.gov.br/graficos-da-serie-historica-cachoeiro_de_itapemirim)

JALAL, A.; OLIVEIRA, J. C. ; SANTOS, J. R.; FERNANDES, G. C. ; GUERRA, G. M. ; REZENDE, V. D. Hormesis in plants: Physiological and biochemical responses. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 2021.

JOHAL, G.S.; HUBER, D.M. Glyphosate effects on diseases of plants. **European Journal of Agronomy**, 2009.

JUNIOR, O. P. DE A.; SANTOS, T. C. R.; BRITO, N. M.; RIBEIRO, M. L. Glifosato: propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química Nova**, 2002.

KAUR, A.; KAUR, N. Effect of sub-lethal doses of 2,4-D sodium salt on physiology and seed production potential of wheat and associated dicotyledonous weeds. **Indian Journal of Weed Science**, 2019.

KHAN, S.; JOHN L. ZHOU; LEI REN; AMIN MOJIRI. Effects of glyphosate on germination, photosynthesis and chloroplast morphology in tomato. **Chemosphere**, 2020.

KRAMER, D. M.; JOHNSON, G.; KIIRATS, O.; EDWARDS, G. E. New fluorescence parameters for the determination of QA redox state and excitation energy fluxes. **Photosynthesis Research**, 2004.

LAING , W. A.; OGREN, W. L.; HAGEMAN, R. H. Regulation of soybean net photosynthetic CO<sub>2</sub> fixation by the interaction of CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, and Ribulose 1,5 Diphosphate Carboxylase. **Plant Physiol**, 1974.

MA, C. C.; GAO, Y.; GUO, H. Photosynthesis, transpiration and water use efficiency of *Caragana microphylla*, *C. intermedia* and *C. korshinskii*. **Photosynthetica**, 2004.

MARRACCINI, P.; et al. Análise da expressão de genes candidatos para a tolerância à seca em folhas de clones de *Coffea canephora* var. Conillon, caracterizados fisiologicamente. **Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil. Brasília**: Embrapa Café, 2007.

MARTINS, S. C. V; GALMÉS, J.; MOLINS, A.; DAMATTA, F. M. Improving the estimation of mesophyll conductance to CO<sub>2</sub>: on the role of electron transport rate correction and respiration. **Journal of Experimental Botany**, 2013.

MATALLO, M.B.; et al. Monitoramento do ácido chiquímico no manejo de plantas daninhas com glifosato em pomar comercial de citros. **Arq. Inst. Biol.**, 2010.

MATEOS-NARANJO, E.; et al. Effectiveness of glyphosate and imazamox on the control of the invasive. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, 2009.

MATIELLO, J. B. Toxidez de herbicida glifosato em cafeeiros fica localizada. **Congresso brasileiro de pesquisas cafeeiras. Poços de Caldas**: Embrapa Café, 2015.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, 2000.

MELLONI, R.; et al. Métodos de controle de plantas daninhas e seus impactos na qualidade microbiana de solo sob cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 2012.

MENDIBURU, F. DE . **Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research**. 2021. Acesso em 18 jul. 2022. Online. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>

MESCHEDE, D. K.; VELINI, E. D.; CARBONARI, C. A.; MARIA, L.; GOMES, G. L. G. C. Efeitos do glyphosate nos teores de lignina, celulose e fibra em *Brachiaria decumbens*. **Revista Brasileira de Herbicidas**, 2011.

MONQUERO, P.A; et al. Absorção, translocação e metabolismo do glyphosate por plantas tolerantes e suscetíveis a este herbicida. **Planta Daninha**, 2004.

MONSANTO DO BRASIL LTDA. **Roundup Original Mais**. São Paulo, 2011.

MURCHIE, E. H.; LAWSON, T. Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. **Journal of Experimental Botany**, 2013.

NASCENTES, R. F. 2016. **Hormesis de gluphosate em cana-de-açúcar e eucalipto**. Dissertação- Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP.

COSTA, R. N. 2020. **Hormesis de Glyphosate em café: Respostas morfológicas, fisiológicas e Bioquímicas**. Tese. Programa de Pós-graduação em Agronomia – Agricultura, Botucatu: Unesp.

PEREIRA, R.C.A; et al. Manejo e Controle de Plantas Invasoras do Café no Acre. **Embrapa café**, 2000.

PINHEIRO, H. A.; DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M; FONTES, E. P. B; LOUREIRO; M. E. Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. **Plant Science**, 2004.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. 2007. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo : 5ª aproximação**. Vitória, ES: SEEA; Incaper; CEDAGRO.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. 2022. Acesso em 15 fev. 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>

RONCHI, C.P; et al. Acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro sob interferência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, 2003.

RONCHI, C.P.; SILVA, A.A. Effects of weed species competition on the growth of young coffee plants. **Planta Daninha**, 2006.

SANTOS, J. C. F.; MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S. Cobertura do Solo no Controle de Plantas Daninhas do Café. **Embrapa Cerrados**, Planaltina-DF, 2008.

SCHRÜBBERS, L.C; et al. Glyphosate accumulation, translocation, and biological effects in *Coffea arabica* after single and multiple exposures. **European Journal of Agronomy**, 2016.

SILVA, A. A. ;SILVA, J. F. **Temas em Manejo de Plantas Daninhas**. Editora UFV, Viçosa, 2007.

SILVA, W. DA C. **Desempenho dos herbicidas indaziflam e glifosato na cultura do café conilon**. 2016. Dissertação. pós-graduação em produção vegetal-UENF.

SOUTHAM, C M; ERLICH, J. Effects of extract of western red-cedar heartwood on certain wood-decaying fungi in culture. **Phytopathology**, 1943.

STEINMANN, H. H.; DICKEDUISBERG, M.; THEUVSEN, L. Uses and benefits of glyphosate in German arable farming. **Crop Protection**. 2012.

TÓTH, G.; HÁHN, J.; RADÓ, J.; SZALAI, D. A.; KRISZT, B.; SZOBOSZLAY, S. Cytotoxicity and hormonal activity of glyphosate-based herbicides. **Environmental Pollution**, 2020.

VALENTINI, R.; EPRON, D.; ANGELIS, P. DE; MATTEUCCI, G.; DREYER, E. In situ estimation of net CO<sub>2</sub> assimilation, photosynthetic electron flow and photorespiration in Turkey oak (*Q. cerris* L.) leaves: diurnal cycles under different levels of water supply. **Plant Cell Environ**, 1995.

YAMADA, T.; CASTRO, P. R. DE C. Efeitos do glifosato nas plantas: Implicações fisiológicas e agronômicas. **International Plant Nutrition Institute**, 2007.

YAMASHITA, O. M.; et al. Deriva simulada de herbicidas em mudas de *Coffea canephora*. **Scientia Agraria Paranaensis**, 2013.