

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS**

**JANAÍNA PIZA FERREIRA**

**COMO A DESFOLHA PRECOCE ATUA NAS CARACTERÍSTICAS  
MORFOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS NAS PLANTAS DE MILHO?**

**Alfenas/MG**

**2022**

**JANAÍNA PIZA FERREIRA**

**COMO A DESFOLHA PRECOCE ATUA NAS CARACTERÍSTICAS  
MORFOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS NAS PLANTAS DE MILHO?**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências ambientais pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Ciências ambientais.

Orientador: Dr. Thiago Corrêa de Souza  
Coorientadora: Dr<sup>a</sup>. Daniele Maria Marques

**Alfenas/MG**

**2022**

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas  
Biblioteca Central

Piza Ferreira, Janaína.

Como a desfolha precoce atua nas características morfofisiológicas e bioquímicas nas plantas de milho? / Janaína Piza Ferreira. - Alfenas, MG, 2022.

63 f. : il. -

Orientador(a): Thiago Corrêa de Souza.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2022.

Bibliografia.

1. Área foliar. 2. Estresse mecânico. 3. Fotossíntese. 4. Biomassa. 5. Zea mays L.. I. Corrêa de Souza, Thiago , orient. II. Título.

## JANAÍNA PIZA FERREIRA

### “ COMO A DESFOLHA PRECOCE ATUA NAS CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS NAS PLANTAS DE MILHO? ”

A Banca examinadora abaixo-assinada aprova a Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Alfnas. Área de concentração: Ciências Ambientais.

Aprovada em: 11 de fevereiro de 2022.Prof. Dr.

Thiago Corrêa de Souza

Instituição: Universidade Federal de Alfnas

Dr. Paulo César Magalhães Instituição: Embrapa Milho e Sorgo

Dr. Emerson Borghi

Instituição: Embrapa Milho e Sorgo



Documento assinado eletronicamente por Thiago Corrêa de Souza, Professor do Magistério Superior, em 11/02/2022, às 16:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Emerson Borghi, Usuário Externo, em 11/02/2022, às 16:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Paulo César Magalhães, Usuário Externo, em 11/02/2022, às 16:34, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador 0676143 e o código CRC 345C940C.

Aos meus pais, Jorge e Andreia por todo incentivo, inspiração e amor. São os maiores responsáveis pelo que sou. Jairo e Joice, meus irmãos, que são a melhor definição de parceria em minha vida.

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e à Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL/MG) por toda a infraestrutura. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

Agradeço particularmente primeiramente à Deus e Nossa Senhora Aparecida, por terem me guiado e protegido em cada passo.

Aos meus pais, Jorge e Andreia, sem o apoio e carinho deles eu não teria alcançado nem a metade do caminho.

Aos meus irmãos, Jairo e Joice, por serem grande parte da minha fonte de motivação e inspiração.

Ao meu orientador, Thiago, por todos os ensinamentos e acompanhamento.

A minha coorientadora, Daniele, por toda paciência e ter auxiliado em cada etapa.

Ao Valdir, Kamila e Gabriela, por terem auxiliado em vários momentos.

A cada pessoa da UNIFAL e da EMBRAPA, que de certa forma tenha colaborado para o desenvolvimento desta pesquisa.

Por último, mas não menos importante, agradeço todos os meus amigos, aqueles que passaram pelo meu caminho ao longo desse tempo e principalmente aos que escolheram permanecer. Estando longe de casa vocês são meu “porto seguro”, onde me acompanharam em cada momento, apoiando, incentivando e auxiliando em tudo que era possível. Acreditaram em mim em momentos que eu mesma não acreditava.

Tenho muita gratidão por cada pessoa que de alguma forma colaborou para que esse sonho tornasse real.

“Um passo de cada vez, no ritmo certo, sem pressa. E quando você menos esperar, terá percorrido o mundo.”

(ISAAC AZAR, 2005)

## RESUMO

O milho é uma das principais culturas cultivadas no mundo, onde é matéria prima para uma série de produtos. A sua produtividade recebe influência de vários fatores, dentre eles encontra-se a quantidade de radiação solar. As perdas de área foliar como por exemplo a desfolha, podem ser causadas por fatores bióticos e abióticos, gerando redução da área fotossinteticamente ativa, influenciando nos mecanismos fisiológicos da planta. O objetivo desta pesquisa foi determinar as modificações bioquímicas, fisiológicas e morfológicas da planta de milho na recuperação do estresse mecânico por desfolha precoce. O experimento foi conduzido em vasos na casa de vegetação da Unidade Educacional Santa Clara da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), com delineamento inteiramente casualizado com dois tratamentos (milho sem desfolha e milho com desfolha). Os tratamentos foram impostos quando as plantas atingiram o estágio V5. Foram avaliados parâmetros fitotécnicos como altura, diâmetro, biomassa seca. Além disso, foi avaliado as trocas gasosas, pigmentos fotossintéticos, fito hormônios, biomoléculas, anatomia foliar, morfologia radicular e macro e micronutrientes na biomassa vegetal. A desfolha precoce do milho modifica a biometria das plantas, mas há indícios de recuperação evidenciados pelo maior incremento na biomassa seca das plantas desfolhadas entre as duas épocas de avaliações. Esse maior incremento provavelmente seja decorrente da ação dos fitormônios (giberelinas e ácido salicílico), das biomoléculas (aminoácidos e açúcares redutores) e nas modificações morfológicas do sistema radicular para a retomada do crescimento da parte aérea. As plantas de milho provavelmente apresentam um padrão de alocação de reservas que permite o maior crescimento da parte aérea após a desfolha através das modificações fisiológicas, bioquímicas e morfológicas. Portanto, o milho apresenta alta rusticidade, o que gerou o desenvolvimento de novos primórdios foliares quando submetidos à desfolha.

**Palavras-chave:** Área foliar; Estresse mecânico; Fotossíntese; Biomassa; *Zea mays* L.

## ABSTRACT

Corn is one of the main crops grown in the world, where it is the raw material for a series of products. Its productivity is influenced by several factors, among them is the amount of solar radiation. The loss of leaf area can be called defoliation, which can be caused by biotic and abiotic factors, generating a reduction in the photosynthetically active area, influencing the physiological mechanisms of the plant. When defoliation occurs in maize plants before the V5 stage, it does not affect final productivity. The objective was to determine the biochemical, physiological and morphological changes of corn plants in the recovery from mechanical stress due to early defoliation. The experiment was carried out in pots in the greenhouse of the Santa Clara Educational Unit of the Federal University of Alfnas (UNIFAL-MG), in a completely randomized design with two treatments (corn without defoliation and corn with defoliation). When the plants reached the V5 stage, one of the treatments was subjected to defoliation. Phytotechnical parameters such as height, diameter, dry biomass were evaluated. In addition, gas exchange, chlorophyll a fluorescence, as well as nitrogen and carbon metabolism, leaf and root anatomy and macro and micronutrients in plant biomass were evaluated. Early defoliation in maize causes changes in several analyzed variables, such as decrease in dry biomass, height, diameter and root morphology. However, superior results were observed regarding some variables of gas exchange and phytohormones. Therefore, corn presents high rusticity, which generated the development of new leaf primordia when submitted to defoliation.

**Keywords:** Leaf area; Mechanical stress; Photosynthesis; Biomass; Zea mays L.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
2.1	MILHO.....	12
2.2	DESFOLHA.....	14
2.3	MUDANÇAS FISIOLÓGICAS NA DESFOLHA.....	17
<b>2.3.1</b>	<b>Mudanças no crescimento das plantas.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Mudanças na relação fonte e dreno e alocação de nitrogênio e carbono e demais nutrientes.....</b>	<b>18</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Mudanças no aparato fotossintético.....</b>	<b>20</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Mudanças hormonais.....</b>	<b>22</b>
<b>3</b>	<b>JUSTIFICATIVAS.....</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>24</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>25</b>
	<b>ARTIGO 1: COMO A DESFOLHA PRECOCE ATUA NAS CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS NAS PLANTAS DE MILHO?</b>	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Uma das principais culturas cultivadas no mundo é o milho (*Zea mays* L.). Este cereal é matéria prima para uma série de produtos que são utilizados tanto para o consumo humano quanto, principalmente, para o consumo animal (MILANI, 2021). O milho assume um grande papel socioeconômico, para o Brasil e a nível mundial, destacando-se em relação aos valores da produção agropecuária e produtividade (SILVA; DALCHIAVON, 2020). Há uma constante busca pelo seu aumento na produtividade das lavouras de milho (CONCEIÇÃO, 2021).

A produtividade de grãos de milho é influenciada por diversos fatores bióticos e abióticos, entre eles, a quantidade de radiação solar, da conversão da radiação interceptada em fitomassa e da eficiência de partição de assimilados à estrutura de interesse econômico (FORSTHOFER *et al.*, 2006). Quando ocorre falta de radiação solar, a produção é reduzida devido o milho ser uma espécie com metabolismo C4. Sendo assim, o seu potencial produtivo é fortemente influenciado pela radiação solar (FORNASIERI FILHO, 2007). Caso ocorra alterações neste metabolismo, a redistribuição de fotoassimilados na planta resultará em desbalanceamento na relação fonte-dreno. Além da influência da radiação solar, outros fatores, como estresses mecânicos, podem causar tensões e lesões nas folhas que geram um desequilíbrio no arranjo foliar, densidade de plantas e área foliar (SILVA; DALCHIAVON, 2020).

Em muitas lavouras pode acontecer a perda de área foliar, que gera um comprometimento a atividades fisiológicas das fontes produtoras de carboidratos, alterando a velocidade e a intensidade da senescência foliar. Assim como, padrão de acúmulo de massa seca nos grãos, conseqüentemente, resultando em menores produtividades (CONTINI *et al.*, 2019).

As perdas de área foliar podem ser causadas por fatores bióticos (pragas e doenças) como por fatores abióticos (ventos, geadas, granizo, tráfego de máquinas agrícolas), ambos levam a redução da área foliar fotossinteticamente ativa (SILVA; DALCHIAVON, 2020). Quando se tem a perda de área foliar à planta passa a fornecer menos fotoassimilados para os órgãos reprodutivos e para as reservas acumuladas no colmo das plantas (MAGALHÃES; DURÃES, 2006).

O estágio fenológico que ocorre a desfolha deve ser considerado (ANDRADE, 2018), assim como a intensidade da desfolha, a qual determina a severidade do estresse, onde quanto maior for o dano à área foliar, geralmente maiores são os prejuízos (LIMA *et al.*, 2010). Entretanto, há controvérsias nessa questão e alguns autores demonstram que pode não ocorrer

prejuízos dependendo do estágio da desfolha (SILVA; DALCHIAVON, 2020).

A quantificação da área foliar e o efeito que a desfolha pode gerar, auxilia no conhecimento do crescimento e desenvolvimento e do metabolismo da planta, fornecendo informações práticas imediatas (SILVA, 2001). Sendo assim, estudos morfofisiológicos poderão proporcionar conhecimentos sobre quais as modificações na bioquímica, fisiologia e morfologia ocorrem quando as plantas são submetidas ao estresse de desfolha.

A redução de área foliar em uma planta pode gerar a produção de novos órgãos vegetais, emitindo novas folhas, assim como o aperfeiçoamento das habilidades fotossintéticas das partes remanescentes, resultando em realocação de recursos de outros órgãos com a intenção de controlar o déficit de biomassa (BARRY; PINKARD, 2013). As plantas podem apresentar diversas respostas fisiológicas quando submetidas à desfolha, muitas vezes aumentam as taxas de crescimento para compensar as perdas por conta da falta da área vegetal (WIRF, 2006).

As plantas podem ou não compensar o tecido que sofreu danos, isto irá depender de uma série de fatores. As plantas podem ter vários tipos de respostas diferentes aos danos, onde algumas aumentam as taxas de crescimento, alteram os padrões de alocação de recursos ou até mesmo aumentam a taxa fotossintética (LI; LIU; GU, 2010). O que torna relevante estudos que possam promover maiores informações sobre quais os meios que as plantas utilizam para que possa ocorrer o seu reestabelecimento.

Observa-se que na literatura há muitos trabalhos de desfolha relacionados a perdas na produtividade e seus efeitos na morfologia (área foliar, altura, número de folhas), porém poucas abordagens fisiológicas são verificadas. Ressaltando que parâmetros fisiológicos podem ajudar a entender os mecanismos envolvidos nesse estresse físico, principalmente na recuperação da planta.

Torna-se essencial identificar as modificações fisiológicas, bioquímicas e morfológicas quando as plantas de milho passam por desfolhamento, afinal é uma planta que possui baixo índice de compensação, baixa prolificidade e pequena plasticidade foliar, apesar de que, em alguns estádios fenológicos e índices de desfolha pode-se ocorrer a recuperação da planta.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é determinar os mecanismos morfofisiológicos do milho em recuperação do estresse mecânico pela desfolha precoce.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 MILHO

O milho é cultivado em diversas regiões do mundo. Os Estados Unidos são o maior produtor mundial, seguido da China e do Brasil. (CONTINI *et al.*, 2019). É considerado como uma cultura estratégica para a base da agricultura brasileira. O qual encontra-se em diversos sistemas de cultivo, como na sucessão após a colheita da soja, em cultivo consorciado, ou até mesmo em esquema de rotação de culturas (MANFRE *et al.*, 2019).

A vasta diversidade de tecnologias utilizadas nos cultivos deste cereal, faz com que possibilite a oferta de grãos no mercado brasileiro. Isso possibilita que se tenha impactos diretos nos preços das commodities agrícolas e/ou pecuárias que compõem os sistemas produtivos em que o milho está relacionado. Esta cultura está diretamente ligada a várias cadeias produtivas, tanto pecuárias quanto industriais. O milho pode ser utilizado de diversas formas, como em silagens, rações, grão e produção de etanol (MIRANDA, 2018).

O milho é cultivado em todas as regiões do país, tendo relatos de estar presente em mais de dois milhões de estabelecimentos agropecuários (CONTINI *et al.*, 2019). A estimativa nacional de plantio do milho no ano agrícola 2021/22, levando em consideração todas as safras deverá atingir uma área de 20.943,7 mil hectares, e uma produção de 112.901,9 mil toneladas (CONAB, 2022). A tendência é de que a produtividade de milho seja expandida com o passar do tempo, buscando ser capaz de suprir a demanda em função do significativo aumento populacional e pelo crescimento do consumo para fins de fabricação de energia renovável (HENDGES, 2021).

Apesar de que o mercado brasileiro de milho vem tendo um crescimento, nas próximas safras, o setor ainda precisa solucionar alguns obstáculos que impedem a sua maior produtividade. O cultivo deste cereal necessita de ter um bom planejamento para que se garanta um maior rendimento (ARGENTA *et al.*, 2003). Esta defasagem em produção, pode ser atribuída a vários fatores ambientais e vegetais que, na maioria das vezes estão relacionados entre si, como, climáticos, nutricionais e níveis tecnológicos adotados (ANDRADE *et al.*, 2002).

Apesar desta cultura responder as interações de vários elementos climáticos, a radiação solar, precipitação e temperatura são os fatores que mais possuem influência, atuando diretamente nas atividades fisiológicas, intervindo na produção de matéria seca e de grãos (GALON, 2011).

O milho faz parte do grupo de plantas C4, onde estas apresentam melhor desempenho em condições de altas temperaturas e com uma ampla gama de concentrações de dióxido de carbono (POWELL; STILL, 2009). Este cereal possui resposta com altas produtividades ao aumento do teor de radiação solar, seu mecanismo fotossintético utiliza o CO<sub>2</sub> com maior eficiência. Componentes climáticos e edáficos podem influenciar de modo direto ou indireto o potencial produtivo das culturas e isso não é diferente para a produção de milho (SANDOR; DAVID; TARAU, 2018).

Na grande maioria das culturas, o efeito dos fatores abióticos é maior quando acontece na fase reprodutiva, em especial, no florescimento (NI; MOODY; ROBLES, 2000). Alguns fatores abióticos podem vir a interferir na produtividade do milho, ainda que aconteça no início do ciclo de desenvolvimento da cultura, gerando a redução do acúmulo de fitomassa, velocidade de crescimento e produtividade (CASTRO; GARCIA, 1996; ALMEIDA, 2020). Vários fatores abióticos ocorrendo em estágio V5 pode diminuir a produtividade do milho, pois é a fase em que é definido o rendimento da planta, pela diferenciação floral (MAGALHÃES; DURÃES, 2008).

A quantidade de área foliar em uma planta como o milho está relacionada com o potencial fotossintético, onde o seu valor depende do número de folhas, do tamanho e do estágio de desenvolvimento das plantas (RASPE; RASPE, 2021).

A área foliar aumenta até um limite máximo, onde permanece por um tempo determinado, posteriormente estes níveis caem, por conta da senescência das folhas mais velhas. Assim como a fotossíntese depende da área foliar, o rendimento da cultura será mais elevado quanto mais rápido a planta atingir o nível de área foliar máximo e por quanto mais tempo a área foliar permanecer ativa (MANFRON *et al.*, 2003). A velocidade e intensidade da senescência foliar é influenciada quando ocorre uma redução da atividade fisiológica das principais fontes produtoras de carboidratos causadas pela desfolha (NEIVERTH, 2021; UHART; ANDRADE, 1995;).

As plantas que interceptam maiores quantidades de luz na fase inicial de desenvolvimento tendem a apresentar maiores produtividades (FLECK *et al.*, 2003). A interceptação de radiação solar está relacionada com o índice de área foliar, onde geralmente, quanto mais área foliar, maior será a quantidade de interceptação de radiação solar (FANCELLI; DOURADO NETO, 2004).

A densidade do arranjo das plantas também possui relação com a quantidade de interceptação de luz pelo dossel, assim como uma série de características morfológicas (estatura e número de plantas, área foliar, distribuição e ângulo foliar) (MARCHÃO;

BRASIL; XIMENES, 2006). Para maximizar o rendimento de grãos de milho o estande populacional varia de 30.000 a 90.000 plantas por hectare, dependendo da disponibilidade hídrica, fertilidade do solo, ciclo da cultivar, época de semeadura e do espaçamento entre linhas (CRUZ, 2009).

Entre todos os fatores capazes de gerar uma redução no rendimento de produção nas lavouras de milho, encontra-se muita sensibilidade a estresses que venham a reduzir sua área foliar (SANGOI *et al.*, 2011), que podem ser causados por um fator físico ou mecânico, trazendo modificações no crescimento e desenvolvimento da planta de milho.

## 2.2 DESFOLHA

Durante o ciclo das plantas estas estão sujeitas a sofrerem diversos tipos de estresses. Os estresses podem variar, sendo devido a fatores bióticos ou abióticos, assim como podem ter diferentes tipos de resultados após o seu acontecimento (SILVA *et al.*, 2021).

O estresse é um fator externo, que causa influências desvantajosas para o desenvolvimento de uma planta, podendo gerar diminuição no seu desempenho vegetal (DAMATTA; RAMALHO, 2006). É mensurado de acordo com a relação à sobrevivência, produtividade, acúmulo de biomassa, entre outros, estando relacionados ao crescimento e desenvolvimento da planta (GONDIM, 2006).

Vários fatores podem vir a gerar danos mecânicos nas folhas, que porventura pode ser considerado como um estresse nas plantas. Geralmente, esses efeitos indesejáveis ao longo do desenvolvimento da cultura do milho tendem a refletir na produtividade final (SOAVE; WETZEL, 1987; COPETTI, 2021). Estes danos causam um estresse mecânico que gera perdas de área foliar e são denominados como desfolha (IQBAL; MASOOD; KHAN, 2012).

Danos na área foliar das plantas podem levar à alteração na relação fonte-dreno, causando redução da produtividade do vegetal, isso deve-se a mudanças nas características agronômicas que, posteriormente, irão afetar o rendimento dos grãos e a qualidade fisiológica das sementes (DAROS *et al.*, 2000; GONDIM, 2006). Já Li, Liu e Gu (2010), relataram que as plantas podem ou não compensar o tecido que sofreu danos, dependendo da quantidade dos danos e das condições em que a planta se encontra quando o dano veio a ocorrer. As plantas podem ter vários tipos de respostas diferentes aos danos, onde algumas aumentam as taxas de crescimento, alteram os padrões de alocação de recursos ou até mesmo aumentam a taxa fotossintética.

Por expressar a proporção de cobertura do solo, o índice de área foliar é um fator

importante a ser considerado quando se deseja boas práticas de manejo (GUIMARÃES; SANS; MORAES, 2002). Sangoi *et al.* (2001 e 2002) observaram os efeitos da diminuição de área foliar sobre a produtividade de híbridos de milho em diferentes populações e sobre o acúmulo de matéria seca nos grãos, onde a redução da área foliar, seja por danos mecânicos ou pelo ataque de pragas e/ou doenças, resultou em perdas no crescimento e produção do milho.

A área foliar fotossinteticamente ativa pode vir a ser reduzida em função de diversos fatores, tais como, ataque de pragas ou doenças, geadas, tráfego de maquinários, animais, granizo, vento, assim como em práticas de despendoamento mecânico do milho realizadas em campos de produção de sementes híbridas, resultando em redução da quantidade produzida e da qualidade fisiológica. A intensidade da desfolha determina a severidade do estresse, onde quanto maior for o dano à área foliar, maiores são os prejuízos (LIMA *et al.*, 2010; PEREIRA *et al.*, 2012).

No cultivo de milho, vem sendo empregados muitos cultivos múltiplos ou sequenciados. Estes exigem mais usos de maquinários, que quando utilizados sob condições desfavoráveis, podem vir a gerar injúrias ou deformações nas plantas. Estes danos mecânicos causam ainda mais prejuízos por serem canais de entrada para patógenos (SOAVE; WETZEL, 1987; MACEDO, 2009).

Vários patógenos podem causar perdas de área foliar, entre eles estão as doenças foliares, como a cercosporiose, mancha branca e a ferrugem polissora, que dependendo de sua porcentagem de severidade pode causar perdas foliares consideráveis (EMBRAPA, 2015).

O ataque de pragas no milho, também pode vir a causar perda de área foliar. Entre as possíveis pragas que podem vir a atacar as plantações de milho, encontra-se, principalmente a presença de lagartas, limitando o rendimento e a lucratividade da lavoura. As pragas que mais causam problemas são lagarta do cartucho, lagarta da espiga, broca do colmo e lagarta elasmó (MENDES; WAQUIL; VIANA, 2009).

Na parte inferior das plantas, o índice de área foliar é uma importante variável biofísica utilizada para as análises de quantidade de radiação fotossinteticamente absorvida. Geralmente, quando se tem um aumento na área foliar, obtém maior produção de biomassa (LUCCHESI, 1987; SILVA NETO, 2021).

O estágio fenológico em que ocorre a desfolha deve ser levado em consideração, afinal a maior sensibilidade do milho é na fase de florescimento, gerando perdas ao desenvolvimento da espiga, número e massa de grãos (BRITZ, 1982; NEIVERTH, 2021).

Karam *et al.* (2010) relataram que os danos causados pelo corte e maceração em

plantas de milho nos estádios de crescimento V2 e V4 afetou o acúmulo de biomassa de folhas, colmos, pendões e estilo-estigmas, principalmente no estágio fenológico de quatro folhas completamente desenvolvidas, e que os danos simulados no milho neste mesmo estágio não influenciam a altura das plantas e a altura de inserção de espigas. Observaram também que os danos ocasionados por corte ou maceração nos estádios V2 e V4 do milho reduziram o rendimento de grãos. Isso foi observado por Sangoi *et al.* (2014) que trabalhando com a desfolha nos estádios vegetativos de V8 a V12 obtiveram prejuízos significativos ao rendimento de grãos.

Alvim *et al.* (2011) trabalharam com a redução da área foliar acima da espiga em plantas de milho na fase reprodutiva, puderam observar que, embora toda área foliar em milho seja importante na produção de fotoassimilados, é a área foliar acima da espiga que é mais eficiente na conversão em produtividade de grãos. Seguindo o mesmo conceito, Fornasieri Filho (2007) afirma que as folhas do terço superior do colmo apresentam relevância ao acúmulo dos carboidratos nos grãos de milho.

Segundo Pereira *et al.* (2012) a relação fonte-dreno é desbalanceada e ocorre a perda de eficiência da distribuição de fotoassimilados nas plantas quando ocorre a desfolha. Enquanto isso Sangoi *et al.*, (2002) relataram que a precocidade, que é uma característica preconizada nos genótipos de milho usados atualmente, faz com que o estresse pela perda da área foliar seja mais grave, pois com o ciclo menor se tem menos tempo para a recuperação das plantas. Assim o genótipo de milho na desfolha pode ser um fator também relevante em estudos de desfolha.

Sangoi *et al.* (2014) observaram que, ao testarem genótipos com ciclo e porte contrastantes e diferentes estádios fenológicos de desfolha, é maior o dano quando a desfolha ocorre próxima à fase de floração do milho. Esta mesma observação foi feita por Lima *et al.* (2010) que identificaram o estágio R1 como sendo o mais prejudicado pela redução de área foliar. O aumento da porcentagem de desfolha é prejudicial à relação fonte-dreno das plantas de milho, gerando redução de rendimento de grãos, sendo as fases mais sensíveis à ocorrência de desfolha as de floração e enchimento de grãos (PEREIRA *et al.*, 2012).

Por outro lado, na literatura, encontram-se trabalhos com milho evidenciando que a desfolha pode não ser prejudicial. Silva e Dalchiavon (2020), avaliaram a desfolha de milho em vários estádios de desenvolvimento e observaram que a desfolha em V4 e V12 não interferem nos parâmetros de comprimento de espiga, índice de colheita e altura da planta. Andrade *et al.*, (2002) não encontraram diferenças na produção de milho desfolhado em V3 e V5, e o rendimento máximo de grãos foi alcançado com desfolhações em V3. Alvim, Brito e

Brandão (2010), puderam observar que, a desfolha em plantas de milho no estágio R2 não geram diferenças nas características de número de grãos e no número de fileiras nas espigas.

Recentemente a Embrapa Milho e Sorgo lançou a tecnologia “Antecipe”, a qual visa aumentar a janela de plantio de milho afim de minimizar efeitos causados por estresses hídricos ao final do ciclo da cultura, caso se estenda próximo ao inverno. Trata-se de fazer o cultivo intercalar, onde ao final do ciclo da soja é realizado a semeadura do milho. Porém, quando é realizado a colheita da soja acontece uma desfolha precoce nas plantas de milho. O milho prossegue seu desenvolvimento e não acarreta perdas de produtividade (KARAM *et al.*, 2020).

### 2.3 MUDANÇAS FISIOLÓGICAS NA DESFOLHA

A área foliar das plantas expressa um grande indicativo de produtividade, por possuir correlação entre as taxas fotossintéticas e transpiração das plantas, onde determina a capacidade da planta em interceptar as radiações e efetuar as trocas gasosas necessárias com o ambiente (GUIMARÃES; SANS; MORAES, 2002). Chen, Kolb e Clancy (2001) observaram uma regulação positiva das taxas fotossintéticas nas folhas remanescentes após desfolhamento. Esta regulação desempenha um papel importante na minimização do impacto da desfolha no crescimento.

A desfolha causa a remoção do tecido foliar fotossinteticamente ativo das plantas, conseqüentemente, reduz ou impede a fotossíntese, dependendo da proporção removida. Isso faz com que a energia da fotossíntese oriunda da conversão da radiação geralmente seja insuficiente para suprir as demandas da planta por crescimento subsequente das novas folhas e respiração. Para poder suprir essa energia, são mobilizadas as reservas de carboidratos hidrossolúveis que estão armazenadas no colmo e raízes das plantas (MORVAN-BERTRAND *et al.*, 2001).

De acordo com Tinoco (2016) não há efeitos negativos no processo fisiológico das folhas remanescentes de mudas de palma de óleo após a desfolha, provavelmente estas plantas desempenham mecanismos compensatórios da perda foliar, evitando gerar danos em seus processos fisiológicos. Entretanto, encontra-se na literatura informações de que mesmo que a redução da área foliar das plantas de milho seja pequena, pode ser suficiente para comprometer a sua eficácia fotossintética, conseqüentemente a relação fonte-dreno e a distribuição de fotoassimilados, o que irão contribuir para a diminuição da produtividade final (REZENDE *et al.*, 2015).

### **2.3.1 Mudanças no crescimento das plantas**

Após a desfolha pode acontecer um crescimento compensatório da planta, que é a restauração de alterações morfológicas e fisiológicas (COLLIN et al., 2000). Acontece uma série de mudanças na planta, onde o sistema radicular passa por um desequilíbrio no crescimento e em suas alocações de reservas (OURRY; BOUCAUD; SALETTE, 1988; QUENTIN et al. 2011).

Em pastagens a taxa de crescimento após a desfolha pode ser dividida em três fases. Na primeira fase a taxa de crescimento é lenta, passando para a segunda onde uma taxa máxima é alcançada. Na terceira fase as taxas de crescimento permanecem sem alterações, porém as taxas de senescência aumentam (PARSONS; CHAPMAN, 2000). Uma explicação para que as taxas de crescimento sejam mais lentas após a desfolha é que as plantas dependem das reservas armazenadas para fornecer energia para o rebrota (MORVAN-BERTRAND et al., 2001). Depois deste período, a fotossíntese volta a ser a principal fonte de carbono, e seu suprimento torna-se suficiente para fornecer energia suficiente para a rebrota, assim como reabastecer reservas (FULKERSON; DONAGHY, 2001).

Quando ocorre uma desfolha não muito agressiva, resulta no brotamento de novas folhas com modificação para a capacidade de assimilação e estimula a sua taxa de crescimento relativo (ZHAO; CHEN; LIN, 2008). Vários mecanismos se desenvolvem para compensar crescimento, como taxa fotossintética e condutância estomática mais altas e senescência tardia (STIKER; INSAUSTI; GRIMOLDI, 2008).

Silva e Dalchiavon (2020) observaram que o dano nas folhas no início do desenvolvimento das plantas de milho não gera prejuízo no crescimento das plantas, isso indica que a planta possui a capacidade de se recuperar até o final do ciclo.

### **2.3.2 Mudanças na relação fonte e dreno e alocação de nitrogênio e carbono e demais nutrientes**

Os fotossintatos e o suprimento de N se interagem para controlar o desenvolvimento das folhas e a aquisição total de N da planta fornecendo a base dominante para a força do dreno (PAUL; FOYER, 2001). O aumento da porcentagem de desfolha é prejudicial à relação fonte-dreno das plantas de milho, gerando redução de rendimento de grãos, sendo que as fases mais sensíveis à ocorrência de desfolha são as de floração e enchimento de grãos (PEREIRA et al., 2012).

Aproximadamente 50% dos carboidratos que são acumulados nos grãos de milho são oriundos das folhas localizadas no terço superior do colmo, cerca de 30% das folhas localizadas no terço médio e o restante das folhas distribuídas na parte basal (FORNASIERI FILHO, 2007).

Os metabolismos de C e N são processos interligados, onde o ATP e o NADPH que são oriundos da fotossíntese podem ser utilizados no processo de assimilação do N (Khan et al. 2007). A desfolha gera uma alteração na demanda por fotossíntese e pode influenciar o particionamento do carbono (IQBAL; MASOOD; KHAN, 2012).

A desfolha gera a falta de C para a fotossíntese que pode acarretar modificações nas respostas das plantas. A tendência é aumentar a alocação de recursos das raízes para a parte aérea, incrementando o crescimento das plantas (YANG; MILDMORE, 2004). Ou seja, ocorre a reparação do crescimento das folhas ao invés do desenvolvimento das raízes. Alocação de C e N para o desenvolvimento dos brotos é a principal resposta adaptativa das plantas ao desfolhamento, o que proporciona uma rebrota após o desfolhamento.

A alocação de C e N para brotações ativas, é a principal resposta adaptativa das plantas após a desfolha (KHAN *et al.*, 2007). Zhao, Chen e Lin (2008) evidenciaram o crescimento compensatório na grama chinesa após desfolhamento parcial de 20% e 40% de folhas. Em mostarda, a capacidade de captação de N das raízes teve um aumento para buscar atender à exigência de N da parte aérea (LONE; KHAN, 2007).

Khan e Lone (2005) relataram em um estudo realizado com mostarda desfolhadas no período de pré-floração, um aumento da atividade da anidrase carbônica e da atividade fotossintética em comparação com as plantas sem desfolhação. O mecanismo que desenvolve todo o balanço C/N da planta pode ser uma estratégia de grande importância na melhoria da aquisição de C e N (KHAN *et al.*, 2007). As plantas após o desfolhamento requerem mais assimilados para o crescimento, que é equilibrado pelo aumento da capacidade de assimilação foliar e uso eficiente de N (LONE; KHAN, 2007).

A compensação da remoção de tecido, principalmente após a desfolha intensa, exige grandes quantidades de energia, que é realocada das folhas restantes, brotos e raízes das plantas danificadas (LIU *et al.*, 2007).

Sabe-se que a perda de carboidratos na desfolha gera uma melhoria na expressão de genes associados à fotossíntese, mobilização e exportação de reservas (ROLLAND; MOORE; SHEEN, 2002). Os carboidratos também são associados à diferenciação de células e órgãos vegetais (EASTMOND; GRAHAM, 2001).

Quando ocorre a diminuição na oferta de assimilados por conta da desfolha ou

sombreamento há um aumento da abscisão precoce de frutos em árvores, além de que, os açúcares solúveis diminuem e apresentam baixos teores durante o período de divisão celular (primeira fase de crescimento) e posteriormente começam a acumular. A desfolha gera uma redução de açúcar durante o estágio final desta primeira fase de crescimento e atrasa o início do acúmulo de açúcar na segunda fase (GOMEZ-CADENAS *et al.*, 2000).

As bainhas das folhas em condições normais são órgão dreno e fonte, onde podem acumular até 70% de frutanos armazenados nas partes vegetativas das plantas. Com a perda das lâminas foliares por conta da desfolha, as bainhas das folhas passam de um tecido de dreno para um tecido fonte. Todavia, a frutose decorrente da degradação da frutana não é a forma de translocação de carboidratos e necessita ser convertida em sacarose para ocorrer o transporte. Os transportadores de sacarose estão envolvidos no processo de levar a sacarose para locais de danos e para os pontos de crescimento no processo de desfolha (AMIARD *et al.*, 2003; IBRAHEEM; HOVE; BRADLEY, 2008).

Pammenter e Allison (2002) mostraram que a desfolha em cana-de-açúcar reduziu a área das folhas em 40% e resultou na partição proporcional de assimilados nas folhas e caule com aumento do acúmulo de sacarose.

A desfolha diminui a capacidade fotossintética, fazendo com que se tenha um grande dreno de nutrientes importantes, como N e P, causando a limitação de nutrientes, podendo ser mais um motivo para o menor desenvolvimento (MILLARD *et al.*, 2001).

Á desfolha também pode acarretar o aumento de compostos fenólicos o que é explicado por Roitto *et al.* (2008) como um mecanismo de proteção ao estresse. Pode ser observado que a desfolha gera um acréscimo no conteúdo total de antocianina e polifenol em uvas, todavia, na parreira, foi relatado um aumento de polifenóis, que pode ser relacionado com a maior incidência de radiação provocada pela remoção das folhas (PESENTI; AYUB; BOTELHO, 2019).

### **2.3.3 Mudanças no aparato fotossintético**

A desfolha influencia o crescimento das espécies C3 e C4 de maneira diferente. As plantas C4 apresentam maior eficiência no uso da água que as plantas C3, onde este recurso pode ser usado para regeneração após desfolhamento. Uma vantagem adicional do sistema C4 é que sua fotossíntese, comparada às plantas C3, é maior em folhas novas (LONG *et al.*, 2006). Assim, as folhas novas desenvolvidas em resposta a desfolha seriam capazes de reabastecer as reservas de carboidratos mais rapidamente nas espécies C4 do que nas espécies

C3.

Quentin *et al.* (2011) observaram que a remoção de 45% da área foliar do *Eucalyptus globulus* Labill foi compensado pelo aumento da fotossíntese, sendo que houve melhoras nas relações hídricas e aumento na utilização do carbono assimilado.

Joudi *et al.* (2006) verificaram que a restrição ocasionada pela desfolha do trigo aumentou a taxa fotossintética e o teor de clorofila das folhas. Ahmadi e Joudi (2007), observaram no trigo com desfolha o teor de clorofila e a remobilização do N aumentaram quando comparadas com as plantas não desfolhadas.

No estudo de Pinkard, Eyles e O'Grady (2011) foram relatadas evidências de que as trocas gasosas de *E. globulus* em resposta a baixos índices de água e N e desfolhamento estavam ligadas as mudanças nas relações de fonte e dreno. A desfolha é uma limitação da fonte, mas os resultados dos aparatos fotossintéticos da desfolha estão relacionados ao nível de disponibilidade dos recursos de armazenamento e relocação da planta.

Um efeito compensatório da fotossíntese foi observado por Retuerto, Fernandez e Obeso (2006) estudando a fluorescência da clorofila em folhas de *Quercus* sp. sob desfolha artificial, onde foi notado que a desfolha teve influência na eficiência fotossintética.

Segundo Falqueto *et al.* (2010) as alterações fisiológicas que ocorrem nas folhas de variedades de arroz durante a senescência, para os parâmetros de fluorescência, há um declínio após a expansão total das folhas nas duas cultivares de arroz que foram utilizadas. Entretanto, os parâmetros bioquímicos e fotoquímicos não apresentaram padrão de mudança semelhante.

Já Macedo *et al.* (2007) não observaram relação da fluorescência da clorofila a e o padrão de desfolha (simulando herbivoria) em trigo, mas a condutância estomática foi afetada pelo tempo após a desfolha e pela interação entre o tratamento e o tempo após a desfolhamento.

Ziems *et al.*, (2006), obtiveram em diferentes culturas, a indicação de que as perdas de área foliar não causaram perdas nas taxas de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> das partes remanescentes dos folíolos danificados.

Portanto, nota-se que existem espécies de plantas que são mais capazes de compensar os níveis de desfolhamento, enquanto, outras não suportam tão bem os danos (GADD; YOUNG; PALMER, 2001).

### 2.3.4 Mudanças hormonais

Os hormônios que são produzidos pelas plantas regulam a eficiência fisiológica das plantas, modificando o equilíbrio entre a fotossíntese e a respiração, a abertura estomática ou a atividade das enzimas fotossintéticas (ARTECA; DONG, 1981; KHAN, 2005). A desfolha causa alterações morfológicas e fisiológicas nas plantas que podem ser reguladas pelos hormônios vegetais (KHAN; KHAN, 2002).

A abscisão foliar ocorre naturalmente na planta durante a senescência. O hormônio etileno está ligado a abscisão, desempenhando um papel importante no processo de perda de órgãos vegetais, e, por ser um regulador natural da desfolha de órgãos vegetais. Correspondendo à sinais da desfolha, a célula na zona de abscisão da base do pecíolo pode induzir a expressão de genes ligados à eliminação, vindo a alterar a produção endógena de etileno, aumentando a atividade de degradação enzimática nas paredes celulares das plantas na zona de abscisão de órgãos, gerando a degradação de parede celular e lamela média e, no final, ocasionando a abscisão. As relações de células da zona de abscisão para o etileno caem à medida que a concentração de ácido indolacético (AIA) aumenta. O AIA normalmente causa o impedimento da abscisão e sua concentração diminui durante todo o processo (TAYLOR; WHELLOW, 2001; UTHAICHAY; KETSA; VAN DOORN, 2007; GU *et al.*, 2015).

Entre os grupos de hormônios vegetais, as auxinas, citocininas e giberelinas desempenham papéis importantes no desenvolvimento e ações fisiológicas dos tecidos vegetais. As giberelinas, por exemplo, são responsáveis por várias funções fisiológicas importantes no desenvolvimento das plantas, participando da mobilização de reservas e promovendo alongamentos de caule (DOURADO NETO *et al.*, 2004). Enquanto o ácido giberélico (GA3) atua diretamente na diferenciação de tecidos (KHAN *et al.* 2006).

Os fitohormônios estão relacionados com diversos mecanismos das plantas. O GA3 atua estimulando a expansão e divisão celular, promovendo crescimento do caule e acentuando a expressão da dominância apical (TAIZ; ZEIGER, 2013). Já o ácido salicílico (AS) atua como indutor do metabolismo secundário das plantas, além de atenuar estresses, aumentando a resistência contra fatores bióticos e abióticos (FIGUEIREDO *et al.*, 2019).

Apesar da importância dos fitohormônios no crescimento e desenvolvimento das plantas, existe uma carência de trabalhos na literatura realizando medidas de teor de fitohormônios em situação de desfolha.

### 3 JUSTIFICATIVAS

Considerando que o milho é um produto muito importante mundialmente devido as suas diversas formas de utilização e que o Brasil é um dos grandes produtores, é de suma importância promover mais estudos e desenvolvimentos de tecnologias que busquem aumentar a eficácia nos processos de produção.

Vários fatores podem resultar em perdas de produtividade do milho, dentre eles os estresses de perda de área foliar. As plantas reagem em resposta ao estresse de alguma forma, onde muitas vezes gera modificações morfológicas, causando perda de rendimento. A manutenção da área foliar é de suma importância, afinal, a folha é o principal órgão responsável pela fotossíntese.

Perdas de área foliar causadas pelo estresse mecânico de desfolha dependendo do estágio fenológico em que ocorre, podendo causar efeitos negativos na produtividade. Entretanto, as plantas podem responder de forma positiva a este estresse, recuperando-se dos danos causados pela desfolha. Existem estudos observando que quando ocorre à desfolha nos estádios iniciais não geram perdas. Porém, este comportamento é associado com o aparato fisiológico, o qual pode trazer um entendimento mais eficaz sobre os mecanismos de recuperação da perda de área foliar.

A resposta das plantas a desfolha depende da espécie, posição das folhas, época do desfolhamento e das condições ambientais. Poucos trabalhos veem explorando essas questões. Também é necessário buscar um entendimento da interação da desfolha e dos fitohormônios no balanceamento das relações fonte-dreno.

As alterações fenológicas que ocorrem dentro da planta podem ter influência sobre as características morfofisiológicas da cultura, ocasionando alterações desde hormonais até na morfologia radicular. Existem vários estudos sobre o efeito da desfolha em milho direcionados a área agrônômica, mensurando resultados de produtividade, porém não foram levados em consideração as relações morfológicas, aspectos fisiológicos e bioquímicos o que justifica a realização desse projeto.

Este estudo pode contribuir com o desenvolvimento e aprimoramento de novas tecnologias como a tecnologia “Antecipe” (cultivo intercalar antecipado nas entrelinhas da soja) que foi desenvolvido pela Embrapa (KARAM *et al.*, 2020), o qual provoca uma desfolha precoce em plantas de milho, semeadas previamente antes da colheita da soja.

#### **4 OBJETIVOS**

O objetivo foi determinar as modificações bioquímicas, fisiológicas e morfológicas de planta de milho na recuperação do estresse mecânico por desfolha.

## REFERÊNCIAS

- ARGENTA, G. *et al.* Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agraria**, [S.I.], v. 4, n. 1-2, p. 27-34, 2003.
- AHMADI, A., JOUDI, M. Effects of timing and defoliation intensity on growth, yield and gas exchange rate of wheat grown under well-watered and drought conditions. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, [S.I.], v. 10, n. 21, p. 3794 - 3800, 2007.
- ALMEIDA, A. S. **Interações de componentes fitossanitários e patologia de sementes de híbridos de milho (*Zea mays*)**. 2020. 69 f. Tese de Doutorado em Proteção de Plantas, Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, Urutaí, 2020.
- ALVIM, K. R. T.; BRITO, C. H.; BRANDÃO, A. M. Quantificação da área foliar e efeito da desfolha em componentes de produção de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 3, p. 1017-1022, 2010.
- ALVIM, K. R. T. *et al.* Redução da área foliar em plantas de milho na fase reprodutiva. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 4, p. 413-418, 2011.
- AMIARD, V. *et al.* Fate of fructose supplied to leaf sheaths after defoliation of *Lolium perenne* L.: assessment by <sup>13</sup>C-fructose labelling. **Journal of Experimental Botany**, Oxônia, v. 54, n. 385, p. 1231–1243, 2003.
- ANDRADE, F. H. *et al.* Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, pag. 975-980, 2002.
- ANDRADE, M. M. **Cultivares de milho verde irrigado por pivô central cultivado em diferentes espaçamentos e níveis de desfolha em domínio de cerrado**. 2018. 58 f. Dissertação de Mestrado em Irrigação no Cerrado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Ceres, Ceres, 2018.
- ARTECA, R. N., DONG, C. N. Stimulation of photosynthesis by application of phytohormones to the root system of tomato plants. **Photosynthesis Research**, [S.I.], v. 2, p. 243-249, 1981.
- BARBOSA, A. P. *et al.* Reaplicação de nitrogênio na mitigação do efeito da desfolha em diferentes fases fenológicas do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 18, n. 1, p. 30-46, 2016.
- BARRY, K. M.; PINKARD, E. A. Growth and photosynthetic responses following defoliation and bud removal in eucalypts. **Forest Ecology and Management**, [S.I.], v. 293, p. 9-16, 2013.
- BLOMHOFF, R. *et al.* Health benefits of nuts: Potential role of antioxidants. **British Journal of Nutrition**, [S.I.], v. 96, n. 2, p. 52-60, 2006.
- CASTRO, C. R.; GARCIA, R. Competição entre plantas com ênfase no recurso luz.

Ciência Rural, [S.I.], v.26, p.167-174, 1996.

CHEN, Z., KOLB, T. E., CLANCY, K. M. Mechanisms of resistance to Douglas-fir to defoliation of western fir worm: bud burst phenology, photosynthetic compensation and growth rate. **Tree Physiol.** [S.I.], v. 21, p. 1159-1169, 2001.

COLLIN, P. *et al.* Growth responses of common ash seedlings (*Fraxinus excelsior* L.) to total and partial defoliation. **Annals of Botany**, [S.I.], v. 85, p. 317-323, 2000.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento de safra brasileiro**: grãos: Quarto levantamento, janeiro 2022 – safra 2021/22. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 24 jan. 2022.

CONCEIÇÃO, J. D. *et al.* **Monocultura do milho em paripiranga (BA) nos anos 2018/2019 e seus reflexos socioespacial**. Paripiranga: Uniages, 2021.

CONTINI, E. *et al.* **Milho: caracterização e desafios tecnológicos**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019.

COPETTI, W. L. **Danos mecânicos em sementes de soja sob diferentes velocidades de colheita**. 2021. 44 f. Monografia (Especialização) - Curso de Agronomia, Universidade Federal da Fronteira Sul Campus Cerro Largo, Cerro Largo, 2021.

CRUZ, J. C. **Espaçamento e densidade do milho**. 2009. Embrapa. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01\\_49\\_168200511159.html#:~:text=A%20popula%C3%A7%C3%A3o%20ideal%20para%20maximizar,e%20do%20espa%C3%A7amento%20entre%20linhas..](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_49_168200511159.html#:~:text=A%20popula%C3%A7%C3%A3o%20ideal%20para%20maximizar,e%20do%20espa%C3%A7amento%20entre%20linhas..) Acesso em: 19 dez. 2021.

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

DAROS, E. *et al.* Estresses por sombreamento e desfolhamento no rendimento e seus componentes da variedade de feijão "carioca". **Scientia agrária**, [S.I.], v. 1, p. 55-61, 2000.

EASTMOND, P. J.; GRAHAM, I. A. Re examining the role of the glyoxylate cycle in oilseeds. **Trends in Plant Science**, [S.I.], v. 6, n.2, p. 72-78, 2001.

DOURADO NETO, D. *et al.* Aplicação e influência do fitorregulador no crescimento das plantas de milho. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, [S.I.], v. 11, n. 1, p.93-102, 2004.

EMBRAPA, **Cultivo de milho**. 2015. Disponível em: [https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p\\_p\\_id=conteudoportlet\\_WAR\\_sistemasdeproducaolf6\\_1galceportlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column1&p\\_p\\_col\\_count=1&p\\_r\\_p\\_76293187\\_sistemaProducaoId=3821&p\\_r\\_p\\_996514994\\_topicoId=3723#topodapagina](https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column1&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaoId=3821&p_r_p_996514994_topicoId=3723#topodapagina). Acesso em: 9 mai. 2020.

FALQUETO, A, R. *et al.* Fluorescência de clorofila no arroz: sondagem de alterações da atividade do PSII por senescência em variedades de arroz que diferem na capacidade de

produção de grãos. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campo dos Goytacazes, v. 22, n. 1, p. 35-41, 2010.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de Milho**. Agropecuária, Guaíba, 2º Ed.. p. 360, 2004.

FIGUEIREDO, F. R. A. *et al.* Respostas fisiológicas de mulungu submetida a estresse salino e aplicação de ácido salicílico. **Irriga**, [S.I.], v. 24, n. 3, p. 662-675, 2019.

FLECK, N. G. *et al.* Características de plantas de cultivares de arroz irrigado relacionadas à habilidade competitiva com plantas concorrentes. **Planta Daninha**, [S.I.], v.21, p.97-104, 2003.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, p. 547, 2007.

FORSTHOFER, E. L. *et al.* Desempenho agrônomico e econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.I.], v. 41, p. 399-407, 2006.

FULKERSON, W. J.; DONAGHY, D. J. Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence - key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, [S.I.], p. 261-275. 2001.

GADD, M. E.; YOUNG, T. P.; PALMER, T. M. Effects of simulated shoot and leaf herbivory on vegetative growth and plant defense in *Acacia drepanolobium*. **Oikos**, [S.I.], v. 92, p. 515-521, 2001.

GALON, L. Influência dos fatores abióticos na produtividade da cultura do milho. **Ciências Agrárias e Biológicas**, Viçosa, v. 3, n. 4, p. 18-38, 2011.

GOMEZ CADENAS, A. *et al.* Hormonal regulation of fruitlet abscission induced by carbohydrate shortage in citrus. [S.I.]: **Planta**, 2000.

GONDIM, T. C. O. **Efeito de desfolha nas características agrônômicas e na qualidade fisiológica de sementes de trigo**. 2006. 71f. Tese de Doutorado em Fitotecnia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

GU, W. L. *et al.* Pod abscission and changes of endogenous hormones in Vanilla pod under different fruit load. **Chinese Journal of Tropical Crops**, [S.I.], p. 551–556. 2015.

GUIMARÃES, D. P.; SANS, L. M. A.; MORAES, A. V. C. Estimativa da Área Foliar de Cultivares de Milho. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 24, 2002, Florianópolis. **Anais[...]**. Florianópolis: ABMS, 2002.

HENDGES, I. P. **Produtividade do milho e eficiência de uso de matéria orgânica de aplicação de fertilizantes controlados, fertilizantes estabilizados e orgânicos**. 2021. 80 f. Dissertação de Mestrado em Agroecologia - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Bragança, 2021.

HERNANDEZ, G.; MATTEW, A.; HODGSON, J. The influence of defoliation height on dry - matter partitioning and CO<sub>2</sub> exchange of perennial ryegrass miniature swards. **Grass and Forage Science**, [S.I.], p. 372-376, 2000.

IBRAHEEM, O.; HOVE, R. M.; BRADLEY, G. Sucrose assimilation and the role of sucrose transporters in plant wound response. **Afr J Biotechnol**. [S.I.], p. 4850–4855, 2008.

IQBAL, N.; MASOOD, A.; KHAN, N. A. Analyzing the significance of defoliation in growth, photosynthetic compensation and source-sink relations. **Department of Botany, Photosynthetica**, Aligarh Muslim University, Aligarh, p. 161-170, 2012.

JOUDI, M. *et al.* Effect of leaf elimination on the effectiveness of flag leaf photosynthesis and seed growth in bread wheat. **Iranian Journal of Agriculture Science**, [S.I.], p. 203-211, 2006.

KARAM, D. *et al.* Respostas de plantas de milho à simulação de danos mecânicos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [S.I.], v. 9, n. 2, p. 201-211, 2010.

KARAM, D. *et al.* **Antecipe**: Cultivo Intercalar Antecipado. Embrapa: Brasília, DF. 120 p., 2020.

KHAN, N. A., KHAN, M. **Changes in ethylene level associated with defoliation and its relationship with seed yield in rapeseed-mustard**. *Brassica*. p. 12-17, 2002.

KHAN, N. A. Changes in photosynthetic biomass accumulation, auxin and ethylene level following defoliation in *Brassica juncea*. **Journal of Food Agriculture and Environment**, [S.I.], v.1, p. 125-128, 2005.

KHAN, N. A., LONE, P. M. Effects of early and late season defoliation on photosynthesis, growth and yield of mustard (*Brassica juncea* L.). **Plant Physiol**, [S.I.], p. 181-186, 2005.

KHAN, M. *et al.* Effect of gibberellic acid spray on performance of tomato. **Turkish Journal of Biology**, [S.I.], v.30 p.11-16, 2006.

KHAN, N. A. *et al.* The source-sink relationship in mustard. **The Asian and Australasian Journal of Plant Science and Biotechnology**. [S.I.], p. 10-18, 2007.

KHATUN, S. *et al.* Copper toxicity in *Withania somnifera*: Growth and antioxidant enzyme responses of in vitro grown plants. **Environmental and Experimental Botany**, [S.I.], v. 64, p. 279-285. 2008.

LI, K.; LIU, Z.; GU, B. Compensatory growth of a submerged macrophyte (*Vallisneria spiralis*) in response to partial leaf removal: effects of sediment nutrient levels. **Aquatic Ecology**, [S.I.], p. 701–707, 2010.

LIMA, T. G. *et al.* Consequências da remoção do limbo foliar em diferentes estádios reprodutivos da cultura do milho em duas épocas de semeadura. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 563-570, 2010.

LIU, H. D. *et al.* Are clonal plants more tolerant to grazing than co-occurring non-clonal

plants in inland dunes. **Ecological research**, [S.I.], p. 502-506, 2007.

LONE, P. M., KHAN, N. A. The effects of rate and timing of N fertilizer on growth, photosynthesis, N accumulation and yield of mustard (*Brassica juncea*) subjected to defoliation. **Environmental and Experimental Botany**, [S.I.], p. 318-323, 2007.

LONG, S. P. *et al.*. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? – **Plant Cell Environ**, [S.I.], v. 29, p. 315-330, 2006.

LUCCHESI, A. A. **Fatores da produção vegetal: Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira de Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1987.

MACEDO, M. C. M. **Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas**. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 38, p. 133-146, 2009.

MACEDO, T. *et al.* Photosynthetic responses of wheat, *Triticum aestivum* L., to defoliation patterns on individual leaves. **Environmental entomology**, [S.I.], p. 36. 2007.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 76, p. 10, 2006.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. Fisiologia da produção. In: CRUZ, J. C. *et al.* (Ed.). **A cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, p. 63-87, 2008.

MANFRE, E. R. *et al.* Sistema de plantio direto na produção de milho: A importância das plantas de cobertura em lavouras. **Anais Sintagro [...]**. v. 11, n. 1, 2019.

MANFRON, P. A. *et al.* Modelo do índice de área foliar da cultura do milho. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, [S.I.], v. 11, p. 333-342, 2003.

MARCHÃO, R. L.; BRASIL, E. M.; XIMENES, P. A. Interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e rendimento de grãos do milho adensado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [S.I.], v. 5, p. 170-181, 2006.

MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; VIANA, P. A. Manejo integrado de pragas em lavouras Plantadas com milho geneticamente modificada com gene Bt (milho Bt). Sete Lagoas: **Embrapa milho e Sorgo**. 2009.

MIRANDA, R. A. Uma história de sucesso da civilização. **A Granja**, [S.I.], v. 74, n. 829, p. 24-27, 2018.

MILANI, E. A. C. Ozonização no controle da incidência de pragas em grãos armazenados. **Revisão**, [S.I.]. 2021.

MILLARD, P. *et al.* Interspecific defoliation responses of trees depends on sites of winter nitrogen storage. **Functional Ecology**, [S.I.], p. 535–543, 2001.

MORVAN BERTRAN, A. *et al.* **Roles of the fructans from leaf sheaths and from the elongating leaf bases in the regrowth following defoliation of *Lolium perenne* L.** [S.I.], p. 109-120, 2001.

NEIVERTH, J. **Remoção do limbo foliar em diferentes híbridos de milho (*Zea mays*) na fase reprodutiva**. 2021. 91 f. Mestrado em Agronomia, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Unicentro – PR, Guarapuava, 2021.

NI, H.; MOODY, K.; ROBLES, R. P. *Oryza sativa* plant traits conferring ability against weeds. **Weed Science**, [S.I.], v.48, p. 200-204, 2000.

OURRY, A.; BOUCAUD, J.; SALETTE, J. Nitrogen mobilization from stubble and roots during regrowth of defoliated Perennial Ryegrass. **Journal of Experimental Botany**, [S.I.], p. 803-809, 1988.

PAMMENTER, N. W.; ALLISON, J. C. S. Effects of treatments potentially influencing the supply of assimilate on its partitioning in sugarcane. **Journal of Experimental Botany**, [S.I.] p. 123-129, 2002.

PARSONS, A. J.; CHAPMAN, D. F. **The principles of pasture growth and utilization**. In: Grass: Its production and utilization. Ed. Hopkins, A. Blackwell Science Ltd., Oxford. p. 31-89. 2000.

PAUL, M. J.; FOYER, C. H. Sink regulation of photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, [S.I.], p. 1383-1400, 2001.

PEREIRA, M. J. R. *et al.*. Características morfoagronômicas do milho submetido a diferentes níveis de desfolha manual. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 2, p. 200-205, 2012.

PESENTI, I. L.; AYUB, R. A.; BOTELHO, R. V. Desfolhamento, aplicação de S-ABA e extratos vegetais na qualidade da cultivar Malbec de uva e vinho. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 41, n. 3, 2019.

PINKARD, E. A.; EYLES, A.; O'GRADY, A. P., Are gas exchange responses to resource limitation and defoliation linked to source:sink relationships? **Plant, Cell & Environment**, [S.I.], p. 1652-1665. 2011.

POWELL, R. L.; STILL, C. J. Biogeography of C3 and C4 vegetation in South America. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009. Natal. **Anais[...]**. Natal, 2009.

QUENTIN, A. G. *et al.* Effects of partial defoliation on closed canopy *Eucalyptus globulus* Labillardière: Growth, biomass allocation and carbohydrates. **Forest Ecology and Management**, [S.I.] p. 695-702, 2011.

RASPE, D. T.; RASPE, C. R. Inoculação e aplicação de diferentes doses de *Azospirillum brasilense* e sua influência no desenvolvimento da cultura do milho. **Revista Uningá Review** [S.I.], v. 36, 2021.

REZENDE, W. S. *et al.* Desenvolvimento e produtividade de grãos de milho submetido a níveis de desfolha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 50, n. 3, p. 203-209, 2015.

- ROITTO, M. *et al.* Induced accumulation of phenolics and sawfly performance in scots pine in response to previous defoliation. **Tree Physiol**, [S.I.], p. 207-216, 2008.
- RETUERTO, R.; FERNANDEZ, L. B.; OBESO, J. R. Changes in Photochemical Efficiency in Response to Herbivory and Experimental Defoliation in the Dioecious Tree *Ilex aquifolium*. **International Journal of Plant Sciences**, [S.I.], p. 279-289, 2006.
- ROLLAND, F., MOORE, B.; SHEEN, J. Sugar sensing and signaling in plants. **Plant Cell**, 2002.
- SANDOR, C. I.; DAVID, G.; TARAU, D. A influência de fertilizantes à base de nitrogênio e fósforo na produção de mostarda e milho em condições de solo e clima na planície baixa de Banat. **GeoConferência Científica Multidisciplinar Internacional: SGEM**, v. 18 n. 3-2, p. 583-593. 2018.
- SANGOI, L. *et al.* Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 271-276, 2001.
- SANGOI, L. *et al.* Acúmulo de matéria seca em híbridos de milho sob diferentes relações entre fonte e dreno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 3, p. 259- 267, 2002.
- SANGOI, L. *et al.* Perfilhamento, área foliar e produtividade do milho sob diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 46, p. 710-717, 2011.
- SANGOI, L. *et al.* Perfilhamento como característica mitigadora dos prejuízos ocasionados ao milho pela desfolha do colmo principal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, n. 11, p. 1605-1612, 2012.
- SANGOI, L.; VIEIRA, J.; SCHENATTO, D. E.; GIORDANI, W.; BONIATTI, C. M.; IGNA, L. D. ARRUDA, C. E. S.; ZANELLA, J. Tolerância à desfolha de genótipos de milho em diferentes estádios fenológicos. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 13, n. 3, p. 300-311, 2014.
- SILVA, P. S. L. Desfolha e supressão da frutificação em milho. **Revista Ceres**, [S.I.] v. 48, pag. 55-70, 2001.
- SILVA NETO, P. M. **Épocas de produção do substrato e níveis de irrigação na produção da cultura da abobrinha em ambiente protegido**. 54 f. Trabalho de conclusão de curso em Agronomia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.
- SILVA, W. J. C; DALCHIAVON, F. C. Induced defoliation and corn productivity performance. **Journal of Agricultural Science**, [S.I.], v. 12, n. 4, 2020.
- SILVA, T. R. G. *et al.* Fatores abióticos no crescimento e florescimento das plantas. **Research, Society and Development**, [S.I.] v. 10, n. 4, p., 2021.
- SOAVE, J.; WETZEL, M. M. V. **Patologia de sementes**. Campinas: Fundação Cargill, p. 480, 1987.

SUDACHKOVA, N. E., MILYUTINA, I. L., ROMANOVA, L. I. Efeito do desfolhamento no crescimento e metabolismo do pinheiro silvestre. **Contemporary Problems of Ecology**. v. 8, p. 21-27. 2015.

STIKER, G. G., INSAUSTI, P., GRIMOLDI, A. A. Floodings effects on plants recovering from defoliation in *Paspalum dilatatum* and *Lotus tenuis*. **Annals of Botany**, [S.I.], v. 102, n. 2, p. 247-254, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed., Artmed, 2013. 918 p.

TAYLOR, J. E.; WHITELA, C. A. Signals in abscission. **New Phytologist**, [S.I.], p. 323–329. 2001.

TINOCO, R. S. **Determinação do nível de dano econômico para *Opsiphanes invirae* Hubner, 1808 (*Lepdoptera: nyphalidae*) em palma de óleo**. Tese. Doutorado em Agronomia - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2016.

UHART, S. A.; ANDRADE, F. H. Nitrogen and carbon accumulation and remobilization during grain filling in maize under different source and sink ratios. **Crop Science**, [S.I.], v. 35, p. 183-190, 1995.

UTHAICHAY, N.; KETSA, S.; VAN DOORN, W. G. Pretreatment prevents bud and flower abscission in *Dendrobium* orchids. **Postharvest Biology and Technology**, [S.I.], p. 374–380. 2007.

WIRF, L. A. The effect of manual defoliation and *Macaria pallidata* (Geometridae) herbivory on *Mimosa pigra*: Implications for biological control. **Biological Control**, [S.I.], v.37, p.346-353, 2006.

YANG, Z., MIDMORE, D. J. Experimental assessment of the impact of defoliation on growth and production of water-stressed maize and cotton plants. **Experimental Agriculture**, [S.I.], p. 189-199, 2004.

YORDANOV, I. et al. Preservation of photosynthetic electron transport from senescence-induced inactivation in primary leaves after decapitation and defoliation of bean plants, **Journal of Plant Physiology**, [S.I.], v. 165, pág. 1954-1963, 2008.

ZIEMS, J. R. et al. Yield response of indeterminate potato (*Solanum tuberosum* L.) to simulated insect defoliation. **Agronomy journal**, v. 98, n. 6, p. 1435-1441. 2006.

ZHAO, W., CHEN, S. P., LIN, G. H. Compensatory growth responses to clipping defoliation in *Leymus chinensis* (Poaceae) under nutrient addition and water deficiency conditions. **Plant Ecology**. p: 85-99, 2008.

## **ARTIGO 1: COMO A DESFOLHA PRECOCE ATUA NAS CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS NAS PLANTAS DE MILHO?**

**<sup>1</sup>Janaína Piza Ferreira, <sup>1</sup>Thiago Corrêa de Souza\***

**1Institute of Nature Sciences - ICN, Federal University of Alfenas – UNIFAL-MG, 700, Gabriel Monteiro Street, P. O. Box 37130-001, Alfenas, MG, Brazil;  
thiago.souza@unifal-mg.edu.br, ORCID: 0000-0002-4991-7704 \*Corresponding author.**

### **RESUMO**

A hipótese desta pesquisa baseou-se na ação dos fitormônios, das biomoléculas e nas modificações morfológicas para recuperação das plantas pós estresse mecânico por desfolha. O objetivo deste estudo foi determinar as modificações morfofisiológicas e bioquímicas do milho em recuperação do estresse mecânico pela desfolha precoce. O experimento foi conduzido em vasos na casa de vegetação, com plantas de milho cultivar BRS 1055. As plantas foram submetidas a dois tratamentos no estágio V4: 1. Controle, em que plantas foram cultivadas normalmente (sem corte das folhas); e 2. Desfolha, em que as plantas foram desfolhadas através de corte mecânico, a 5 cm acima do solo. Foram avaliados os parâmetros biométricos, trocas gasosas, teor de pigmentos foliares e de biomoléculas, fitohormônios, anatomia foliar, morfologia radicular e estado nutricional aos sete e quatorze dias após a desfolha. Aos sete dias após o corte, plantas desfolhadas apresentaram maior teor de aminoácidos. Aos quatorze dias, plantas desfolhadas tiveram maior condutância estomática, carbono intercelular e transpiração, e menor concentração de açúcares redutores, aminoácidos e proteínas. Plantas desfolhadas apresentaram menor altura, diâmetro do caule e biomassa seca quando comparadas às plantas não cortadas. Os fitormônios giberelinas e ácido salicílico atuaram na recuperação das plantas que sofreram desfolha. A desfolha precoce do milho altera a biometria das plantas, mas há indícios de recuperação evidenciados pelo maior incremento na biomassa seca das plantas desfolhadas entre as duas épocas de avaliação. Esse maior incremento provavelmente seja decorrente da ação dos fitormônios (giberelinas e ácido salicílico), das biomoléculas (aminoácidos e açúcares redutores) e nas modificações morfológicas do sistema radicular para a retomada do crescimento da parte aérea. As plantas de milho provavelmente apresentam um padrão de alocação de reservas que permite o maior crescimento da parte aérea após a desfolha através das modificações fisiológicas, bioquímicas

e morfológicas.

**Palavras-chave:** Área foliar; Dano mecânico; Fotossíntese; Biomassa; *Zea mays* L.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das principais culturas cultivadas no mundo é o milho (*Zea mays* L.). Este cereal é matéria prima para uma série de produtos que são utilizados tanto para o consumo humano quanto, principalmente, para o consumo animal. O milho assume um grande papel socioeconômico, a nível mundial e para o Brasil, destacando-se em relação aos valores da produção agropecuária (SILVA *et al.*, 2020).

A produtividade do milho é influenciada por diversos fatores bióticos e abióticos, dentre eles, disponibilidade hídrica, nutrientes, temperatura, quantidade e conversão da radiação interceptada em fitomassa e da eficiência de partição de assimilados (FORSTHOFER *et al.*, 2006). A área foliar está diretamente ligada a quantidade de produtos fotossintetizados. E os fotoassimilados recebidos pelas raízes são oriundos principalmente das folhas basais, enquanto os órgãos e tecidos da parte apical são supridos pelas folhas superiores (FRIAS; SILVA; OLIVEIRA, 2020).

Tendo em vista o papel fundamental do desenvolvimento foliar para a produção das plantas de milho, a produção de algumas lavouras pode ser comprometida pela perda de área foliar, denominadas desfolhamento. Estas podem ser causadas por fatores bióticos (pragas e doenças) e abióticos (ventos, geadas, granizo, tráfego de máquinas agrícolas), gerando a redução da área foliar fotossinteticamente ativa, o que pode representar um sério dano à colheita, dependendo da fase em que houver a ocorrência (SILVA; DALCHIAVON, 2020).

A perda de área foliar na lavoura gera um comprometimento das atividades fisiológicas das fontes produtoras de carboidratos, alterando a velocidade da senescência foliar, tanto quanto o padrão de acúmulo de massa seca nos grãos, conseqüentemente, resultando em menores produtividades (BARBOSA *et al.*, 2019). Quando há perda de área foliar, a planta passa a fornecer menores taxas de fotoassimilados para reservas que seriam acumuladas no colmo das plantas (MAGALHÃES; DURÃES, 2006). Entretanto, a perda de área foliar causa alterações na alocação de carboidratos e nutrientes dentro da planta e a compensação do crescimento pode gerar uma maior produção de carboidratos por proporcionar maior taxa de fotossíntese ou mobilização de reservas de amido (COLLIN *et al.*, 2000; LIMA, 2021).

Após o desfolhamento, as plantas requerem mais assimilados para o crescimento, que é equilibrado pelo aumento da capacidade de assimilação foliar (LONE; KHAN, 2007). A desfolha causa alterações morfológicas e fisiológicas nas plantas que podem ser reguladas pelos hormônios vegetais (KHAN *et al.*, 2007). Com reserva

energética que tem nas raízes e colmo, a planta inicia o seu processo de recuperação, dando início a novos primórdios foliares (KHALILIAQDAM *et al.*, 2012). Apesar dos danos decorrentes da desfolha na lavoura, as plantas podem se recuperar do estresse de desfolha sem que gere danos que comprometam o seu desenvolvimento (KARAM *et al.*, 2020).

Há evidências de que dependendo do estágio em que ocorre a desfolha, não haverá prejuízos em relação a produtividade (SILVA; DALCHIAVON, 2020). Quando a desfolha acontece no início do desenvolvimento das plantas de milho (estádios V4- V5) não há prejuízo no crescimento das plantas, indicando que a mesma possui a capacidade de se recuperar até o final do ciclo, uma vez que o ponto de crescimento se encontra abaixo da superfície do solo (SILVA; DALCHIAVON, 2020).

Portanto o estágio fenológico que ocorre a desfolha deve ser levado em consideração (BRITZ, 1982), assim como a intensidade da desfolha determina a severidade do estresse. Quanto maior for o dano à área foliar, geralmente maiores são os prejuízos (LIMA *et al.*, 2010).

Quando são realizadas avaliações em aspectos fisiológicos, bioquímicos e morfológicos analisando o efeito que a desfolha pode gerar, os resultados podem auxiliar na compreensão de como as plantas reagem após o dano. São escassos os trabalhos em que são avaliadas as características fisiológicas em função da desfolha em V4. Neste sentido, estudos morfofisiológicos e bioquímicos poderão fornecer informações sobre prejuízos e respostas envolvidas nesse processo promovido pelo estresse físico da desfolha principalmente na recuperação da planta. Observa-se que na literatura há muitos trabalhos de desfolha relacionados a perdas na produtividade e seus efeitos na morfologia (área foliar, altura, número de folhas), em estádios mais avançados de desenvolvimento do milho, porém poucas abordagens fisiológicas são analisadas. Portanto, as variáveis fisiológicas podem auxiliar na compreensão dos mecanismos envolvidos no estresse físico da desfolha, principalmente na recuperação da planta.

As plantas podem apresentar diversas respostas bioquímicas e morfofisiológicas quando submetidas à desfolha nos estádios iniciais de desenvolvimento. A hipótese desta pesquisa é baseada nas premissas: i. as plantas desfolhadas modificam as respostas fisiológicas para rápido reestabelecimento; ii. os fitormônios tem ação na recuperação das plantas de milho sob desfolha; iii. a desfolha acarreta remobilização de biomoléculas para a parte aérea; v. o sistema radicular é modificado em função do menor crescimento, volume e da diminuição de atributos morfológicos. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi determinar as modificações morfofisiológicas e bioquímicas do milho submetido à desfolha

precoce e seus efeitos na recuperação do estresse mecânico provocado pelo dano.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAL VEGETAL, CONDIÇÕES DE CRESCIMENTO E DESFOLHA

O experimento foi conduzido durante os meses de novembro a dezembro de 2021, em casa de vegetação na Unidade Educacional Santa Clara da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), localizada na cidade de Alfenas, no estado de Minas Gerais, Brasil, altitude de 818 m, coordenadas geográficas 21° 25' 20" S 45° 59' 00" W.

Foram utilizadas plantas de milho do híbrido simples BRS 1055. O híbrido selecionado é de ciclo semiprecoce e indicado para áreas de médio investimento, principalmente para produção de silagem (GUIMARÃES *et al.*, 2009).

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), constando de dois tratamentos: Controle e Desfolha, com 30 repetições cada, totalizando 60 vasos em todo experimento.

As plantas foram cultivadas em vasos com capacidade de 20 litros. As temperaturas mínima e máxima registradas na casa de vegetação durante a condução do experimento foram de 17,8°C (mínima) e 31,1 °C (máxima). O solo utilizado é classificado como Latossolo distrófico típico (EMBRAPA, 2006), sendo os resultados da análise química na camada de 0-20 cm realizados antes da implantação do experimento apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Atributos químicos do solo na camada 0-20 cm utilizado para o experimento.

pH	P	K	Al	Ca	Mg	H <sup>+</sup> Al	SB	T	V	M	O.M.
Water	-----mg dm <sup>-3</sup> -----			-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					---%---		dag kg <sup>-1</sup>
5.9	5.5	35.1	0.0	2.3	0.6	1.7	3.0	4.7	64.1	0.0	1.8

Fonte: Autor (2021).

Legenda; Métodos de extração: pH: água; M.O.: S. Sulfurosa; P, K, Cu, Fe, Mn, Zn: Mehlich-I; Ca, Mg, Al: KCl; H+Al: Tampão SMP; B: Água Quente.

A partir dos resultados da análise de solo e identificação das necessidades nutricionais do milho de acordo com Alvarez e Ribeiro (1999), foram adicionados e homogeneizados ao solo 40 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, 120 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo e 40 kg ha<sup>-1</sup> potássio, correspondentes à adubação de semeadura. As fontes para a obtenção dos nutrientes foram superfosfato simples (18% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e uma formulação com NPK (20:5:20). Em cada vaso foram semeadas quatro sementes de milho e, após a emergência, foi realizado o desbaste, mantendo-se apenas duas plantas por vaso. Quando as plantas atingiram o estágio V3 (MAGALHÃES; DURÃES,

2006), foi realizada a adubação de cobertura, adicionando em cada vaso 120 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, 40 kg ha<sup>-1</sup> de potássio, 4 kg ha<sup>-1</sup> de boro e 4 kg ha<sup>-1</sup> de zinco. As fontes para obtenção dos nutrientes foram ureia (45% de N), NPK (20:5:20), ácido bórico (P.A.) e sulfato de zinco (P.A.). A irrigação diária foi realizada para manter o solo próximo a 80% da capacidade máxima de retenção de água durante todo o período experimental.

Quando as plantas atingiram o estágio V4 (quatro folhas desenvolvidas e com o colar visível), foram aplicados os tratamentos. A desfolha foi realizada de maneira aleatória com o auxílio de uma tesoura adotando como altura de corte 5 cm acima da superfície do solo, eliminando toda a parte aérea das plantas no tratamento Desfolha. No tratamento controle, as plantas foram cultivadas sem dano (Fotografia 1).

Fotografia 1 – Plantas antes da aplicação dos tratamentos (A), plantas após o tratamento desfolha (B), plantas do desfolha aos sete dias após o corte (C) e plantas do controle aos 14 dias após o corte (D).



Fonte: Autor (2021).

As avaliações biométricas foram realizadas aos 0, 7 e 14 dias após a desfolha, quando as plantas se encontravam respectivamente em estágio V4, V5 e V7. Foram analisadas: altura da planta (distância entre a superfície do solo e o final da última folha totalmente desenvolvida), diâmetro do caule (primeiro internódio a partir da superfície do solo) e matéria seca (determinada a 65 °C) da parte aérea e raízes.

As avaliações de morfologia, trocas gasosas, teor de pigmentos, biomoléculas, fitohormônios, morfologia radicular e anatomia foram realizadas aos 7 e 14 dias após a desfolha. As leituras foram realizadas no período da manhã, entre 8 e 11 horas, numa área

foliar de 6 cm<sup>2</sup> e o fluxo de ar na câmara de CO<sub>2</sub> com concentração de 380 mmol mol<sup>-1</sup>. Foi utilizada uma densidade de fluxo de fótons fotossintética (PPFD) de 1500 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, e a temperatura da câmara foi de 28 °C. Foram avaliadas a taxa fotossintética líquida (A), condutância estomática (gs), concentração intercelular de carbono (Ci) e transpiração (E). A partir dos valores de A e Ci foi obtida a eficiência instantânea de carboxilação (A/Ci, k), e a partir de A e E obteve-se a eficiência do uso da água (A/E, WUE). Foi utilizado o analisador de trocas gasosas por infravermelho (IRGA – LI 6400XT, LI-COR, Lincoln, NE, EUA).

Para determinação dos teores de clorofilas “a”, “b”, total e carotenoides foi utilizada a metodologia descrita em Linchtenthaller e Buschmann (2001).

A quantificação de açúcares redutores seguiu a metodologia de Miller (1959) e a dos açúcares solúveis totais e amido foi realizada conforme metodologia descrita por Yemm e Willis (1955). A quantificação de proteínas seguiu a método proposto por Bradford (1976) e a quantificação de aminoácidos foi realizada segundo Yemm e Cocking (1955).

Foram quantificados os fitohormônios ácido giberélico (GA3), giberelina (GA), auxinas (Ácido indolacético AIA; Ácido Indolbutírico, AIB), ácido salicílico (AS) e citocinina (Zeatina Ribosídeo Trans, zeatina). Para estas avaliações, em cada época de amostragem, as amostras foram colocadas em nitrogênio líquido (-80 °C) imediatamente após a coleta e mantidas durante o transporte da casa de vegetação para o laboratório. Após o preparo das amostras, o sobrenadante foi analisado por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência acoplado a um Espectrômetro de Massas (HPLC/MS), como descrito por Trapp *et al.* (2014).

Para a análise anatômica das folhas, foram feitos cortes transversais das folhas. Após o preparo, as lâminas foram montadas com glicerina 50% e vedadas com esmalte. Os resultados foram registrados pelo fotomicroscópio Axio Scope Al e as medições foram realizadas no software Image Tool Versão 3.0. As fotomicrografias foram utilizadas para as medições dos seguintes parâmetros para as folhas: espessura da epiderme abaxial (BET) e adaxial (DET), espessura do mesofilo (MPT), área do feixe vascular (VBA), diâmetro dos metaxilemas (DMV) e área do floema (PA). Para a realização dos cortes paradérmicos, foi espalhada uma fina camada de cola (Super Bonder®, Loctite, São Paulo – SP) sobre a superfície da folha. Após a secagem, foi retirada a película formada pela cola, a qual continha a impressão da superfície foliar. Este procedimento foi realizado nas faces adaxial e abaxial da folha e os parâmetros analisados na face adaxial foram: densidade estomática (SD), diâmetro polar (PD) e diâmetro equatorial (ED) dos estômatos e número de células epidérmicas (NE).

Nas raízes, foram analisados comprimento de raiz (cm), área superficial de raiz (cm<sup>2</sup>), diâmetro médio de raiz (mm), volume de raiz (cm<sup>3</sup>), área superficial e volume radiculares nas

diferentes classes de diâmetro (0,0-0,5; 0,5-1,0; 1,0-1,5; 1,5-2,0; 2,0-2,5; 2,5-3,0; 3,0-3,5; 3,5-4,0; 4,0-4,5 e >4,5). Para estas análises, foi utilizado o sistema de análise de imagens WinRhizo Pro 2007a (Regent Instruments, Sainte-Foy, QC, Canadá) acoplado a um scanner profissional (Epson, Expression 10000 XL, Epson America, Inc., USA) equipado com unidade de luz adicional (TPU). Os procedimentos para a obtenção das imagens foram feitos de acordo com Souza *et al.* (2012). Além destas avaliações, foram determinados também a relação entre massa seca radicular e massa seca parte aérea (RDW/SDW g g<sup>-1</sup>), comprimento específico de raiz (SRL cm g<sup>-1</sup>), finura de raiz (RF cm cm<sup>3</sup>) e densidade de tecido de raiz (RMDe g cm<sup>3</sup>).

A determinação de nutrientes foi realizada de acordo com os procedimentos padrões do laboratório de análises foliares, segundo as recomendações de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). A coleta de folhas em cada tratamento foi realizada aos 14 dias após a desfolha. No tratamento desfolha, para cada época de avaliação, foram amostradas a primeira folha totalmente expandida após o estresse mecânico, que correspondia a folha V6. A mesma folha correspondente (V6) foi utilizada para as avaliações no tratamento controle. Foram analisados os teores de de nitrogênio (N), Fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), enxofre (S) e boro (B), sendo os valores determinados em g de nutriente por kg de matéria seca da folha.

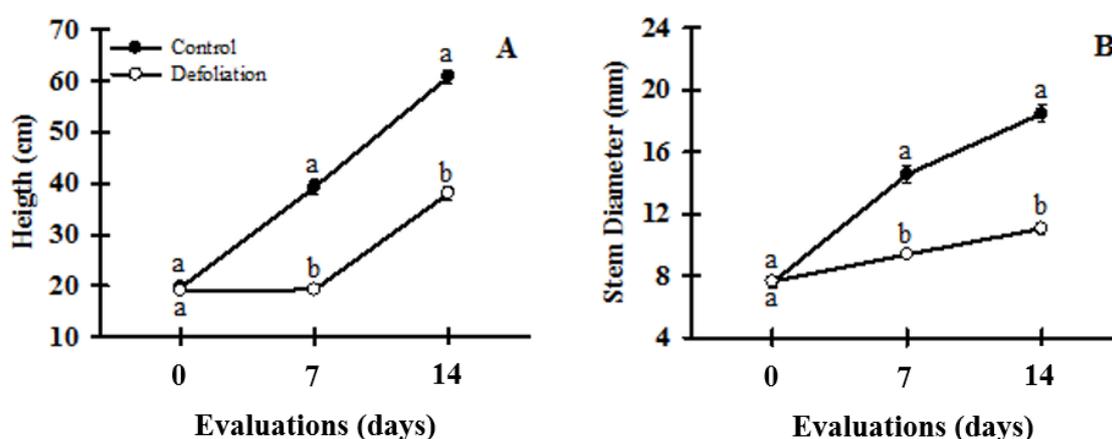
## 2.2 ANÁLISES DOS DADOS

Para todos os parâmetros analisados foram calculados as médias e o erro padrão da média das repetições. Para análise estatística dos resultados, foi utilizada a análise de variância (ANAVA) e o teste de comparação de médias Tukey a nível de 5% de probabilidade, com o emprego do programa Sisvar versão 4.3 (Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil).

### 3 RESULTADOS

Até o estágio V4 (dia do corte), todas as plantas apresentaram altura e diâmetro de caule semelhantes e padronizados. Após a imposição dos tratamentos, as plantas desfolhadas apresentaram menor altura e diâmetro do caule quando comparado ao controle para sete e quatorze dias após a desfolha (Gráfico 1A, B).

Gráfico 1 – Altura (A) e Diâmetro (B) das plantas de milho nos tratamentos controle e desfolha aos 0, 7 e 14 dias após a desfolha.

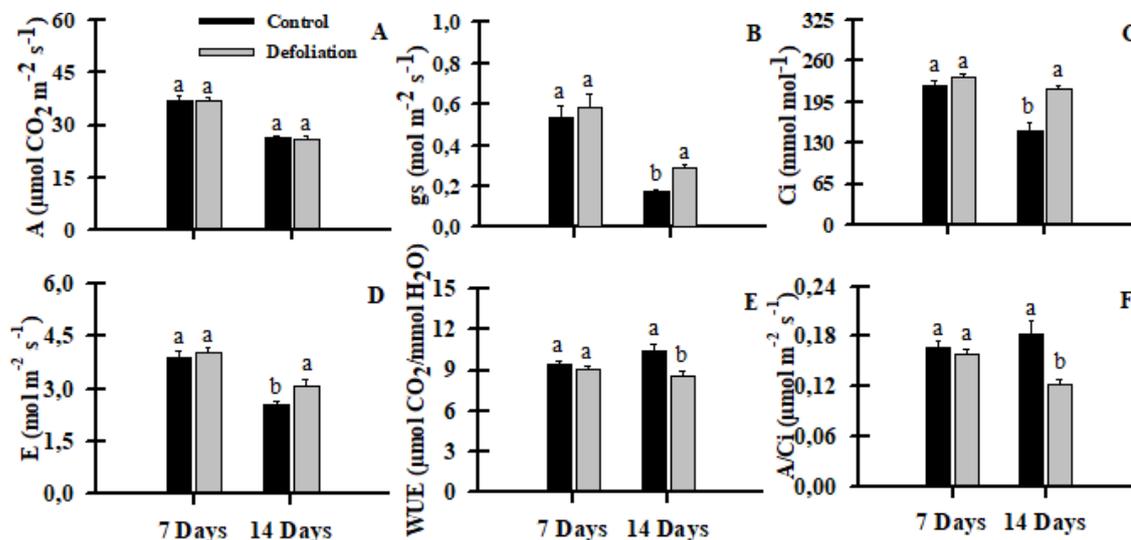


Fonte: Autor (2021).

Legenda: Médias seguidas pela mesma letra, para os tratamentos em cada estágio vegetativo, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Cada valor indica a média do tratamento  $\pm$  erro padrão da média (n =15).

O estresse mecânico de desfolha não gerou diferenças significativas em relação às trocas gasosas foliares aos sete dias após a desfolha quando comparado ao controle (Gráfico 2 A - F). Aos quatorze dias após a desfolha, houveram alterações em gs, Ci e E, os quais foram significativamente superiores quando comparados às plantas não cortadas (Gráfico 2 B - D). Porém, WUE e A/Ci foram inferiores quando houve a desfolha (Gráfico 2E, 2F). Já para A, não houve diferença significativa entre os tratamentos (Gráfico 2A).

Gráfico 2 – Fotossíntese (A, A), Condutância estômática (gs, B), Concentração intercelular de carbono (Ci, C), Transpiração (E, D), Eficiência no uso da água (WUE, E) e Eficiência instantânea de carboxilação (k, F) das plantas de milho nos tratamentos controle e desfolha aos sete e quatorze dias após a submissão do tratamento.

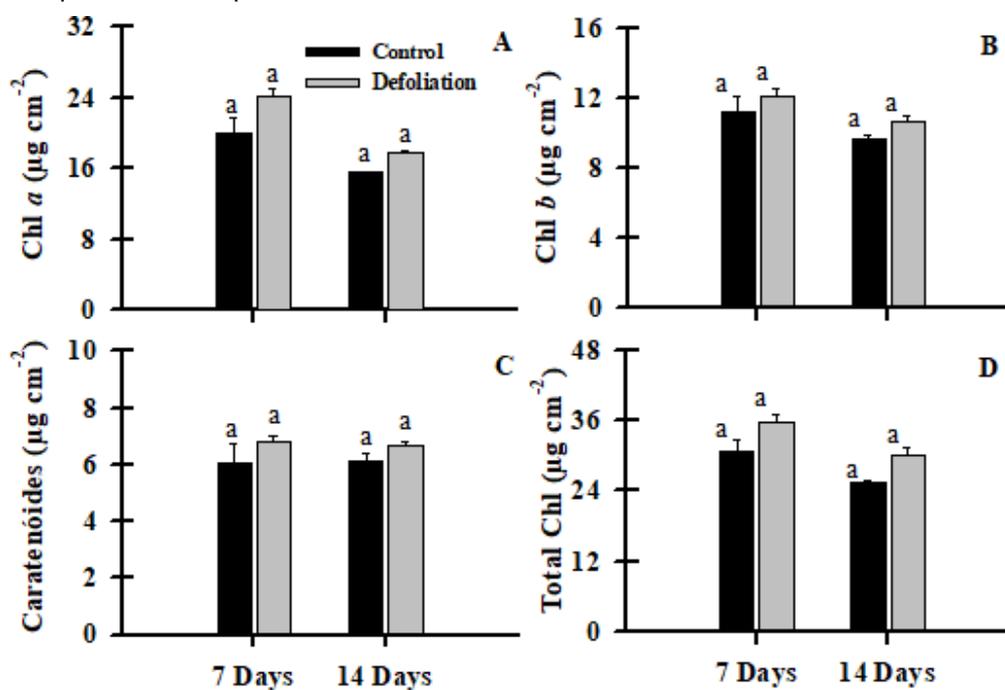


Fonte: Autor (2021).

Legenda: Médias seguidas pela mesma letra, para os tratamentos, para cada estágio vegetativo, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Cada valor indica a média do tratamento  $\pm$  erro padrão da média (n=10 aos sete dias e n=8 aos quatorze dias após a desfolha).

Para o teor de clorofila a, b, carotenoides e clorofila total não houve diferença significativa entre os tratamentos aos sete dias e quatorze dias após a desfolha (Gráfico 3 A – D).

Gráfico 3 – Teor de clorofila a (Chl a, A), teor de clorofila b (Chl b, B), Carotenoides (C), Clorofila total (Total Chl, D) das plantas de milho nos tratamentos controle e desfolha aos sete e quatorze dias após a submissão do tratamento.



Fonte: Autor (2021).

Legenda: Médias seguidas pela mesma letra, para os tratamentos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Cada valor indica a média do tratamento  $\pm$  erro padrão da média (n=8).

Para teor de biomoléculas, aos sete dias após a desfolha, não houve diferenças significativas entre os tratamentos para amido (starch), açúcares solúveis totais (TSS), açúcares redutores (RS) e proteína (PTN). Em contrapartida, o teor de aminoácidos (AA) foi maior nas plantas desfolhadas do que no controle, porém, houve maior concentração nas plantas não cortadas aos 14 dias após o corte nas plantas (Tabela 2). Aos quatorze dias após a desfolha, os teores de RS, AA e PTN foram maiores nas plantas controle do que nas desfolhadas (Tabela 2). Por outro lado, amido e TSS não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 2).

Tabela 2 – Teores médios de Amido (Starch), açúcares solúveis totais (TSS), açúcares redutores (RS), teor de aminoácidos (AA) e proteína (PTN) em folhas de milho aos sete e quatorze dias após a desfolha.

<b>Treatments</b>	<b>Starch</b>	<b>TSS</b>	<b>RS</b>	<b>AA</b>	<b>PTN</b>
<b>7 days</b>					
Control	0.8 ± 0,1 a	3.4 ± 0,2 a	18.1 ± 7,1 a	115.8 ± 6,1 b	30.5 ± 0,2 a
Defoliation	1.1 ± 0,4 a	3.3 ± 1,4 a	17.8 ± 6,6 a	137.5 ± 3,4 a	26.18 ± 1,9 a
CV (%)	22.44	9.09	28.53	4.79	10.57
<b>14 days</b>					
Controle	1.5 ± 2,4 a	2.4 ± 5,4 a	44.1 ± 2,2 a	89.5 ± 6,1 a	21.1 ± 2,4 a
Desfolha	0.9 ± 3,6 a	2.1 ± 3,3 a	23.9 ± 6,4 b	56.8 ± 4,5 b	17.1 ± 1,3 b
CV (%)	20.95	11.11	7.94	15.27	12.04

Fonte: Autor (2021).

Legenda: \* Médias seguidas da mesma letra, na coluna, para cada fonte de variação não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação. Cada valor indica a média do tratamento ± erro padrão da média (n = 6).

Aos sete dias após a desfolha ácido giberélico (GA3), ácido indolacético (AIA) e trans zeatina ribosídeo (zeatina) não diferiram entre os tratamentos (Tabela 3). Para giberelina (GA), nesta época de avaliação, houve valor superior nas plantas cortadas e menores valores para ácido indolbutírico (AIB) plantas cortadas. Na avaliação realizada 14 dias após o corte, somente os teores de AIA, AIB e zeatina foram observados valores inferiores para as plantas do tratamento desfolha e superiores para AS e GA (Tabela 3).

Constatou-se que as épocas de avaliação não influenciaram as variáveis espessura da epiderme abaxial (BET), espessura da epiderme adaxial (DET), espessura do mesofilo (MPT), área do feixe vascular (VBA), diâmetro dos vasos do metaxilema (DMV) e área do floema (PA) (Gráfico 2 e Tabela 4).

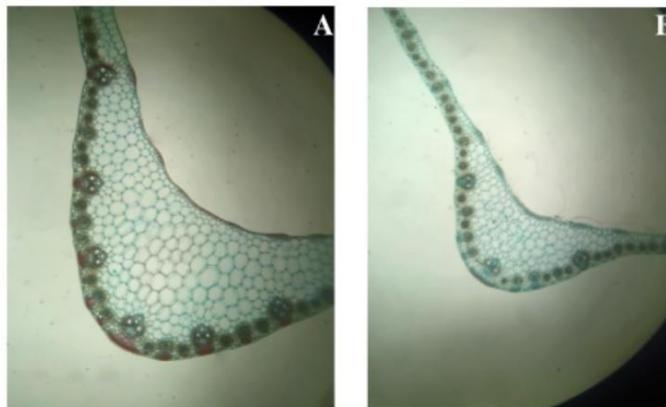
Tabela 3 – Ácido giberélico (GA3), ácido indolacético (AIA), ácido indolbutírico (AIB), ácido salicílico (AS), trans zeatina ribosídeo (zeatina) e giberelina (GA) em folhas de milho aos sete e quatorze dias após a desfolha.

Treatments	GA3	GA	AIA	AIB	AS	Zeatina
-----mg kg <sup>-1</sup> -----						
<b>7 days</b>						
Control	0,01 ± 0,004 a	0,96 ± 0,4 b	0,06 ± 0,01 a	0,06 ± 0,01 a	0,01 ± 0,0 b	0,002 ± 0,0 a
Defoliation	0,01 ± 0,01 a	1,72 ± 0,21 a	0,07 ± 0,01 a	0,03 ± 0,01 b	0,01 ± 0,01 a	0,002 ± 0,001 a
CV (%)	24,7	11,7	32,8	14,6	12,9	18,2
<b>14 days</b>						
Controle	0,01 ± 0,002 a	0,65 ± 0,22 b	0,04 ± 0,004 a	0,06 ± 0,003 a	0,004 ± 0,002 b	0,001 ± 0,001 a
Desfolha	0,01 ± 0,01 a	1,01 ± 0,05 a	0,02 ± 0,002 b	0,05 ± 0,007 b	0,005 ± 0,001 a	0,000 ± 0,00 b
CV (%)	29,6	7,7	16,9	12,5	12,2	28,4

Fonte: Autor (2021).

Legenda: \* Médias seguidas da mesma letra, na coluna, para cada fonte de variação não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação. Cada valor indica a média do tratamento ± erro padrão da média (n = 5).

Fotografia 2 – Secções anatómicas transversais das plantas de milho na objetiva de 10X. Tratamento controle (A) e tratamento desfolha (B) aos quatorze dias após a submissão do estresse mecânico.



Fonte: Autor (2021).

Tabela 4 – Espessura da epiderme abaxial (BET), espessura da epiderme adaxial (DET), espessura do mesofilo (MPT), área do feixe vascular (VBA), diâmetro dos vasos do metaxilema (DMV) e área do floema (PA) de plantas de milho aos sete e quatorze dias após a desfolha.

<b>Treatments</b>	<b>BET</b>	<b>DET</b>	<b>MPT</b>	<b>VBA</b>	<b>DMV</b>	<b>PA</b>
<b>7 days</b>						
Control	3,02 ± 1,4 a	2,94 ± 0,9 a	19,93 ± 4,7 a	24871,1 ± 29,8 a	49,8 ± 3,4 a	5019,9 ± 80,6 a
Defoliation	1,91 ± 0,4 b	1,99 ± 0,7 b	17,43 ± 3,6 b	20189,5 ± 32,4 b	36,1 ± 7,2 b	3176,7 ± 61,1 b
CV (%)	1,02	7,91	1,91	3,59	7,22	7,97
<b>14 days</b>						
Controle	3,9 ± 0,2 a	4,1 ± 1,1 a	59,27 ± 15,6 a	43882,4 ± 46,20 a	60,25 ± 8,4 a	8620,8 ± 81,7 a
Desfolha	2,8 ± 0,9 b	2,9 ± 0,6 b	43,31 ± 11,6 b	26072,8 ± 55,8 b	35,90 ± 3,2 b	4712,5 ± 54,9 b
CV (%)	7,21	12,01	13,45	4,23	3,55	5,40

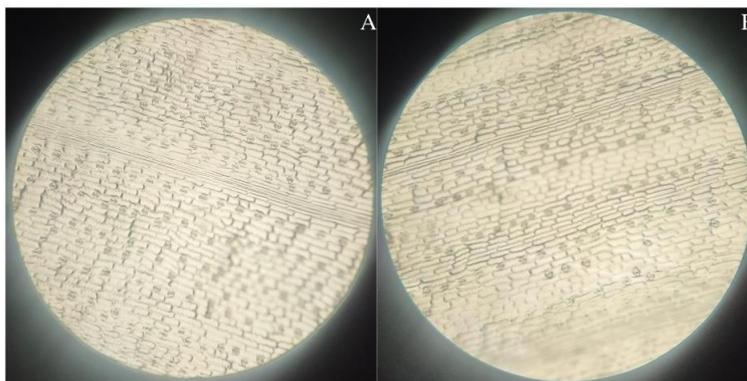
Fonte: Autor (2021).

Legenda: \* Médias seguidas da mesma letra, na coluna, para cada fonte de variação não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

CV: coeficiente de variação. Cada valor indica a média do tratamento ± erro padrão da média (n = 5).

Nas plantas submetidas ao corte mecânico verificou-se valores inferiores para as variáveis densidade estomática (SD), diâmetro polar (PD), diâmetro equatorial (ED) e número de células epidérmicas (NE), tanto aos sete quanto aos quatorze dias após a desfolha (Fotografia 3 e Tabela 5).

Fotografia 3 – Secções paradérmicas das plantas de milho na objetiva de 10X. Tratamento controle (A) e tratamento desfolha (B) aos quatorze dias após a submissão do estresse mecânico.



Fonte: Autor (2021).

Tabela 5 – Análises anatômicas de cortes foliares paradérmicos da face adaxial das folhas de plantas de milho controle e desfolhadas aos sete e quatorze dias após a desfolha. Densidade estômática (SD), diâmetro polar (PD), diâmetro equatorial (ED) e número de células epidérmicas (NE).

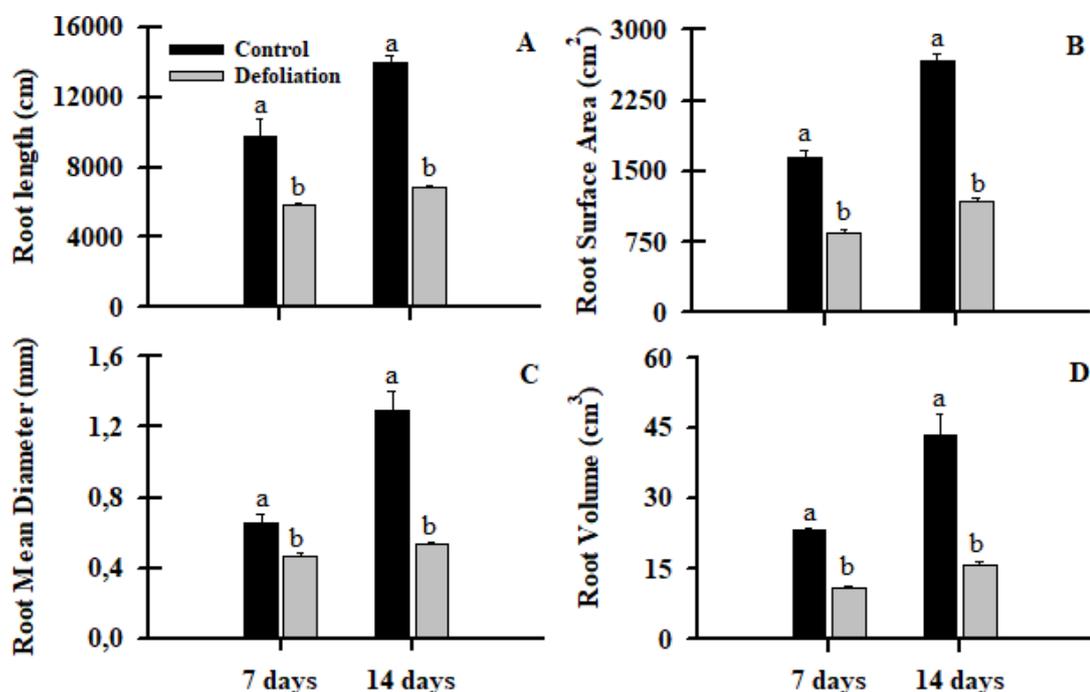
<b>Treatments</b>	<b>SD</b>	<b>PD</b>	<b>ED</b>	<b>NE</b>
<b>7 Days</b>				
Control	175 ± 21 a	20,99 ± 9,8 a	26,89 ± 7,4 a	276 ± 24 a
Defoliation	152 ± 14 b	15,49 ± 6,3 b	20,04 ± 2,4 b	254 ± 19 b
CV (%)	4,09	9,45	2,24	3,67
<b>14 Days</b>				
Controle	182 ± 12 a	22,43 ± 3,4 a	29,34 ± 4,7 a	294 ± 26 a
Desfolha	163 ± 19 b	18,31 ± 1,5 b	23,99 ± 6,2 b	264 ± 17 b
CV (%)	6,41	2,08	1,47	3,28

Fonte: Autor (2021).

Legenda: \* Médias seguidas da mesma letra, na coluna, para cada fonte de variação não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação. Cada valor indica a média do tratamento ± erro padrão da média (n = 5).

Na avaliação da morfologia da raiz (comprimento, área superficial, diâmetro médio e volume radicular) (Gráfico 4) e o comprimento, área superficial e volume radicular por classes de diâmetro de raízes (Gráfico 5), constatou-se que as plantas submetidas ao corte apresentaram menores valores nas duas épocas de avaliação. (Gráfico 4).

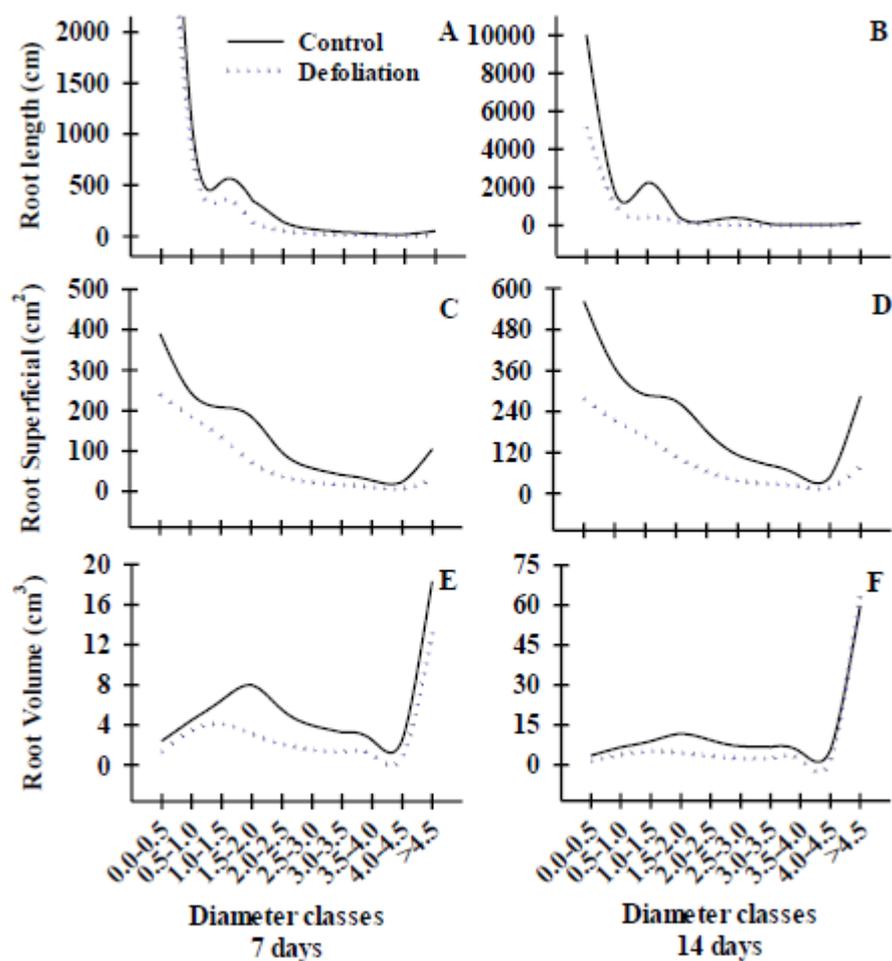
Gráfico 4 – Comprimento do sistema radicular (A), área superficial (B), diâmetro médio (C) e volume da raiz (D) do tratamento controle e desfolha das plantas de milho aos sete e quatorze dias após a submissão do tratamento.



Fonte: Autor (2021).

Legenda: Médias seguidas pela mesma letra, para os tratamentos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Cada valor indica a média do tratamento  $\pm$  erro padrão da média (n=6).

Gráfico 5 – Comprimento (Root length), área superficial (Root superficial), e volume (Root volume) do sistema radicular nas diferentes classes de diâmetro das plantas de milho aos sete (A - C) e aos 14 (D - F) dias, respectivamente, após a desfolha.



Fonte: Autor (2021).

Na diagnose foliar realizada aos quatorze dias após a desfolha apenas o cobre expressou valor superior no tratamento desfolha, enquanto os demais elementos não demonstraram diferenças significativas (Tabela 6).

Tabela 6 – Concentração de macro e micronutrientes em folhas de milho controle e desfolhadas aos quatorze dias após a desfolha.

Treatments	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Control	26,7 ± 1,5 a	2,9 ± 0,5 a	22 ± 6,4 a	7,4 ± 2,5 a	2,9 ± 1,3 a	1,2 ± 0,4 a	17 ± 2,5 a	9,5 ± 1,2 b	98,7 ± 6,5 a	46,7 ± 1,3 a	6,5 ± 1,4 a
Defoliation	29,9 ± 3,7 a	3,4 ± 0,2 a	27,4 ± 1 a	9,8 ± 1,1 a	4,5 ± 0,3 a	1,1 ± 0,1 a	20,6 ± 4 a	30,2 ± 5,8 a	79,7 ± 5,2 a	48,7 ± 4,1 a	5,6 ± 0,3 a
CV (%)	10,0	12,31	18,1	12,5	25,4	9,9	19,3	21,3	17,7	11,4	16,1

Fonte: Autor (2021).

Legenda: \*Médias seguidas da mesma letra, na coluna, para cada fonte de variação não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

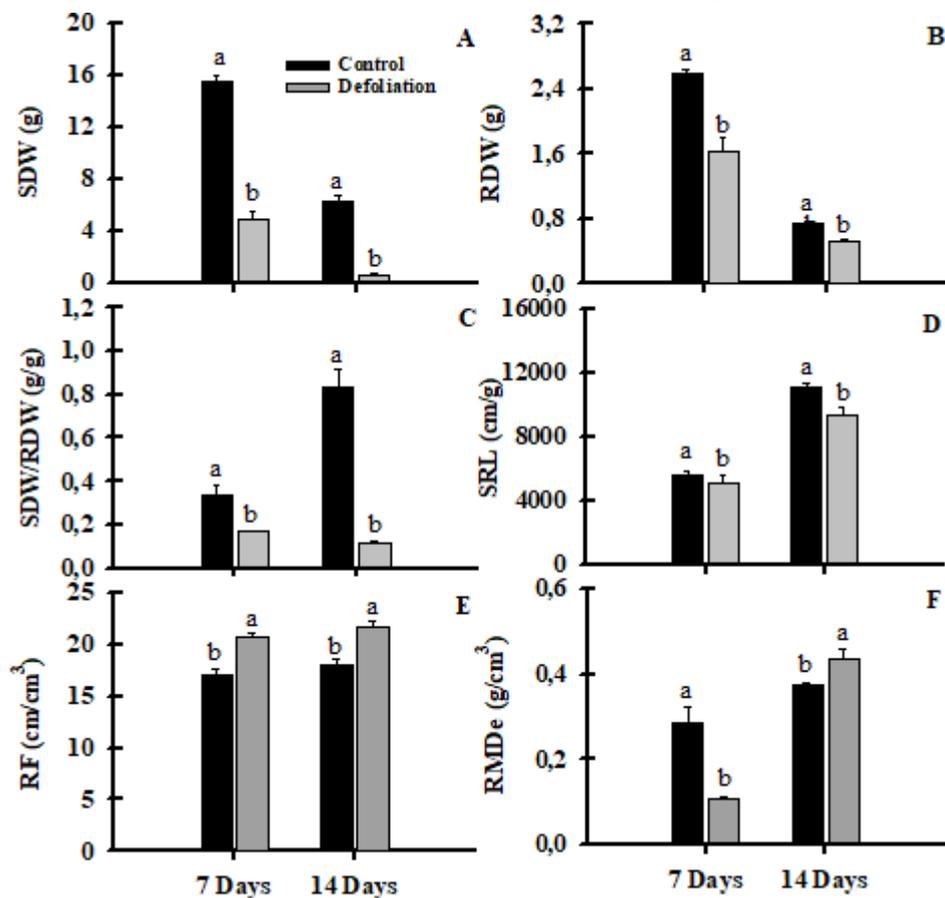
CV: coeficiente de variação. Cada valor indica a média do tratamento ± erro padrão da média (n = 6).

Para a massa seca da parte aérea (SDW), massa seca radicular (RDW), relação entre RDW/SDW e o comprimento específico de raiz (SRL) foram observados valores inferiores nas plantas do tratamento desfolha tanto aos sete quanto aos quatorze dias após a imposição dos tratamentos (Gráfico 6A, B, C, D). No entanto, comparando-se a porcentagem de crescimento dessas plantas ao longo dos dias, verificou-se que as plantas não cortadas apresentaram 210% e 44%, respectivamente, de incremento na biomassa seca de parte aérea e de raízes nos dois períodos avaliados. Já, as plantas sob desfolha apresentaram um incremento de 876% e 40%, respectivamente, na biomassa seca de parte aérea e de raízes.

A finura de raiz (RF) apresentou valores inferiores no tratamento controle em comparação as plantas do tratamento desfolha (Gráfico 6E).

Para densidade de tecido de raiz (RMDe) aos sete dias após a desfolha as plantas do tratamento controle expressaram valores superiores, entretanto, aos quatorze dias ocorreu o inverso (Gráfico 6F).

Gráfico 6 – Atributos de massa seca e morfologia das plantas de milho com e sem desfolha. Massa seca da parte aérea (SDW) (A); massa seca raiz (RDW) (B); relação entre massa seca radicular e massa seca parte aérea (RDW/SDW) (C); comprimento específico da raiz (SRL) (D); finura de raiz (RF) (E); densidade de tecido da raiz (RMDe) (F), aos sete e quatorze dias após a desfolha.



Fonte: Autor (2021).

Legenda: Médias seguidas pela mesma letra, para os tratamentos, não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade (n = 3).

## 4 DISCUSSÃO

As plantas de milho apresentaram respostas de recuperação até os quatorze dias após o estresse de desfolha. A área foliar está estreitamente ligada aos processos fisiológicos vitais da planta, tais como trocas gasosas e respiração (MONDO *et al.*, 2009). Assim, alterações neste órgão das plantas podem comprometer o crescimento vegetal. Quando ocorre a desfolha, a resposta da planta é geralmente relacionada com a maior alocação de reservas para o crescimento da parte aérea, diminuindo o crescimento do sistema radicular (JUCÁ, 2019). Todavia, a alteração no padrão de alocação de recursos tende a ser afim de promover o reestabelecimento da planta, onde o aumento do crescimento dos tecidos aéreos compensará de forma total ou parcial a perda de equilíbrio na alocação dos recursos energéticos (HOPPEN, 2021).

As plantas de milho tiveram a remoção das folhas e manutenção de uma área foliar mínima, acarretando redução de suas medidas biométricas. A intensidade da desfolha interfere nos danos à estrutura da planta, de modo que a remoção da área foliar total reduz o crescimento vegetativo da planta (REZENDE *et al.*, 2015). Além disso, a diminuição nas variáveis altura, diâmetro e até mesmo morfologia radicular e biomassa ocorreu pelo fato de que quando se tem a diminuição da área foliar, diminui também a disponibilidade de fotoassimilados a serem distribuídos para os drenos.

Apesar da redução em suas medidas biométricas em relação ao controle, as plantas desfolhadas apresentaram maior porcentagem de crescimento entre 7 e 14 dias após a desfolha. A expressão de 876% de incremento de massa seca da parte aérea nas plantas do tratamento desfolha em comparação ao controle aos quatorze dias após a submissão dos tratamentos pode ser compreendido pela ação dos fitohormônios, como a giberelina. As giberelinas são produzidas nas raízes e em folhas jovens, tendo participação no alongamento celular e desenvolvimento de primórdios foliares (TAIZ; ZEIGER, 2013; PEREIRA; SIMONETTI, 2021). Além disso, nas plantas cortadas, o ácido salicílico pode ter atuado na recuperação deste estresse e tem ação no metabolismo secundário das plantas (PEREIRA, 2020), uma vez que os valores encontrados nas plantas cortadas foi significativamente superior nas duas épocas avaliadas.

As plantas em busca de promover o crescimento compensatório após a desfolha, realocam os assimilados do sistema radicular para a parte aérea (QUENTIN *et al.*, 2011). Assim, ao analisar os resultados das biomoléculas foi observado diferenças significativas, provavelmente, por conta desta realocação dos recursos da raiz para a parte aérea visando à

compensação dos tecidos após a desfolha (LIU *et al.*, 2007). Quando ocorre este processo, há um gasto energético muito elevado para que a planta possa rebrotar e restabelecer suas folhas. A planta, após sofrer a desfolha, apresenta desequilíbrio em relação ao desenvolvimento e alocação de reservas de carbono, onde o seu crescimento radicular é reduzido, enquanto a regeneração da parte aérea é mantida pelo aumento na alocação de reservas da raiz para o caule (BARBOSA *et al.*, 2019).

Aos sete dias após a desfolha, o maior teor de aminoácidos em plantas desfolhadas, pode estar relacionado com a capacidade do milho de aproveitar a disponibilidade de nitrogênio para a formação dos novos primórdios foliares. Este fato é evidenciado pela ausência de resposta entre os tratamentos para este nutriente. Assim, a alocação de carbono das raízes, juntamente com a disponibilidade de aminoácidos livres, corrobora para a síntese de novas moléculas visando a manutenção e o crescimento das novas folhas. Esse equilíbrio entre os metabolismos do carbono e do nitrogênio é fundamental para a homeostase das plantas e síntese de novas estruturas e outros compostos fundamentais.

Após quatorze dias da desfolha, houve uma diminuição de açúcares redutores e aminoácidos nas plantas cortadas, o que pode estar relacionado com a elevada utilização dessas moléculas pelo metabolismo celular visando a reconstituição dos tecidos foliares, conseqüentemente, requer elevados gastos energéticos.

As plantas de milho que foram desfolhadas no estágio de desenvolvimento V4, apresentaram potencial de recuperação do crescimento até o estágio V7. O metabolismo de carboidratos, não houve alterações entre os tratamentos aos sete dias após a desfolha. No entanto, esse fato pode estar relacionado à ocorrência precoce de alteração no metabolismo logo nas primeiras horas após a desfolha visando a rápida recuperação da parte aérea das plantas. Em contrapartida, após o estabelecimento das folhas aos quatorze dias é evidente o alto consumo de açúcares redutores nas folhas, mostrando a elevada atividade metabólica. Também é necessário considerar que parte dos carboidratos realocados das raízes podem ter sido utilizados rapidamente para o fornecimento de energia ou esqueletos de carbono para a síntese de compostos de defesa visando a proteção ao aparato fotossintético contra o excesso de radiação e de temperatura (BATISTA, 2015).

Com a desfolha, tem-se uma redução do desenvolvimento do sistema radicular, ocasionado pela realocação de assimilados e de compostos nitrogenados para a parte aérea em reconstrução. Após o estabelecimento das folhas, que reassumem seu papel de órgãos-fonte, ocorre a reconstituição do metabolismo em busca de estabilização de todos os mecanismos das plantas (IQBAL; MASOOD; NA KHAN, 2012). Isso pode estar relacionado aos maiores

teores de aminoácidos nas folhas aos sete dias, seguido de um decréscimo aos quatorze dias após a desfolha. Inicialmente, todos os recursos foram sendo direcionados para a parte aérea visando o restabelecimento das folhas. À medida em que o metabolismo foliar foi potencializado ocorreu o rápido consumo de aminoácidos e açúcares redutores, sendo esses últimos muito relacionados com o fornecimento de energia para os processos celulares.

A potencialização do metabolismo das plantas desfolhas nesse estudo pode ser observada pela maior porcentagem de crescimento da parte aérea nas plantas cortadas (876%) em relação às plantas controle (210%) em um intervalo de sete dias. As plantas com mecanismo C4 possuem a capacidade de acumular maiores teores de carboidratos em seus tecidos, o que pode ser utilizado para a regeneração após o estresse de desfolha (LONG et al., 2006). Além disso, a boa recuperação das Poáceas após o estresse por desfolha se deve à existência da zona meristemática foliar abaixo do nível do solo até o estágio vegetativo V6, o que garante pronta recuperação (LESTEINNE; THORNTON; GASTAL, 2006). Tendo em vista que houve resposta dos fitormônios, o que colaborou para que as plantas voltassem a se desenvolver em busca de recuperação, mesmo apresentaram menores valores de altura de plantas e diâmetro de caule. O cultivo das plantas sob condições ideais colabora para esta recuperação após este estresse mecânico (KARAM *et al.*, 2020).

Neste estudo, o único estresse ao qual as plantas de milho foram submetidas foi o de desfolha, portanto, uma boa irrigação e condições ideais de nutrição podem ter colaborado para a boa recuperação das plantas, as quais expressaram bons resultados quanto às trocas gasosas, clorofilas e teor de nutrientes até os quatorze dias após a desfolha. Não foram observados sintomas de deficiências nutricionais nas plantas e, à exceção do Zn, todos os nutrientes se encontravam em concentrações compatíveis com o determinado para a cultura (RIBEIRO, GUIMARÃES, ALVAREZ, 1999). Isso demonstra que o fornecimento de nutrientes não limitou o desempenho das plantas, sugerindo que as reações enzimáticas, trocas iônicas e demais processos metabólicos funcionassem corretamente. A maioria dos micronutrientes estão relacionados com a atividade de diferentes enzimas e os macronutrientes são de extrema importância para a formação de novas células e expansão foliar (KIRKBY; ROMHELD, 2007). Por exemplo, o nitrogênio é um dos elementos essenciais às plantas, o qual está estreitamente relacionado com o desenvolvimento de novos primórdios foliares (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), assim como está diretamente relacionado com os teores de clorofila nas folhas.

As plantas de milho apresentaram mesma taxa fotossintética tanto para controle como para a desfolha. Entretanto, a condutância estomática, carbono interno e transpiração

foram significativamente maiores nas plantas cortadas aos quatorze dias após a desfolha. Com a redução da área foliar pode ter a ocorrência de estresses por excesso de radiação ou temperatura (BERGAMASCHI; MATZENAUER, 2014). Pode-se observar pelos resultados que as plantas de milho nos dois tratamentos mantiveram condutância estomática semelhante, o que pode ter sido uma alternativa que as plantas encontraram para que pudessem controlar a temperatura foliar. Assim, alta taxa de transpiração ocasionou menor eficiência do uso da água, pelo fato de que nas condições em que as plantas se encontravam, seu objetivo era de resfriar e não de economizar água, uma vez que não havia restrição hídrica.

As plantas quando submetidas ao estresse mecânico de desfolha, apesar de terem sofrido a diminuição de área foliar, apresentaram boa recuperação fisiológica, uma vez que as trocas gasosas, teor de pigmentos e nutrientes não foram afetados quando comparados às plantas controle. Todas essas características permitiram a maior taxa de crescimento das plantas desfolhadas. De acordo com Khaliliaqdam *et al.* (2012), assim que a planta continua o seu desenvolvimento, dando início a novos primórdios foliares, a recuperação da mesma é notável. Isto é possível devido a reserva energética que ocorre nas raízes e colmo.

A desfolha acarretou diminuição na anatomia foliar. Isto pode ser justificado como estratégia da planta para reduzir o gasto energético. Ou seja, embora seja possível a realocação dos recursos das raízes para a parte aérea, é provável que as plantas reduziram o tamanho dos tecidos. Nesta fase de pós estresse, os recursos foram investidos em produção de mais primórdios foliares, porém em folhas menores. Esta ação também pode estar relacionada com a ação dos fitormônios, como uma resposta inicial ao estresse. Além disso, é provável que em estágios posteriores as plantas de milho reestabeleçam o crescimento dos tecidos igual as plantas sem a desfolha.

Ao analisar o elevado crescimento da parte aérea em detrimento do crescimento das raízes, é possível inferir na realocação de reservas. Ou seja, em relação ao comprimento, área superficial, diâmetro e volume do sistema radicular, foram observados valores inferiores nas plantas que foram submetidas ao estresse de desfolha. Entretanto, a curva de crescimento das plantas com desfolha e das controle são semelhantes. O desfolhamento acarretou diminuição no comprimento, área superficial, diâmetro médio e volume da raiz que refletiu tanto na redução da biomassa radicular quanto no maior investimento de recursos para crescimento da parte aérea.

Imada *et al.* (2008) relataram que a área superficial é a que está mais relacionada com a absorção de nutrientes e o volume radicular propicia uma maior eficiência de absorção desses nutrientes favorecendo um bom desenvolvimento da planta (MARQUES *et al.*, 2018).

Apesar da diminuição da área superficial e volume radicular, as plantas estavam em condições ideais de cultivo, o que possivelmente refletiu na recuperação pós estresse. Além de que, não houveram diferenças nos valores de nutrientes entre os tratamentos, evidenciando que as raízes responsáveis pela absorção dos mesmos foram altamente eficientes.

A desfolha também levou à alteração na morfologia radicular em relação à classe de diâmetros. As raízes finas desempenham grande importância na absorção de água e nutrientes, de modo que as plantas que as possuem em maior quantidade expressam maior vigor (MAGALHÃES, 2021). A realização da desfolha não impactou severamente a quantidade de raízes finas e muito finas em relação às plantas controle. Isso pode ter sido determinante para que as plantas desfolhadas tivessem condições de absorver os nutrientes que foram disponibilizados, contribuindo para a manutenção de seu metabolismo.

A relação parte aérea e raiz foi menor nas plantas com desfolha. Isto pode ser justificado devido ao detrimento da parte aérea e a alocação dos recursos das raízes para formação de novas folhas. Além disso, foi possível observar também a diminuição no comprimento específico das raízes (SRL), sugerindo que na recuperação inicial pós desfolha, o investimento energético foi para a parte aérea. Apesar da função SRL de refletir em uma maior exploração e aquisição de água e nutrientes no solo por unidade de carbono investido (Bouma *et al.*, 2001), as plantas não foram impactadas severamente devido as boas condições de manejo.

Raízes com elevadas quantidades de massa morta e fibrosa (densidade de tecido da raiz (RMDe) é uma característica muito comum em plantas inseridas em condições de estresse (CRUZ *et al.*, 2021). Neste estudo, aos sete e quatorze dias após a submissão dos tratamentos foi observado que a desfolha resultou em maior densidade de tecido da raiz, evidenciando que as plantas utilizaram sua energia voltada para o desenvolvimento de novos primórdios foliares. Contudo, vale ressaltar que estudos posteriores, com o milho em estádios vegetativos mais avançados, são importantes para compreender em que estágio a planta restabelece o crescimento igualando-se ao controle. Além disso, compreender como o padrão hormonal e de biomoléculas atuam no decorrer da recuperação de plantas desfolhadas ao longo do tempo.

## 5 CONCLUSÃO

A desfolha no milho em V4 reduz a altura e diâmetro de colmo, mas as plantas demonstram boa recuperação entre os estádios V4 e V7. Esta capacidade tem relação com a giberelina e o ácido salicílico, atuando no restabelecimento da parte aérea do milho desfolhado. Do mesmo modo, a ação dos aminoácidos e dos açúcares redutores auxiliando na formação de novos primórdios foliares.

A desfolha modifica a morfologia radicular, diminuindo crescimento, volume e atributos morfológicos até os quatorze dias após o corte da parte aérea. A disponibilidade hídrica e de nutrientes foram fundamentais para o início da recuperação das plantas de milho pós estresse mecânico da desfolha. Além disso, o milho apresenta alta rusticidade a fim de promover o desenvolvimento de novos primórdios foliares quando submetidos à desfolha.

## REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, V. V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 43-60.
- BARBOSA, A. P. et al. Reaplicação de nitrogênio na mitigação do efeito da desfolhaem diferentes fases fenológicas do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, [S.I.] v. 18, n.1, p. 30-46. 2019
- BATISTA, E. R. **Respostas fisiológicas e metabólicas de duas cultivares de Coffea arabica L. submetidas a atmosferas enriquecidas em CO2 em câmaras de topo aberto e sistema FACE**. Embrapa Meio Ambiente. [S.I.]. 2015.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, [S.I.] v. 72 n. 1-2, p. 248-254, 1976.
- BERGAMASCHI, H; MATZENAUER, R. **O milho e o clima**. Porto Alegre: Emater/RS, v. 84, 2014.
- BRITZ, G. D. The effect of defoliation at various growth stages on maize grain yield. **Crop Production**, v. 11, p. 85-89, 1982.
- COLLIN, P. et al. Respostas de crescimento de mudas de freixo comuns (*Fraxinus Excelsior* L.) para desfolha total e parcial. **Annals of Botany**, [S.I.], v. 85, p. 317–323, 2000.
- CONCEIÇÃO, J. D. et al. **Monocultura do milho em paripiranga (BA) nos anos 2018/2019 e seus reflexos socioespaciais**. Paripiranga: Uniages, 2021.
- CRUZ, N. T. et al. Fatores que afetam as características morfogênicas e estruturais de plantas forrageiras. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p., 2021.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa- SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, pag. 547,2007.
- FORSTHOFER, E. L. et al. Desempenho agrônômico e econômico do milho em diferentes níveis de manejo e épocas de semeadura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, pag. 399-407, 2006.
- HOPPEN, S. M. **Crescimento e desenvolvimento de alfafa (*Medicago sativa* L) com diferentes níveis de dormência e frequências de desfolhação contrastantes**. 2021.
- IMADA, S.; YAMANAKA, N.; TAMAI, S. Water table depth effects Populus alba fine root growth and whole plant biomass. **Functional Ecology**, London, v. 22, n. 6, p. 1018-1026, 2008.

IQBAL, N.; MASOOD, A.; KHAN, N. A. Analyzing the significance of defoliation in growth, photosynthetic compensation and source-sink relations. **Photosynthetica**, [S.I.], v. 50, n. 2, p. 161-170. 2012.

JUCÁ, A. C. C. **Respostas morfofisiológicas em mudas de coqueiro após desfolha artificial em simulação ao ataque de *Opsiphanes invirae* (Lepidoptera: Nymphalidae)**. 2019. Tese. Doutorado em Agronomia. UFRA, [S.I.], 2019.

KARAM, D. et al. **Antecipe: cultivo intercalar antecipado**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 120 p.

KHALILIAQDAM, N. et al. Effect of leaf defoliation on some agronomical traits of corn. **World Applied Sciences Journal**, v. 20, p. 545-548, 2012.

KHAN, N. A. et al. **The source-sink relationship in mustard**. Asian Aust. J. Plant Sci. Biotechnol. p. 10-18, 2007.

KIRKBY, E. A.; ROMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **Informações agronômicas**, v. 118, n. 2, p. 1-24, 2007.

LEFEVERE, H.; BAUTERS, L.; GHEYSEN, G. Biossíntese de ácido salicílico em plantas. **Frontiers in plant science**, [S.I.] v. 11, p. 338, 2020.

LESTIENNE, F.; THORNTON, B.; GASTAL, F. Impact of defoliation intensity and frequency on N uptake and mobilization in *Lolium perenne*. **Journal of Experimental Botany**, [S.I.], v. 57, p. 997-1006. 2006.

LIMA, T. G. et al. Consequências da remoção do limbo foliar em diferentes estádios reprodutivos da cultura do milho em duas épocas de semeadura. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p. 563-570, 2010.

LIU, H. D. et al. Are clonal plants more tolerant to grazing than co-occurring non-clonal plants in inland dunes? **Ecological research**, [S.I.], v. 22, p. 502-506, 2007.

LONE, P. M., KHAN, N. A. The effects of rate and timing of N fertilizer on growth, photosynthesis, N accumulation and yield of mustard (*Brassica juncea*) subjected to defoliation. **Environmental and Experimental Botany**, [S.I.], p. 318-323, 2007.

LONG, S. P. et al. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? **Plant Cell Environ.** [S.I.], v. 29, p. 315-330, 2006.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 76, p. 10, 2006.

MAGALHÃES, W. B. **Sistema radicular e suas interações com o desenvolvimento e nutrição do cafeeiro**. [S.I.]. 2021.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2 ed. Potafos. 1997

- MARQUES, D. M. et al. Toxicidade do cobre nas respostas fotossintéticas e morfologia radicular de *Hymenaea courbaril* L. (Caesalpinioideae). **Water Air Soil Pollut**, [S.I.], v. 229, n. 5, p. 1-14, 2018.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, v. 31, p. 426, 1959.
- MONDO, V. H. V. et al. Comparação de métodos para estimativa de área foliar em plantas de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 8, n. 3, p. 233- 246, 2009.
- PEREIRA, I. S. **Respostas fisiológicas em plantas de soja a atenuadores de estresse**. 2020. Tese – Doutorado em Fitotecnia. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.
- QUENTIN, A. G. et al. Effects of partial defoliation on closed canopy Eucalyptus globulus Labillardière: Growth, biomass allocation and carbohydrates. **Forest Ecology, Manag.** v. 261, p. 695-702, 2011.
- REZENDE, W. S. et al. Desenvolvimento e produtividade de grãos de milho submetido a níveis de desfolha. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 50, p. 203-209. 2015
- SILVA, P. S. L. Desfolha e supressão da frutificação em milho. **Revista Ceres**, v. 48, p.55-70, 2001.
- SILVA, W. J. C; DALCHIAVON, F. C. Induced Defoliation and Corn Productivity Performance. **Journal of Agricultural Science**, [S.I.], v. 12, n. 4, 2020.
- SILVA, L. E. B. et al. Desenvolvimento da cultura do milho (*Zea mays* L.): revisão de literatura. **Diversitas Journal**, [S.I.], v. 5, n. 3, p. 1636-1657, 2020.
- SOUZA, T. C. Early characterization of maize plants in selection cycles under soil flooding. **Plant Breeding**, [S.I.], v. 131, n. 4, p. 493-501, 2012.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed., Artmed, 2013. 918 p.
- WIRF, L. A. The effect of manual defoliation and *Macaria pallidata* (Geometridae) herbivory on *Mimosa pigra*: Implications for biological control. **Biological Control**, [S.I.] v. 37, p. 346-353, 2006.
- YEMM, E. W.; COCKING, E. C.; RICKETTS, R. E. The determination of amino acids with ninhydrin. **Analyst**, [S.I.], v. 80, p. 209-213. 1955.
- YEMM, E. W.; WILLIS, A. J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, [S.I.], v. 57, p. 508-514, 1954.