

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LARISSA ABATTI

**AVALIAÇÃO DA SELETIVIDADE DA PIPLARTINA - AMIDA ISOLADA DE *Piper tuberculatum* Jacq EM CULTURA DE MILHO (*Zea mays*)**

**PATO BRANCO**

**2023**

LARISSA ABATTI

**AVALIAÇÃO DA SELETIVIDADE DA PIPLARTINA - AMIDA ISOLADA DE *Piper tuberculatum* Jacq EM CULTURA DE MILHO (*Zea mays*)**

**Evaluation of the selectivity of piplartine - amide isolated from *Piper tuberculatum* Jacq in corn culture (*Zea mays*)**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel Em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sirlei Dias Teixeira  
Coorientador: Prof. Dr. Michelangelo Muzell Trezzi

**PATO BRANCO**

**2023**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Pato Branco  
Departamento de Química  
Curso de Bacharelado em Química



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DA SELETIVIDADE DA PIPLARTINA - AMIDA ISOLADA DE *Piper tuberculatum* Jacq EM CULTURA DE MILHO (*Zea mays*)

por

LARISSA ABATTI

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 28 de novembro de 2023 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Química. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Sirlei Dias Teixeira  
Prof.<sup>a</sup> Orientadora

---

Davi Costa Silva  
Prof. Dr. em Química Orgânica/Síntese Orgânica na UTFPR *campus* Pato Branco

---

Gabriela Pilatti  
Mestranda em Proteção de Plantas pelo PPGAG/UTFPR

O Documento original e assinado pela Banca Examinadora encontra-se no SEI processo: 23064.056678/2023-01. Documento: 3875926.

Dedico este trabalho à minha família.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, em especial aos meus pais Noemi e Senio Abatti por todo incentivo, estrutura, dedicação e paciência durante toda a minha vida e nos anos de graduação, também ao meu irmão Lucas por todo apoio e suporte, a minha irmã Laura por compartilhar todos os momentos de alegria e tristeza, ao longo da vida, nos anos de graduação e também na fase de escrita deste trabalho, obrigada por ser meu maior suporte, inspiração e nunca deixar de acreditar em mim, sem você eu não chegaria até aqui.

Sou grata a Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Sirlei Dias Teixeira, por toda a orientação, sabedoria, paciência e dedicação ao longo da graduação e da elaboração deste trabalho. A coorientação do Prof. Dr. Michelangelo Muzell Trezzi por toda ajuda e ensinamentos. Agradeço também a Gabriela Pilatti pelo auxílio, apoio e suporte desde a parte prática até a análise dos dados e da parte estatística.

Agradeço a UTFPR *campus* Pato Branco, pelo auxílio na construção de conhecimento ao longo da graduação e na elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos, especialmente a Jaqueline, Marieli, Ushieli, Sarah e Vilson, que estiveram juntos comigo em todos os momentos de dificuldade, alegrias e aprendizado, sem o apoio de vocês essa etapa teria sido impossível, vocês me impulsionaram e me deram forças para concluir. A todos os colegas que trilharam esse caminho e me deram forças para continuar de alguma maneira, minha gratidão.

Agradeço também aqueles que partiram ao longo desta jornada, meu avô Olmes, meu tio Nylson e tia Célia, vocês são peças importantes que me influenciaram a ser uma pessoa melhor e a realizar meus sonhos, vocês sempre estarão presentes no meu coração, minha eterna gratidão.

Enfim, a todos os que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

## RESUMO

O milho é uma cultura de interesse comercial do país, sua produção anual fica atrás apenas da produção de soja. Um dos principais interferentes que acometem a produtividade das lavouras dessa cultura é a presença de plantas daninhas que crescem indesejavelmente nos locais de plantio, essas plantas competem com a cultura por espaço físico, nutrientes, luz solar e água, fazendo com que ocorra queda na produtividade e outros danos que podem ser irreversíveis. Para que se tenha controle dessas plantas, se faz o uso de herbicidas que podem ser tóxicos para os seres humanos e animais que existam na mesma região, além disso algumas espécies de plantas daninhas se tornam resistentes por conta do uso contínuo sem rotação de mecanismos e em quantidades diferentes daquelas recomendadas em bula. Dessa forma, a alelopatia pode ser uma grande aliada, uma vez que os efeitos causados pela produção de algumas moléculas por uma planta podem ter influência em outra, sendo os mesmos estimulantes ou inibitórios, por conta dessa última característica os efeitos da alelopatia podem ser satisfatórios para inibir a presença de plantas daninhas em lavouras. Além de ser efetivo para o controle de plantas daninhas, o aleloquímico precisa apresentar seletividade para plantas cultivadas. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial alelopático e a seletividade da piplartina, metabólito especializado extraído de caules e folhas de *P. tuberculatum* Jacq, em fase de germinação e crescimento de sementes e plantas de milho. Para o ensaio de germinação foram determinados tempo médio de germinação, índice de velocidade de germinação, avaliação da anormalidade e de plantas mortas e comprimento da radícula e hipocótilo. Para os testes de seletividade realizou-se a aplicação do aleloquímico em duas modalidades, para o experimento de pré-emergência, foram estabelecidos o percentual de emergência, o índice de velocidade de emergência, tempo médio de emergência, bem como, foi realizada a medição da altura de planta, diâmetro de caule em intervalo de tempo estabelecido, também comprimento de parte aérea e das raízes, número de folhas, fitotoxicidade e matérias verde e seca da parte aérea e de raiz. Para a modalidade de pós-emergência realizou-se os mesmos testes exceto índice de velocidade e tempo médio de emergência. No bioensaio de germinação observou-se maior interferência da ação do aleloquímico nas plântulas, sendo observado grande número de plantas anormais e diminuição nos comprimentos de parte aérea e sistemas radiculares, principalmente quando submetidas à concentração de 500 ppm. Nas modalidades de pré e pós emergência observou-se alguns resultados negativos em algumas variáveis, principalmente quando as plantas foram submetidas a concentrações de 3000 e 4000 ppm. As principais variáveis afetadas em pré foram, altura de planta, comprimento de parte aérea e raízes, massa verde das raízes, e em pós foram comprimento de parte aérea, massa verde e seca das raízes. Mesmo observando alguns resultados negativos influenciados pela piplartina, as diferenças entre as concentrações foram pequenas. Podemos afirmar que os resultados do trabalho foram promissores em relação a seletividade do aleloquímico para cultura alvo.

Palavras-chave: alelopatia; bioherbicida; milho; produtos naturais.

## ABSTRACT

Corn is a commercially significant crop in the country, with annual production second only to soybeans. One of the main challenges affecting the productivity of corn fields is the presence of unwanted weeds that grow in the planting areas. These weeds compete with the crop for physical space, nutrients, sunlight, and water, resulting in a decline in productivity and potentially irreversible damage. To control these weeds, herbicides are commonly used, but they can be toxic to humans and animals in the same region. Additionally, some weed species become resistant due to continuous and high-volume herbicide use. In this context, allelopathy can be a valuable ally. The effects caused by the production of certain molecules by one plant can influence others, either stimulating or inhibiting their growth. Due to this inhibitory characteristic, allelopathy can effectively inhibit the presence of weeds in fields. Besides being effective in weed control, allelochemicals need to exhibit selectivity for cultivated plants. Therefore, this study aimed to evaluate the allelopathic potential and selectivity of piplartine, a specialized metabolite extracted from stems and leaves of *P. tuberculatum* Jacq, during the germination and growth phases of corn seeds and plants. Germination assays determined average germination time, germination speed index, abnormalities assessment, and radicle and hypocotyl length measurements. Selectivity tests involved applying the allelochemical in two modalities: pre-emergence and post-emergence. In the germination bioassay, greater interference of the allelochemical was observed in seedlings, with a significant number of abnormal plants and reduced lengths of aerial parts and root systems, especially at a concentration of 500 ppm. In both pre-emergence and post-emergence modalities, some negative results were observed in various variables, especially when plants were subjected to concentrations of 3000 and 4000 ppm. The main affected variables in pre-emergence were plant height, aerial and root length, and green mass of roots. In post-emergence, affected variables included aerial part length and green and dry mass of roots. Despite some negative results influenced by piplartine, the differences between concentrations were small. It can be concluded that the results of the study were promising regarding the selectivity of the allelochemical for the target crop.

Keywords: allelopathy; bioherbicide; corn; natural product.

## LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 – Estrutura química da piplartina .....	19
Figura 2 – Planta de <i>P. tuberculatum</i> Jacq.....	20
Figura 3 - Medição da parte aérea de plântulas de milho.....	23
Figura 4 - Planta de milho com duas folhas verdadeiras completas.....	25
Figura 5 - Medição do diâmetro de caule.....	26
Figura 6 –Tempo médio de germinação das sementes de milho submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle.....	30
Figura 7 - Índice de velocidade de germinação das sementes de milho submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle.....	31
Figura 8 - Médias dos comprimentos de Hipocótilo de plântulas de milho.....	32
Figura 9 - Médias dos comprimentos de radícula de plântulas de milho.....	33
Figura 10 - a) Plântulas normais (125 ppm) e b) plântula apresentando necrose no sistema radicular e pouco desenvolvimento do hipocótilo (500 ppm).....	34
Figura 11 - Tempo médio de emergência e índice de velocidade de emergência de plantas de milho submetidos a diferentes concentrações de piplartina e controle em pré-emergência.....	36
Figura 12 - Médias das alturas de plantas aos 7, 14 e 21 dias submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pré-emergência.....	37
Figura 13 - Médias dos diâmetros de caule aos 7, 14 e 21 dias submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pré-emergência.....	38
Figura 14 - Medição da parte aérea de planta de milho no 21º dia em modalidade de Pré-emergência.....	38
Figura 15 - Médias dos comprimentos de parte aérea e raízes de plantas de milho submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pré-emergência.....	39
Figura 16 - Médias das massas verdes da parte aérea e raízes de plantas de milho submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pré-emergência.....	40
Figura 17 - Médias das massas secas da parte aérea e raízes de plantas de milho submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pré-emergência.....	41



<b>Figura 18 - a) planta com folha apresentando clorose devido à falta de nutrientes; b) planta acometida por lagarta.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 19 – Médias das alturas de plantas aos 7, 14 e 21 dias submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pós-emergência.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 20 - Médias dos diâmetros de caule aos 7, 14 e 21 dias submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pós-emergência .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 21 - Médias dos comprimentos de parte aérea e raízes de plantas de milho submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pós-emergência.....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 22 - M Médias das massas verdes da parte aérea e raiz de plantas de milho submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pós-emergência.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 23 - Médias das massas secas da parte aérea e raiz de plantas de milho submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pré-emergência.....</b>	<b>48</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala de Frans (1986).....	27
Tabela 2 - Comparação das médias para as variáveis TMG e IVG.....	30
Tabela 3 - Comparação das médias para as variáveis comprimento de hipocótilo e radícula.....	31
Tabela 4 - Comparação das médias para as variáveis PN e PA.....	34
Tabela 5 - Médias do número de folhas por plantas em cada concentração de piplartina.....	39
Tabela 6 - médias das notas atribuídas devido ao grau de injúria das plantas na modalidade de Pré-emergência.....	41
Tabela 7 - Comparação das médias para a variável número de folhas por planta.....	46
Tabela 8 - Médias das notas atribuídas para injúria para cada repetição na modalidade Pós-emergência.....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BOD	Biochemical Oxygen Demnad
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
DERAL	Departamento de Economia Rural
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IVG	Índice de Velocidade de Germinação
IVE	Índice de Velocidade de Emergência
PG	Porcentagem de germinação
PE	Porcentagem de emergência
ppm	Partes Por Milhão
SEAB	Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento
TMG	Tempo Médio de Germinação
TME	Tempo médio de Emergência
USP	Universidade de São Paulo
UV	Ultravioleta
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>15</b>
2.1	Geral.....	15
2.2	Específicos .....	15
<b>3</b>	<b>REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
3.1	Produtos Naturais.....	16
3.2	Alelopatia.....	17
3.3	Piplartina .....	19
3.4	Cultura de milho .....	20
3.4.1.	Híbrido de milho .....	21
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>22</b>
4.1	Extração e preparo da piplartina.....	22
4.2	Bioensaio de Germinação .....	23
4.3	Avaliação do Bioensaio de Germinação .....	23
4.4	Modalidades pré e pós-emergência .....	24
4.5	Avaliação em pré-emergência .....	26
4.6	Avaliação em pós-emergência .....	28
4.7	Tratamento dos dados.....	28
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>29</b>
5.1	Bioensaio de germinação .....	29
5.1.1	Índice de velocidade de germinação; Tempo médio de germinação e Porcentagem de germinação. ....	29
5.1.2	Comprimento de planta .....	31
5.1.3	Plantas normais, anormais e mortas .....	33
5.2	Pré – Emergência.....	35
5.2.1	Índice de velocidade de germinação; Tempo médio de germinação e Porcentagem de germinação. ....	35
5.2.2	Altura de planta e diâmetro de caule .....	36
5.2.3	Comprimento da planta (raiz e parte aérea).....	37
5.2.4	Número de folhas por planta .....	38
5.2.5	Massa verde (raízes e parte aérea).....	39
5.2.6	Massa seca (raízes e parte aérea) .....	40
5.2.7	Fitotoxicidade .....	41

5.3	Pós – Emergência .....	43
5.3.1	Porcentagem de Emergência .....	43
5.3.2	Altura de planta e diâmetro de caule .....	43
5.3.3	Comprimento da planta (raízes e parte aérea) .....	44
5.3.4	Número de folhas por planta .....	45
5.3.5	Massa verde (raízes e parte aérea).....	46
5.3.6	Massa seca (raízes e parte aérea) .....	47
5.3.7	Fitotoxicidade .....	47
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Alelopatia pode ser definida como a interferência que uma planta exerce sobre outra, seja no seu crescimento, desenvolvimento ou germinação. Segundo Pires e Oliveira (2011), essa interferência pode ser negativa, positiva ou neutra. O termo deriva das palavras *allélon* e *páthos*, que significam respectivamente “de um para o outro” e “sofrer”. Foi primeiramente determinado por Molich em 1937. Moléculas com potencial alelopático são produzidas por metabólitos especializados das plantas e são liberadas ao ambiente de diferentes formas.

Plantas do gênero *Piper* se destacam pela grande quantidade de compostos já isolados como lignanas e amidas com possíveis propriedades inseticidas (MIRANDA *et al.*, 2002), uma das espécies é a *Piper tuberculatum* Jacq, que é capaz de produzir diversas amidas com propriedades interessantes, entre elas, a piplartina, que vem demonstrando significativo potencial alelopático, apesar de se encontrar poucos relatos sobre essa molécula em estudos acadêmicos. Plantas indesejáveis em culturas de interesse econômico, se constitui em um dos principais problemas enfrentados por produtores de grãos, pois são plantas invasoras que competem com a cultura, por luz, água, nutrientes do solo e espaço físico (KARAM; MELHORANÇA, 2008), ocasionando diminuição na produtividade ou até mesmo erradicação de algumas espécies. Geralmente essas plantas, possuem alta taxa de germinação e se adaptam facilmente aos locais de invasão, dificultando ainda mais o seu manejo, dentre outros danos indiretos os quais podem prejudicar todo o ciclo de manejo da lavoura (se quiser pode reescrever com as suas palavras, mas seria interessante apenas lembrar dos danos indiretos).

O controle com herbicidas é o método mais utilizado no manejo de plantas daninhas. No entanto, o uso inadequado destes defensivos agrícolas pode intensificar o processo de seleção de plantas daninhas tolerantes e resistentes (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2003). Podemos relacionar essa problemática com a alelopatia, por meio dos efeitos negativos (inibir o crescimento ou causar a morte de outras espécies), que está ligada a alternativas promissoras na substituição de manejos convencionais, reduzindo a resistência dessas plantas, à medida que as controla.

O agente inibidor deve apresentar seletividade para a cultura de interesse econômico, não provocando injúrias na parte aérea ou no sistema radicular, uma vez

que herbicidas convencionais, ou bioherbicidas como a piplartina, podem causar diversos efeitos fitotóxicos (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2003). Sendo assim, é de fundamental importância realizar a avaliação em condições próximas ao do campo, da influência dessa molécula, na fase de germinação e crescimento da cultura de interesse, nesta última realizar nas modalidades de pré e pós-emergência, a fim de avaliar os possíveis danos causados pelo bioherbicida.

Culturas como a do milho (*Z. Mays*), são importantes economicamente no país. Destacando-se em termos de produção, nas lavouras brasileiras, perdendo apenas para a produção de soja (*Glycine max*). Exerce função importante tanto na alimentação humana, quanto na dos animais, e representa boa parte das exportações realizadas pelo país nos últimos anos.

O uso de biomoléculas como controle alternativo de plantas invasoras tem grande relevância e importância, uma vez que a utilização de defensivos agrícolas no controle tradicional, quando utilizados de forma errada, podem se tornar prejudiciais para o meio ambiente. Além de serem considerados moléculas ambientalmente mais limpas, os compostos alelopáticos possuem tempo de exposição ao meio ambiente mais curtos, consecutivamente reduzindo o risco de contaminação e poluição ambiental.

Estudos do potencial alelopático de diferentes espécies, bem como de biomoléculas, são de grande importância para a inovação tecnológica, científica e econômica do país.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Analisar a seletividade e o potencial alelopático da piplartina, amida isolada de *Piper Tuberculatum* Jacq, para a cultura do milho (*Zea mays*).

### **2.2 Específicos**

- Examinar a influência de diferentes concentrações da solução de piplartina (0, 125, 250, 500, e 750 ppm), sobre o processo de germinação de sementes de milho (*Zea mays*).
- Avaliar a seletividade de diferentes concentrações da solução de piplartina, (0, 1000, 2000, 3000 e 4000 ppm), nas modalidades de pré e pós-emergência em cultura de milho (*Zea mays*).
- Realizar o tratamento estatístico dos dados obtidos a partir das medições.



### 3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Produtos Naturais

O Brasil em toda a sua extensão territorial, abriga distintas características em 6 biomas diferentes (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Pantanal, Mata Atlântica e Pampa) e, portanto, apresenta grande potencial para fornecer inúmeros produtos naturais. Milhares de espécies de plantas podem contribuir na descoberta de princípios ativos que apresentem potencial para originar novos fármacos, alimentos com alto valor nutricional, plantas de uso medicinal, e até mesmo na obtenção de novos defensivos agrícolas, entre outros produtos que auxiliem na inovação química e tecnológica brasileira (FILHO, 2010).

Segundo Pinto *et al.* (2002) a Química de Produtos Naturais (QPN) é considerada a subárea mais antiga da química orgânica, e no Brasil a área mais antiga em estudos de Química (BERLINCK *et al.*, 2017). Seus fundamentos dão origem a trabalhos acadêmicos feitos nas mais diversas áreas, como a da toxicologia, farmacologia, análise de antioxidantes e de propriedades inibitórias de crescimento de microrganismos, atividade biológica, alelopatia de extratos brutos de plantas ou em diferentes formulações, entre outras áreas que podem se beneficiar da QPN (PINTO *et al.*, 2002).

O estudo da QPN está relacionado à obtenção de metabólitos produzidos por diferentes organismos vivos e que podem apresentar princípios ativos importantes. Os avanços relacionados à QPN que envolvem novos métodos de extração, isolamento de compostos, bem como purificação e a identificação, tem ajudado de maneira significativa na descoberta de novos metabólitos secundários (Ferreira e Áquila, 2000). As plantas em especial, produzem uma grande quantidade de compostos orgânicos que podem ser classificados como metabólitos primários e secundários (BORGES; AMORIM, 2020), esses compostos são essenciais para a sobrevivência e evolução destas plantas.

Metabólitos primários são os compostos ligados ao crescimento, desenvolvimento, função estrutural e de armazenamento de energia das plantas, atuam exercendo funções básicas e essenciais para as mesmas. Algumas classes de compostos pertencentes à essa classe, são: ácidos graxos, aminoácidos, açúcares e lipídeos (GARCÍA; CARRIL, ELENA PÉREZ-URRIA, 2009).

Já os metabólitos secundários, desempenham funções específicas nas plantas. Podem ser chamados também de metabólitos especializados e pertencem às classes dos terpenos, compostos fenólicos, nitrogenados, entre outros (BORGES; AMORIM, 2020). São produtos essenciais para a sobrevivência e defesa das plantas, pois atuam contra estresses bióticos e abióticos, aos quais as plantas podem estar sujeitas. São compostos que durante a evolução, apresentaram vantagem contra a ação de microrganismos, vírus, insetos, radiação UV e poluição, entre outros patógenos e predadores, seja inibindo a ação ou estimulando o seu desenvolvimento (REZENDE *et al.*, 2016).

O estudo de metabólitos secundários é importante, visto que podem despertar o interesse econômico e na inovação tecnológica do país quando relacionados a descoberta de novos bio-herbicidas, um exemplo é a biomolécula piplartina, amida isolada de *P. Tuberculatum* Jaqc

### **3.2 Alelopatia**

A alelopatia pode ser caracterizada como a influência que uma planta exerce sobre outra, sendo entre elas ou entre espécies diferentes. Rice (1984) definiu alelopatia como: “todo efeito direto ou indireto, maléfico ou benéfico que uma planta exerce sobre outra, pela produção de substâncias químicas liberadas no ambiente”. Pires e Oliveira (2011), indicaram que a alelopatia pode ser definida como a influência que um indivíduo tem sobre outro, exercendo efeitos inibitórios, estimulatórios ou neutros.

A alelopatia foi definida por Hans Molisch em 1937, o termo deriva das palavras *allelon*, que significa “de um para outro” e *pathós*, que significa “sofrer”. Esse efeito pode influenciar na germinação, no crescimento, e em propriedades fisiológicas das plantas. A Sociedade Internacional de Alelopatia (1996), ampliou o termo e denominou alelopatia como sendo, “todos os processos que envolvem a produção de metabólitos secundários por plantas, algas e microrganismos (vírus, fungos e bactérias) os quais influenciam no crescimento e desenvolvimento de plantas”.

As espécies apresentam diferentes concentrações de compostos alelopáticos que podem variar em quantidade e qualidade, são encontrados em todas as partes das plantas, como em folhas, flores, frutos, raízes, rizomas, caules e sementes. Os compostos aleloquímicos são liberados para o meio ambiente de formas distintas, por meio do solo ou ar, como por exemplo na forma de volatilização, lixiviação,

decomposição de resíduos e exsudação radicular (BLUM, 2004; KATO-NOGUCHI; KURNIADIE, 2021; VILHENA *et al.* 2014; ZHIJIE ZHANG *et al.*, 2020). Ferreira e Aquila (2000), apontam que os aleloquímicos podem inibir o crescimento de outras plantas a partir da ligação direta com a membrana da planta receptora, ou de maneira indireta, penetrando os tecidos e ocasionando alterações no metabolismo da planta atingida.

Sendo assim, os efeitos desencadeados por compostos com potencial alelopático podem ser benéficos para auxiliar no manejo e na rotação de culturas, uma vez que muitos deles podem se tornar uma alternativa para uso de herbicidas, nematicidas e defensivos agrícolas no geral (WALLER, 1999). Possivelmente ocorrendo a inibição da germinação, crescimento e o desenvolvimento de plantas invasoras indesejadas, o crescimento e a germinação da cultura de interesse estarão sendo favorecidos (BALBINOT JUNIOR, 2004).

O controle das plantas daninhas é muito importante para uma boa produtividade da lavoura, visto que essas plantas interferem negativamente em culturas de interesse comercial, como soja (*Glycine max*), milho (*Zea mays*) e trigo (*Triticum*). Causam queda no rendimento ou até mesmo erradicação dessas culturas. Efeitos maléficos das plantas daninhas podem ser caracterizados como fatores diretos ou indiretos (KARAM; MELHORANÇA, 2008). Os fatores diretos estão relacionados à competição por nutrientes, água e luz solar, queda na produtividade e também com a alelopatia. Já os indiretos estão relacionados ao aumento do custo de produção, hospedagem de insetos e doenças, entre outros patógenos, refletindo na qualidade da cultura.

Sendo assim, compostos oriundos do metabolismo secundário, desempenham papel importante no cenário de pesquisas de novos bioherbicidas, uma vez que herbicidas tradicionais podem ser prejudiciais para a saúde dos seres humanos e para o meio ambiente, como aponta Rivzi (1996), que afirma que uma das principais vantagens do uso de compostos alelopáticos, está no fato de que, normalmente são constituídos por moléculas biodegradáveis que por sua vez, são mais seguras para seres humanos e, ambientalmente menos prejudiciais do que os herbicidas sintéticos. Além disso, plantas daninhas se tornam tolerantes e resistentes com o uso indiscriminado de herbicidas (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2003).

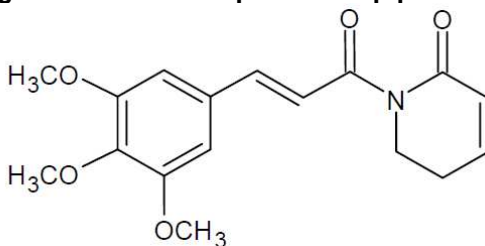
Uma das formas de analisar os efeitos alelopáticos é realizando testes de germinação e de crescimento em plantas alvo (FERREIRA e AQUILA, 2000), bem

como, se faz necessário o teste de seletividade, realizando tal avaliação em condições próximas ao do campo, observando a influência da molécula, na fase de germinação e crescimento e desenvolvimento da cultivar e/ou em plantas alvo, em modalidades de pré e pós-emergência, afim de avaliar os possíveis danos causados pelo bioherbicida (CHRISTOFFOLETI; LÓPEZ-OVEJERO, 2003).

### 3.3 Piplartina

Alguns compostos apresentam atividades alelopáticas sobre espécies de plantas, um exemplo é a piplartina. É encontrada em raízes e caules do *P. tuberculatum*. Foi isolada primeiramente em 1961, é identificada como sendo 5,6-dihidro-1-[(2E)-1-oxo-3-(3,4,5-dimetoxifenil)-2-propenil]-2(1H)-piridina, cuja estrutura química está sendo mostrada na Figura 1.

Figura 1 - Estrutura química da piplartina.



Fonte: Lima (2022).

A *P. tuberculatum* ilustrada na Figura 2, é conhecida como pimenta d'ardo, pimenta longa ou pimenta de macaco (BRAGA, 1953; CASTRO, 2007), pertencente ao gênero *Piper*, à família Piperaceae e à ordem Piperales. Ocorre em todo o continente americano e Antilhas. No Brasil, é encontrada nos estados do Amazonas, Pará, Maranhão, Piauí, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio de Janeiro e Mato Grosso (GUIMARÃES; GIORDANO, 2004). Estudos fitoquímicos realizados, apontam que essa espécie produz predominantemente amidas (alcaloides), como metabólitos secundários (COTINGUIBA *et al.*, 2018), e também ocorre a presença de mono e sesquiterpenos em amostras de óleo essencial (NAVICKIENE *et al.*, 2006).

É muito utilizada na medicina popular, principalmente do nordeste brasileiro, como sedativo e antídoto para picadas de cobras (FELIPE *et al.*, 2007). Estudos apontam também, que seus princípios ativos têm potencial para o alívio de dores, febre, inflamações em geral, doenças intestinais, respiratórias e renais, bem como efeito ansiolítico, anti-inflamatório, antitumoral, antimicrobiano, antiparasitário e

também atividades fitoterápicas (BEZERRA et al., 2008; FELIPE et al., 2007; FONTENELE et al., 2009; SCOTT et al., 2002). Há relatos de atividade esquistossomicida como demonstrado em trabalhos de Moraes *et al.* (2011, 2012), e leishmanicida (BODIWALA *et al.*, 2007). Ademais, existem estudos que apontam os potenciais inseticidas e possivelmente alelopáticos dessa espécie (CASTRO, 2007; MENIN, 2021; LIMA, 2022). Das propriedades já estudadas, são consideradas mais importantes, a capacidade de redução de crescimento de plantas, a atividade inseticida e antifúngica no plantio de culturas, essas propriedades estão ligadas direta ou indiretamente aos metabólitos secundários produzidos pela *P. tuberculatum* Jacq.

É importante destacar que determinado extrato ou substância ao apresentar atividade alelopática, precisa ser testada quanto a sua seletividade, ou seja, pode atuar como potencial biohercida, desde que não provoque injúrias significativas na cultura de interesse.

**Figura 2 - Planta de *P. tuberculatum* Jacq.**



Fonte: COTINGUIBA *et al.* (2018).

### **3.4 Cultura de milho**

O milho (*Z. mays*) tem seu centro de origem em parte da América Central e do Norte, estudos apontam mais especificamente no México. Apresenta como parental mais antigo o teosinto (*Z. mays subsp. mexicana*), que é considerada uma espécie selvagem, e foi domesticada ao longo dos anos a partir de interações entre o homem, que selecionava a planta com as características mais desejáveis e eliminava as que não estavam de acordo com tais características (TERRA, 2009).

Pertence à família Poaceae, conhecida como Gramínea, e à ordem Poales. Adapta-se melhor em climas quentes, germinando entre 5 e 6 dias, em temperaturas de 25 a 30 °C (MAGALHÃES; DURÃES; SCHAFFERT, 2000). É uma planta de ciclo curto, podendo chegar em até 3 safras anuais, a depender das condições climáticas de cada região. Algumas cultivares podem chegar até 3,5 m de altura e apresentam normalmente de 1 a 3 espigas por planta.

Representa uma importante parte da economia brasileira oriunda do agronegócio, e, em termos de produção é o segundo cereal mais cultivado, superado apenas pela soja (*Glycine max*). O milho satisfaz tanto a alimentação humana quanto a dos animais. Cerca de 70 a 80% da produção mundial de milho é destinada à alimentação animal, e apenas 15% é destinada para o consumo humano (PAES, 2006). Apresentam em sua composição, predominantemente carboidratos, oriundos de amido e lipídeos, sendo uma fonte importante também para a produção de etanol.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento, para a safra brasileira de 2022/23 estima-se uma produção total de 125,5 milhões de toneladas de milho, apresentando um aumento de 11%, quando comparada às safras passadas (CONAB, 2023). Enquanto no Paraná a previsão de produção do cereal é de cerca de 19 milhões de toneladas (DERAL, 2023).

Plantas invasoras atacam a cultura do milho e afetam a qualidade e a produtividade dos grãos. O grau de interferência de plantas daninhas nessa cultura pode ser determinado por alguns fatores que estão relacionados principalmente, à competição e à alelopatia. O nível de competição pode variar devido a espécie, grau de infestação, característica do solo, condições climáticas e estágio fenológico da planta (KOZLOWSKI, 2002).

Autores também destacam a existência de um período crítico de competição entre as plantas indesejáveis e a cultura de interesse, esse período é característico por ser o intervalo de tempo que pode causar danos irreversíveis na cultura do cereal, prejudicando o rendimento e a qualidade dos grãos (KARAM; MELHORANÇA, 2008).

#### 3.4.1. Híbrido de milho

As sementes utilizadas foram às do híbrido AO 1052, as quais não passaram por tratamento prévio com inseticida, fungicida ou herbicida para não ocorrer interferência durante as análises com o aleloquímico. Possui número de inscrição no Registro Nacional de Cultivares, sendo o mesmo 22612. A empresa mantenedora das

sementes é a AGRO INDUSTRIAL JK S/A. Apresenta elevado potencial produtivo e é recomendada para usar como grãos.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados nos laboratórios de pesquisa - Departamento de Química da UTFPR - *campus* Pato Branco e em casa de vegetação - Departamento de Ciências Agrárias da UTFPR - *campus* Pato Branco, nos períodos de agosto a outubro de 2023, com o híbrido de milho AO 1052 submetido a aplicações de diferentes concentrações de piplartina. Para o desenvolvimento deste trabalho, foram instalados três experimentos, que serão descritos abaixo.

### 4.1 Extração e preparo da piplartina

A piplartina foi fornecida pelo departamento de Química da USP - São Paulo. O processo de extração da amida foi realizado da seguinte forma: cerca de 25 g de raízes, material seco, com auxílio de 100 mL de metanol PA. Onde foi obtido o extrato, que foi submetido a uma coluna de sílica gel de proporções: 3 cm de diâmetro e 15 cm de altura, utilizando diclorometano PA como eluente. Dessa forma, foram obtidas 8 frações, que foram então secas e recristalizadas com metanol PA, grau de pureza acima de 95%.

Com a piplartina sólida foram preparadas as soluções estoque de 4000 e 3000 ppm, as quais foram usadas para diluir as demais concentrações 125, 250, 500 e 750 ppm utilizadas no bioensaio de germinação. E para os testes em pré e pós-emergência, além das soluções estoque (4000 e 3000 ppm), utilizou-se soluções com concentrações de 1000 e 2000 ppm. No preparo das soluções estoque, para auxiliar na solubilização da piplartina, utilizou-se solução de  $\beta$ -ciclodextrina em água (750 ppm para o teste de germinação e 4000 ppm para as modalidades de pré e pós-emergência), da seguinte forma: após solubilizar a piplartina em acetona, ela foi cuidadosamente gotejada na solução de  $\beta$ -ciclodextrina, após esse processo foi levada para aquecimento até evaporação total da acetona. A solução controle passou por processo semelhante, porém, sem a presença da piplartina.

Posteriormente as soluções foram diluídas com água destilada, nas suas respectivas concentrações, foram adicionadas gotas de Tween 20 em todas, e por fim foram levadas ao banho de Ultrassom, para obter uma melhor microemulsão.

## 4.2 Bioensaio de Germinação

O experimento foi realizado com três repetições em todas as concentrações de piplartina sobre a fase de germinação e crescimento inicial da planta alvo. As sementes de milho (*Z. mays*) primeiramente passaram por processo de assepsia em capela de fluxo laminar, onde foram expostas em luz ultravioleta (UV) por 15 minutos. Em seguida foram colocadas 10 sementes em caixas do tipo Gerbox, as quais foram esterilizadas com álcool 70° e forradas com papel filtro previamente autoclavado. Sobre o papel filtro foram adicionados 5,7 mL de cada uma das concentrações de piplartina (125, 250, 500 e 750 ppm), bem como a solução controle, (solução de  $\beta$ -ciclodextrina e Tween 20). Posteriormente, foram depositadas em câmara do tipo BOD (biochemical oxygen demand), com fotoperíodo de 12 horas, em condições controladas de temperatura à 30 °C no período do dia e 25 °C a noite, seguindo a metodologia de Gonçalves (2016), onde ficaram incubadas por 7 dias.

## 4.3 Avaliação do Bioensaio de Germinação

Durante os 7 dias de incubação realizou-se a contagem de plântulas germinadas. Ao final do sétimo dia, as plântulas foram cuidadosamente retiradas das gerbox e então, realizou-se a medição das partes aéreas (hipocótilo) e das radículas, esticando as plantas sobre uma régua e anotando o valor, como ilustrado na Figura 3. Foram também contabilizadas as plantas normais, anormais e mortas ao final do mesmo dia.

**Figura 3 - Medição da parte aérea de plântulas de milho.**



Fonte: Autoria própria (2023).



A partir dos dados obtidos durante os 7 dias, foram calculadas as seguintes variáveis: tempo médio de germinação (TMG), porcentagem de germinação (PG) e índice de velocidade de germinação (IVG), seguindo a metodologia de (SOUZA FILHO; GUILHON; SANTOS, 2010), as equações estão representadas a seguir:

Para tempo médio de germinação (TMG):  $TMG = \frac{\sum ni \cdot ti}{\sum ni}$ , onde:

ni: número de sementes germinadas;

ti: tempo (dias) de duração do bioensaio.

Para a variável porcentagem de germinação (PG):  $PG = \left(\frac{N}{T}\right) \cdot 100$ , onde:

N: número de sementes germinadas no último dia;

T: número de sementes colocadas nas gerbox.

Para índice de velocidade de germinação (IVG):  $IVG = \left(\frac{N1}{1}\right) + \left(\frac{N2}{2}\right) + \dots + \left(\frac{Nn}{n}\right)$ ,

onde:

N: sementes germinadas proporcional ao dia.

No sétimo dia foi realizada a contagem de plantas normais, anormais e plantas mortas, que posteriormente, fez-se o cálculo da porcentagem de plântulas normais (PN), anormais (PA) e mortas (PM), as quais foram obtidas por meio das seguintes equações (OLIVEIRA *et al.*, 2010):

$$PN = \left(\frac{nr}{T}\right) \cdot 100 \quad PA = \left(\frac{A}{T}\right) \cdot 100 \quad PM = \left(\frac{M}{T}\right) \cdot 100, \text{ onde:}$$

nr: número de plântulas normais;

A: número de plântulas anormais;

M: número de plântulas mortas;

T: número total de sementes a serem germinadas.

#### 4.4 Modalidades pré e pós-emergência

Outros dois experimentos foram realizados simultaneamente, sendo eles, os ensaios realizados em modalidade de pré e pós emergência. Primeiramente foi coletado o solo em uma propriedade de Itapejara d'Oeste - PR, que foi peneirado e seco à sombra, o mesmo foi corrigido e adubado de acordo com as necessidades apresentadas na análise de solo. Paralelamente foram esterilizados potes de plástico com álcool 70% com capacidade de 350 mL, que foram preenchidos com solo (280 g).

As sementes de milho passaram por processo de assepsia em câmara de fluxo laminar, onde foram expostas sob luz UV por 15 minutos. Foram depositados 80 mL de água destilada no solo de ambas as modalidades (pré e pós-emergência), a fim de proporcionar umidade para a semeadura. Posteriormente, 4 sementes de milho foram semeadas em cada pote plástico, a um centímetro de profundidade. Ambas as modalidades foram semeadas e dispostas em câmara de incubação (BOD) no mesmo dia, com temperatura controlada de 25 °C durante o dia e mesma temperatura durante a (fotoperíodo de 12 horas), onde permaneceram até a germinação, após isso, as mesmas foram transportadas para casa de vegetação da UTFPR – *campus* Pato Branco, que apresenta condições de temperatura e radiação solar mais próximas as do campo, condições essas que favorecem o desenvolvimento e diminuem o estiolamento.

A diferença entre as modalidades está no fato de que, em pré-emergência, as diferentes concentrações de piplartina (0, 1000, 2000, 3000 e 4000 ppm), foram distribuídas sobre o solo antes da germinação da semente. Com auxílio de pipeta volumétrica, foram dispostos 10 mL de cada solução, no solo. Já em pós-emergência, as soluções foram borrifadas (cerca de 2 mL) sobre as plantas já emergidas de milho, com duas folhas simples completamente desenvolvidas (Figura 4), com auxílio de borrifador. Os testes foram realizados em triplicata. Durante todos os dias de duração do experimento, ocorreu irrigação manual das plantas.

**Figura 4 - Planta de milho com duas folhas verdadeiras completas.**



**Fonte: Autoria própria (2023).**

#### 4.5 Avaliação em pré-emergência

Após aplicação da piplartina sobre o solo e semeadura das sementes, as mesmas foram depositadas em BOD até a germinação. Durante todos os dias foram contabilizadas as plântulas germinadas e quando todas as sementes se encontraram em fase de germinação avançado foram transportadas até a casa de vegetação, onde permaneceram por 21 dias, até o final do experimento.

Após 7 dias da emergência das plântulas, foram realizadas as determinações semanais (no 7°, 14° e 21° após emergência) de comprimento da parte aérea, diâmetro de caule, como representado na Figura 5, e fitotoxicidade, determinada pela escala de Frans (1986), representada na Tabela 1, onde foram atribuídas notas de 0 a 100 para cada planta.

**Figura 5 - Medição do diâmetro de caule.**



**Fonte: Autoria própria (2023).**

Ao final do 21° dia as plantas foram cuidadosamente retiradas dos potes plásticos, foram então realizadas as medições de comprimento da radícula e parte aérea, avaliação das plantas normais, anormais e mortas, bem como a contagem do número de folhas por planta e avaliação da biomassa verde e seca das raízes e parte aérea.

A partir da contagem de plantas germinadas, realizadas nos primeiros 7 dias, foi possível realizar o cálculo de tempo médio de emergência (TME), índice de velocidade de emergência (IVE) e porcentagem de emergência (PE) (SOUZA FILHO; GUILHON; SANTOS, 2010):

Para a variável TME :  $TME = \frac{\sum ni \cdot ti}{n}$ , onde:

ni: número de sementes emergidas;

ti: tempo (dias) após o início do bioensaio.

Para IVE:  $IVE = \left(\frac{N_1}{1}\right) + \left(\frac{N_2}{2}\right) + \dots + \left(\frac{N_n}{n}\right)$ , onde:

N: sementes emergidas proporcional ao dia.

Para PE:  $PE = \left(\frac{N}{T}\right) \cdot 100$ , onde:

N: sementes emergidas proporcional ao dia.

A partir das medições realizadas no 21º dia foram calculados a porcentagem de plântulas normais (PN), anormais (PA) e mortas (PM), obtendo-as pelas seguintes equações (OLIVEIRA *et al.* (2010) e SILVA (2014):

$$PN = \left(\frac{nr}{T}\right) \cdot 100 \quad PA = \left(\frac{A}{T}\right) \cdot 100 \quad PM = \left(\frac{M}{T}\right) \cdot 100, \text{ onde:}$$

nr: número de plântulas normais;

A: número de plântulas anormais;

M: número de plântulas mortas;

T: número total de sementes a serem germinadas.

**Tabela 1 - Escala de Frans (1986)**

Nota	Efeito	Controle	Fitotoxicidade
0	Sem efeito	Sem controle	Sem injúria ou redução;
10		Muito pobre	Leve descoloração ou atrofia;
20	Leve	Pobre	Alguma descoloração ou atrofia, ou perda por atrofia;
30		Pobre a deficiente	Injúria mais pronunciada, mas não duradoura;
40		Deficiente	Injúria moderada, normalmente com recuperação
50	Moderado	Deficiente a moderado	Injúria mais duradoura, recuperação duvidosa;
60		Moderado	Injúria duradoura, sem recuperação;
70		Inferior ao satisfatório	Injúria pesada, redução de estande;
80		Satisfatório a bom	Cultura próxima da desnutrição, poucas plantas;
90	Severo	Muito bom a excelente	Raramente restam algumas plantas;
100		Total	Desnutrição completa da cultura;

**Fonte: Adaptado de Frans *et al.* (1986).**

#### 4.6 Avaliação em pós-emergência

Após semeadura das sementes, as mesmas foram depositadas em BOD para o desenvolvimento das plântulas, após a emergência foram levadas até casa de vegetação até o aparecimento da segunda folha verdadeira, quando foram então borrifados cerca de 2 mL das diferentes soluções de piplartina (1000, 2000, 3000, 4000 ppm e o controle) sobre todas as folhas.

Após uma semana da aplicação das soluções, foram efetuadas determinações semanais (7, 14 e 21 dias após a aplicação) de fitotoxicidade pela escala de Frans (Tabela 1), medição da altura das plantas e diâmetro de caule. Ao final do 21° dia as plantas foram retiradas dos potes cuidadosamente e então foram realizadas as medições das partes aéreas e das raízes, bem como, avaliação das plantas normais, anormais e mortas, contagem do número de folhas por planta e avaliação da biomassa verde e seca das raízes e parte aérea.

A partir das avaliações realizadas no 21° dia foram calculados a porcentagem de plântulas normais (PN), anormais (PA) e mortas (PM), obtendo-as pelas seguintes equações (OLIVEIRA *et al.* (2010) e SILVA (2014):

$$PN = \left(\frac{nr}{T}\right) \cdot 100 \quad PA = \left(\frac{A}{T}\right) \cdot 100 \quad PM = \left(\frac{M}{T}\right) \cdot 100, \text{ onde:}$$

nr: número de plântulas normais;

A: número de plântulas anormais;

M: número de plântulas mortas;

T: número total de sementes a serem germinadas.

#### 4.7 Tratamento dos dados

Com auxílio do software RStudio, foram verificadas primeiramente a normalidade através do teste de Shapiro- Wilk e a homogeneidade dos dados, através do teste de Bartlett. Em caso de confirmação da hipótese alternativa nas análises de variância (ANOVA), foi aplicado o Teste de Duncan para comparação de médias, com o nível de significância de 5%. Quando não se atendeu aos pressupostos da análise de variância aplicou-se o tratamento de dados que melhor se adequava.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

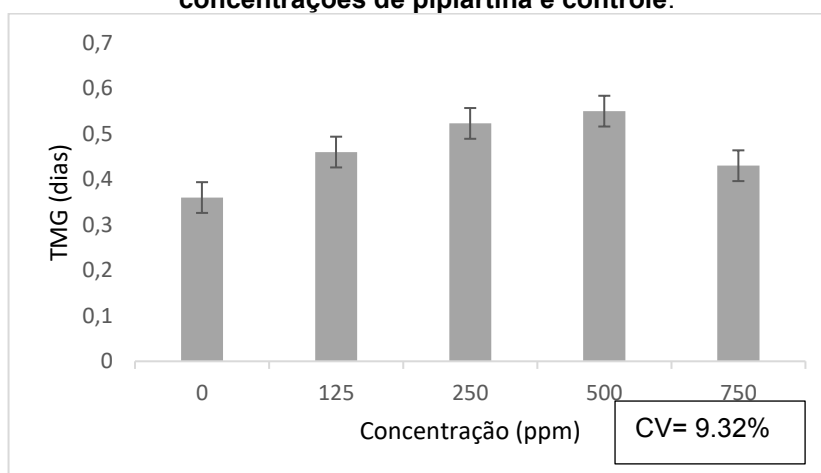
### 5.1 Bioensaio de germinação

#### 5.1.1 Índice de velocidade de germinação; Tempo médio de germinação e Porcentagem de germinação.

A partir das avaliações de germinação coletaram-se os dados, que foram tratados e posteriormente resultaram em gráficos para facilitar o entendimento. No 3º dia após a semeadura, todas as plântulas já haviam germinado (indicando que a variável PG foi de 100%), significando que as diferentes concentrações de piplartina não exerceram efeito sobre o tempo necessário para que ocorresse a germinação das sementes e nem sobre a velocidade de germinação. Porém nem todas emergiram de maneira homogênea.

Quando observamos o gráfico da Figura 6, que representa o intervalo de confiança das médias para essa variável, notamos que as concentrações 125, 250, 500 e 700 ppm não apresentaram diferença significativa entre elas, entretanto 125, 250 e 500 ppm apresentam diferença significativa em relação à testemunha, demonstrando que a média de germinação é ligeiramente menor. Já a concentração de 750 ppm não diverge do controle.

**Figura 6 –Tempo médio de germinação das sementes de milho submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle.**



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Tal afirmação é mais visível utilizando os valores de comparação das médias, que podem ser observados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Comparação das médias para as variáveis TMG e IVG.**

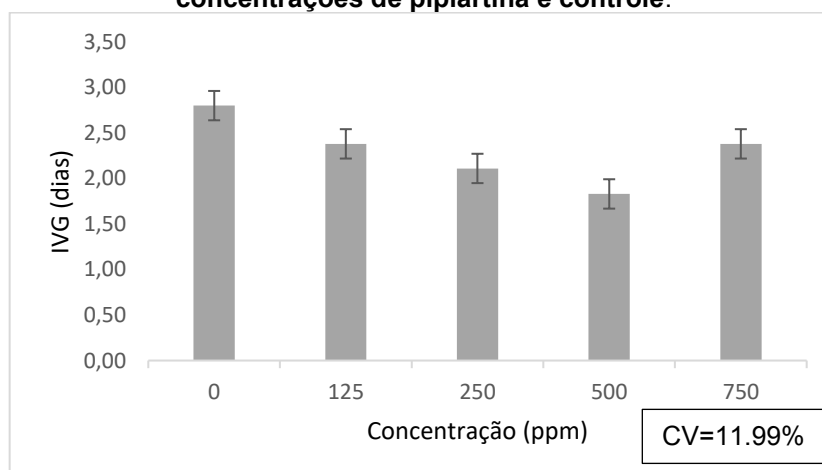
Concentração (ppm)	TMG (dias)	IVG (dias)
0	0,36 c	2,80 a
125	0,46 ab	2,38 ab
250	0,52 a	2,11 bc
500	0,55 a	1,83 c
750	0,43 bc	2,38 ab

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferenciam entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.

**Fonte: Autoria própria (2023).**

Para a variável IVG, observamos uma pequena diminuição com o aumento da concentração do aleloquímico em todas as concentrações, quando comparadas com a controle, exceto para a concentração de 750 ppm, onde ocorre um aumento da velocidade de germinação, que pode ser visualizada na Tabela 3, não apresentando diferença significativa entre as concentrações 0, 125, e 250 ppm.

Quando observamos na Figura 7, percebemos que o menor índice de velocidade de germinação ocorreu na concentração 500 ppm, que diverge significativamente das concentrações 125, 750 ppm e do controle. Outra observação importante é em relação ao aumento do IVG, quando se considera o aumento da concentração de 500 ppm para 750 ppm

**Figura 7- Índice de velocidade de germinação das sementes de milho submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle.**

**Fonte: Autoria própria (2023).**

As duas variáveis citadas apresentam valores de magnitude opostas, uma vez que a velocidade de germinação aumenta à medida que o tempo de germinação diminui. A porcentagem de germinação se manteve constante em todas as

concentrações, sendo ela 100% em todas as repetições, demonstrando que o aleloquímico não teve interferência na germinação em nenhuma das concentrações.

Valores obtidos a partir dos resultados deste índice estão de acordo com os de Formigheiri *et al.*, (2018), realizados com exsudo radicular de *Ambrosia artemisiifolia* (uma planta invasora) e que demonstraram influência negativa no IVG de plântulas de milho, porém não influenciando na porcentagem final de germinação. Os autores também realizaram bioensaios com o extrato aquoso da parte aérea da mesma planta, e obtiveram como resultado, menores índices de germinação em relação ao aumento da concentração do extrato, as concentrações eram de 25, 50 e 75% (v/v).

### 5.1.2 Comprimento de planta

Ao final do 7° dia de incubação, as plântulas foram retiradas das caixas de germinação e foi realizada a medição, utilizando uma régua, foram obtidos os dados de comprimento da radícula e hipocótilo. Foi possível avaliar o grau de interferência das diferentes concentrações do composto alelopático na parte aérea e no sistema radicular das plantas alvo, tais valores podem ser observados na Tabela 4.

**Tabela 3 - Comparação das médias para as variáveis comprimento de hipocótilo e radícula.**

Concentração (ppm)	Comprimento Hipocótilo (cm)	Comprimento Radícula (cm)
0	5,33 bc	10,47 a
125	6,88 a	11,98 a
250	6,02 b	12,34 a
500	3,37 d	4,49 b
750	4,84 c	6,21 b

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.

**Fonte: Autoria própria (2023).**

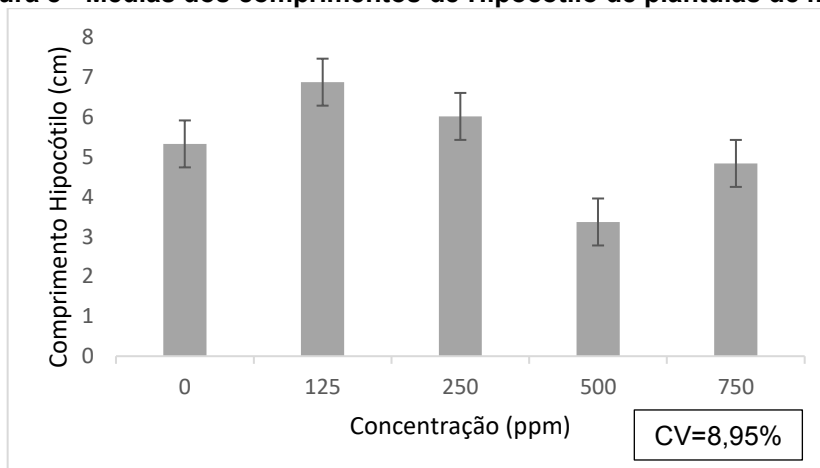
Observamos que os maiores valores de hipocótilo e de radícula foram os da testemunha, 125 e 250 ppm do aleloquímico, e os menores comprimentos foram das concentrações mais altas (500 e 750 ppm), demonstrando que houve interferência do aleloquímico no desenvolvimento dos sistemas radiculares e partes aéreas.

Ainda, a partir dos dados da Tabela 4 podemos afirmar que para a variável hipocótilo, não houve diferença significativa entre a 0, 250 e 750 ppm, porém as demais concentrações (125 e 500 ppm) apresentam diferenças significativas entre si



e quando comparadas com as demais, tais dados são confirmados através do gráfico representado na Figura 8.

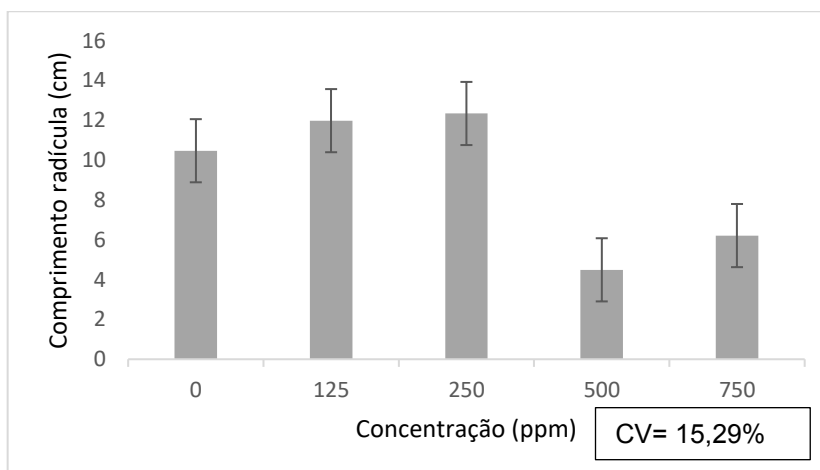
**Figura 8 - Médias dos comprimentos de Hipocótilo de plântulas de milho.**



Fonte: Autoria própria (2023).

Para a variável comprimento de radícula observamos que com o aumento da concentração da piplartina ocorreu um pequeno aumento da variável e posteriormente decréscimo do sistema radicular, as maiores médias ocorreram na concentração de 125 ppm, e as menores ocorreram na de 500 ppm. Segundo a tabela de comparação de médias (Tabela 4), as concentrações 750 e 500 ppm não apresentaram diferenças significativas entre si, mas divergem consideravelmente das concentrações 0, 125 e 250 ppm, que por sua vez não divergem consideravelmente entre si. Podemos observar na Figura 9 que tais características podem ser confirmadas.

**Figura 9 - Médias dos comprimentos de radícula de plântulas de milho.**



Fonte: Autoria própria (2023).

Diminuição no comprimento da radícula estão demonstrados em estudos como os de Ferreira e Aquila (2000), que afirmam que substâncias com potencial alelopático atuam com mais eficiência na radícula, induzindo a necrose ou a diminuição no comprimento da mesma, ainda que a influência do aleloquímico seja pouca.

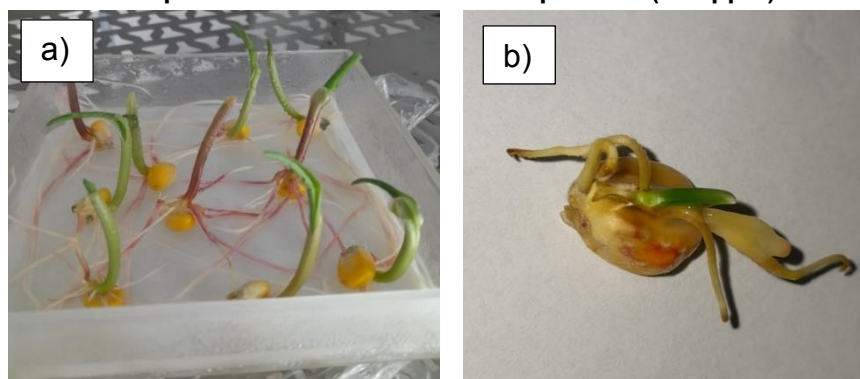
Assim como em estudos de (SCHEREN; RIBEIRO; NOBREGA, 2014) que demonstram inibição de plântulas de milho (*Z. Mays*) quando submetidas a extrato aquoso da parte aérea de *Cyperus rotundus* L. (nome popular Tiririca) a 30% de concentração.

Ainda, em bioensaios realizados por Menin (2020) com ervas daninhas como plantas alvos, sendo elas *B. pilosa* e *E. heterophylla*, com objetivo de avaliar o potencial alelopático da piplartina, demonstram uma diminuição de 1,5 cm do comprimento da radícula da planta alvo *E. heterophylla*, para a concentração de 125 ppm quando comparadas ao controle. E em plantas alvo *B. pilosa*, apresentaram queda no comprimento da radícula em concentrações a partir de 250 ppm, demonstrando que a piplartina atua diminuindo o crescimento de plantas daninhas, nas mesmas concentrações que as deste trabalho.

### 5.1.3 Plantas normais, anormais e mortas

Também no último dia de análise foram contabilizadas as plântulas normais, anormais e mortas. Plantas normais são observadas a partir do seu desenvolvimento sadio, plântulas anormais apresentam necrose em alguma parte da radícula ou do hipocótilo, ou até mesmo má formação, mesmo que o dano seja consideravelmente pequeno. Diferenças entre plântulas normais e anormais são observadas na Figura 10.

**Figura 10 - a) Plântulas normais (125 ppm) e b) plântula apresentando necrose no sistema radicular e pouco desenvolvimento do hipocótilo (500 ppm).**



Fonte: Autoria própria (2023).

A partir da observação dos dados, podemos afirmar que na concentração de 500 ppm ocorre a maior quantidade de plântulas anormais, enquanto que nas concentrações de 0, 125, 250 e 750 ppm, observamos a grande maioria de plântulas normais. Nesse ensaio não foi observado morte de nenhuma plântula.

**Tabela 4 - Comparação das médias para as variáveis PN e PA.**

Concentração (ppm)	PN (%)	PA (%)
0	96,67 a	3,33 b
125	96,67 a	3,33 b
250	100 a	0 b
500	40 b	60 a
750	73,33 a	26,67 b

\*Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.

**Fonte: A autoria própria (2023).**

Observamos que em algumas concentrações do aleloquímico, ocorre interferência nas variáveis IVG e TMG, porém, pode-se afirmar que em todas as doses (exceto na 500 ppm), não houve grande porcentagem de plântulas anormais, como podemos visualizar na Tabela 5. As maiores porcentagens ocorreram quando as plântulas estavam expostas a doses menores do agente alelopático (125 e 250 ppm), bem como na dose controle. A concentração de 750 ppm teve uma porcentagem de plântulas normais ligeiramente menor, porém o valor da média obtida não divergiu significativamente das doses menores, exceto 500 ppm, que apresentou menores médias de plântulas normais e consecutivamente maiores porcentagens de plântulas anormais. Tais valores estão ilustrados na Figura 10, que contempla o intervalo de confiança para PN e PA consecutivamente.

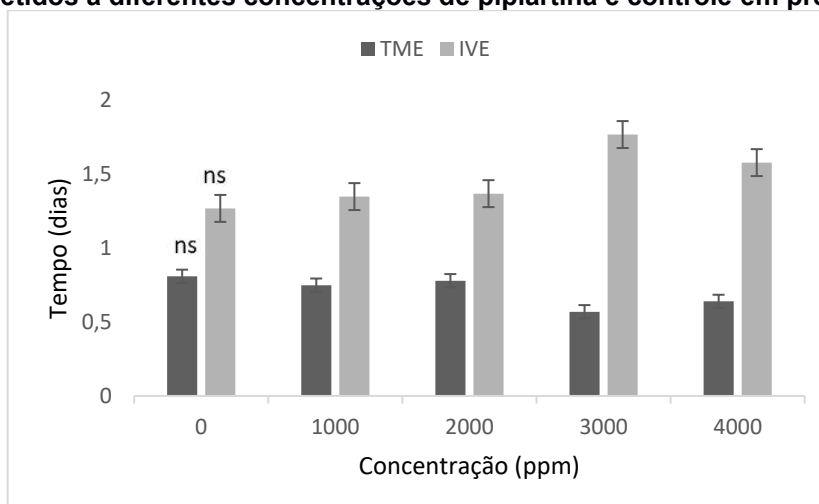
Para que uma molécula possa atuar como bioherbicida ela deve demonstrar eficiência no controle de plantas daninhas, e ainda apresentar seletividade para culturas importantes, não ocorrendo injúrias, anormalidade ou morte de plantas. Poucos ensaios foram realizados com a molécula piplartina, mas em todos, os resultados são positivos, demonstrando que a biomolécula tem potencial como agente alelopático, inibindo o crescimento de plantas daninhas, em análises realizadas com diferentes concentrações, em ambiente de campo ou de laboratório, como os de Lima (2022) e Menin (2020), e por outro lado, demonstra seletividade para a soja, cultura importante economicamente para o país, como aponta Pilatti (2022).

## 5.2 Pré – Emergência

### 5.2.1 Índice de velocidade de germinação; Tempo médio de germinação e Porcentagem de germinação.

Durante os primeiros 7 dias após a sementeira foram contabilizadas diariamente as plântulas emergidas do solo, tais valores possibilitaram os cálculos das variáveis TME, IVE e PE. Todos os potes contendo as plântulas foram retiradas da câmara BOD e foram transferidas até casa-de-vegetação no 4º dia pós sementeira. Não houve influência na variável PE, sendo que todas as plântulas estavam completamente emergidas no 7º dia pós sementeira.

**Figura 11 – Tempo médio de emergência e índice de velocidade de emergência de plantas de milho submetidos a diferentes concentrações de piplartina e controle em pré-emergência.**



\*Médias seguidas por ns não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.

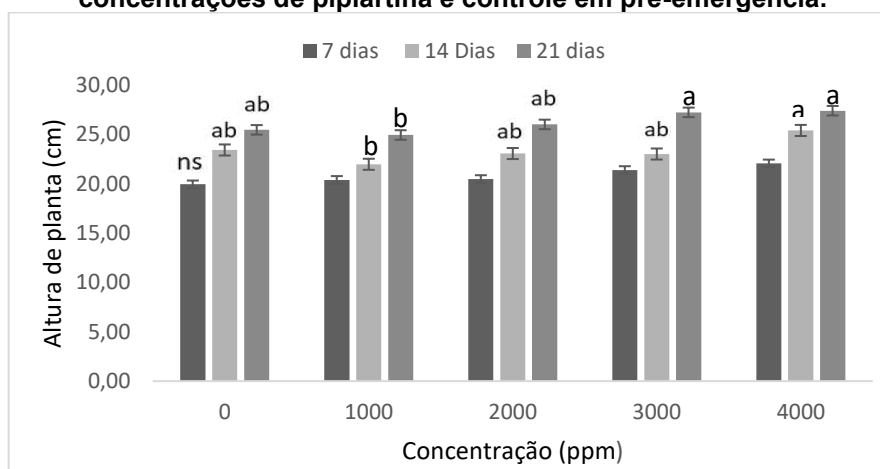
**Fonte: Autoria própria (2023).**

A partir dos dados da Figura 11, não houve influência na variável PE, sendo que todas as plântulas estavam completamente emergidas no 7º dia pós sementeira, correspondendo então a 100% de emergência das plantas. Podemos observar que para a variável TME ocorreu um leve decréscimo a partir da concentração de 3000 ppm, porém não observamos diferença significativa entre as concentrações. O mesmo se aplica para a variável IVE, onde não se observa diferença significativa entre as concentrações e a testemunha, ocorre um acréscimo no índice a partir da concentração 3000 ppm.

### 5.2.2 Altura de planta e diâmetro de caule

Foram realizadas as medições de ambas variáveis semanalmente (7, 14 e 21 dias) após uma semana da primeira emergência. Altura de planta foi medida esticando a parte aérea com auxílio de uma régua, que era colocada junto ao solo, os dados de diâmetro de caule foram obtidos através da medição dos mesmos, com auxílio de paquímetro.

**Figura 12 - Médias das alturas de plantas aos 7, 14 e 21 dias submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pré-emergência.**



\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância; ns: não significativo.

**Fonte: Autoria própria (2023).**

CV 7dias =12,19%
CV 14dias=7,21%
CV 21dias=4,41%

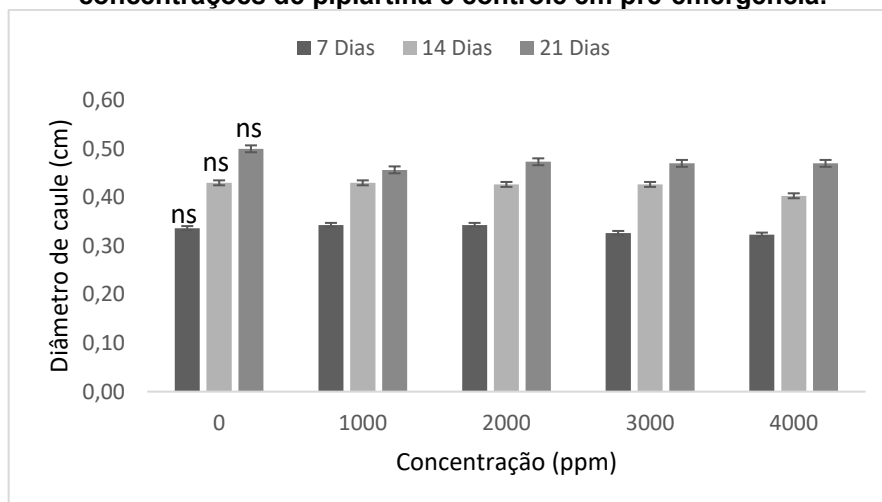
A partir da Figura 12, podemos observar a comparação das médias das medições realizadas semanalmente, na primeira medição não houve diferença significativa entre as concentrações. Já para as médias das medições realizadas no 14º dia ocorreu diferença significativa entre a 1000 ppm e a 4000 ppm onde se observa um aumento da variável, sendo respectivamente as menores e maiores médias observadas.

Para as médias da terceira medição, observamos diferença significativa entre a concentração 1000 ppm, quando comparada a 3000 e 4000 ppm, porém as mesmas não divergem da testemunha e nem da dose 2000 ppm.

Para a variável diâmetro de caule, observada na Figura 13, não observamos diferenças significativas em nível de 5% de significância para as medições realizadas

semanalmente (7, 14 e 21 dias), apontando que as concentrações do aleloquímico não provocaram diferenças no diâmetro de caule das plantas de milho.

**Figura 13 - Médias dos diâmetros de caule aos 7, 14 e 21 dias submetidas diferentes concentrações de piplartina e controle em pré-emergência.**



\*Médias seguidas por ns não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância

**Fonte: Autoria própria (2023).**

CV 7 dias = 5,92%
CV 14 dias = 6,07%
CV 21 dias = 6,58%

### 5.2.3 Comprimento da planta (raiz e parte aérea)

As plantas foram retiradas dos potes cuidadosamente no 21º dia pós semeadura e então foram realizadas as medições das partes aéreas e dos sistemas radiculares, esticando-se as plantas sobre uma trena, como ilustrada na Figura 14. As partes foram medidas separadamente.

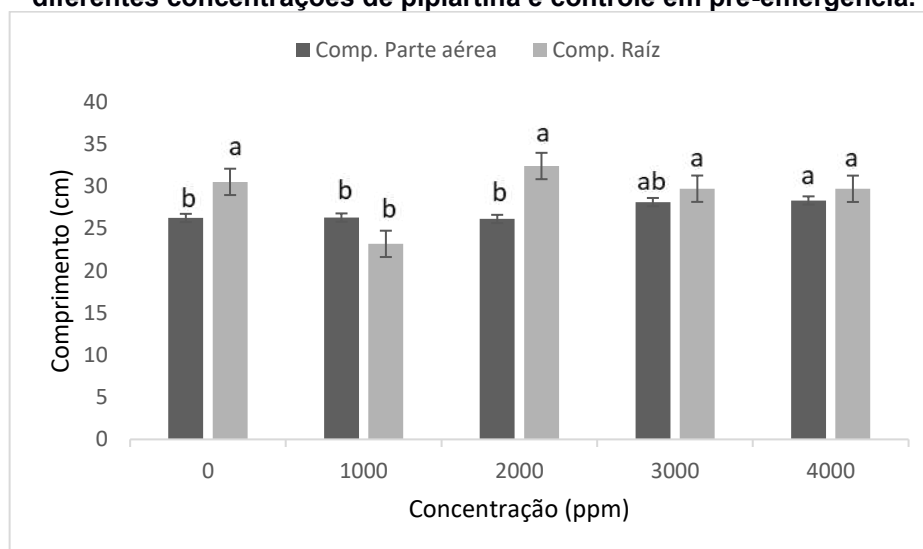
**Figura 14 - Medição da parte aérea de planta de milho no 21º dia em modalidade de pré-emergência.**



**Fonte: Autoria própria (2023).**

Com auxílio do gráfico da Figura 15, para a variável comprimento da parte aérea notamos leve alongamento do comprimento com o aumento da concentração, porém não ocorre diferença significativa entre as plantas submetidas as concentrações de 0, 1000, 2000 e 3000 ppm, essa última também não diverge consideravelmente da 4000 ppm, que por sua vez diverge das demais. Já para comprimento de raíz, as médias não divergem significativamente nas concentrações de 2000, 3000 e 4000 ppm quando comparadas com a dose controle, ocorre diferença significativa nas médias dos comprimentos quando submetidos a concentração de 1000 ppm comparada a controle e as demais concentrações, onde verifica-se uma leve diminuição do comprimento.

**Figura 15 - Médias dos comprimentos de parte aérea e raízes de plantas de milho submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pré-emergência.**



\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância; ns: não significativo.

**Fonte: Autoria própria (2023).**

CV parte aérea=3,92% CV raiz=7,70%
---------------------------------------

#### 5.2.4 Número de folhas por planta

A Figura 16 representa número de folhas por plantas, onde podemos observar que não houve diferenças significativas em nível de 5% de significância, sendo que as médias dos números de folhas foram praticamente iguais em todas as concentrações, demonstrando que não houve influência da piplartina nesta variável.

**Tabela 5 - Médias do número de folhas por plantas em cada concentração de piplartina.**

Concentração (ppm)	N° de folhas
0	3,67 a
1000	3,50 a
2000	3,58 a
3000	3,25 a
4000	3,56 a

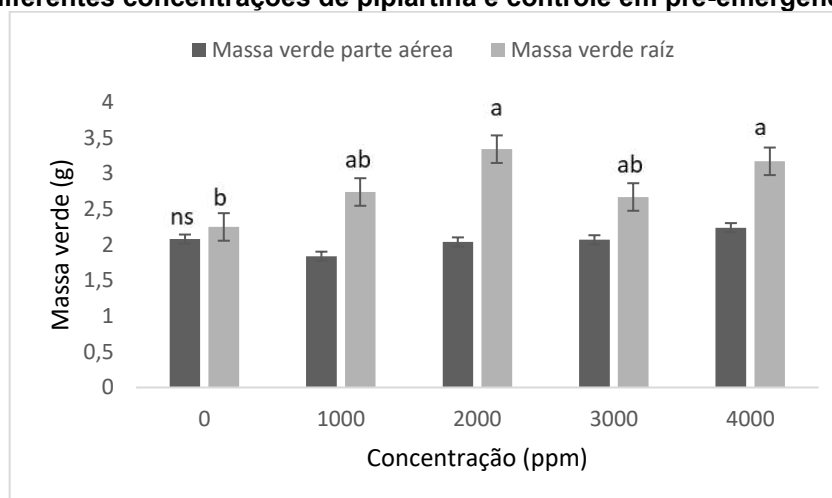
\*Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância

**Fonte: Autoria própria (2023).**

CV=8.90%

### 5.2.5 Massa verde (raízes e parte aérea)

Após a medição das partes aéreas e raízes, ambas as partes foram pesadas em balança analítica, posteriormente se obteve as médias de cada concentração, que podem ser observadas na Figura 16.

**Figura 16 - Médias das massas verdes da parte aérea e raiz de plantas de milho submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pré-emergência.**

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância; ns: não significativo.

**Fonte: Autoria própria (2023).**

CV parte aérea=20,59%  
CV raízes=15,00%

Para massa verde das partes aéreas, não é notável diferença significativa entre as médias, com significância de 5%. Para massa verde das raízes observamos um leve acréscimo entre as concentrações 1000 e 2000 ppm quando comparadas ao controle, a concentração de 3000 ppm sofre um leve decréscimo se comparada com a 2000 ppm e posteriormente as plantas submetidas a concentração de 4000 ppm

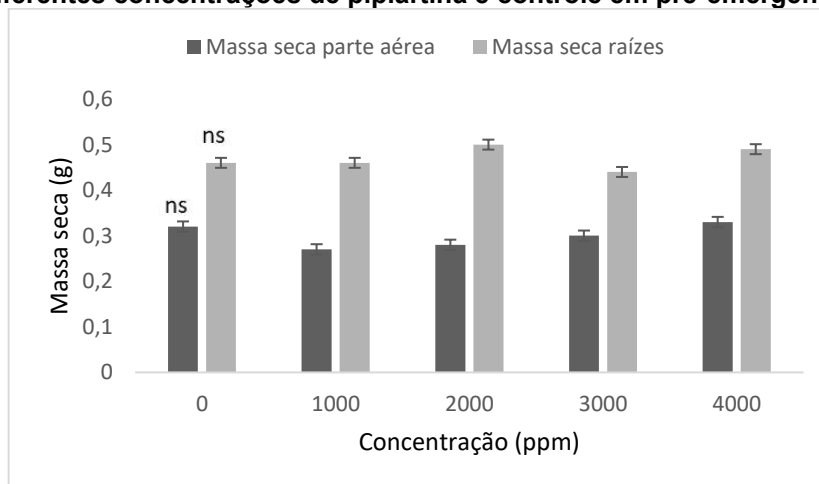


voltam a apresentar aumento no peso. Porém não se observa diferença significativa entre as médias quando submetidas as concentrações de 1000, 2000, 3000 e 4000 ppm quando comparadas entre si, porém a 2000 e a 4000 ppm divergem estatisticamente do controle. Por outro lado, 1000 e 3000 ppm não divergem consideravelmente do controle.

#### 5.2.6 Massa seca (raízes e parte aérea)

Depois da pesagem da massa verde, as partes das plantas foram colocadas em estufa com fluxo de ar, uma temperatura de 60°C, até atingir peso constante (SOUZA FILHO; GUILHON; SANTOS, 2010a). Posteriormente foram retiradas e pesadas novamente, a partir dos dados puderam ser obtidas as médias que foram submetidas à comparação, onde foi possível plotar o gráfico representado na Figura 18 para melhor visualização.

**Figura 17 - Médias das massas secas da parte aérea e raiz de plantas de milho submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pré-emergência.**



\*Médias seguidas por ns não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.

**Fonte: Autoria própria (2023).**

CV parte aérea=12,30% CV raízes=12,92%
---

A análise da comparação das médias da massa seca permite observar que não ocorreu diferença significativa entre as concentrações nas variáveis massa seca tanto da parte aérea como das raízes.

### 5.2.7 Fitotoxicidade

A variável fitotoxicidade foi avaliada com auxílio da escala de Frans (1986), representada na Tabela 1, através da atribuição de notas, que variavam de 0 a 100 dependendo do tipo e grau de injúria que ocorreu na planta, através das notas de cada planta obtiverem-se as médias por repetição, que podem ser observadas na Tabela 6.

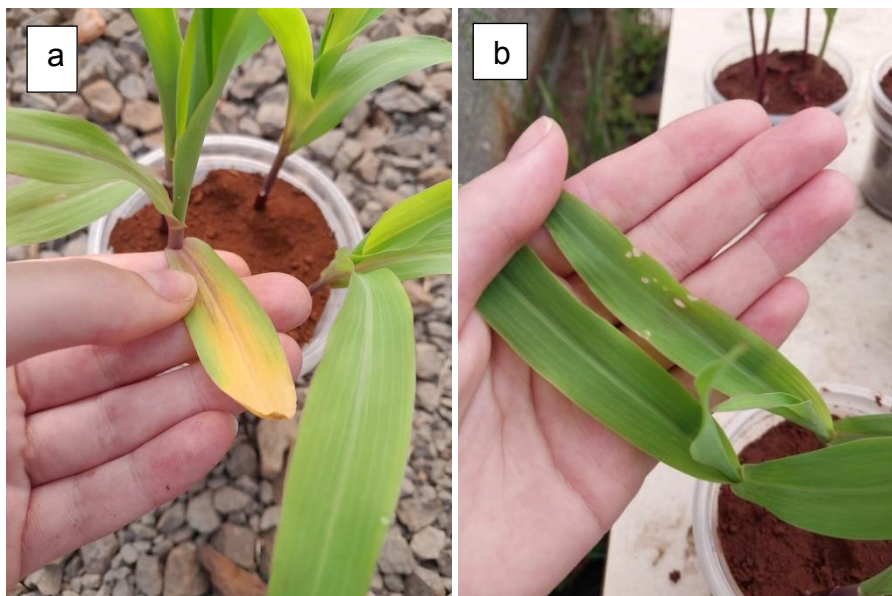
**Tabela 6 - médias das notas atribuídas devido ao grau de injúria das plantas na modalidade de Pré-emergência.**

Tempo (dias)	Concentração (ppm)	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3
7	0	0,0	0,0	0,0
14	0	0,0	2,5	0,0
21	0	5,0	5,0	5,0
7	1000	0,0	0,0	0,0
14	1000	2,5	5,0	2,5
21	1000	5,0	5,0	2,5
7	2000	0,0	0,0	0,0
14	2000	5,0	0,0	5,0
21	2000	2,0	0,0	5,0
7	3000	0,0	0,0	0,0
14	3000	0,0	0,0	2,5
21	3000	0,0	2,5	2,5
7	4000	0,0	0,0	0,0
14	4000	2,5	2,5	0,0
21	4000	2,5	2,5	5,0

**Fonte: Autoria própria (2023).**

Ao longo do experimento ocorreram alguns interferentes que podem ter influenciado na avaliação desta variável, como o acometimento de lagartas em algumas plantas que puderam ser observadas 8 dias após emergência, as mesmas foram erradicadas com auxílio de inseticida (Lannate<sup>®</sup>). Também pode-se observar que ao final dos 21 dias, algumas plantas estavam sofrendo com falta de espaço dentro dos potes, influenciando no tamanho das plantas e no seu desenvolvimento, observou-se também clorose que está relacionada à falta de nutrientes.

**Figura 18 - a) planta com folha apresentando clorose devido à falta de nutrientes; b) planta acometida por lagarta.**



**Fonte: Autoria própria (2023).**

As plantas que não foram acometidas com nenhum destes interferentes citados, não apresentavam necrose ou injúrias mais pronunciadas, sendo que as notas que foram atribuídas foram em sua totalidade 0 e 10. O que pode demonstrar que a piplartina teve pouco ou nenhum efeito negativo nas plantas, quando se tratando de fitotoxicidade.

Quando comparamos tais valores com trabalhos como os de Lima (2022), realizado com as mesmas concentrações de piplartina observamos que em plantas daninhas que neste caso foi a *E. plana* Nees, o efeito é mais severo, sendo o maior valor obtido para tal variável foi de 95, podemos afirmar que em plantas de milho o efeito negativo da piplartina (quando comparadas à exposição de plantas daninhas na modalidade de pré-emergência) é quase nulo, sendo um aleloquímico eficiente nessas condições e não influenciando negativamente nas plantas cultivadas.

Também no 21º dia observou-se que não havia nenhuma planta morta ou anormal, correspondendo a 100% de plantas normais, demonstrando que o aleloquímico não teve interferência na mortalidade ou anormalidade de plantas de milho.

Trabalhos como os de Silva (2011) apontam que plantas monocotiledôneas, como o milho, não apresentam muita seletividade para compostos isolados de plantas *Piper*, quando comparados com dicotiledôneas (como a soja). A partir de estudos de

amidas isoladas de *P. tuberculatum*, afirmam que dicotiledôneas são muito seletivas para felilalanina como substrato para enzima tetramétrica PAL (felilalanina amônia liase), a mesma é relacionada diretamente aos mecanismos de defesa da planta. O autor ainda afirma que em plantas monocotiledôneas (como o milho) as enzimas reconhecem a felilalanina como substrato, podendo ocorrer a produção do ácido *p*-cumárico, causando interferência na regulação metabólica dessas plantas.

### 5.3 Pós – Emergência

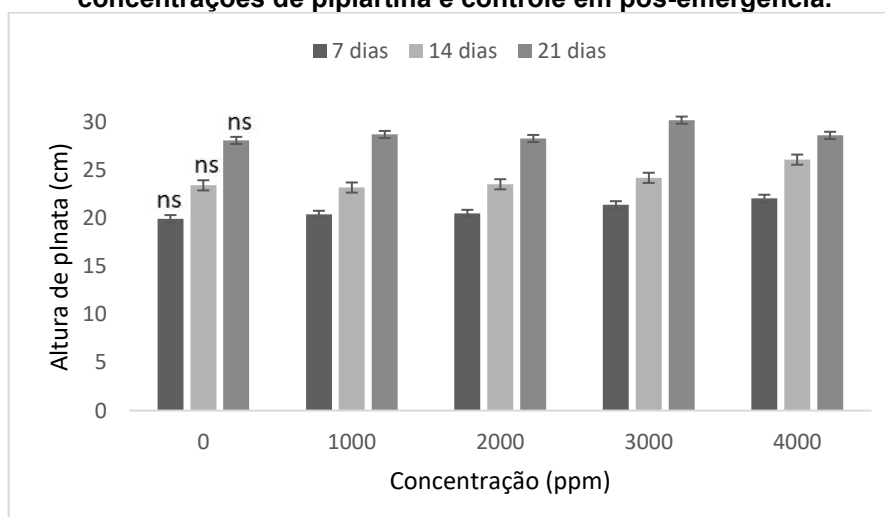
#### 5.3.1 Porcentagem de Emergência.

No 4º dia pós semeadura, sem aplicação do aleloquímico, todas as plântulas já haviam emergido, sendo assim a variável PE representa o valor de 100%. As diferentes concentrações de piplartina foram aplicadas quando se observou que a segunda folha verdadeira se desenvolveu completamente.

#### 5.3.2 Altura de planta e diâmetro de caule

Uma semana após aplicação iniciaram as medições de altura de planta e diâmetro de caule, que podem ser observadas na Figuras 21 e 22.

**Figura 19 - Médias das alturas de plantas aos 7, 14 e 21 dias submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pós-emergência.**



\*Médias seguidas por ns não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância.

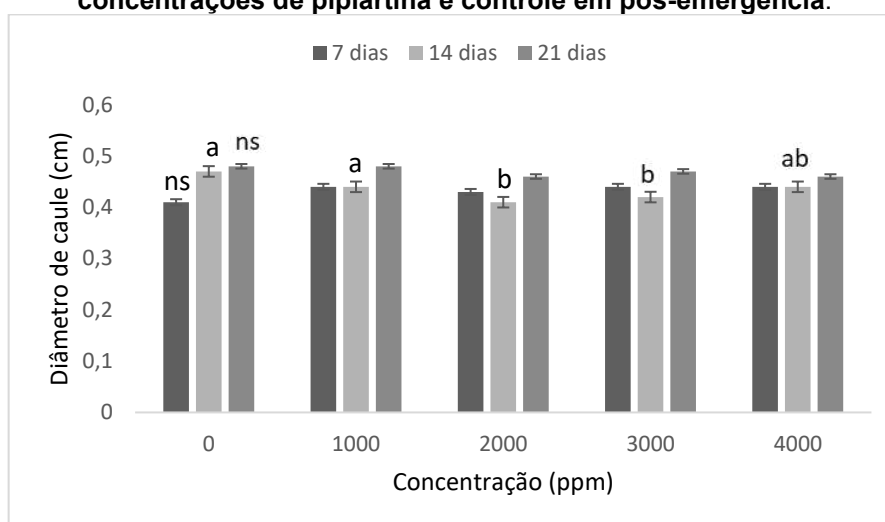
**Fonte: Autoria própria (2023).**

CV 7 dias=4,92%  
CV 14 dias=6,84%  
CV 21 dias= 5,65%

Observou-se que o comprimento das plantas aumentou com o passar do tempo, como esperado para o desenvolvimento das mesmas. Durante os dias de medição (7, 14 e 21 dias) não se observou diferença significativa entre as concentrações, ou seja, as diferentes concentrações de piplartina não influenciaram no desenvolvimento da parte aérea das mesmas.

Para a variável diâmetro de caule (Figura 22), observamos diferença significativa entre as concentrações apenas no segundo dia de medição (14 dias pós aplicação), sendo que no 7° e no 21° dia não ocorreu diferença significativa a 5% de significância, entre as concentrações aplicadas.

**Figura 20 - Médias dos diâmetros de caule aos 7, 14 e 21 dias submetidas diferentes concentrações de piplartina e controle em pós-emergência.**



\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância; ns: não significativo.

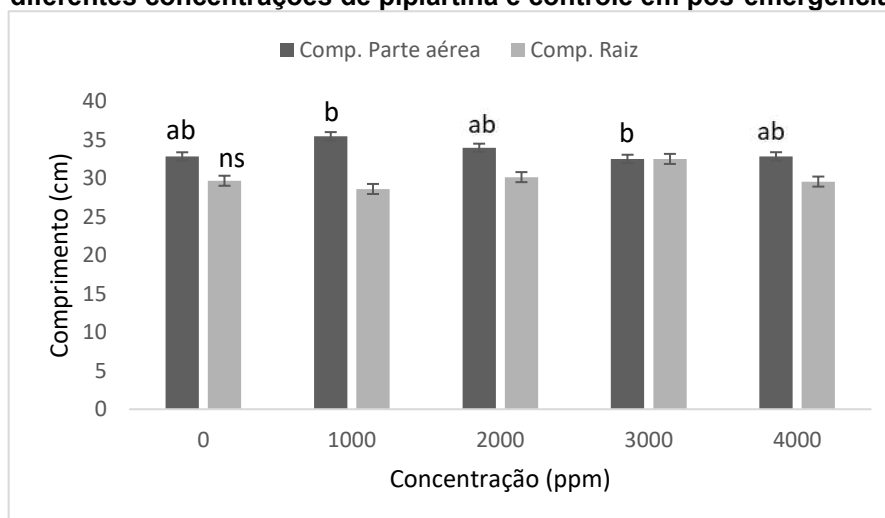
**Fonte: Autoria própria (2023).**

A partir dos dados, observou-se que no 14° dia, as concentrações 2000 e 3000 ppm divergiram do controle, mas não divergiram significativamente das demais. Ocorreu uma leve diminuição do diâmetro entre as plantas submetidas a concentração de 1000, 2000 e 3000 ppm quando comparadas à testemunha e posteriormente, um leve aumento na concentração de 4000 ppm.

### 5.3.3 Comprimento da planta (raízes e parte aérea).

No 21° dia, as plantas foram retiradas dos potes, sendo realizada a medição de comprimento de parte aérea e das raízes, essas variáveis são observadas nos gráficos das Figura 21.

**Figura 21 - Médias dos comprimentos de parte aérea e raízes de plantas de milho submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pós-emergência.**



\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância; ns: não significativo.

**Fonte: Autoria própria (2023).**

CV parte aérea= 5,38% CV raízes= 10,05%
--

Observamos que para comprimento de raízes não ocorreu diferença significativa entre as médias das diferentes concentrações com significância de 5% pelo teste de Duncan. Notamos que a maior média ocorreu na concentração de 3000 ppm. Já para comprimento de parte aérea ocorreu diferença significativa as concentrações de 1000 e de 3000 ppm, porém entre as demais concentrações não ocorreu diferença significativa. Observou-se também, que a maior média de comprimento de parte aérea ocorreu quando as plantas estavam submetidas à concentração de 1000 ppm, que não diverge das médias do controle 2000 e 4000 ppm.

#### 5.3.4 Número de folhas por planta

Para a variável número de folhas optou-se por demonstrar as médias em forma de tabela (Tabela 7) para melhor visualização. Observou-se que apenas a concentração de 2000 ppm apresentou menor quantidade de folhas por planta, ocorrendo diferença significativa pelo teste de Duncan a 5% de significância quando comparada as demais concentrações. Demonstrando que o aleloquímico teve interferência quando as plantas estiveram submetidas à concentração de 3000 ppm.

**Tabela 7 - Comparação das médias para a variável número de folhas por planta.**

Concentração (ppm)	N° de folhas
0	4,0 a
1000	4,0 a
2000	3,8 a
3000	4,0 a
4000	4,0 a

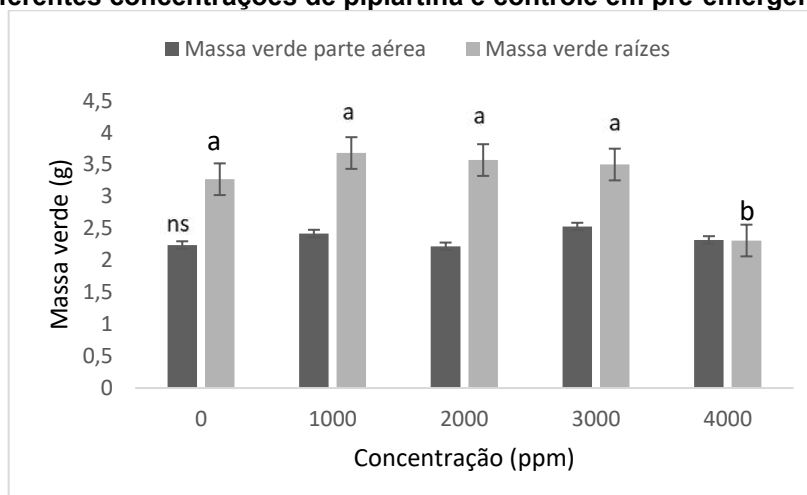
\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância; ns: não significativo.

**Fonte: Autoria própria (2023).**

CV=2,15%

### 5.3.5 Massa verde (raízes e parte aérea)

Para a variável massa seca da parte aérea, através da análise de variância, observou-se que não houve influência das diferentes concentrações de piplartina aplicadas nas plantas de milho. Já para massa verde das raízes, observou-se diferença significativa quando as plantas estavam submetidas à concentração de 4000 ppm do aleloquímico, demonstrando uma diminuição da massa quando comparadas as demais concentrações, bem como com o controle, conforme Figura 22.

**Figura 22 - Médias das massas verdes da parte aérea e raiz de plantas de milho submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pré-emergência.**

\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância; ns: não significativo.

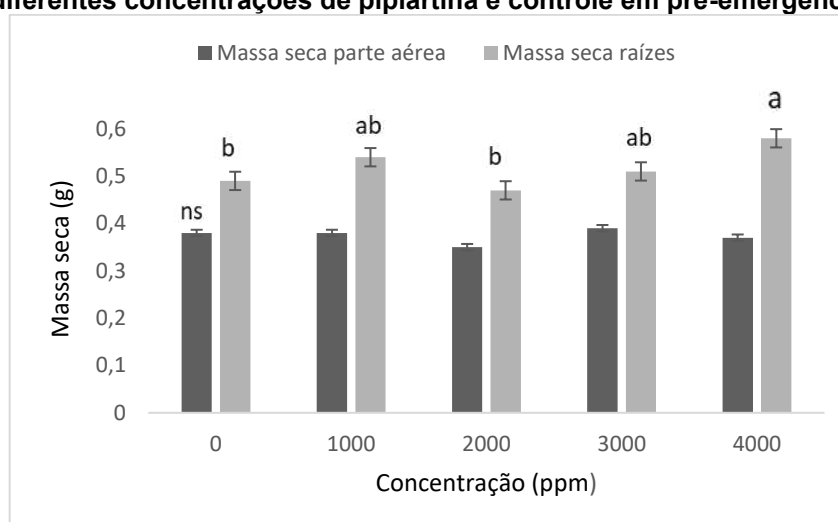
**Fonte: Autoria própria (2023).**

CV parte aérea = 9,28%  
CV raízes = 8,65%

### 5.3.6 Massa seca (raízes e parte aérea)

Para a variável massa seca da parte aérea, observa-se na Figura 23, que não houve diferença significativa entre as diferentes concentrações aplicadas do aleloquímico. Para as médias das massas secas das raízes, a análise de variância demonstrou que as plantas borrifadas com a concentração de 4000 ppm divergiram significativamente das plantas controle e de 2000 ppm, mas não divergiram das concentrações 1000 e 3000 ppm, que por sua vez não divergiram entre si e nem da testemunha.

**Figura 23 - Médias das massas secas da parte aérea e raiz de plantas de milho submetidas a diferentes concentrações de piplartina e controle em pré-emergência.**



\*Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Duncan a 5% de significância; ns: não significativo.

**Fonte: autoria própria (2023).**

CV parte aérea=13,83% CV raízes=13,83%
---

### 5.3.7 Fitotoxicidade

A variável fitotoxicidade, assim como na modalidade de pré-emergência, foi avaliada com auxílio da escala de Frans (1986), representada na Tabela 1, através da atribuição de notas, que variaram de 0 a 100 dependendo do tipo e grau de injúria que ocorreu na planta, através das notas de cada planta obtiverem-se as médias por repetição, que podem ser observadas na Tabela 8.

As plantas desta modalidade também foram acometidas pelos interferentes descritos na modalidade de pré-emergência (ataque de lagartas, pouco espaço nos



potes e solo possivelmente com pouco nutriente), isso dificultou a avaliação das injúrias que ocorreram por conta do aleloquímico. Mesmo assim, as maiores notas atribuídas foram de 10 nas diferentes concentrações indicando que quase não ocorreu interferência atribuída à piplartina.

**Tabela 8 - Médias das notas atribuídas para injúria para cada repetição na modalidade Pós-emergência.**

Tempo (dias)	Concentração (ppm)	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3
7	0	2,5	2,5	0,0
14	0	2,5	5,0	0,0
21	0	5,0	5,0	5,0
7	1000	5,0	0,0	2,5
14	1000	5,0	5,0	2,5
21	1000	5,0	5,0	5,0
7	2000	0,0	2,5	0,0
14	2000	5,0	0,0	5,0
21	2000	5,0	5,0	5,0
7	3000	0,0	2,5	2,5
14	3000	0,0	0,0	2,5
21	3000	5,0	5,0	5,0
7	4000	2,5	0,0	2,5
14	4000	2,5	2,5	0,0
21	4000	5,0	5,0	5,0

**Fonte: Autoria própria (2023).**

As médias representadas pela nota 5 por exemplo, significaram que naquela repetição, duas das plantas de cada repetição tiveram alguma leve descoloração ou atrofia (caracterizadas pela nota 10 (Tabela 1)). Percebe-se que no 21º dia em todas as repetições, ocorrerem as maiores notas, isso pode estar relacionado aos interferentes que ocorreram (citados anteriormente).

Em resumo, algumas variáveis foram mais favorecidas na modalidade de pós-emergência quando comparadas as de pré, como podemos ver quando comparamos as alturas de planta em cada modalidade, essa diferença pode ser atribuída ao fato de as plantas na modalidade de pós-emergência, ficarem uma semana a mais nos potes, onde puderam se desenvolver por mais tempo após a semeadura, por outro lado, na modalidade de pré-emergência as plantas estiveram em contato com a piplartina desde o primeiro dia de semeadura, o que pode ter influenciado no desenvolvimento da altura de planta.

Outro fator importante a ser citado, é a capacidade das folhas de absorver o aleloquímico ou até mesmo outras substâncias presentes. Existem barreiras da planta que impedem a mesma de absorver algumas substâncias, entre elas podemos citar a cutícula foliar, que é considerada a barreira mais efetiva neste caso.

Segundo Karam, Cruz e Rizzardi (2008), a eficiência dos herbicidas aplicados na modalidade de pós-emergência está atrelada principalmente a dois fatores: condições climáticas no momento de aplicação e estágio de desenvolvimento das plantas alvo.

Lima (2022), observou que as plantas daninhas tiveram menor inibição, morte ou anormalidade quando submetidas a aplicação da piplartina na modalidade de pós-emergência (nas mesmas concentrações de piplartina deste trabalho), do que na modalidade de pré-emergência. Demonstrando que os resultados deste trabalho estão de acordo com trabalhos anteriores, cujos resultados relatam que as plantas daninhas foram afetadas significativamente quando submetidas à modalidade de pós-emergência, porém observaram-se maiores diferenças quando submetidas ao aleloquímico na modalidade de pré-emergência.

## 6 CONCLUSÃO

Muitos fatores podem influenciar a seletividade da piplartina sobre as plantas de milho, em especial a modalidade de aplicação e condições pelas quais as plantas foram expostas durante o experimento.

Nos ensaios em ambiente de laboratório, onde as sementes e plântulas de milho foram expostas ao aleloquímico em fase inicial de germinação, observou-se grande quantidade de plântulas anormais, principalmente quando em contato com as concentrações de 500 e 750 ppm. A piplartina não influenciou na porcentagem de germinação, que foi de 100% em todas as concentrações, mas teve influência para as variáveis TMG e IVG, as quais apresentaram diferença significativa entre as concentrações. Por fim, para comprimento de parte aérea e dos sistemas radiculares, observou-se diferença significativa entre as concentrações nas duas variáveis, onde as menores médias observadas ocorreram em 500 ppm, demonstrando que a piplartina influenciou negativamente a germinação das plântulas quando submetidas a concentrações maiores.

Na modalidade de pré-emergência, não se observou diferença significativa entre as concentrações do aleloquímico, nas variáveis TME e IVE, variável diâmetro de caule nos 3 dias de medições, bem como para massa verde da parte aérea e massa seca da parte aérea e raízes. Para as demais variáveis, nota-se que as diferenças significativas ocorrem principalmente quando as plantas estão submetidas as concentrações de 3000 e 4000 ppm, demonstrando que ocorrem efeitos mais nocivos para as plantas.

Para a modalidade de Pós-emergência, observou-se maiores efeitos negativos entre as concentrações, para as variáveis comprimento das partes aéreas, massa verde das raízes e massa seca das mesmas, onde as médias mais distintas ocorreram nas concentrações mais elevadas, como 3000 e 4000 ppm. As demais variáveis não apresentaram diferença significativa entre as concentrações.

A avaliação de fitotoxicidade para as duas modalidades teve interferentes, como citados ao longo do texto, impossibilitando uma avaliação mais minuciosa, porém as maiores notas atribuídas nas duas modalidades foram 10, ilustrando que houve no máximo uma leve descoloração ou atrofia ocasionadas por injúrias.

Como observado em estudos anteriores citados ao longo do trabalho, a piplartina possui potencial para controle de plantas daninhas, porém até a elaboração

desse trabalho, existem na literatura poucos estudos acerca do potencial alelopático da piplartina e da seletividade sob plantas cultivadas.

A partir dos resultados expostos pela autora, conclui-se que a molécula apresenta seletividade para a cultura de milho, pois os danos observados em pré e pós emergência em solo foram pequenos. Entretanto, seria necessário realizar novos testes onde as plantas devem estar dispostas em potes maiores, proporcionais ao desenvolvimento das plantas e o tempo de experimento, e também em local com maior controle de pragas, para que tais influências não venham afetar a avaliação final do experimento.

## REFERÊNCIAS

- BALBINOT JUNIOR, A. A. Manejo de plantas daninhas pela alelopatia. **Revista agropecuária catarinense**. v.17, n.1, pg. 61-64, 2004.
- BERLINCK, R. G. S.; BORGES, W. de S.; SCOTT, M. T.; VIEIRA, P. C. **A química de produtos naturais do brasil do século XXI**. v. 40, n. 6, p. 706–710, 17 de maio 2017. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170070>.
- BEZERRA, D. P. et al. In vitro and in vivo antitumor effect of 5-FU combined with piplartine and piperine. **Journal of applied toxicology, chichester**, v. 28, n.2, p. 156-163. 2008.
- BLUM, U. Fate of phenolic allelochemicals in soils - the role of soil and rhizosphere microorganisms. In: MACÍAS, F. A. et al. (Ed.). **Allelopathy**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2004.
- BRAGA, R. **Plantas do nordeste, especialmente do Ceará**. Centro de Divulgação Universitária - Estudos e Ensaio. Biblioteca de Divulgação e Cultura. Publicação nº 2, ser. 1ª., p. 523, 1953.
- BORGES, P. L.; AMORIM, A. V.. Metabólitos secundários de plantas. **Agrotecnologia**, v. 11, p. 14, 2020. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/288224916.pdf>. Acesso em 16 de maio.
- BODIWALA, H. S. et al. Antileishmanial amides and lignans from Piper cubeba and Piper retrofractum. **Journal of Natural Medicines**, v. 61, n. 4, p. 418–421, 27 ago. 2007.
- CASTRO, M. de J. P. de. **Potencial inseticida de extratos de Piper Tuberculatum Jacq. (Piperaceae) sobre a fase larval de Spodoptera Frugiperda (J. E. Smith)**. 2007. Universidade Federal do Piauí, 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/123407/1/DissertacaoMariaJesus.pdf>.
- CAMARGO, A. P. **Aplicação de compostos polifenólicos de Canavalia ensiformis (L.) DC. e Mucuna aterrima (Piper & amp; Tracy) Holland na germinação e na emergência de plantas espontâneas**. 2013. 119 f. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 8. Oitavo levantamento, maio de 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/> Acesso: 30 de maio 2023.
- COTINGUIBA, F. et al. **Proteomic profile of Piper tuberculatum (Piperaceae)**. Brazilian Journal of Biology, v. 78, nº 1, p. 117-124, 2018.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. Principais aspectos da resistência de plantas daninhas ao herbicida glyphosate. **Planta Daninha**, v. 21, n. 3, p. 507–515,

2003.

DERAL - **Departamento de economia rural**. Departamento de Economia Rural, v. 434, n. 41, p. 1 - 17, 2023. Disponível em: [https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos\\_restritos/files/documento/2023-02/boletim\\_semanal\\_05\\_deral\\_02\\_fevereiro\\_2023.pdf](https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2023-02/boletim_semanal_05_deral_02_fevereiro_2023.pdf). Acesso em 31 de maio de 2023.

FELIPE, F. C. B.; SOUSA FILHO, J. T.; SOUZA, L. E. de O.; SILVEIRA, J. A.; UCHOA, D. E. de A.; SILVEIRA, E. R.; PESSOA, O. D. L.; VIANA, G. S. de B. Piplartine, an amide alkaloid from *Piper tuberculatum*, presents anxiolytic and antidepressant effects in mice. **Phytomedicine**, v. 14, n. 9, p. 605–612, set. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2006.12.015>.

FERREIRA, A. G.; AQUILA, M. E. A. Allelopathy : an emerging topic in ecophysiology. **Revista brasileira de fisiologia vegetal**, v. 12, n. VII, p. 175–204, 2000. Disponível em: <http://www.lpv.esalq.usp.br/sites/default/files/4%20-%20Referencia%2011%20-%20Alelopatia%20na%20agricultura.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

FILHO, Raimundo B. Contribuição da Fitoquímica Para o Desenvolvimento de um País Emergente. **Química Nova**, v. 33, n. 1, 2010.

FONTENELE, J. B. *et al.* Antiplatelet effects of piplartine, an alkamide isolated from *Piper tuberculatum*: possible involvement of cyclooxygenase blockade and antioxidant activity. **The journal of pharmacy and pharmacology**, London, v.61, n.4, p.511-515. abr. 2009.

FORMIGHERI, Felix B.; BONOME, Lisandro T.S.; BITTENCOURT, Henrique von H.; LEITE, Keidima; REGINATTO, Maicon; GIOVANETT, Leonardo K. **Alelopatia de *Ambrosia artemisiifolia* na germinação e no crescimento de plântulas de milho e soja**. v. 3, n. 41, p. 729–739, 2018. <http://dx.doi.org/10.19084/RCA18074>.

FRANS, R.; TALBERT, R.; MARX, D.; CROWLEY, H. Experimental design and techniques for measuring and analyzing plant responses to weed control practices. **Southern weed science society**, 3ª edição, p. 29–46, 1986.

GARCÍA, Á. G; CARRIL, E. Pérez-Urria. Metabolismo secundário de plantas. **Reduca**, v. 2, n. 3, p. 119–145, 2009. Disponível em: <http://www.revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/798>. Acesso em: 15 de maio de 2023.

GONÇALVES, V. D. *et al.* Allelopathic potential of *Inga laurina* leaf extract on lettuce seed germination. Científica, 2016.

GUIMARÃES, E. F.; GIORDANO, L. C. da S. Piperaceae do nordeste brasileiro i: estado do Ceará. **Rodriguesia**, Rio de Janeiro, v. 55, n. 84, p. 21–46, 2004. DOI: 10.1590/2175-78602004558402.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -. **Áreas Territoriais**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do->

territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=o-que-e. Acesso em: 09 maio 2023.

IAS- International Allelopathy Society. 1996. Disponível em: <<http://www.international-allelopathy-society.org/>>. Acesso em: 26 de abril de 2023.

KARAM, D.; MELHORANÇA, A. L. Cultivo do Milho. **Sistemas de produção embrapa**, v. 2, n. 6, p. 1–7, 2008. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/491888/4/Plantasdaninhas.pdf> Acesso em: 1 maio 2023.

KARAM, D. Manejo integrado de plantas daninhas. **Simpósio sobre manejo de plantas daninhas no Semi-Árido**, p. 151–158, 2007. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/72933/1/Manejo-integrado-5.pdf>. Acesso em: 1 maio 2023

KARAM, D.; CRUZ, M. B. da; RIZZARDI, M. A. Manejo de plantas daninhas na cultura do milho. **Manual de manejo e controle de plantas daninhas. Passo Fundo: Embrapa Trigo**, p. 659-680, 2008.

KATO-NOGUCHI, H.; KURNIADIE, D. Allelopathy of Lantana camara as an Invasive Plant. **Plants**, v. 10, p. 1028, 2021.

KOZLOWSKI, L. A. Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do milho baseado na fenologia da cultura. **Planta daninha**, Viçosa-MG, v. 20, n. 3, p. 365–372, 2002. DOI: 10.1590/s0100-83582002000300006.

LIMA, G. M. de. **Atividade fitotóxica e análise toxicológica de piplartina: aplicação em processos biotecnológicos**. 2022. 122 f. Dissertação – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/27884>.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F.O.M.; SCHAFFERT, R. E. **Fisiologia da planta do sorgo**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 46 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 3).

MENIN, M. **Extrato metabólico de raízes de *Piper tuberculatum* e piplartina: Verificação de atividade alelopática para potencial aplicação em processos biotecnológicos**. 2021. 133 f. Dissertação – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2021. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4845>.

MIRANDA, J.; ROCHA, K. C.; BORTOLI, S. A. de; NAVICKIENE, H.; KATO, M. J.; FURLAN, M.; OLIVEIRA, J. E. M. de. Potencial Inseticida do Extrato de Piper tuberculatum (PIPERACEAE) Sobre Alabama argillacea (Huebner, 1818)(Lepdoptera: Noctuidae). **Rev. bras. ol. fibros**, v. 6, p. 557–563, 2002.

MOLISCH, H. **Der Einfluss einer Pflanze auf die Andere: Allelopathie**. 1. ed. [s.l.] Nature Publishing Group, 1937. v. 141

MORAES, J., NASCIMENTO, C., LOPES, P. O., NAKANO, E., YAMAGUCHI, L. F., KATO, M. J., KAWANO, T. Schistosoma mansoni: In vitro schistosomicidal activity of piplartine. **Exp. Parasitol.** v.127, n.2, p.357–364, 2011.

MORAES, J., NASCIMENTO, C., YAMAGUCHI, L. F., KATO, M. J., NAKANO, E., Schistosoma mansoni: In vitro schistosomicidal activity and tegumental alterations induced by piplartine on schistosomula. **Exp. Parasitol.** v.132, n.2, p.222–227, 2012.

NAVICKIENE, H. M. D. *et al.* Antifungal amides from *Piper hispidum* and *Piper tuberculatum*. **Phytochemistry**, v. 55, n. 6, p. 621–626, 2000.

[https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)00226-0](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)00226-0). Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031942200002260>. Acesso em 22 de junho de 2023.

NAVICKIENE, H. M. D. *et al.* Composition and antifungal activity of essential oils from *Piper aduncum*, *Piper arboreum* and *Piper tuberculatum*. **Química Nova**, v. 29, nº 3, p. 467- 470, 2006.

OLIVEIRA, M. C.; FERREIRA, G.; GUIMARÃES, V. F.; DIAS, G. B. Germinação de sementes de atemoia (*Annona cherimola* Mill. x *A. squamosa* L.) cv “gefner” submetidas a tratamentos com ácido giberélico (ga3) e ethephon. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 2, p.544-554, 2010. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbf/a/zTx9hwd6JBmsRH6QMFP3cgq/> . Acesso em 6 de junho de 2023.

PAES, M. C. D. Aspectos físicos, químicos e tecnologia do grão de milho. Circular Técnica. **Embrapa/Cnpms**, Sete Lagoas, MG, n. 75, p. 1–6, 2006.

PACHECO, B. L.; AMORIM, V. A. Metabólitos Secundários De Plantas Secondary Plant Metabolites. **Revista Agrotecnologia, Ipameri**, n. 11, p. 54–67, 2020.

PINTO, A. C.; SILVA, D. H. S.; BOLZANI, V. D. S.; LOPES, N. P.; EPIFANIO, R. D. A. Produtos naturais: atualidade, desafios e perspectivas. **Química Nova**, v. 25, p. 45–61, maio 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000800009>.

PIRES, N. M. de; OLIVEIRA, V. R. Alelopatia. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**. Curitiba: Omnipax, p. 95–123, 2011. Disponível em:

<http://omnipax.com.br/livros/2011/BMPD/BMPD-livro.pdf>. Acesso em 18 maio 2023.

RADOSEVICH, S.; HOLT, J.; GHERSA, C. **Weed ecology**. 2.ed. New York: Wiley, 1997. 588 p.

REZENDE, F. M. de; ROSADO, D.; MOREIRA, F. A.; CARVALHO, W. R. S. de. Vias de síntese de metabólitos secundários em plantas. **VI Botânica no Inverno 2016**. São Paulo, 2016. v. 93–104. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/profile/Carolina-](https://www.researchgate.net/profile/Carolina-Kleingesinds/publication/324744075_Sinalizacao_entre_plantas_e_bacterias/links/5a)

[Kleingesinds/publication/324744075\\_Sinalizacao\\_entre\\_plantas\\_e\\_bacterias/links/5a5dfdf970f7e9b285945e501/Sinalizacao-entre-plantas-e-bacterias.pdf#page=93](https://www.researchgate.net/profile/Carolina-Kleingesinds/publication/324744075_Sinalizacao_entre_plantas_e_bacterias/links/5a5dfdf970f7e9b285945e501/Sinalizacao-entre-plantas-e-bacterias.pdf#page=93).

Acesso em: 5 de maio 2023.

RICE, E. L. **Allelopathy**. 2. ed. Orlando: Academic Press, 1984.



RIZVI, S.J.H.; HAQUE, H.; SINGH, U.K. & RIZVI, V. A discipline called allelopathy. In: RIZVI, S.J.H. & RIZVI, H. (Eds.) **Allelopathy: Basic and applied aspects**. London, Chapman & Hall, 1992. p.1-10.

SCOTT I, M. et al. Insecticidal activity of *Piper tuberculatum* Jacq. Extracts: synergistic interaction of piper amides. **Agricultural and Forest Entomology**. Ottawa. v.4, n.2, p.137-144, 2002.

SCHEREN, Mara Adriane; RIBEIRO, Vandjorede Mattos; NOBREGA, Lucia Helena Pereira. Efeito alelopático de *Cyperus rotundus* L. no desenvolvimento de plântulas de milho (*zea mays*). **Revista Varia - Scientia Agrária** v. 4, n. 1, p. 105-116, 2014.

SILVA, M. G. F. da. **Avaliação do potencial alelopático de raízes de capim annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) e estudo fitoquímico**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.

SILVA, F. C. da. **Investigação bioquímica, transcriptômica e proteômica em espécies de Piperaceae**. 2011. 198 f. Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2011.

SOUZA FILHO, A. P. S.; GUILHON, G. M. S. P.; SANTOS, L. S. Metodologias empregadas em estudos de avaliação da atividade alelopática em condições de laboratório – revisão crítica. **Planta Daninha**, v. 28, p. 689–697, 2010.

TERRA, T. de F. **Variabilidade genética em populações de teosinto (*Zea mays* subsp. *mexicana*) visando à contribuição para o melhoramento genético do milho (*Zea mays* subsp. *mays*)**. 2009. 175 f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/32373>. Acesso em: 30 maio 2023.

VILHENA, K. S. S. et al. Chemical investigation of cyperus distans L. and inhibitory activity of scabequinone in seed germination and seedling growth bioassays. **Natural Product Research**, v. 28, n. 23, p. 2128–2133, 2 dez. 2014.

WALLER, G.R. Introduction. In: MACIAS, F.A.; GALINDO, J.C.G.; MOLINILLO, J.M.G. & CUTLER, H.G. (Eds.) **Recent advances in allelopathy**. Cadiz, Serv. Pub. Univ. Cadiz, 1999. v.1, sem paginação.

ZHIJIE ZHANG, Y. L. et al. Effect of allelopathy on plant performance: a meta-analysis. **Ecology Letters**, v. 24, n. 2, p. 348–362, 2020.